ISBN 978-65-87226-18-7

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS – SEPE
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA) –
ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA)

MEIO FÍSICO-BIÓTICO - ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

2ª EDIÇÃO

VOLUME 1

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPE GOVERNO DO MARANHÃO

SÃO LUÍS – MA
2021

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO

SECRETARIA DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS – SEPE

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC

ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA)

ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA):

meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

2. ed., v.1

São Luís

2021

GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO
Flávio Dino de Castro e Costa

VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO
Carlos Orleans Brandão da Silva

SECRETÁRIO DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS
Luis Fernando Silva

PRESIDENTE DO INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS
Dionatan Silva Carvalho

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS
Hiroshi Matsumoto

DIRETOR DE ESTUDOS AMBIENTAIS E CARTOGRÁFICOS
Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

COORDENADOR DO ZEE-MA
Dionatan Silva Carvalho

ORGANIZADORES DO SUMÁRIO EXECUTIVO
Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias
Paulo Henrique de Aragão Catunda
Dionatan Silva Carvalho
Anny Karolyny Oliveira Portela

EQUIPE TÉCNICA DO SUMÁRIO EXECUTIVO

Eixo Uso e Ocupação
Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (Coordenador)
Allana Pereira Costa
Anny Karolyny Oliveira Portela
Paulo Henrique Aragão Catunda
Suanny Gomes da Silva

Eixo Climatologia Regional
Gunter de Azevedo Reschke (Coordenador)
Carlos Márcio de Aquino Eloi
Carlos Wendell Soares Dias
Hallan David Velasco
Márcio Roberto Bezerra Fialho
Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

Eixo de Geologia, Hidrogeologia e Geomorfologia
Jorge Hamilton Souza dos Santos (Coordenador)
Ediléa Dutra Pereira
Gustavo Alexsandro Rodrigues Raposo
Hélio Oliveira Costa
Hony Frota Macedo
Joelson Pereira da Graça
Jhony Frota Macedo
Leonardo Gonçalves de Lima
Matheus Gomes Moreno
Marcelo Eduardo Dantas
Nadja Furtado Bessa dos Santos
Samuel Lopes Serra
Suena dos Santos Silva

Eixo Recursos Hídricos
Helen Nébias Barreto (coordenadora)
Adilson Matheus Borges Machado
Bruna Karol de Sousa Quirino Moreira
Cláudia Klose Parise
José Ribamar Carvalho dos Santos
Karinne Cristhina Diniz Brito
Laisa Alves Malheiros Soares
Leonardo Azevedo Serra
Leonardo Soares Silva
Potira Manauara Sousa Melo
Samara Aranha Eschrique
Veruska Costa de Jesus

Eixo Solos e Aptidão Agrícola
Elienê Pontes de Araújo (Coordenadora)
Adriano Venturieri
Antônio Guilherme Campos
Deysiele Viana de Oliveira
Hauanen Araújo Rocha
Idevan Gusmão Soares
João Firminiano da Conceição Filho
Jony Herbeth Almeida Silva
José Raimundo Natividade Ferreira Gama
Jucivan Ribeiro Lopes
Leticia Pontes Araújo Cavalcante
Luiz Guilherme Teixeira Silva
Marcelino Silva Farias Filho
Marcelo Cordeiro Thalês
Moacir Azevedo Valente
Orivan Maria Marques Teixeira
Sandra Maria Neiva Sampaio
Silvio Aurélio Cavalcante
Tassio Koiti Igawa

Eixo Biodiversidade dos Solos
Glécio Machado Siqueira (Coordenador)
Célio Victor Dias Pinto
Daniel Martins da Silva

Daniel Rocha Pereira
Daniela Cristina Pires Viana
Guilherme Domingues Ferreira
Jean Michel Moura Bueno
Khalil de Menezes Rodrigues
Leonardo Henrique de Sá Rodrigues
Luisa Carolina Ramalho Martins
Osvaldo Guedes Filho
Raimunda Alves Silva
Ricardo Niehues Buss
Sthephane Pereira da Silva
Suellen dos Santos Da Silva
Suena dos Santos Silva

Eixo Diversidade Faunística
Tadeu Gomes de Oliveira (Coordenador)
Ananda Carolina Serejo Saraiva
Arielli Fabrício Machado
Breno Campelo Lima
Carlos Martinez
Celene Sousa Carvalo
Cleuton Lima Miranda
Dante Pavan
Denilson Costa Martins
Denise Alves Rodrigues
Elienê Pontes Araujo
Gustavo Helal Gonsioroski
Hauanen Araujo Rocha
João Carlos Lopes Costa
Joao Marcelo da Silva Abreu
Jorge Luiz Silva Nunes
Jose Manuel Macário Rebelo
Karen Stefani Conceição dos Santos
Lais dos Santos Everton
Leonardo Victor Soares Pinheiro
Lester Alexander Fox Rosales
Mateus Souza Tavares
Nivaldo Magalhães Piorski
Odgley Quixaba Vieire
Pedro Americo Araujo
Rayana Diniz da Silva
Renata Soraya Santos Pereira
Sara Porto de Camargo
Vítor Emanoel Chaves Moura
Zafira da Silva Almeida

Eixo Vegetação
Ariadne Enes Rocha (Coordenadora)
Danúbio Pinheiro Campo
Eduardo Bezerra de Almeida Júnior
Elienê Pontes de Araújo
Fabio Pierre Fontenele Pacheco
Francisca Helena Muniz
Geusa Fonseca Dourado
Gonçalo Mendes da Conceição
Idevan Gusmão Soares
Jucivan Ribeiro Lopes
Larissa de Paula Viana da Silva
Marlla Maria Barbosa Arouche

EQUIPE DE APOIO TÉCNICO – ZEE
Brenda Soares da Silva Nunes da Costa
Elna Lúcilia Santos Corrêa
Gabriel Costa da Costa
Igor Breno Barbosa de Sousa
Jéssica Neves Mendes
Jéssica Suyane Sousa
Juciana da Conceição Birino de Souza
Letícia Moura Ferreira
Paulo Zidane Ferreira da Silva
Vívian Costa Santos Reis

NORMALIZAÇÃO
Dyana Pereira

REVISÃO
Alessandra Sampaio Couto Santos
Carla Vitória Mendes
Marília de Carvalho da Costa
Nayara da Silva Queiroz
Yamille Priscilla Castro

CAPA/DIAGRAMAÇÃO
Carliane de Oliveira Sousa
Herbet Silva Machado

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Gustavo Pereira da Costa – Reitor
Walter Canales Sant'ana – Vice-Reitor
Zafira da Silva de Almeida – Pró-Reitora de Graduação – PROG
Rita de Maria Seabra Nogueira – Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação – PPG
Paulo Henrique Aragão Catunda – Pró-Reitor de Extensão e Assuntos Estudantis – PROEXAE
José Rômulo Travassos da Silva – Pró-Reitor de Gestão de Pessoas – PROGEP
Antônio Roberto Coelho Serra – Pró-Reitor de Planejamento e Administração – PROPLAD

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC

Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA): meio físico-biótico – etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. 2. ed. v.1 / Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias... [et al.] (Orgs). São Luís: IMESC, 2021.

441 p.

ISBN 978-65-87226-18-7

1. Bioma Cerrado. 2. Zoneamento Econômico. 3. Maranhão I. Título

CDU: 711.51(812.1)

SUMÁRIO GERAL

1 **O BIOMA CERRADO E O SISTEMA COSTEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO:** razões para zonificar o território.....4

2 **CLIMATOLOGIA REGIONAL PARA O BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO**.....20

3 **GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO**.....78

4 **RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS**.....158

5 **SOLOS E APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS**.....254

6 **BIODIVERSIDADE DOS SOLOS DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO**.....308

7 **DIVERSIDADE FAUNÍSTICA DO MARANHÃO:** avaliação da composição, áreas prioritárias, ameaças e recomendações de ações para sua conservação.....341

8 **VEGETAÇÃO NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO-MARINHO DO ESTADO DO MARANHÃO**.....407

1

O BIOMA CERRADO E O SISTEMA COSTEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO: razões para zonificar o território

1 **INTRODUÇÃO** 5

2 **O BIOMA CERRADO E O SISTEMA COSTEIRO EM TERRITÓRIO MARANHENSE** 8

3 **AVALIAÇÃO AMBIENTAL SOB A ÓTICA DO ORDEAMENTO TERRITORIAL:** em busca do equilíbrio.. 11

4 **CONCLUSÃO** 16

REFERÊNCIAS 17

1

1 INTRODUÇÃO

O século XXI apresenta um forte conjunto de fatores reais e cotidianos que conduzem à certeza científica de ocorrência de perturbações antropogênicas nos sistemas naturais. Problemas diversos, como expansão demográfica, poluições atmosféricas e hídricas, uso e ocupação de espaços urbanos e rurais, aumento do número de veículos circulantes, demanda por novos espaços industriais, bem como diminuição da cobertura vegetal e da fauna associada geram graus diferenciados de estresse ambiental, comprometendo a resiliência dos ecossistemas. Essas pressões impostas pelas sociedades humanas são bastante frequentes e já modificam significativamente os biomas brasileiros (MARENGO, 2007; CAVALCANTI; SILVEIRA, 2013).

Nesse contexto, as questões relacionadas ao clima, com suas variabilidades, mudanças e implicações na configuração dos espaços naturais, são das mais discutidas na atualidade (ZAVATTINI; BOIN, 2013), sobretudo no que tange à conservação de áreas naturais remanescentes (OLIVEIRA, 2007). Isso é um reflexo das demandas voltadas para reconhecimento dos impactos ambientais antropogênicos, o que concorre para um reconhecimento integrado das dinâmicas dos sistemas atmosféricos que envolvem os espaços construídos pelas sociedades e suas implicações diretas nos habitats naturais (DIAS et al., 2017).

O Bioma do Cerrado no contexto do Maranhão ocupa uma área aproximada de 181.000 km^2, o que, *di per si*, configura um conjunto de paisagens e de ecossistemas transicionais entre a Amazônia, as Caatingas e a Zona Costeira (considerando os compartimentos naturais heterogêneos que caracterizam o Norte do Maranhão), os Cerrados maranhenses apresentam-se como um macroespaço favorável em recursos naturais para a ocorrência de corredores ecológicos (BATISTELLA et. al., 2014). A influência socioprodutiva desse espaço regional tem articulado diversos territórios no contexto da área produtiva denominada MATOPIBA (macroespaço que envolve os Cerrados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e no Noroeste da Bahia, sendo a maior fronteira produtiva agrícola em expansão em território nacional).

Já o Sistema Costeiro Maranhense (a Nordeste do território estadual) ocupa um pouco mais de 10.000 km^2 e detém paisagens únicas em âmbito global, como é o caso dos Lençóis Maranhenses e do Delta do Parnaíba. Com grande variedade de ecossistemas e de usos socioprodutivos do território maranhense inserido no Bioma Cerrado e no Sistema Costeiro, passou-se a ser considerado estratégico o desenvolvimento de seu Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) por parte do Governo Estadual, na Figura 1.1, a localização do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão.

O ZEE orienta-se pela Política Nacional do Meio Ambiente, instituída nos artigos 21, inciso IX, 170, inciso VI, 186, inciso II, e 225 da Constituição; na Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981 e pelos diplomas legais aplicáveis. Foi regulamentado pelo Decreto nº. 4.297, de 10/07/2002, que o define como

instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente e estabelece os critérios mínimos que deve obedecer. O mesmo Decreto estabelece seu objetivo geral que é organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas.

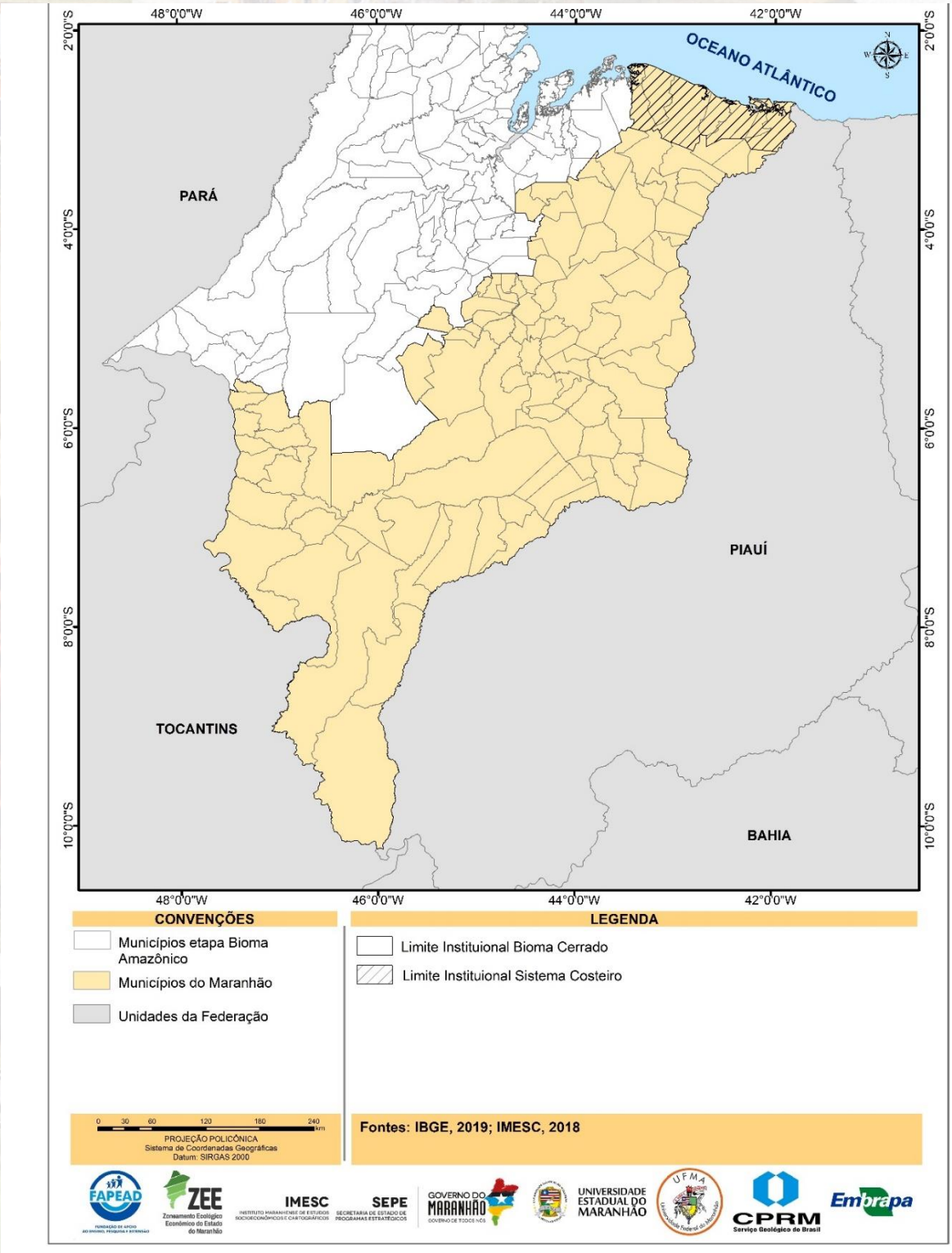
A isso são somados os princípios que deverão ser observados no processo de sua elaboração e implementação, quais sejam:

a) buscar a sustentabilidade ecológica, econômica e social, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico e a proteção dos recursos naturais, em favor das presentes e futuras gerações, em decorrência do reconhecimento de valor intrínseco à biodiversidade e a seus componentes;
b) contar com ampla participação democrática, compartilhando suas ações e responsabilidades entre os diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil; e
c) valorizar o conhecimento científico multidisciplinar.

O ZEE-MA do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro, por agregar a base ambiental no planejamento do uso e ocupação do solo de determinado território, é considerado ferramenta indispensável importantes para as três esferas de Poder no embasamento de seus esforços para conciliar a conservação ambiental com o desenvolvimento econômico na execução de suas políticas públicas. Como instrumento técnico, os ZEEs fornecem informações integradas, caracterizando o território segundo suas potencialidades e limitações ao uso. Como instrumento políticos de regulação do uso e ocupação do solo, permite uma espacialização das políticas públicas em base geográfica integrada, ampliando a escala de abrangência das ações governamentais.

Por conseguinte, a elaboração de ZEE em escala de 1:250.000 pauta-se na legislação nacional que determina a necessidade do ZEE nessa escala como instrumento de orientação para a formulação e espacialização das políticas públicas de desenvolvimento, ordenamento territorial e meio ambiente, assim como para as tomadas de decisões de investimentos dos agentes privados.

Figura 1.1 - Bioma Cerrado e Sistema Costeiro No Estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

2 O BIOMA CERRADO E O SISTEMA COSTEIRO EM TERRITORIO MARANHENSE

A biodiversidade encontrada em território brasileiro impressiona pela sua riqueza, mesclando-se em diferentes formações vegetacionais e tomado por áreas de transição. Estas também são conhecidas como *faixas transicionais* ou de *transição e contatos* (AB'SÁBER, 2012), e são caracterizadas como um domínio de natureza onde se interpenetram, se diferenciam ou se misturam – em mosaico complexo – componentes de duas ou mesmo de três áreas em ecotonais. São verdadeiros conjuntos de *dégradés* biogeográficos, em que elementos paisagísticos (sobretudo fitogeográficos) de vários biomas acabam por aparecer de forma bastante amalgamada (AB'SÁBER, 2006). A Ecologia denomina essa paisagem como ecótono.

Partindo para uma visão mais generalizada do assunto aqui abordado, os Cerrados Brasileiros encontram-se distribuídos por onze estados, sendo eles Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Bahia, Maranhão e Piauí. É o bioma mais representativo da região do Planalto Central do Brasil, mas consegue chegar até o Sistema Costeiro, como no caso específico maranhense em uma pequena, mas não menos importe, faixa territorial confrontante com o Oceano Atlântico, e este interespaço está situado no Nordeste do Estado do Maranhão. Dessa maneira, o Bioma Cerrado em terras maranhenses é o único da América do Sul a literalmente tocar os ambientes com influência costeira (FERNANDES, 2000; COUTINHO, 2016). A Oeste, ele se torna ecotonal com o Bioma Amazônico. Já a Leste, ele transiciona em direção ao Bioma da Caatinga, no Piauí.

A configuração biomática maranhense é reflexo direto da interação solo, clima e relevo. O território Estadual, baseados na interpretação arguta de Ab'Sáber (2012), caracteriza-se morfoclimaticamente e ecologicamente como uma grande e extensa faixa de transição e contato heterogêneo entre o espaço Leste dos domínios das "Terras Baixas Florestadas Equatoriais" (ou Domínio Amazônico) e a parcela mais a Norte dos domínios dos "Chapadões tropicais interiores com cerrados e florestas-galeria" (ou Domínio dos Cerrados). Acrescente-se a estes os "Domínios Costeiros", cujas disposições paisagísticas vegetacionais respondem por interessantes peculiaridades e estão situadas bem ao Norte do Estado. De forma objetiva para fins de Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs), domínios morfoclimáticos e biomas são considerados como sinônimos (DIAS et. al., 2017).

O Bioma Cerrado é definido paisagisticamente de várias formas fitogeográficas, variando dos campos limpos (vegetação herbácea) até o cerradão (porte florestal). Nas formas savânicas, expõem-se num arranjo de campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto* (ou *"s.s"*), que representam incontestáveis ecótonos nas suas formas vegetacionais (EITEN, 1994). As formas savânicas podem

apresentar a mais ampla variação de características fisionômicas e estruturas intermediárias, dependendo das condições climáticas (FERRI, 1997; FERNANDES, 2000).

Não obstante, o Estado do Maranhão representa umas das mais extensas do Bioma Cerrado transicional de todo o Brasil. De acordo com Conceição (2012, p. 03),

> o Estado do Maranhão é considerado como a nova fronteira agrícola do Brasil, por ainda possuir a maior área de cerrado natural. No entanto, grandes áreas de cerrado estão dando lugar a culturas de soja, provocando sérios impactos ambientais, que contribuem para a deterioração da biodiversidade do bioma e da região.

Os tipos vegetacionais encontrados no Bioma do Cerrado são bastante antigos, tendo origem há aproximadamente 35-40 milhões de anos e conseguindo se manter firme enquanto categoria geoecológica de paisagens durante as fases de alterações ambientais naturais desenvolvidas ao logo do instável período Quaternário (AB'SÁBER, 2006). Por outro lado, o Bioma Cerrado compreende um mosaico de vários tipos de vegetação, como savanas herbáceo-arbóreas, matas secas, campos, áreas úmidas em veredas e matas de galeria, dentre tantas outras. A possível explicação para essa variedade de fitofisionomias dá-se pela diversidade de solos encontrados nestes lugares, também por sua topografia e pelas condições climáticas. No Maranhão, especificamente essa ocorrência vai de praticamente ao nível do mar, no Nordeste do Estado, a 812 metros de altitude, no extremo Sul, na Chapada das Mangabeiras.

Os processos de configuração das paisagens do Bioma Cerrado no Maranhão ocorreram em padrões "meândricos" interdominiais, a partir da premissa biogeográfica e ecológica da sucessão ecológica, demonstram expansões e retrações das coberturas vegetais subatuais, em que pese nos contato histórico-geológico entre o Pleistoceno e Holoceno (últimos 20.000 anos). Isso concorreu para o estabelecimento de grande diversidade florística regional, bem como de sua fauna associada. E, por conseguinte, o estabelecimento de enclaves de vegetação relíquia distantes de suas áreas nucleares são evidências de prolongamentos pretéritos de vegetação "pioneira" por sobre ambientes de antigos habitats heterogêneos. Exemplos como esses são observados no Nordeste Maranhense, bem como no Leste do Estado e Centro-Sul Maranhense, conforme será visto neste trabalho.

A área nuclear do bioma cerratense no Maranhão impera principalmente em terrenos de estrutura fanerozoica mais antiga, dotadas de superfícies aplainadas de cimeira, e um conjunto significativo de planaltos sedimentares compartimentados (AB'SÁBER, 2012). O mosaico representado pelo Bioma Cerrado no Maranhão, demonstra:

> aspectos transicionais do clima e das condições edáficas da região de transição, dos quais resultaram variados ecossistemas, desde ambientes salinos com presença de manguezais, passando por campos inundáveis, cerrados e babaçuais, até vegetação florestal de grande porte com características amazônicas (SEMA, 2011, p. 28).

Mesmo detentor de grandes potencialidades paisagísticas, geocológicas e biogeográficas no Maranhão, o Bioma Cerrado no Estado, até o presente, carecia de estudos sistemáticos e transversais de seu território, sobretudo quanto à progressão areal de suas transformações em curso desde os fins da década de 1970. Assim, esforços como o ZEE-MA do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro, além de apresentar uma atualização das bases geográficas, ecológicas, socioeconômicas e cartográficas desse território, que somado é equivalente a Portugal e Coreia do Sul, permite com que sejam elaboradas e implementadas políticas públicas pautadas em bases técnico-científicas sólidas.

O Sistema Costeiro no Maranhão é analisado de forma especial, dada a influência gerada pela interação entre terra, mar e dinâmica climática bem como as diversas amostras de ecossistemas que ocorrem e se diferenciam nessa interação (AB' SABER, 2000). A presente etapa do ZEE-MA aqui trabalhada não trata especificamente da Zona Costeira sob o ponto de vista geopolítico, mas, sim, sob o enfoque territorial para o planejamento ecológico e econômico em uma escala regional, que é de 1:250.000. Isso é derivado do fato geográfico de que, antes de se entender a Zona Costeira como unidade espacial, é preciso conhecer o Sistema Costeiro como uma representação geoecológica e geoeconômica pautada na definição dada pela cartografia oficial dos biomas brasileiros (IBGE, 2019).

No ano de 2003, foi solicitada ao IBGE a elaboração de um mapa representando os biomas brasileiros, no período ocorria a finalização de uma nova versão do Mapa de Vegetação do Brasil na escala de 1:5.000.000, este foi a referência para a construção do Mapa de Biomas. Após revisões na construção destes, perceberam a necessidade de considerar o sistema costeiro, em busca de uma representação que agregasse a diversidade do Território Nacional. Já no ano de 2016 com a elaboração de novo mapeamento da vegetação, agora compatível com a escala 1:250.000, foram realizados os primeiros testes na obtenção do Mapa de Biomas na mesma escala, e dadas as alterações dos limites, decorrentes da ampliação de escala, no ano seguinte foi realizado o I Workshop sobre Representação de Biomas Compatível com a Escala 1:250.000.

Nesse evento, foi observada a criação de um bioma costeiro, ressaltando-se a importância de sua introdução no novo Mapa de Biomas, entre outros motivos, pela fragilidade dos ambientes costeiros, sua dinâmica particular e sua enorme influência na biodiversidade a eles associada, fortemente afetada, também, pelas atividades antrópicas, porém por decisão unanime, o termo que seria "bioma" foi adota como expressão Sistema Costeiro (IBGE, 2019).

Como já foi trabalhado na etapa anterior do Programa ZEE-MA (ZEE-MA do Bioma Amazônico) os mesocompartimentos costeiros Reentrâncias Maranhenses, Baixada Maranhense e Golfão

Maranhense, nesta fase foi englobado apenas a Costa Oriental, caracterizada pelo predomínio de ambientes arenosos e pela composição paisagística do Delta do Parnaíba. Engloba, pois, um total de oito municípios, de Primeira Cruz a Araioses.

3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL SOB A ÓTICA DO ORDEAMENTO TERRITORIAL: em busca do equilíbrio

A expansão da economia mundial tem resultado na exploração desenfreada dos recursos naturais e, juntamente com os avanços tecnológicos, da produção de bens e o consumismo exacerbado, tem gerado consequências indesejáveis aos elementos e sistemas ambientais físicos, ecológicos e sociais. Esses são reflexos imediatos da globalização (HEIDRICH, 2008).

O uso inadequado de elementos provenientes do meio natural, o que foi intensificado atualmente, pode colocar em risco a renovação dos estoques dos recursos ainda disponíveis, bem como o próprio espaço físico para a implantação e desenvolvimento das atividades humanas (AB'SÁBER, 2006), caso práticas de desenvolvimento amplo e integrado não sejam evidenciados nas políticas e nas práticas de uso do território. As cidades, os agroecossistemas e os remanescentes florestais, por seu turno, são verdadeiros macroexemplos desse tipo de situação adversa. Nessa perspectiva,

> as mudanças sociais e ecológicas são marcadas por rupturas num contínuo, provocando uma desestruturação e reestruturação que deverá ser afetada por nova mudança. Somente através de pesquisa de acompanhamento sistemático voltada para a compreensão das estruturas e dos processos não planejados e de longa duração é que podem ser explicados os impactos (COELHO, 2001, p. 24).

Dessa maneira, as práticas e pressões de uso do território cerratense maranhense são frutos de mutações territoriais produzidas pelos agentes que a compõem estrutural e funcionalmente (CORRÊA, 2011). As suas variações, entendidas como *reproduções*, obedecem aos ditames dos fluxos econômicos do momento em que se vive, bem como às condicionantes do período histórico em que as mudanças ocorrem. Para Santos e Silveira (2002, p. 21), deve-se cientificamente, na atualidade, buscar

> o compreender o papel das formas geográficas materiais e o papel das formas sociais, jurídicas e políticas, todas impregnadas, hoje, de ciência, técnica e informação. Outro dado indispensável ao entendimento das situações ora vigentes é o estudo do povoamento, abordado sobretudo em sua associação com a ocupação econômica, assim como os sistemas de movimento de homens, capitais, produtos, mercadorias, serviços, mensagens, ordens. É também a história da fluidez do território, hoje balizada por um processo de aceleração.

É nessa *fluidez do território* que se encontram as incorporações de novos territórios ao tecido regional, convertendo espaços até então *naturais* em áreas *artificiais*. Esses processos de conversão natureza – sociedade, já presente desde La Blache (HAESBAERT et al., 2012), caracterizam os padrões de uso e pressões do território no Bioma Cerrado como os fenômenos geográficos antropogênicos mais dinâmicos de todo Brasil.

Destarte, o conhecimento do território regional com atividades antropogênicas em franco processo de recaracterização, mais que o conhecimento de suas próprias reproduções e fluidez geográficas, necessita de esforços orientados para a compreensão analítica da sua base material. Esta, por sua vez, é físico-biótica (GOUDIE, 1989), antes mesmo de ser considerada social.

Com o advento de novas tecnologias, os terrenos antes considerados insalubres passam rapidamente a ocupar destaque nas *urbis* em expansão, haja vista a conversão de áreas úmidas, vales fluviais, encostas e outros ambientes fisicamente instáveis em espaços habitáveis (DIAS, 2014). Para Ab'Sáber (2006), a proposta técnico-científica de entendimento do meio natural que sustenta as cidades, os agroecossistemas e as áreas com natureza remanescentes deve perpassar pela revelação dos aspectos teóricos, conceituais e funcionais (ou sistêmicos) dos elementos que compõem os processos em cursos, sejam eles naturais ou alterados pelas ações antropogênicas (MARQUES, 2016).

Destarte, entender os padrões de uso e cobertura das terras e suas relações com as redes territoriais nos Cerrados e na Zona Costeira é entender sua natureza e seus remanescentes, tendo em vista as suas associações, relações e incorporações das malhas antropogênicas e socioprodutivas sobre eles impostos. Essa é uma das perspectivas do ZEE-MA do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro.

Grosso modo, a dualidade *crescimento X ambiente* é tratada como um problema de ausência de planejamento para o desenvolvimento dos territórios, quer sejam eles urbano-industriais, quer sejam agrários ou naturais (ANDRADE, 1992). Essa concepção bastante hodierna remete a iniciativas voltadas para não mais o entendimento de fatos regionais, mas para situar os territórios aqui citados, bem como suas hinterlândias, em suas zonas ou áreas de influências.

E, nesse sentido, um ZEE-MA do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro passa a colaborar na definição das equações que visem a busca pelo equilíbrio entre o que é natural e o que é necessidade socioeconômica e sociocultural. A busca não é pela dualidade, mas, sim, pela sustentabilidade. E os avanços epistemológicos e práticos recentes que vislumbram a inserção das temáticas territoriais e econômicas no contexto das análises ambientais podem ser uma das alternativas (MOREIRA, 2012) para o desenvolvimento durável.

Estudos como os procedidos por Valverde e Dias (1967), por exemplo, já apresentavam, sob o ponto de vista teórico-metodológico e pragmático, a compreensão dos ritmos de conversão de elementos naturais em base de sustentação de eixos econômicos da segunda metade do século XX. A mesma

concepção seria revisitada mais de 20 anos depois por um dos autores, ao tratar das problemáticas advindas da apropriação da natureza pelas atividades econômicas sem critérios temáticos e/ou integrados de regulação dos processos de crescimento desordenado dos territórios do Leste da Amazônia Legal Brasileira (VALVERDE, 1989), bem como em áreas dos Cerrados e do Sistema Costeiro no território maranhense.

Contudo, atualmente as lógicas produtivas e conservacionistas passaram a ser aliadas. As novas práticas socioeconômicas em ambientes rurais, sobretudo, têm buscado maior apoio nas técnicas e nas ciências para que haja o aumento da produção, aliada à proteção dos recursos ambientais remanescentes. Isso leva inovação às atividades que dantes apenas pressionavam a natureza e que, agora, podem ser pautadas como recuperação de área.

Porém, os serviços ambientais presentes nos ecossistemas remanescentes precisam ser entendidos e calculados, haja vista a necessidade de planejarem-se os territórios regionais em face da manutenção das condições adequadas de vida das populações humanas. Em tese, isso evitaria riscos, perigos e conflitos, bem como poderia conduzir a melhores estratégias de ocupação dos espaços disponíveis, protegendo sempre os elementos aindam presentes na paisagem, com base em uma ótica pragmática conservacionista (OLMOS, 2011). Ross et. al. (2008, p. 70), por seu turno, explicam que

> neste sentido é que é necessário considerar não só a dinâmica presente, a qual determina certos aspectos do ambiente que interferem com os recursos ecológicos explorados ou que podem vir a ser explorados (por isso precisa ser tomado em conta todo o desenvolvimento), mas também a do passado, que durou curtos períodos de tempo na escala do tempo geológico. Essa dinâmica pretérita deixa legados no ambiente, os quais são utilizados e são parte da estrutura ecológica atual. Essas sucessões de dinâmicas ao longo do tempo, promovidas, sobretudo, pelas mudanças climáticas, afetam indiretamente o problema do desenvolvimento frente à susceptibilidade do ambiente sob o ponto de vista do impacto da humanidade.

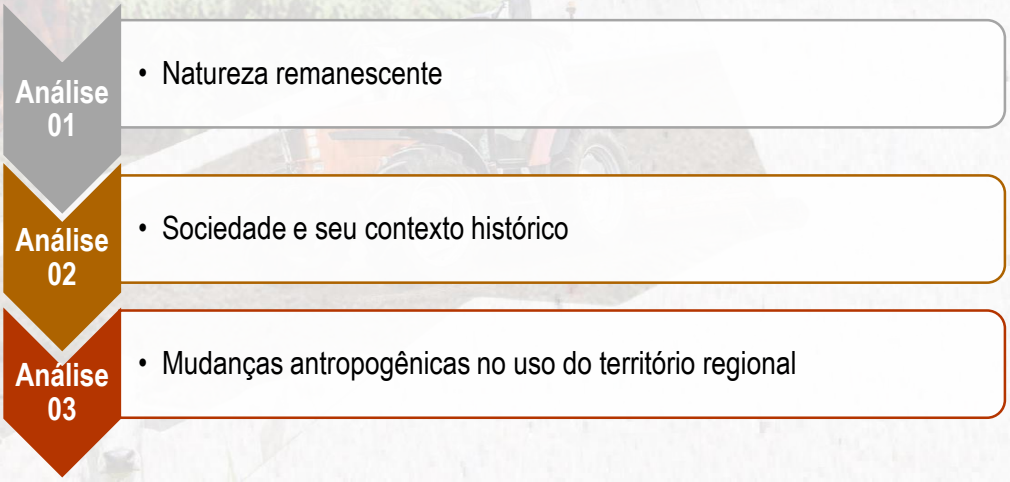
Assim, existem três elementos analíticos (Figura 1.2) imprescindíveis à compreensão do ambiente (ou *ecossistemas*, nas palavras do retromencionado autor) e da sociedade sobre ele instalada e que devem ser reconhecidas de forma sistemática e paulatina:

a) a *natureza remanescente*, caracterizada pelo que Ab'Sáber (2012) conveniou chamar de *heranças da natureza*, ou seja, os remanescentes materiais e processuais de uma geologia, uma geomorfologia, dos solos, das coberturas vegetais nativas, do tempo e do clima, bem como das águas subterrâneas e superficiais. Esse é o estudo da *estrutura superficial da paisagem*, que visa entender o ambiente de forma integrada, com todos os seus elementos formadores e constituintes. Compõe uma história natural (ou geológico-geomorfológica) materializada;

b) a *sociedade e seu contexto histórico*, ou seja, as formas pelas quais as dinâmicas sociais se desenvolveram nos territórios passíveis de análise geográfica (em que pese nos contextos regionais) em função das forças e induções políticas, econômicas e culturais vigentes e imperantes na fase em que a cidade se expande ou se consolida. A isso são somados, analiticamente, os métodos e técnicas de conversão dos elementos naturais em recursos ambientais, com seus valores de uso e de troca, absolutamente em função do modo de produção vigente (SANTOS; SILVEIRA, 2002). Configura a história econômica e social do território;

c) as *mudanças*, ou seja, os "rastros" de perturbações antropogênicas deixadas como marcas indeléveis da (re)afirmação humana sobre as *heranças da natureza* no território. Essas são as problemáticas ambientais, ou seja, processos reversíveis (impactos) ou irreversíveis (degradação), conforme indica Goudie (1989), associados à marcha contínua de uso e ocupação dos territórios pelos ditames da *sociedade e seu momento histórico*, sempre na ânsia por assimilar novos espaços para as suas "forçantes produtivas".

Figura 1.2 - Proposta analítica de entendimento do contexto regional com base nas questões geográfico-ambientais para fins de Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro no Estado do Maranhão



Fonte: Registros da pesquisa (2021)

Não importa se esse esquema possa ser inserido analiticamente em um ambiente urbano, industrial ou rural no Bioma Cerrado ou no Sistema Costeiro do Maranhão. O que necessariamente se exige, hoje, é mais pragmatismo acerca da concepção integrada de problemáticas e suas consequentes variantes territoriais e temporais. Outrossim, na constituição dos territórios regionais em franco processo de expansão, dois elementos podem ser destacados:

a) a *economia*, caracterizada pelos ciclos produtivos dentro de um sistema socioeconômico dominante, o que implica numa tentativa de inserção de mão-de-obra nas lógicas dominantes do mercado regional, pelos setores em que estiverem envolvidos (primário, secundário, terciário ou quaternário). Isso estará em função do trinômio *produtividade – inovação – qualidade* (THOMAS, 2005), que vai indicar ciclos produtivos e sua manutenção (ou não), objetivando novas formatações e configurações territoriais em função das matrizes produtivas em curso;

b) a *mobilidade* ou *fluidez*, consequência das tentativas sociais tidas como reflexos imediatos dos esforços econômicos, as quais são vistas através do prisma da materialização de ações que artificializam as *heranças da natureza* (AB'SÁBER, 2012) e lhes dão outras conotações. Obviamente, isso depende da dinâmica inerente à (re)produção do meio geográfico, sendo bastante expressivas em áreas cujas ocupações são destituídas de quaisquer tipos de planejamento e ordenamento oficiais, como aquelas denominadas de *ocupação espontânea*. Esse processo é passível de datação, haja vista ser reflexo de momentos históricos, como já citado neste trabalho.

Complementando essa postura analítica, que *di per si* já é bastante intrigante, Ferreira (2014, p. 16) afirma que

> o *Estado* é o agente social que contribui mais eficazmente em relação à produção do espaço urbano [como também do rural e do industrial]. Essa contribuição faz-se diretamente, tendo em vista as intervenções, articulações e omissão que se referem à ineficácia em termos de definição e implementação de política urbana.

Ademais, avaliar a presença humana (e sua manutenção ao longo prazo) em um dado território, como no Bioma Cerrado e no Sistema Costeiro do Maranhão, perpassa pelo atendimento desses elementos. Por fim, se esses pontos forem confrontados legal e tecnicamente, um elemento será destacado: o *princípio do desenvolvimento durável e amplo* (para além da sustentabilidade ideológica e pura, pois ela deve ser pragmática), o que, principalmente para os agroecossistemas e sistemas naturais remanescentes, ainda pode ser considerado uma utopia, pois não há a total integração de todos os indicativos listados em busca da qualidade de vida da população urbana. Isso independente de seu recorte areal, de sua amplitude, de seu histórico e de suas relações socioeconômicas e socioambientais. Decerto, o comprometimento de um dos segmentos retromencionados colabora substancialmente para não se atingir a *qualidade de vida* tão propalada pelos discursos políticos e acadêmicos na contemporaneidade.

4 CONCLUSÃO

Um ZEE precisa, antes de tudo, de uma carga colossal de dados e informações sobre o território a zonear. Esse pressuposto é considerado indispensável a qualquer esforço de reconhecimento integrado dos sistemas, processos e fatores que se desenvolvem sobre uma base físico-geográfica. Contudo, há dinâmicas altas (que são rápidas no tempo) e baixas (que demoram bastante tempo para sofrerem alterações), sendo ambas muitas vezes sobrepostas. O Bioma Cerrado e o Sistema Costeiro maranhenses, portanto, neste Zoneamento, serão enxergados de forma agregada. Essa é a razão do conjunto de estudos em tela. Assim, nos próximos capítulos destes dois volumes serão discutidos os seguintes aspectos:

a) Meio Físico:
   - Geodiversidade do Território;
   - Pedologia e Aptidões das Terras;
   - Climatologia;
   - Recursos Hídricos Superficiais.

b) Meio Biótico:
   - Biodiversidade – Fauna;
   - Vegetação;
   - Biodiversidade dos Solos.

c) Socioeconomia:
   - Socioeconomia;
   - Arranjos Jurídico-Institucionais.

d) Padrões de Uso:
   - Uso e cobertura da terra.

Nada que se discuta acerca do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro maranhenses neste ZEE deve ser feito sem a compreensão isolada e, posteriormente, integrada desses elementos analíticos. As discussões, portanto, serão embasadas no maior conjunto de dados e de informações sobre esse recorte geográfico desde o início dos anos 1970, em que foi desenvolvido o Projeto RADAM em terras maranhenses. É de se reportar, portanto, que o Estado apresenta a mais completa base para análises já feita nos últimos 50 anos com a maior rede de pesquisas politemáticas da história sobre esses dois grandes conjuntos paisagísticos do Maranhão. Portanto, convida-se para uma ampla revisão e recontextualização técnico-científica do Estado. Boa leitura!

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Ecossistemas brasileiros**. São Paulo: Metalivros, 2006. 300 p.

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 159 p.

ANDRADE, Manuel Correia de. **Geografia Econômica**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 1992. 294 p.
BATISTELLA, Mateus; BOLFE, Édson Luis; VICENTE, Luiz Eduardo; VICTÓRIA, Daniel de Castro; ARAÚJO, Luciana Spinelli (org.). Relatório do diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão. v. 2. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2013. 324 p.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; SILVEIRA, Virgínia Piccinini. Influências das TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico nos eventos de seca. In: BORMA, Laura De Simone; NOBRE, Carlos Afonso. **Secas na Amazônia:** causas e consequências (Orgs). São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 78-88.

COELHO, Maria Célia Nunes. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19 – 45.

CONCEIÇÃO, Gonçalo Mendes da; RODRIGUES, Maira dos Santos. Diversidade florística das diferentes fisionomias de cerrado do Parque Estadual do Mirador, Maranhão, Brasil. **Brazilian Geographical Journal**: Geosciences and Humanities research medium. Ituiutaba, v. 5, n. 1, p. 139-156, jan./jun. 2014. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/23070/13814. Acesso em: 07. dez. 2020.

CORRÊA, Roberto Lobato. Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão. In: CARLOS, Ana Fani Alessandri; SOUZA, Marcelo Lopes; SPÓSITO, Maria Encarnação Beltrão (orgs.). **A produção do espaço urbano:** agentes e processos, escalas e desafios. São Paulo: Contexto, 2011. p. 41 – 51.

COUTINHO, Leopoldo Magno. **Biomas brasileiros.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 128 p.

DIAS, Luiz Jorge B. **Diagnóstico dos Conflitos Socioambientais e Socioespaciais na Bacia do Mearim (MA)**. Florianópolis: MPB Engenharia, 2014. 58 p.

DIAS, Luiz Jorge B.; TEIXEIRA, Wenderson; SILVA, Jessica Conceição; SOUSA, Jéssica Suyane. Vulnerabilidades morfoclimáticas no Bioma Amazônia no Estado do Maranhão: orientações ao Zoneamento Ecológico-Econômico regional. In: SEABRA, Geovanni (org.). **Educação Ambiental: natureza, biodiversidade e sociedade**. Ituiutaba: Barlavento, 2017. p. 461-472.

EITEN, George. **Duas travessias pela vegetação do Maranhão**. Brasília: UNB, 1994. 72 p.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. 2. ed. Fortaleza: Multigraf, 2000. 342 p.

FERREIRA, Antonio José de Araújo. **A produção do espaço urbano em São Luís do Maranhão:** passado e presente; há futuro? São Luís: EDUFMA, 2014. 152 p.

GOUDIE, Andrew. **The nature of the environment**. 2. ed. Cambridge: Basil Blackwell, 1989. 370 p.

HAESBAERT, Rogério; PEREIRA, Sérgio Nunes; RIBEIRO, Guilherme (Org.). **Vidal, Vidais:** textos de Geografia Humana, Política e Regional. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 464 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil:** compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

MARANHÃO. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Estado do Maranhão**. São Luís: Gabinete da Casa Civil/Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais, 2011. 110 p.

MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2. ed. Brasília: MMA, 2007. 212 p.

MARQUES, Válter José. **Zonificação ambiental do Estado do Maranhão utilizando os geossistemas como categoria geográfica de análise**. 2016. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

MOREIRA, Ruy. **Geografia e práxis:** a presença do espaço na teoria e na prática geográficas. São Paulo: Contexto, 2012. 221 p.

OLIVEIRA, Tadeu Gomes de. Carnívoros do Maranhão: preliminares sobre a distribuição, composição das comunidades e conservação no Meio-Norte do Brasil. In: SILVA, Alessandro Costa da; FORTES, Jorge Luiz de Oliveira (orgs.). **Diversidade biológica, uso e conservação de recursos naturais no Maranhão**. São Luís: Editora UEMA, 2007. p. 347-366.

OLMOS, Fábio. **Espécies e ecossistemas**. São Paulo: Blucher, 2011. 207 p.

RIZZINI, Carlos Toledo. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições LTDA., 1997. 747 p.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; FIERZ, Marisa de Souto Matos; AMARAL, Rosângela do. Da ecodinâmica à fragilidade ambiental: subsídios ao planejamento e à gestão ambiental. In: LEMOS, Amália Inés Geraiges de; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; LUCHIARI, Ailton (orgs.). **América Latina:** sociedade e meio ambiente. São Paulo: Expressão Popular, 2008. p. 67-83.

SANTOS, Milton; SILVEIRA, María Laura. **Brasil**: território e sociedade no início do século XXI. 4. ed. Rio de Janeiro: RECORD, 2002. 473 p.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais- SEMA. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Estado do Maranhão**. Disponível em: http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Maranhxo.pdf. Acesso em: 13. fev. 2017.

THOMAS, Vinod. **O Brasil visto por dentro: desenvolvimento em uma terra de contrastes**. Rio de Janeiro: José Olympio, 2005. 203 p.

VALVERDE, Orlando. **Grande Carajás:** planejamento da destruição. Rio de Janeiro/São Paulo/Brasília: Forense Universitária/USP/EdUNB, 1989. 170 p.

VALVERDE, Orlando; DIAS, Catharina Vergolino. **A Rodovia Belém-Brasília**: estudo de Geografia Regional. Rio de Janeiro: FIBGE, 1967. 350 p.

ZAVATTINI, João Afonso; BOIN, Marcos Norberto. **Climatologia geográfica:** teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013. 151 p.

2

CLIMATOLOGIA REGIONAL PARA O BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO

1 INTRODUÇÃO 24
2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS 24
3 RESULTADOS 26
3.1 Aquisição de dados climáticos, análises e cálculos de indicadores climáticos 26
3.2 Mapas temáticos 28
3.2.1 Precipitação pluvial 28
3.2.2 Temperatura do ar 33
3.2.3 Evapotranspiração potencial 35
3.2.4 Excesso e deficiência hídrica 37
3.2.5 Erosividade das chuvas 40
3.2.6 Índice de Aridez 42
3.2.7 Risco climático para plantio de cultivos agrícolas 44
3.2.7.1 Estação de crescimento 44
3.2.7.2 Áreas com menor risco climático para plantio 47
3.2.7.3 Arroz de sequeiro 47
3.2.7.4 Soja 54
3.2.7.5 Milho 61
3.2.7.6 Feijão-Caupi 68
4 CONCLUSÃO 75
REFERÊNCIAS 77

2

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma metodológico das etapas para caracterização climática do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 25
Figura 2.2 - Distribuição espacial das estações utilizadas na análise 27
Figura 2.3 - Sistemas produtores de tempo que influenciam as chuvas no Maranhão: a) ZCAS, b) ZCIT, c) VCAN e d) Ondas de Leste 30
Figura 2.4 - Distribuição espacial da precipitação anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 32
Figura 2.5 - Distribuição espacial da temperatura média do ar anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 34
Figura 2.6 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 36
Figura 2.7 - Distribuição espacial dos componentes de excesso hídrico anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 38
Figura 2.8 - Distribuição espacial dos componentes de deficiência hídrica anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 39
Figura 2.9 - Classificação espacial da erosividade anual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 41
Figura 2.10 - Distribuição espacial do índice de aridez anual nos Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 43
Figura 2.11 - Estação de crescimento no início do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 45
Figura 2.12 - Estação de crescimento no fim do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 46
Figura 2.13 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de outubro 49
Figura 2.14 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de novembro 50
Figura 2.15 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de dezembro 51
Figura 2.16 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de janeiro 52
Figura 2.17 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de fevereiro 53
Figura 2.18 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em outubro 55
Figura 2.19 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em novembro 56
Figura 2.20 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em dezembro 57
Figura 2.21 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em janeiro 58
Figura 2.22 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em fevereiro 59
Figura 2.23 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em março 60
Figura 2.24 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em outubro 62
Figura 2.25 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em novembro 63
Figura 2.26 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em dezembro 64
Figura 2.27 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em janeiro 65
Figura 2.28 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em fevereiro 66
Figura 2.29 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em março 67
Figura 2.30 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em outubro 69
Figura 2.31 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em novembro 70

Figura 2.32 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em dezembro .71
Figura 2.33 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em janeiro 72
Figura 2.34 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em fevereiro ...73
Figura 2.35 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em março 74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 2.1 - Variáveis utilizadas no diagnóstico e quantitativo de mapas gerados 26

Gráfico 2.1 - Exemplo da análise de consistência para localidade chapadinha na região homogênea do Baixo Parnaíba.....28

Quadro 2.1 - Percentual de área favorável (menor risco climático) ao plantio das culturas de sequeiro em relação à área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão 68

1 INTRODUÇÃO

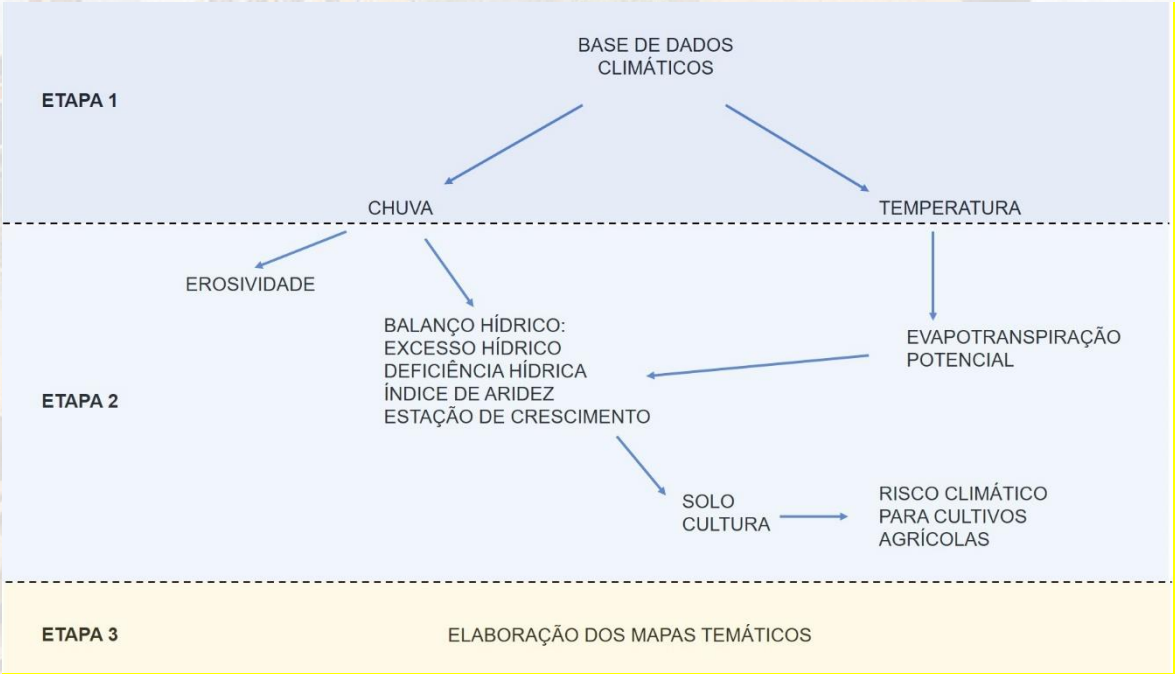
O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão compreendem uma área de transição climática entre o Bioma Amazônico e o Bioma Caatinga. Suas posições geográficas favorecem a atuação de diferentes sistemas meteorológicos produtores de chuvas, que aliados às características fisiográficas contribuem para a definição dos padrões climáticos observados.

A compreensão da variabilidade espaço-temporal de variáveis climáticas é essencial para avaliar determinadas características dos ecossistemas existentes sobre a região, suas potencialidades e vulnerabilidades. Nesse sentido, realizou-se o levantamento e a análise das fontes de dados meteorológicos observados, tais como precipitação pluvial e temperatura do ar. A partir dessas observações foram aplicados métodos para a construção de indicadores climáticos que permitem avaliar as condições de vulnerabilidade às quais o Bioma está submetido, quais sejam: evapotranspiração potencial - importante na avaliação da demanda atmosférica e para estabelecer as condições climáticas; a Erosividade provocada pelas chuvas, para avaliar as áreas potencialmente favoráveis à erosão; as condições de aridez, como subsídio para avaliar o estado da vegetação, do solo e a suscetibilidade à processos de desertificação; o balanço hídrico climático para a avaliação das condições hídricas fundamentais à manutenção dos ecossistemas existentes, bem como o balanço hídrico para fins agrícolas, utilizados na avaliação dos riscos climáticos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades para a elaboração do diagnóstico climático do Bioma foram definidas em 3 etapas, conforme mostrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Fluxograma metodológico das etapas para caracterização climática do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: Elaboração própria (2021).

A etapa 1 teve como objetivo organizar uma base de dados climáticos consistentes para os estudos diagnósticos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão.

A partir dos acervos de dados da Agência Nacional de Águas-ANA e do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, foram adquiridos os dados climáticos referentes aos elementos precipitação pluvial e temperatura média do ar, respectivamente, em escala de tempo mensal e para um período de 30 anos (1987-2016).

Os dados de precipitação pluvial foram submetidos à análise no sentido de identificar falhas e inconsistências. As falhas nos dados referentes aos meses sem observação foram preenchidas pelo método da ponderação regional e a análise de consistência, pelo método da dupla massa.

Na etapa 2, a partir dos dados básicos supracitados, foram determinados indicadores climáticos para a avaliação da erosividade promovida pelas chuvas (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992), da aridez (THORNTHWAITE; HOLZMAN, 1941; PENMAN, 1953), os períodos de excesso e deficiência de água para avaliação climática a partir do método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), sendo utilizada a Capacidade de Água Disponível de 100mm. O Índice de Satisfação das Necessidades de Água-ISNA, determinado pelo programa SARRAZON (Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos) segundo Baron et. al. (2006), foi utilizado na avaliação da disponibilidade hídrica em cultivos agrícolas, para a identificação das áreas favoráveis ao plantio com minimização de risco de perdas agrícolas. Nesta etapa foi constituída a matriz final de dados para a elaboração dos mapas

temáticos, desenvolvidos na etapa 3.

Na etapa 3, foram elaborados mapas trimestrais e anuais, com o propósito de avaliar a sazonalidade espacial trimestral e a variabilidade espacial anual das variáveis supracitadas. Para a elaboração dos mapas temáticos das referidas variáveis foi utilizado o software Surfer 17.0. Foram elaborados um total de 63 mapas, distribuídos de acordo com a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Variáveis utilizadas no diagnóstico e quantitativo de mapas gerados

Variável	Quantitativo de mapas
Precipitação Pluvial	05
Temperatura do ar	05
Evapotranspiração Potencial	05
Excesso Hídrico	05
Deficiência Hídrica	05
Índice de Aridez	01
Índice de Erosividade das Chuvas	05
Índice de Satisfação das Necessidade de Água para cultivos agrícolas	32
TOTAL	63

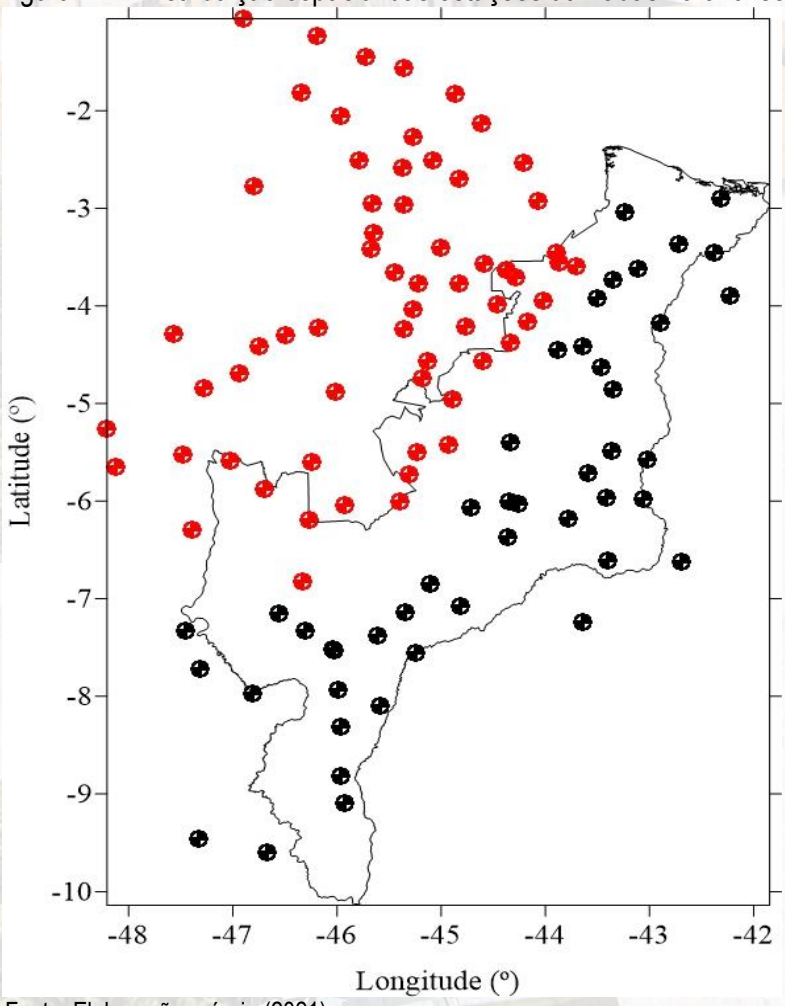
Fonte: Elaboração própria (2021)

3 RESULTADOS

3.1 Aquisição de dados climáticos, análise e cálculos de indicadores climáticos

Após a obtenção dos dados foram selecionadas 52 estações meteorológicas, dentre as quais 46, depois de avaliadas e analisadas, foram utilizadas no estudo (Figura 2.2). Ressalta-se que os dados relativos a estações localizadas no Bioma Amazônico no estado do Maranhão, também identificados na Figura 2.1, foram incorporados posteriormente à base do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro totalizando 108 estações meteorológicas, além de algumas estações nos estados do Piauí e Tocantins.

Figura 2.2 - Distribuição espacial das estações utilizadas na análise



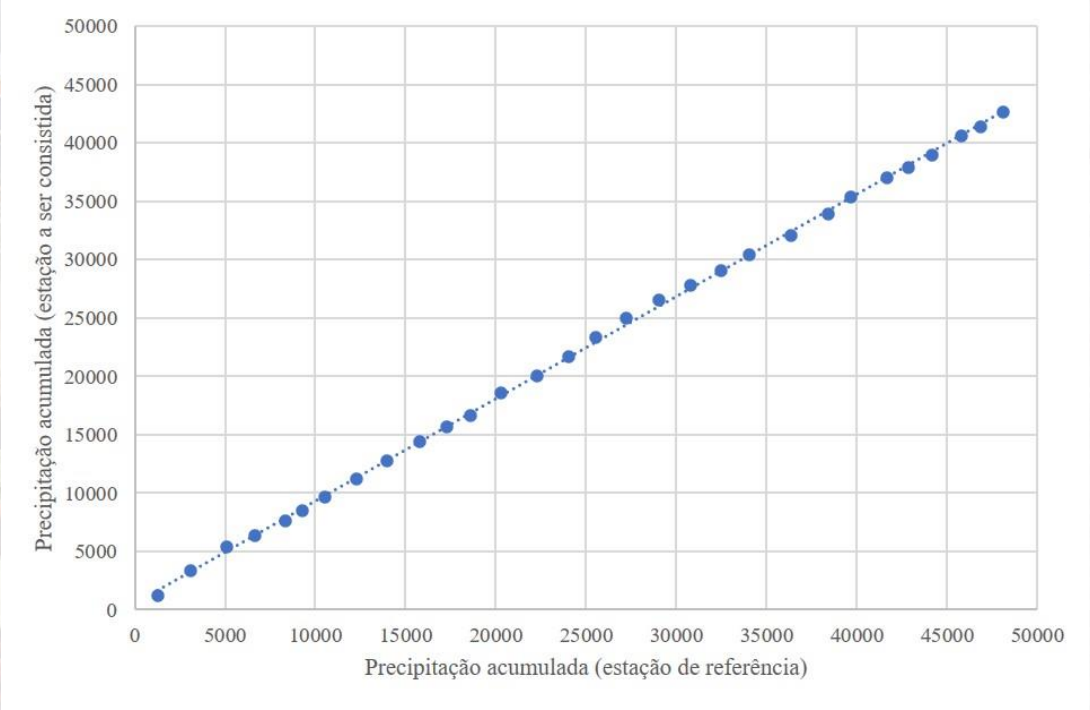
Fonte: Elaboração própria (2021)

As análises consistiram inicialmente na identificação de dados faltosos e verificação de consistência. As estações de coleta dos dados meteorológicos foram distribuídas de acordo com as regiões homogêneas de precipitação (MENEZES, 2009) localizadas dentro dos limites geográficos do bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão, sendo identificada 9 estações na região do Baixo Parnaíba, 4 na região dos Cocais, 14 na região da Chapada do Alto Itapecuru, 5 na região das Chapadas das Mangabeiras e 14 na região de Gerais de Balsas, totalizando 46 estações.

Para cada uma das regiões foram identificadas as falhas nos dados e na sequência feito a reconstrução da base de dados. Após o preenchimento de falhas, foram analisadas possíveis inconsistência nos dados, não sendo identificados problemas que inviabilizasse seu uso.

No Gráfico 2.1, tem-se um exemplo da análise de consistência realizada para a estação de Chapadinha (estação a ser consistida), tendo como estação de referência a de Esperantina, na região homogênea de precipitação do Baixo Parnaíba maranhense. A condição é que os pontos sejam alinhados, conforme Gráfico 2.1, o que indica que os dados se encontram consistidos. Este teste foi aplicado em todas a estações para avaliar o nível de consistência dos dados.

Gráfico 2.1 - Exemplo da análise de consistência para localidade chapadinha na região homogênea do Baixo Parnaíba



Fonte: Elaboração própria (2021)

Na etapa 2, os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar foram utilizados na determinação dos indicadores de erosividade das chuvas, aridez, disponibilidade hídrica (excesso e deficiência de água no solo) e disponibilidade hídrica para cultivos agrícolas (Índice de Satisfação das Necessidades de Água-ISNA) para avaliação do risco climático.

Por fim, na etapa 3, foram elaborados os mapas temáticos que serviram de base para o diagnóstico climático, no sentido de analisar a dinâmica climática do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão sob uma visão geográfica, de forma a entender a interrelação com as características dos ecossistemas existentes na região.

3.2 Mapas temáticos

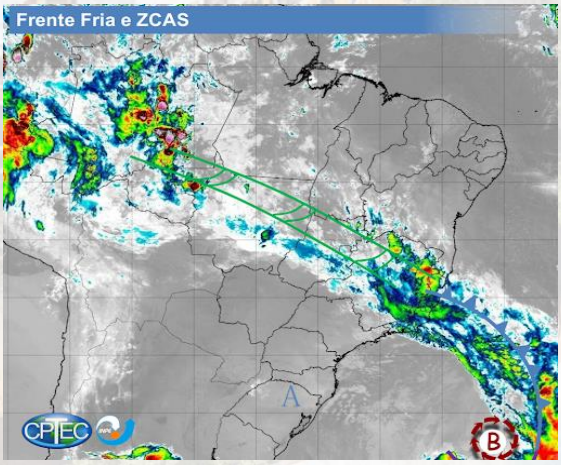
3.2.1 Precipitação Pluvial

A precipitação pluvial sobre a região de domínio do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão apresenta variabilidade espacial consistente com a atuação dos diferentes sistemas produtores de chuvas durante o ano.

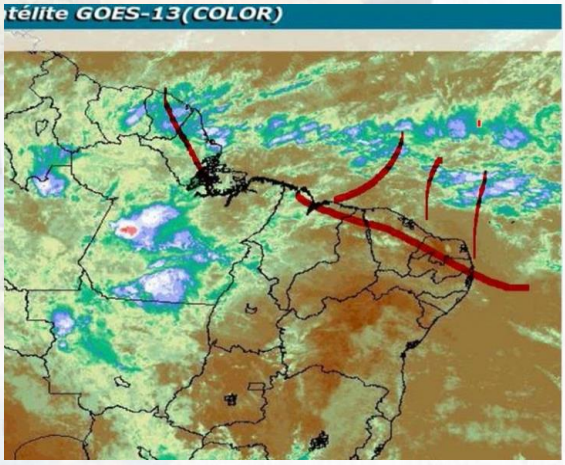
O Bioma encontra-se posicionado geograficamente entre dois principais sistemas produtores de chuvas. A porção Sul apresenta regime de chuvas influenciado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (Figura 2.3a), que contribuem para os eventos de chuvas que ocorrem a partir de outubro até o mês de abril. Por outro lado, na porção Norte, os eventos de chuvas só começam a partir de dezembro com término em julho, neste caso, condicionado, principalmente, pela atuação da Zona de Convergência Intertropical-ZCIT (Figura 2.3b), principal sistema produtor de chuvas nesta porção da região nos meses de fevereiro a maio.

Aliado a esses sistemas, estão os chamados sistemas transientes, que apresentam tempo de duração mais curto entre a formação e dissipação, como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis-VCAN (Figura 2.3c), e os distúrbios ondulatórios de leste, conhecidos como ondas de leste (Figura 2.3d). O VCAN é importante para estabelecer a distribuição espacial e temporal das chuvas durante os meses de dezembro e janeiro, meses de maior incidência desse sistema, os quais são considerados da pré-estação chuvosa da porção Norte e da estação chuvosa da porção Sul do bioma, uma vez que podem induzir áreas de instabilidades e ocorrências de chuvas ou inibir as atividades convectivas, reduzindo consideravelmente as chuvas.

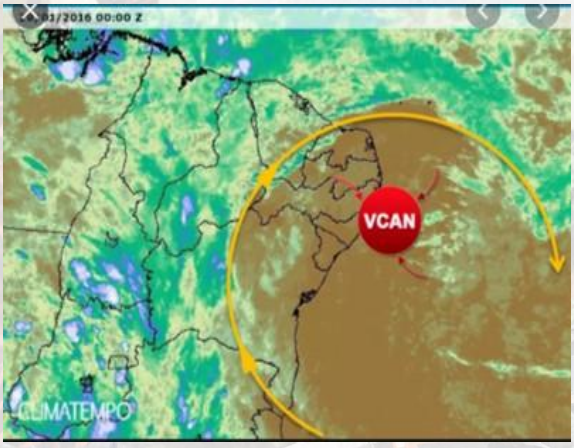
Figura 2.3 - Sistemas produtores de tempo que influenciam as chuvas no Maranhão: a) ZCAS, b) ZCIT, c) VCAN e d) Ondas de Leste



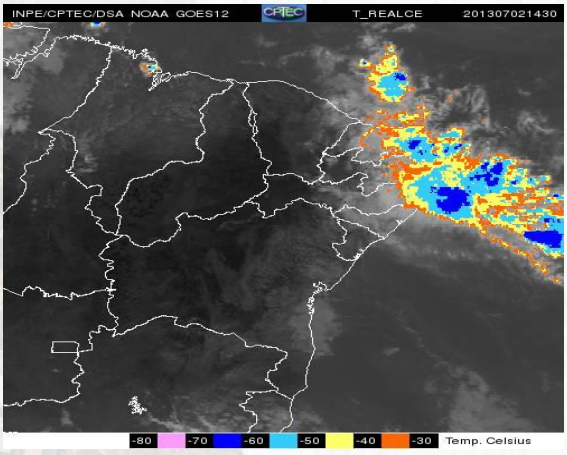
a)



b)



c)



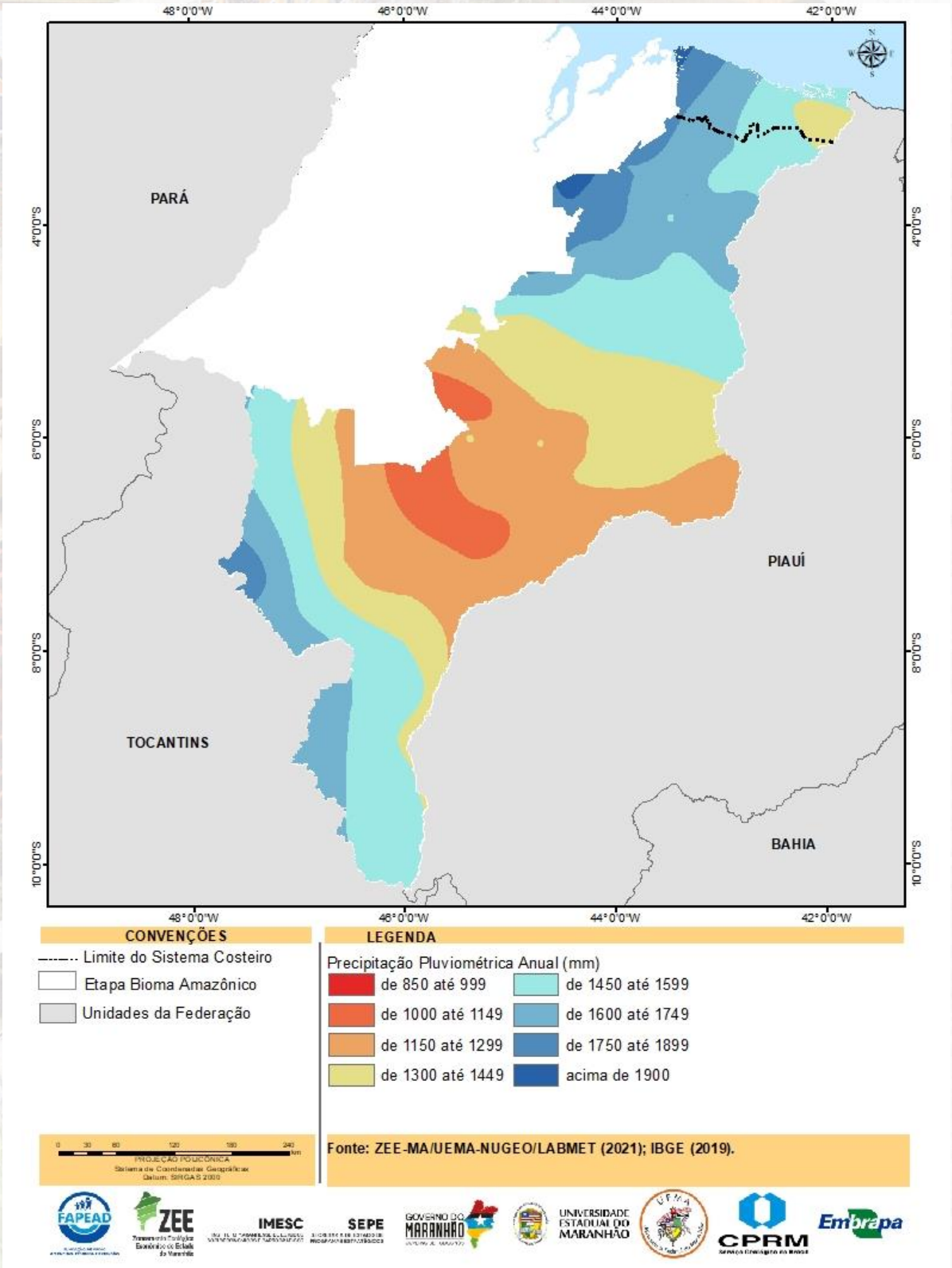
d)

Ressalta-se que as chuvas da pré-estação da porção Norte servem para o restabelecimento das condições hídricas depois de um longo período de estiagem e marcam, também, o início das atividades agrícolas da região. Por outro lado, para a porção Sul do bioma cerrado, nos meses acima referidos, o período chuvoso já está estabelecido, e dependendo da posição do VCAN poderá inibir as chuvas, promovendo longos períodos de estiagem, conhecido como veranicos, que podem comprometer a produção de grãos na região, uma vez que as culturas se encontram no período do ciclo produtivo de maior exigência hídrica. As ondas de leste, por outro lado, condicionam as chuvas pós estação chuvosa do bioma, principalmente nos meses de junho e julho na porção Norte que compreende a região costeira.

A Figura 2.4 mostra a distribuição espacial anual das chuvas na área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão. Destaca-se uma área de transição entre as chuvas da porção Sul e Norte do Bioma, localizada na porção Central, onde se concentram os menores volumes de chuvas

anuais, entre 850 mm e 1150 mm. Esta é uma área que exige atenção, pois o baixo volume de chuvas não atende à demanda estabelecida pela evapotranspiração potencial o que reflete na disponibilidade de água para a manutenção do ecossistema existente nessa porção do Bioma. No Litoral Oriental, mais especificamente, na região do Baixo Parnaíba Maranhense, observa-se áreas com totais anuais de chuva entre 1150 mm e 1450 mm. As áreas que recebem um maior volume de chuvas se concentram no extremo Sul, acima de 1450 mm e no extremo Norte, acima de 1600 mm anuais.

Figura 2.4 - Distribuição espacial da precipitação anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

Ressalta-se que os padrões normais de precipitação apresentados nesse diagnóstico, bem como os indicadores analisados, e que de alguma forma estão associados ao regime de chuvas, estão sujeitos a alterações devido à variabilidade interanual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão, que normalmente está condicionada aos padrões de aquecimento das águas dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical.

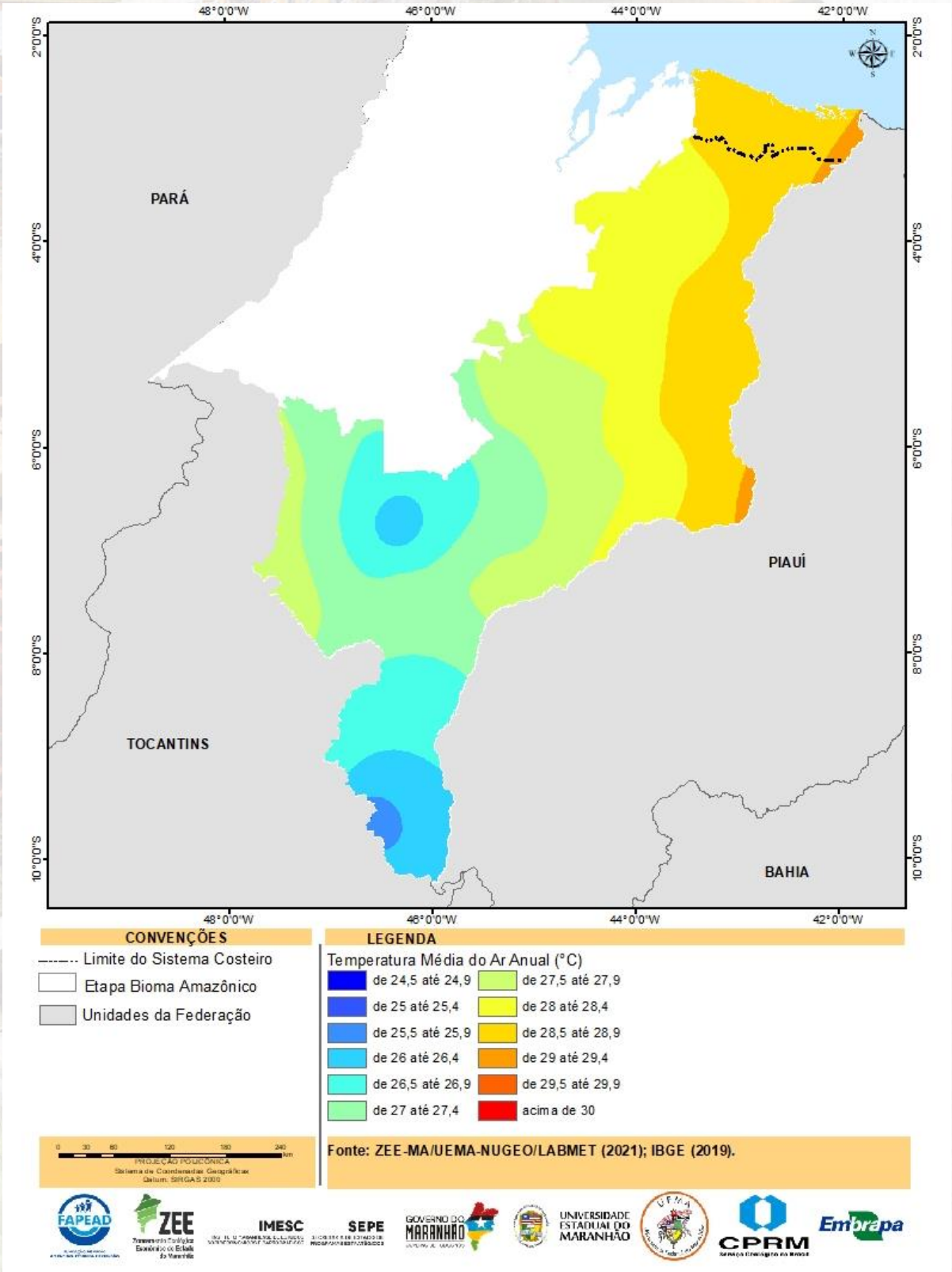
Os anos considerados secos, normalmente, estão associados ao aquecimento das águas do Pacífico Tropical e ao aquecimento das águas do Atlântico Norte, enquanto os anos chuvosos estão relacionados ao resfriamento das águas na região supracitada e ao aquecimento das águas do Atlântico Sul. Esses padrões de aquecimento e resfriamento das águas nos oceanos citados acima contribuem para mudanças no padrão da circulação global, o que explica as mudanças observadas no regime de chuvas da região, pois os principais sistemas produtores de chuvas estão ligados a essa circulação.

3.2.2 Temperatura do ar

O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão, por estar localizado na faixa intertropical, apresenta grande incidência de radiação solar e longos períodos de insolação anualmente, o que contribui para as altas temperaturas do ar observadas. Porém a sazonalidade da temperatura média do ar, não mostrada, depende do regime de chuvas, cujos maiores valores se concentram durante o período considerado seco, que no Sul corresponde ao trimestre julho-agosto-setembro, e no Norte ao trimestre agosto-setembro-outubro, proporcionado pela redução da nebulosidade e aumento da radiação solar incidentes na superfície. Por outro lado, durante o período chuvoso, o aumento da nebulosidade reduz a incidência da radiação solar direta na superfície, que aliado às frequentes ocorrências de chuvas, promovem a redução da temperatura do ar. Na porção Norte, essa condição predomina entre os meses de janeiro a julho e, na porção Sul, entre os meses de outubro a abril.

Portanto, a sazonalidade espacial da temperatura do ar sobre a área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão segue a sazonalidade característica do regime de chuvas. A Figura 2.5 mostra a distribuição espacial da temperatura média do ar anual sobre a área que compreende o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão. Se observa que anualmente as temperaturas médias do ar mais elevadas se concentram na porção Leste da região, estendendo-se até a porção costeira do Bioma, com valores acima de 28ºC, por outro lado, no Sul da região, os valores ficam em torno de 25ºC, mostrando claramente a influência do relevo.

Figura 2.5 - Distribuição espacial da temperatura média do ar anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



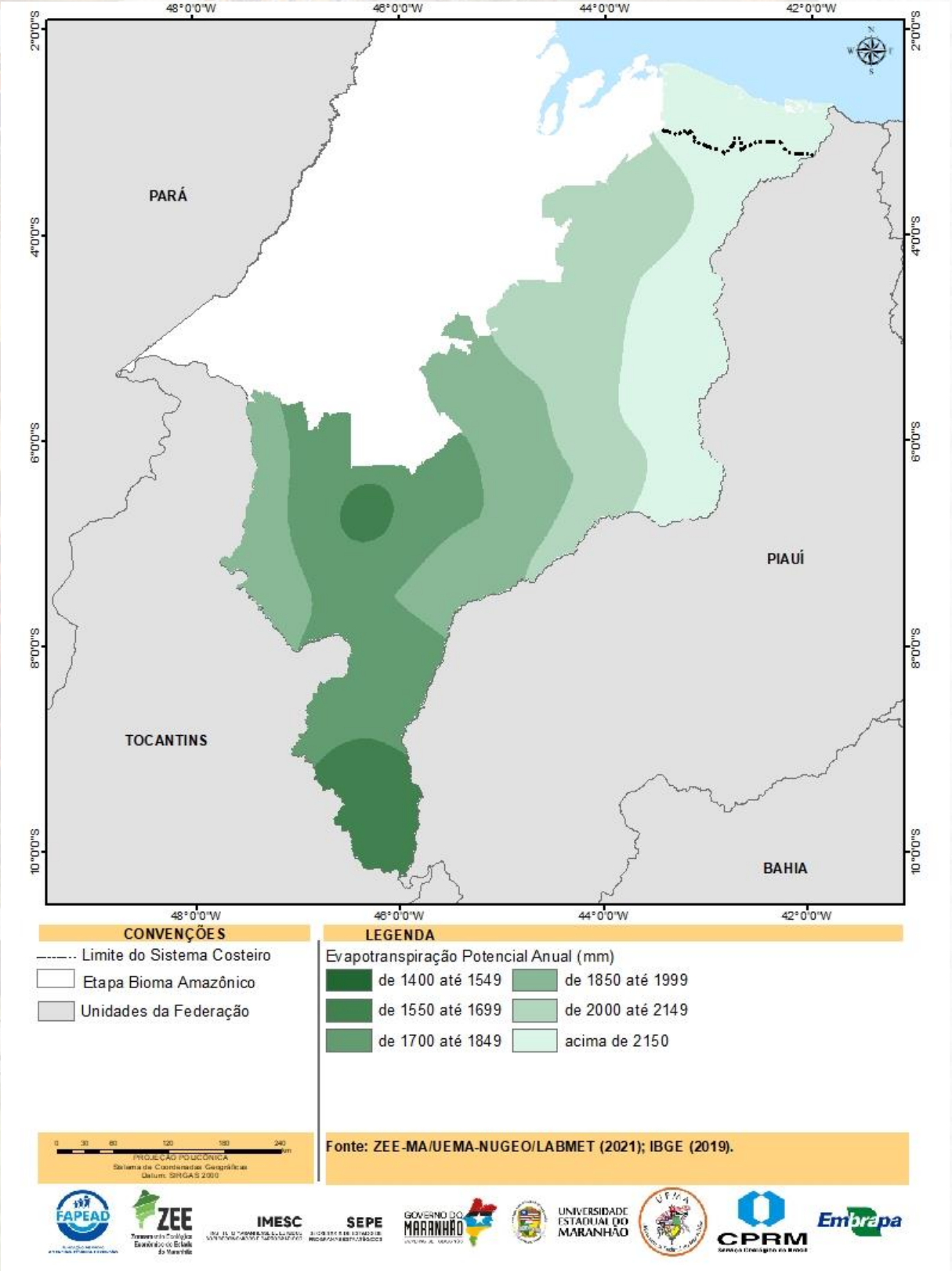
Fonte: ZEE (2021)

3.2.3 Evapotranspiração potencial

Os Valores normalmente elevados de temperatura do ar, em decorrência da intensa radiação solar e insolação, contribuem para as taxas elevadas de evapotranspiração observada sobre a região, o que condiciona, o predomínio de clima subúmido seco, e áreas com tipo climático seco subúmido, principalmente na porção Sudeste. Essa condição ocorre em virtude de os totais de chuvas, que ocorrem ao longo da região, não atenderem à demanda exigida pela evapotranspiração potencial, o que promove restrição hídrica e deixa a região em condições de vulnerabilidade a aridez e a processos de desertificação.

Conforme identificado na Figura 2.6, as perdas anuais de água por evapotranspiração são elevadas, variam entre 1400 mm a 2150 mm, sendo os menores valores concentrados no extremo Sul e os maiores valores no Leste da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão, sendo condizente com o padrão térmico observado.

Figura 2.6 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

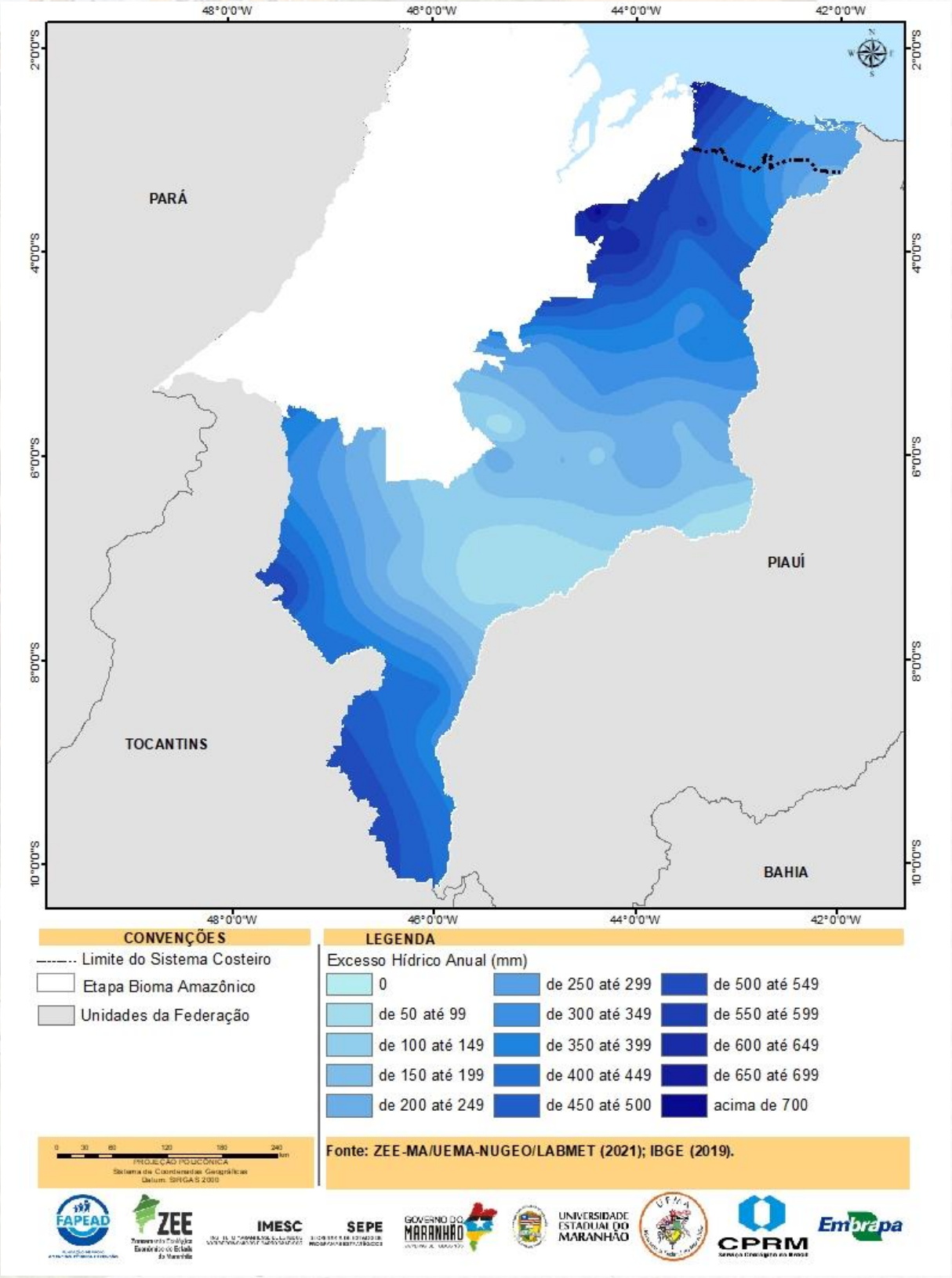
3.2.4 Excesso e deficiência hídrica

O aumento da demanda hídrica, estabelecida pela evapotranspiração em decorrência das altas temperaturas observadas na região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão, e a falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos trazem impactos ambientais e afetam determinadas atividades que dependem da disponibilidade hídrica. Portanto, a disponibilidade hídrica reflete nas características climáticas, sendo de grande importância para a produção de alimentos e para a manutenção dos ecossistemas existentes na região.

O balanço hídrico climático, utilizado na caracterização climática regional, é o resultado do processo de interação solo-planta-atmosfera e importante para comparar e identificar os períodos de excesso (úmido) ou deficiência de água (seco), fundamental para o planejamento agrícola, identificação de áreas aptas ou inaptas para o cultivo de determinadas culturas, determinação de épocas para a implantação dos cultivos agrícolas, escolha do sistema de cultivo a ser adotado (sequeiro ou irrigado), e ainda para elaboração de estudos hidrológicos.

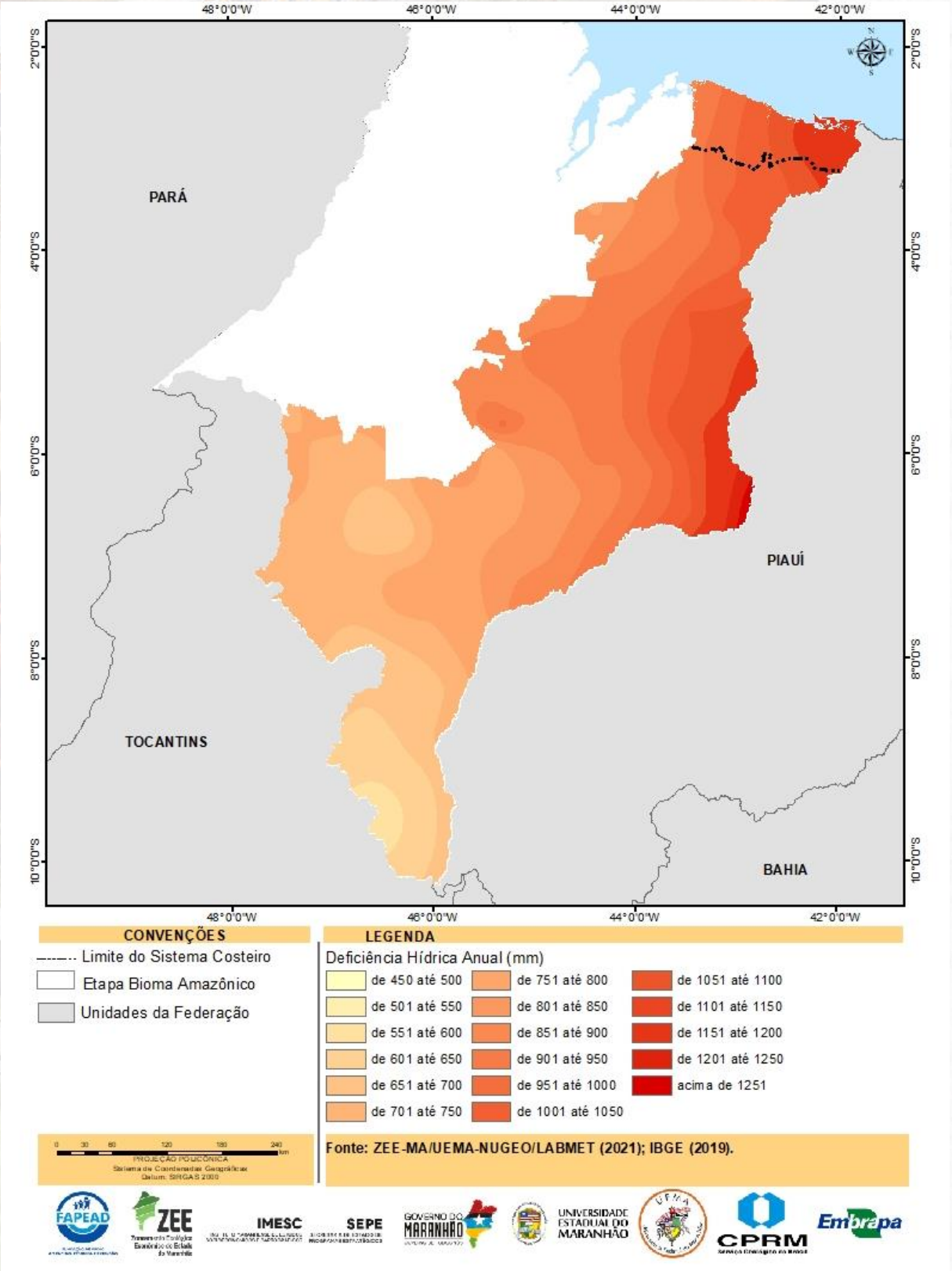
O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão apresenta os maiores volumes de excesso hídrico anual concentrados no Norte e Sul/Sudoeste e os menores concentrados na porção Sudeste da região, conforme observado na Figura 2.7. Devido à distribuição espacial das chuvas ser irregular sobre a área do bioma, observa-se uma sazonalidade, não mostrada, em que no Norte, os excessos hídricos se concentram nos dois trimestres do ano, enquanto no Sul, o excesso ocorre entre os meses de outubro a abril. Por outro lado, a deficiência hídrica anual é mais acentuada no leste da região, reduzindo para o sul/sudoeste, como observado na Figura 2.8.

Figura 2.7 - Distribuição espacial dos componentes de excesso hídrico anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.8 - Distribuição espacial dos componentes de deficiência hídrica anual no Bioma Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

3.2.5 Erosividade das chuvas

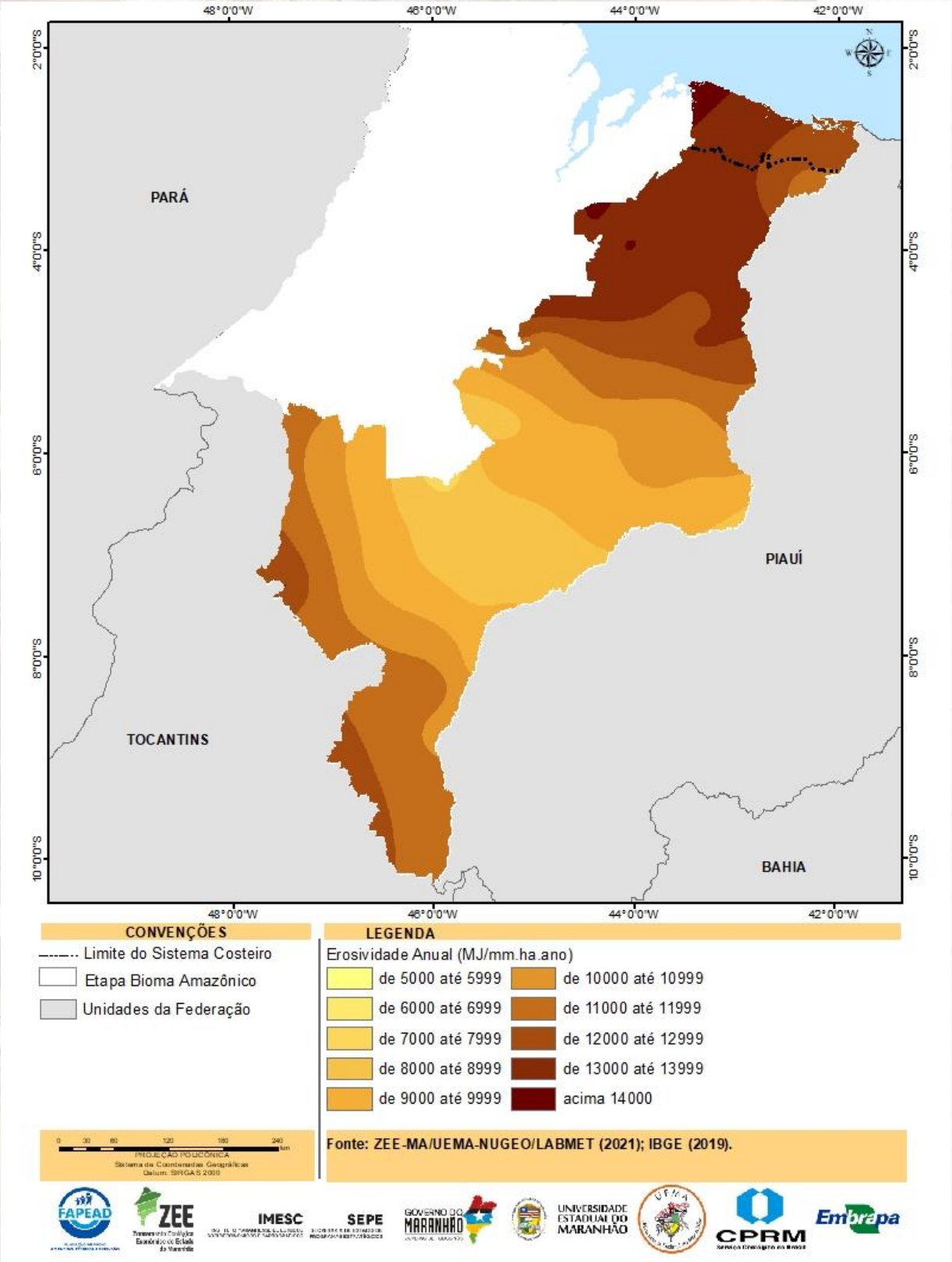
Com relação à erosividade anual das chuvas (Figura 2.9) observa-se maior suscetibilidade à erosão principalmente na parte Norte do Bioma, e menor, na porção sudeste e sul da região. O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Maranhão está sujeito à atuação de sistemas convectivos que são responsáveis por ocorrências de chuvas intensas, com grandes volumes concentrados em um tempo muito curto, o que gera impacto no solo e consequentemente suscetibilidade à erosão.

Na porção Norte da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão observa-se potencial de erosividade muito forte. Nos outros setores da região do bioma a erosividade varia de forte à moderada. Portanto, o estudo da erosividade do solo é fundamental para o planejamento, visando a conservação do solo da região.

Em função da variabilidade espacial das chuvas, observa-se uma sazonalidade da erosividade, não evidenciada na Figura 2.9. Na porção Norte do Bioma, a suscetibilidade à erosividade é maior entre os meses de fevereiro a maio, e menor, entre agosto e novembro. Enquanto na porção Sul, a suscetibilidade à erosividade é maior entre os meses de novembro a fevereiro, e menor, entre maio e setembro.

Ressalta-se que a erosividade elevada não está, necessariamente, relacionada ao total de chuvas, mas sim à intensidade dessas chuvas. As características das chuvas observadas sobre o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão são normalmente do tipo convectivas, que além de favorecer elevados volumes de chuvas, ocorrem de forma concentrada e em grande intensidade, gerando, consequentemente, energia cinética suficiente para a ocorrência de processos erosivos no solo.

Figura 2.9 - Classificação espacial da erosividade anual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

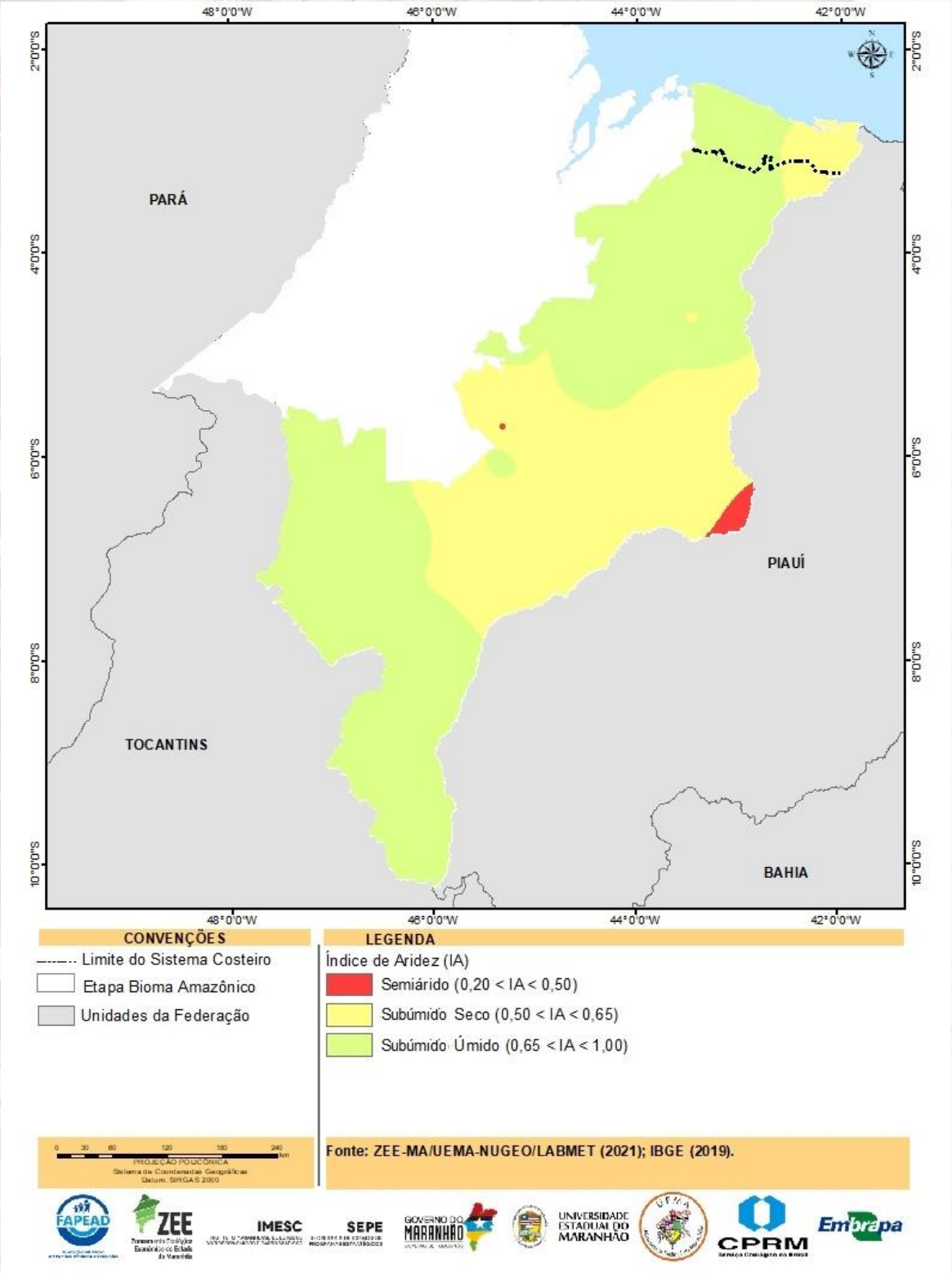
3.2.6 Índice de Aridez

O índice de aridez é importante indicador não apenas de área em que predominam condições áridas ou semiáridas, como também em estudos de desertificação. Observa-se, conforme mostrado na Figura 2.10, que parte da região do bioma, que envolve áreas na porção Norte e Sul/Sudoeste, apresenta índice de aridez acima 0,65, consideradas as áreas menos suscetíveis à desertificação e classificadas como Subúmido Úmido.

Por outro lado, as áreas localizadas na porção sudeste e na região do Baixo Parnaíba maranhense são caraterizadas como Subúmido Seco. Na região da Chapada do Alto Itapecuru, no sudeste da região do bioma, há ocorrência de Semiárido, com valores do índice de aridez variando entre 0,2 e 0,5.

Ressalta-se que existem outros fatores que indicam a suscetibilidade à desertificação de uma região, porém o índice de aridez pode ser um indicativo, pois utiliza em sua contabilização variáveis quantitativas que expressam as condições climáticas predominantes.

Figura 2.10 - Distribuição espacial do índice de aridez anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

3.2.7 Risco climático para plantio de cultivos agrícolas

Os estudos agroclimáticos aplicados para avaliação ou identificação de áreas apropriadas ao plantio, que atendem às exigências das culturas, são importantes para a política agrícola e gerenciamento dos riscos associados às atividades agrícolas, pois servem para orientar o agricultor com relação às melhores datas de plantio, com vista à redução de perdas de produtividade. Porém, pode ir mais além, nos estudos ambientais relacionados à proteção do solo e ao uso apropriado das terras, evitando exploração indevida.

Nos resultados apresentados a seguir, com relação às áreas identificadas como favoráveis ao plantio com menor risco climático, não são recomendadas para nenhum tipo de sistema de produção agrícola, áreas de preservação obrigatória com declividade superior a 45% ou solos pedregosos com declives acima de 20% e solos com menos de 50cm de profundidade. Os resultados são válidos apenas para as áreas com solos de textura média.

3.2.7.1 Estação de crescimento

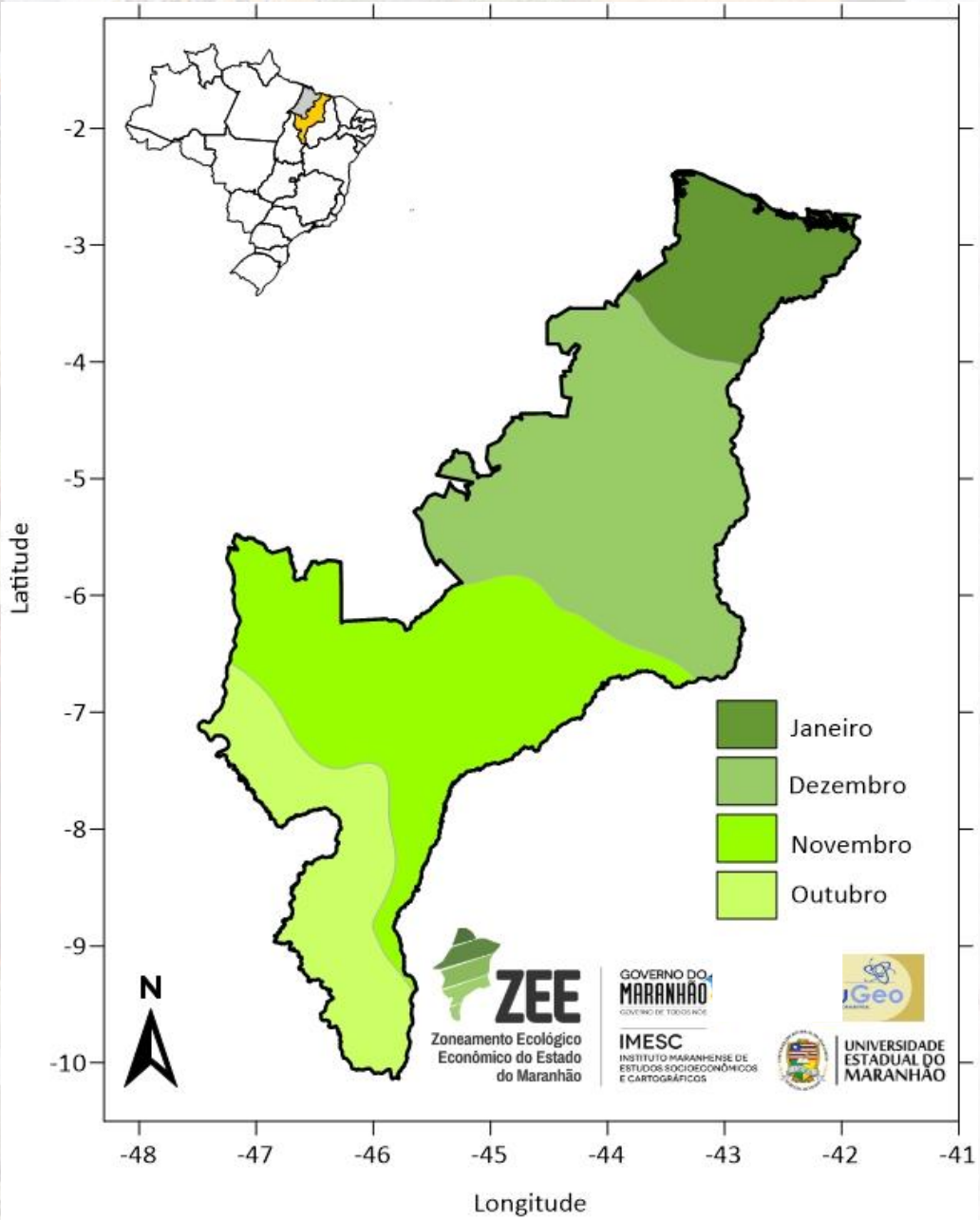
A estação de crescimento no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão se concentra entre os meses de outubro e junho, que representa o período de disponibilidade hídrica para o crescimento e o desenvolvimento da vegetação e dos cultivos agrícolas das culturas de sequeiro.

A distribuição espacial dos meses de início e fim das chuvas estão representadas nas Figuras 2.11 e 2.12, respectivamente. As chuvas começam, efetivamente, no mês de outubro, no extremo Sul do Bioma e avançam nos meses seguintes pela região em direção ao setor Norte, no qual só começam a partir de janeiro, conforme mostrado na Figura 2.11. Por outro lado, em maio, finaliza o período chuvoso no setor Sul do Bioma, enquanto no setor Norte, o fim do período chuvoso se estende até junho/julho, conforme visto na Figura 2.12. A duração da estação chuvosa na área do Bioma varia entre 6 e 7 meses.

A evolução das chuvas, bem como sua distribuição espacial, observada sobre a área do Bioma está associada à sua localização geográfica, extensão territorial, principalmente no sentido latitudinal e à incursão de diferentes sistemas produtores de tempo, que atuam anualmente sobre a região e em épocas específicas.

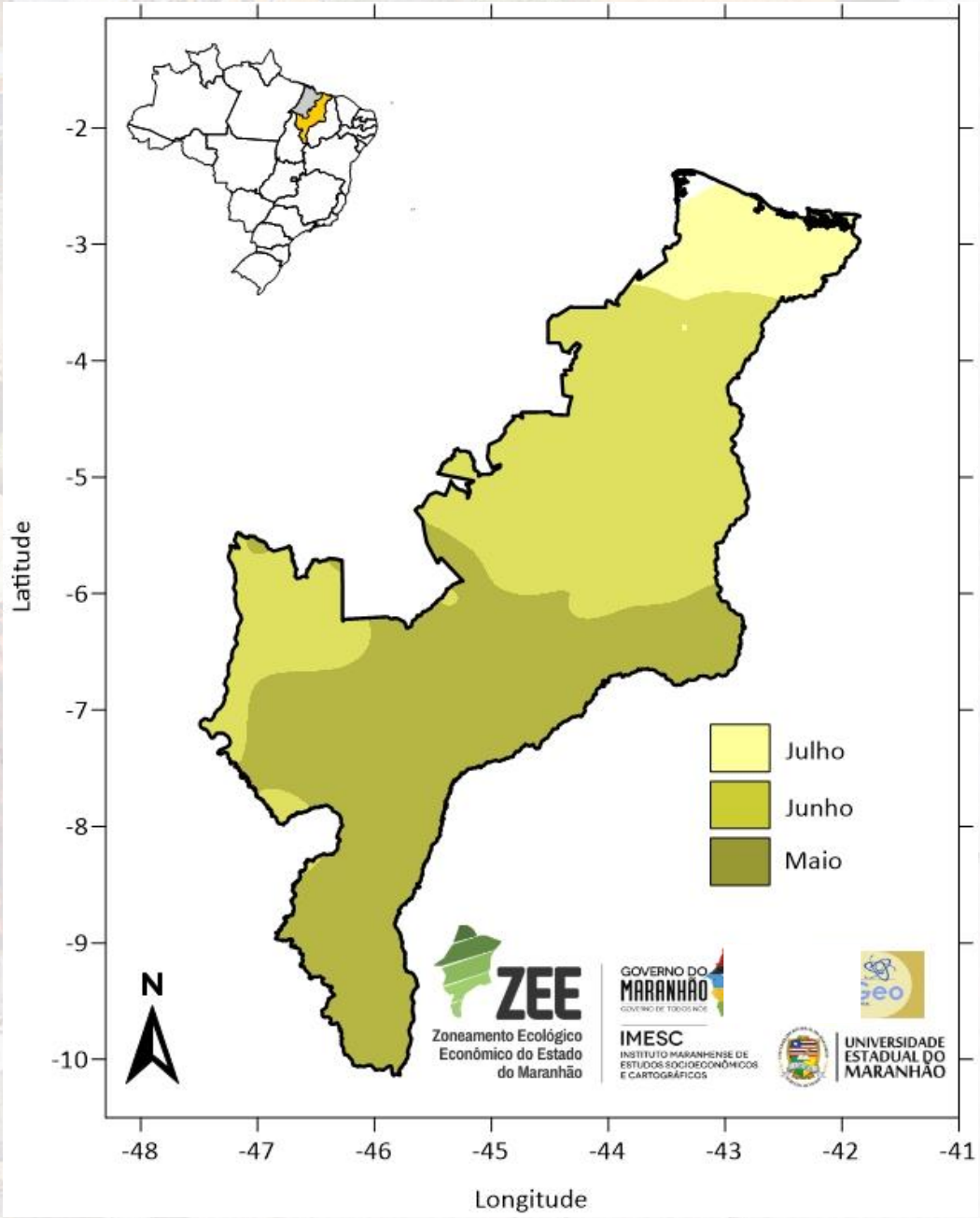
Por essa razão, a avaliação da aptidão agroclimática para a identificação das áreas de menor risco para plantio das culturas de sequeiro ficaram concentradas entre os meses de outubro e maio, cobrindo dessa forma todo o período de chuvas da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão.

Figura 2.11 - Estação de crescimento no início do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.12 - Estação de crescimento no fim do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

3.2.7.2 Áreas com menor risco climático para o plantio

As áreas com aptidão plena para o plantio das culturas analisadas correspondem às áreas onde a disponibilidade hídrica seja satisfatória na fase I – semeadura a emergência e fase III - Floração e enchimento dos grãos, simultaneamente. São áreas com baixo risco climático, onde os cultivos podem ser realizados com menor risco de quebra de safra de acordo com o mês de plantio.

3.2.7.3 Arroz de sequeiro

As áreas de aptidão plena com redução de risco de perdas para os cultivos de sequeiro acompanham a evolução das chuvas no Bioma. Para plantio realizado na primeira quinzena de outubro (Figura 2.13), apenas uma área centrada em uma faixa entre 6,5º e 8,5º de latitude Sul e de 4,5º e 47,5º de longitude Oeste se apresenta favorável, com aptidão plena com relação à disponibilidade hídrica no plantio e na fase de floração e enchimento dos grãos.

Para plantios realizados na primeira quinzena de novembro (Figura 2.14) as áreas favoráveis que apresentam aptidão plenamente para o cultivo do arroz de sequeiro com baixo risco abrangem principalmente uma faixa compreendida entre 6º e 10º de latitude Sul e 43º e 46,5º de longitude Oeste, nessas áreas as necessidades hídricas da cultura do arroz de sequeiro são atendidas na fase inicial e floração/enchimento dos grãos.

Com a evolução das chuvas em direção ao setor Norte do Bioma as áreas com aptidão plena para o plantio do arroz de sequeiro vão ampliando. Para o plantio na primeira quinzena de dezembro, Figura 2.15, se observa aptidão plena acima de 4º de latitude Sul, em que as necessidades hídricas para o cultivo do arroz com baixo risco de perdas são atendidas, principalmente nas duas fases principais do ciclo produtivo, semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos.

Na primeira quinzena de janeiro as chuvas já se encontram estabelecidas sobre toda a região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão, com aptidão plena para o plantio do arroz de sequeiro (Figura 2.16), com exceção de algumas áreas no Centro Sul do bioma, onde há restrição hídrica durante a fase de floração e enchimento dos grãos. Em função da irregularidade dos sistemas produtores de chuvas que afetam essa região, a ocorrência de veranicos geralmente afeta a disponibilidade hídrica nessa fase do ciclo, o que compromete o desenvolvimento/crescimento da cultura, uma vez que essa é fase mais importante, quando não pode haver restrição hídrica.

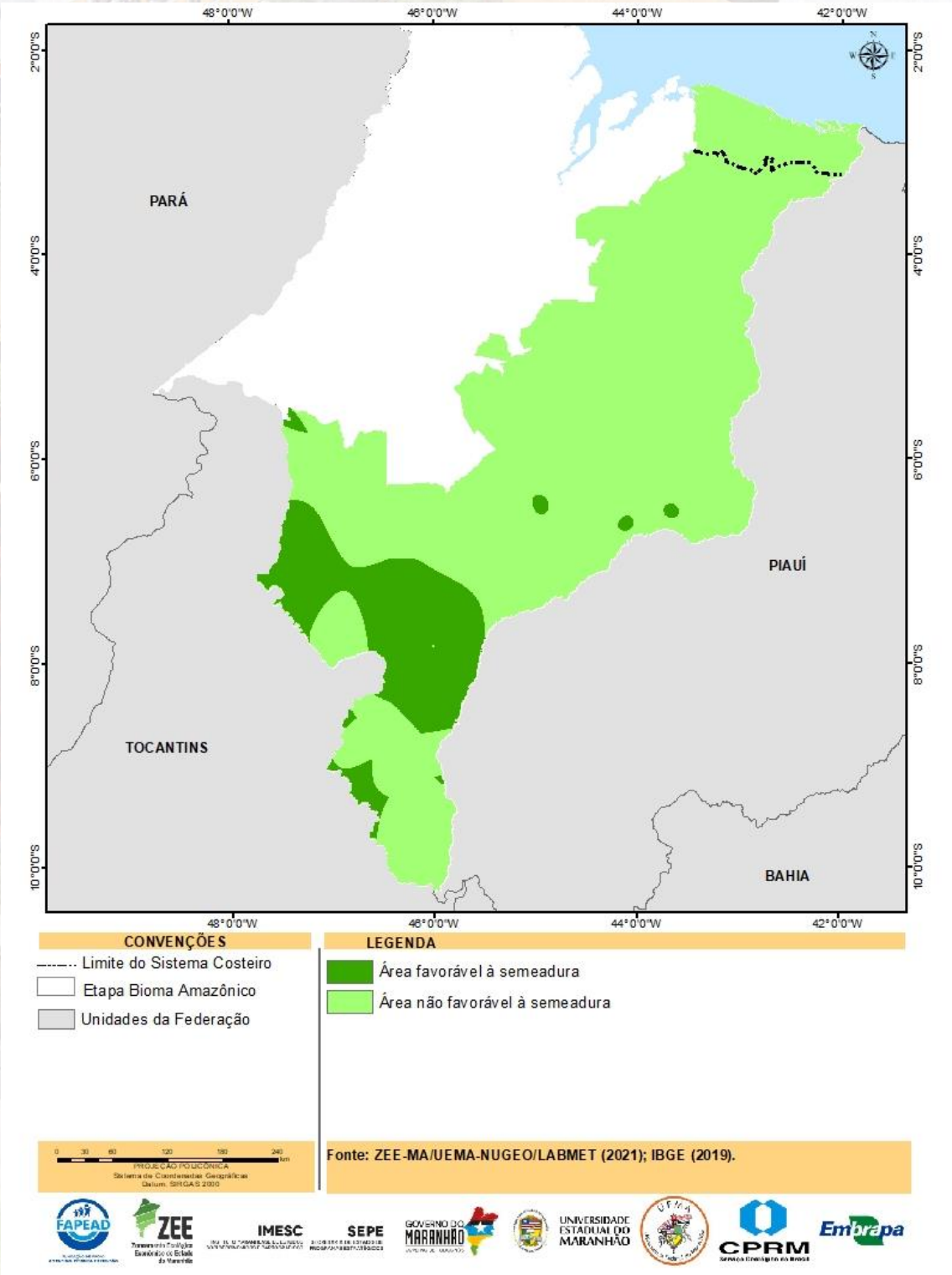
A aptidão agroclimática para plantios realizados a partir de fevereiro, no Centro-Sul do Bioma, conforme mostrado na Figura 2.17, sofre restrição devido à redução das chuvas na fase de floração e enchimento dos grãos, principalmente em uma ampla faixa acima de 4º de latitude sul, muito embora

haja disponibilidade hídrica para o plantio. Para essas áreas é recomendado o plantio safrinha (segunda safra), uma vez que ainda há disponibilidade hídrica no solo para o cultivo com ciclo mais curto.

Por outro lado, no setor Norte, abaixo de 4º de latitude Sul, Figura 2.17, o plantio é recomendado em fevereiro, uma vez que há disponibilidade hídrica nas duas fases importantes do ciclo produtivo do arroz de sequeiro, ou seja, semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos. Neste setor, o período de chuvas ainda se prolonga até junho/julho. Nas outras áreas do Bioma não é recomendado o plantio, pois, muito embora haja disponibilidade hídrica para o plantio, não haverá a mesma disponibilidade na fase de floração e de enchimento dos grãos.

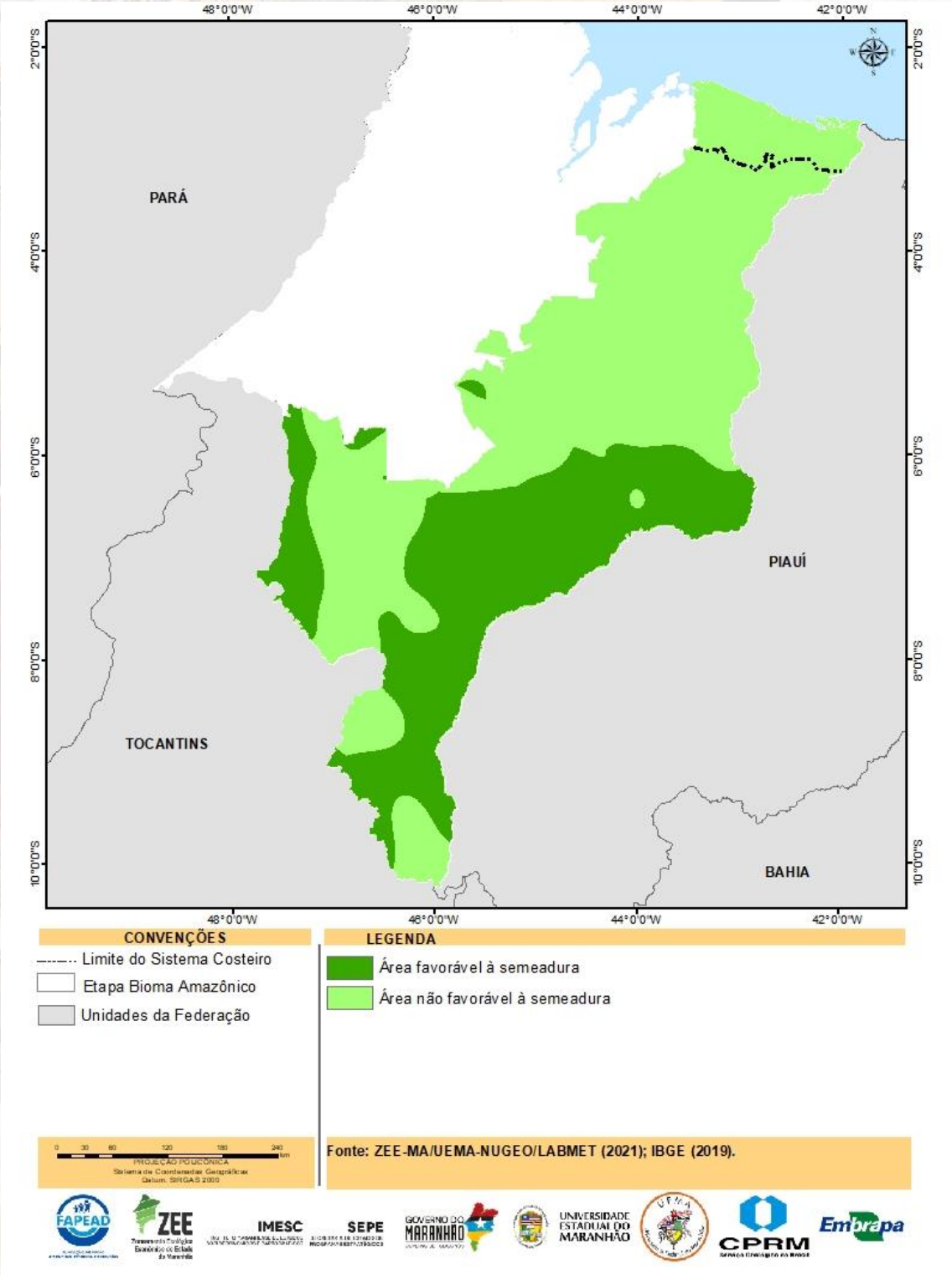
Na primeira quinzena dos meses de março, abril e maio, não mostrado, a aptidão para o plantio do arroz sofre restrição devido à disponibilidade hídrica na fase de floração e enchimento de grãos, muito embora ainda haja disponibilidade hídrica para o plantio.

Figura 2.13 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de outubro



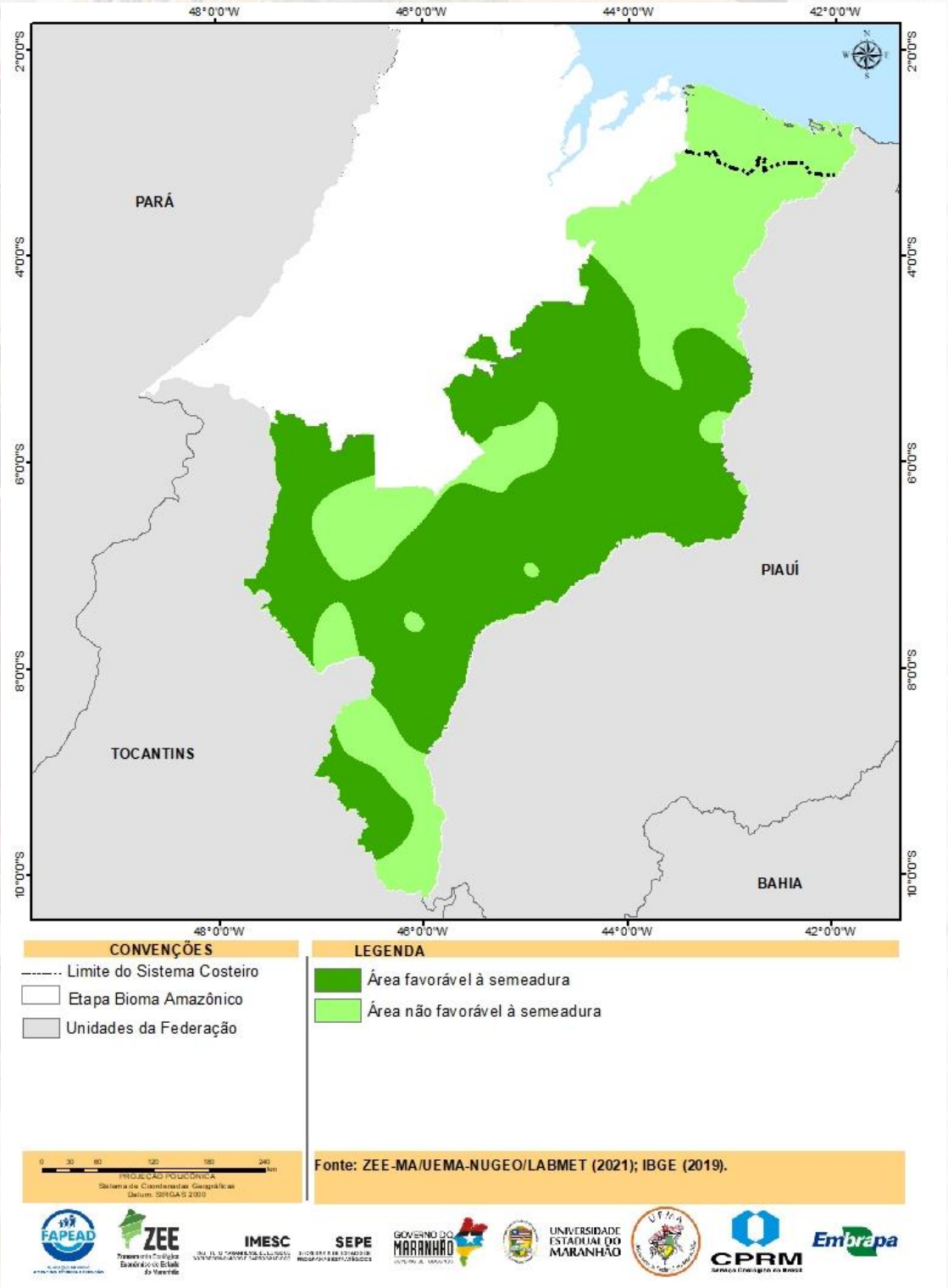
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.14 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de novembro



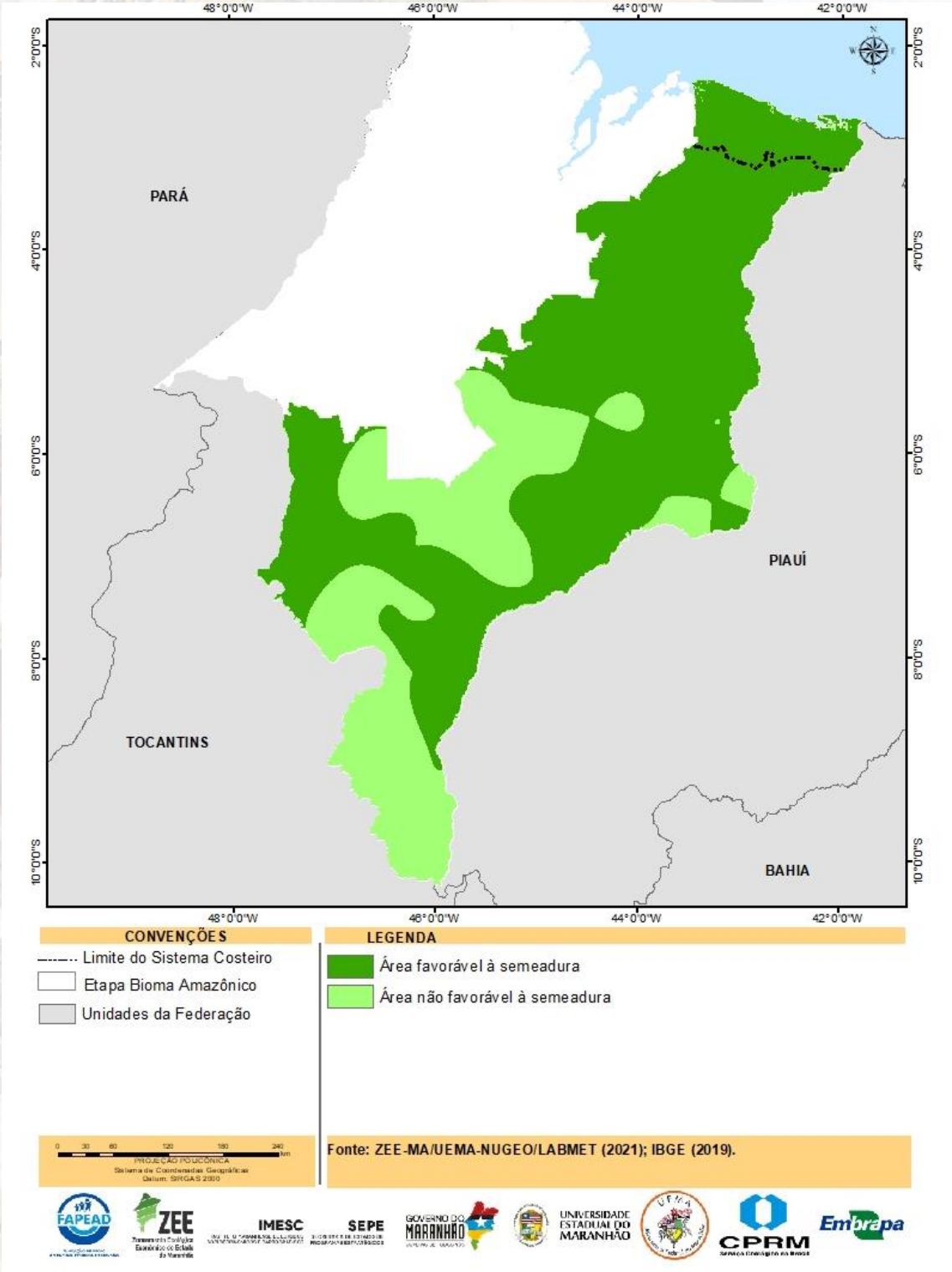
Fonte: ZEE (2021).

Figura 2.15 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de dezembro



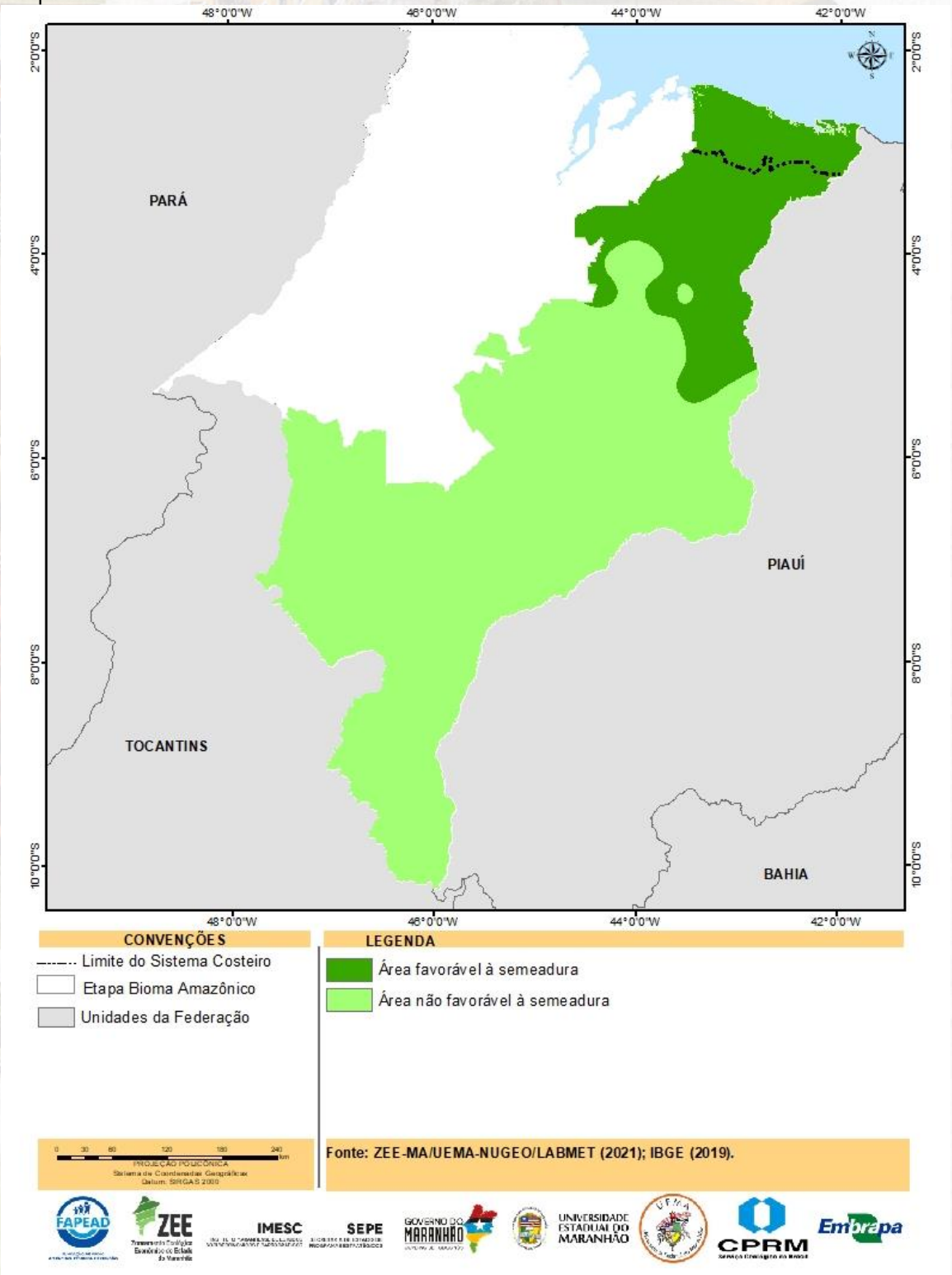
Fonte: ZEE (2021).

Figura 2.16 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de janeiro



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.17 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de fevereiro



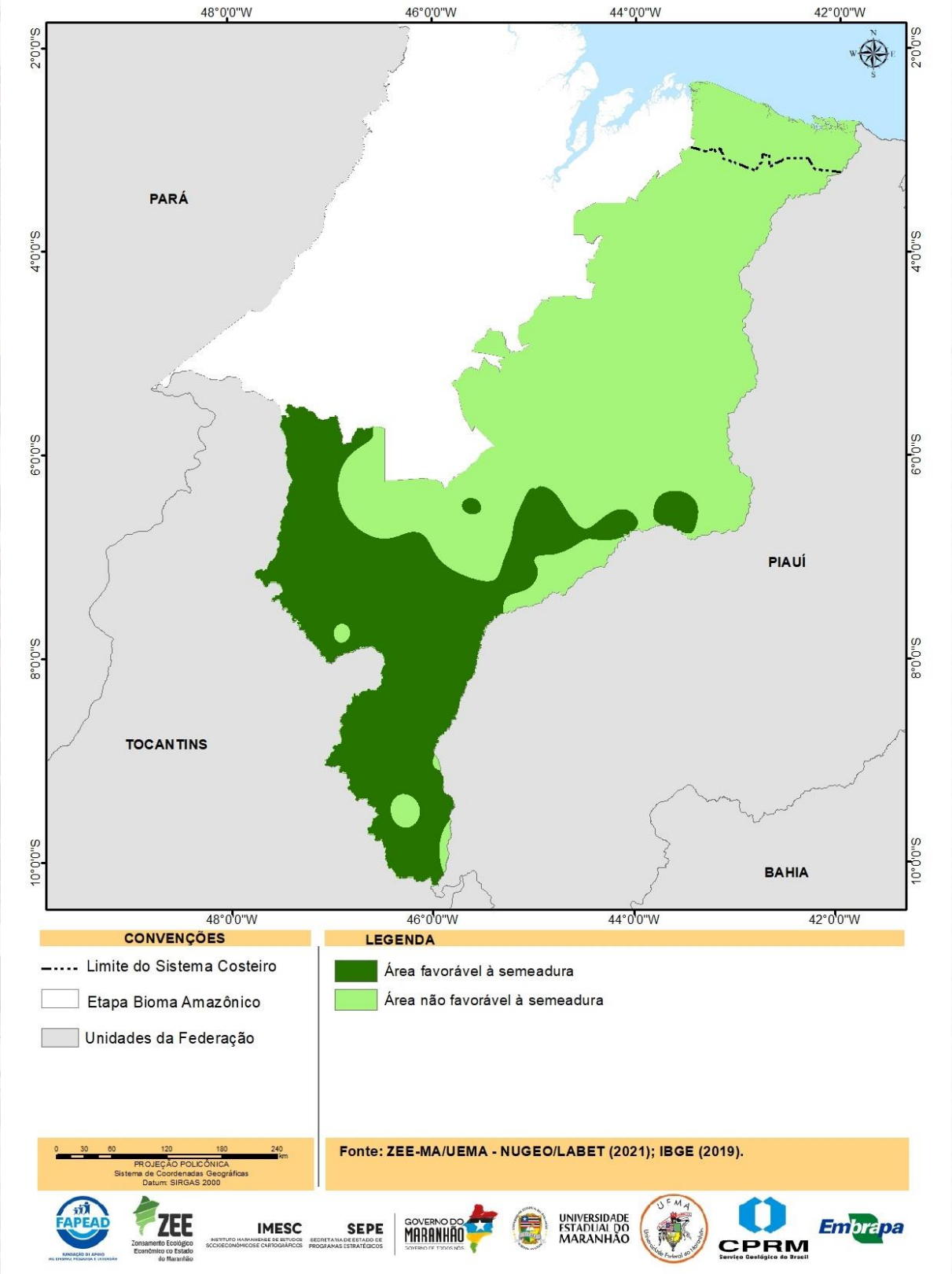
Fonte: ZEE (2021)

3.2.7.4 Soja

Em outubro, Figura 2.18, o plantio da soja é recomendado apenas na porção Sul do Bioma, principalmente acima de 7º de latitude. Em novembro, Figura 2.19, observa-se expansão da área favorável ao plantio, até em torno de 5,5º de latitude. No mês subsequente, dezembro, Figura 2.20, a área favorável ao plantio compreende a faixa de latitude acima de 4º de latitude. No mês de janeiro, Figura 2.21, praticamente toda a área do Bioma encontra-se favorável ao plantio, com exceção de uma pequena área no extremo Sul, acima de 9º de latitude, onde poderá ocorrer restrição hídrica na fase de floração/enchimento dos grãos.

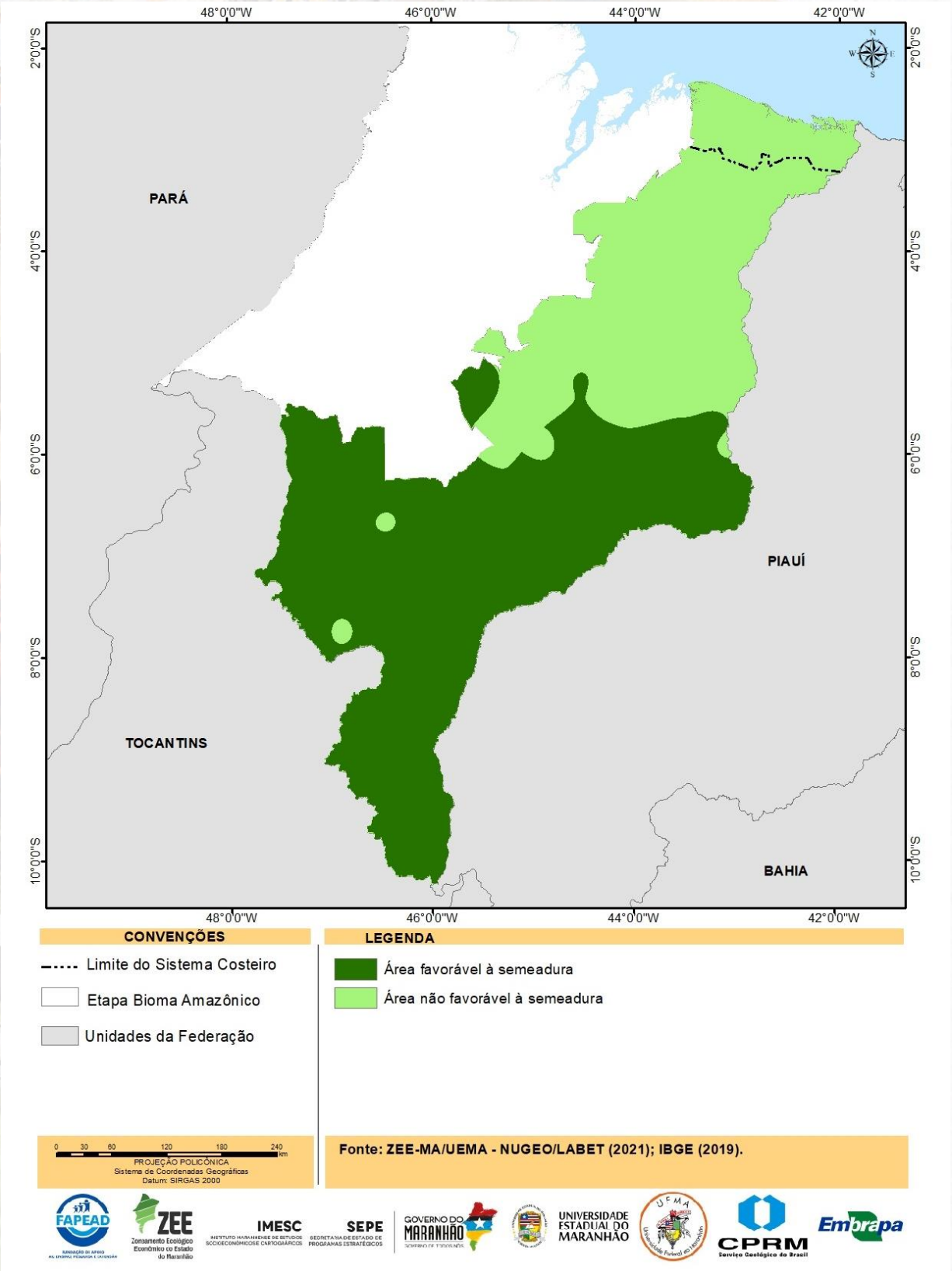
Em fevereiro, Figura 2.22, apenas a porção Centro-Norte do Bioma encontra condições de disponibilidade de água para o cultivo da soja, tanto na fase de semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos, enquanto no Centro-Sul não é recomendado o plantio, pois não haverá disponibilidade de água na fase de floração/enchimento dos grãos, muito embora ainda haja disponibilidade de água na fase inicial do ciclo produtivo. Em março, Figura 2.23, o plantio da soja não é recomendado, com exceção de uma pequena área no extremo Norte do Bioma.

Figura 2.18 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em outubro



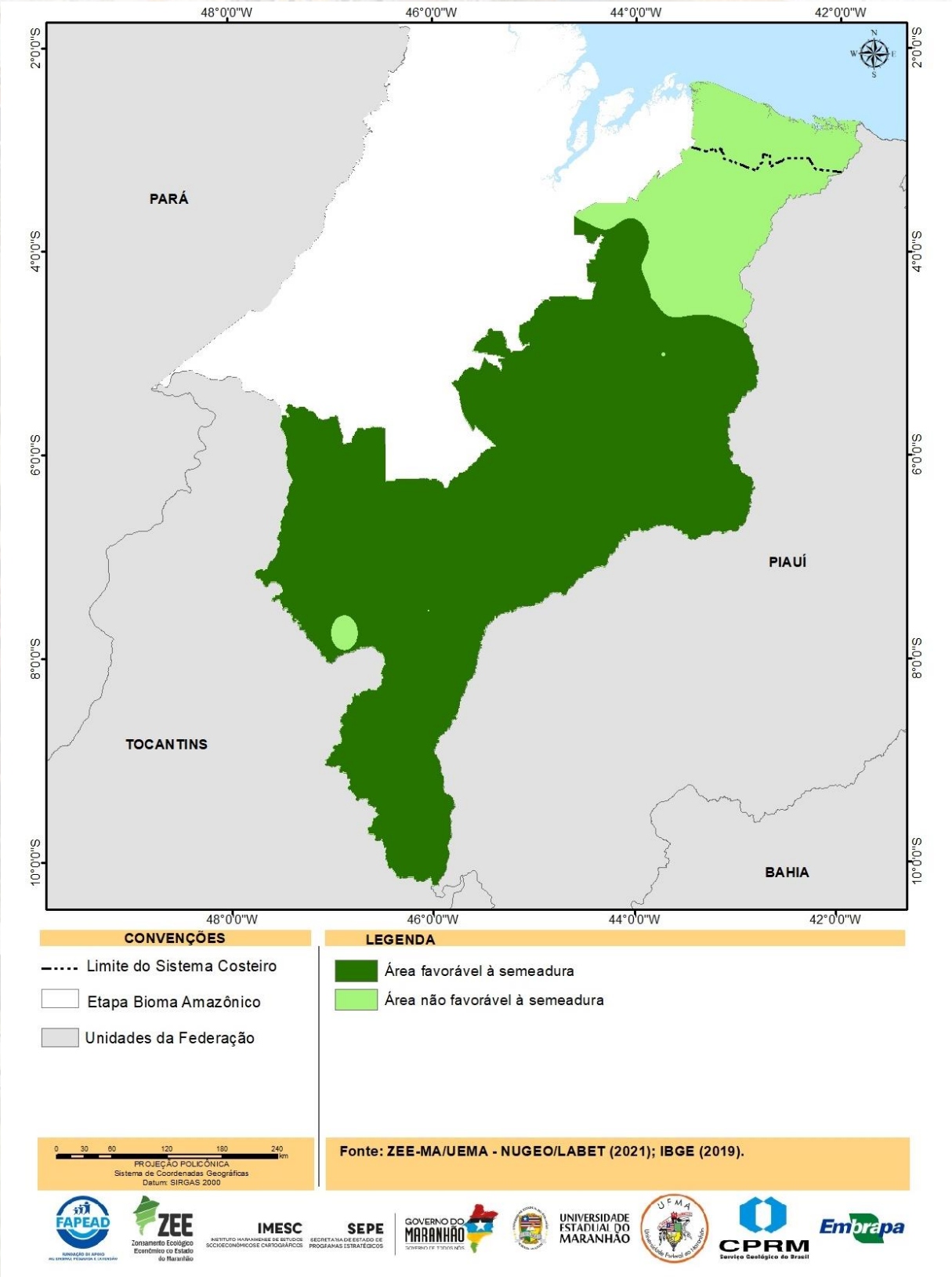
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.19 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em novembro



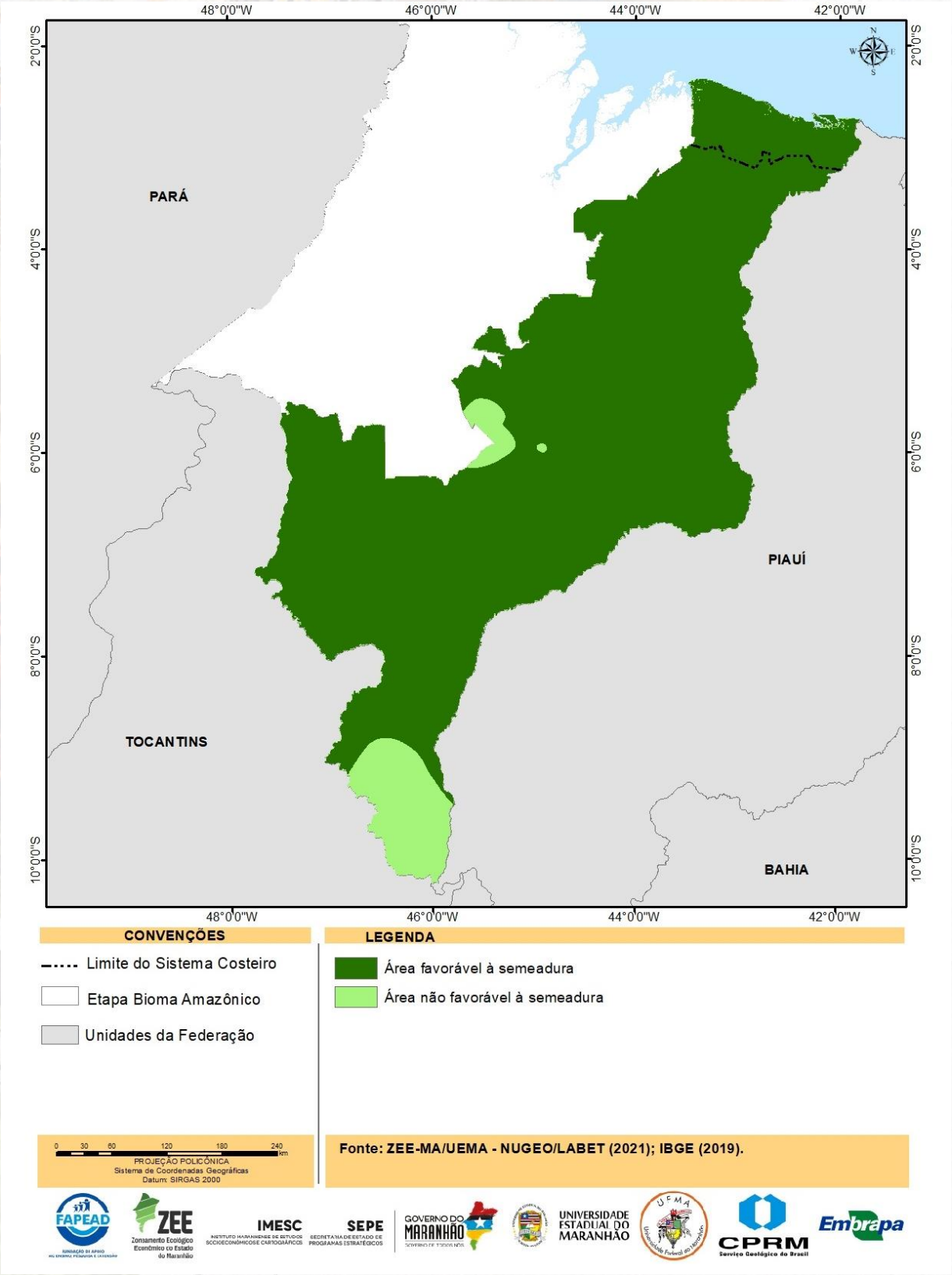
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.20 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em dezembro



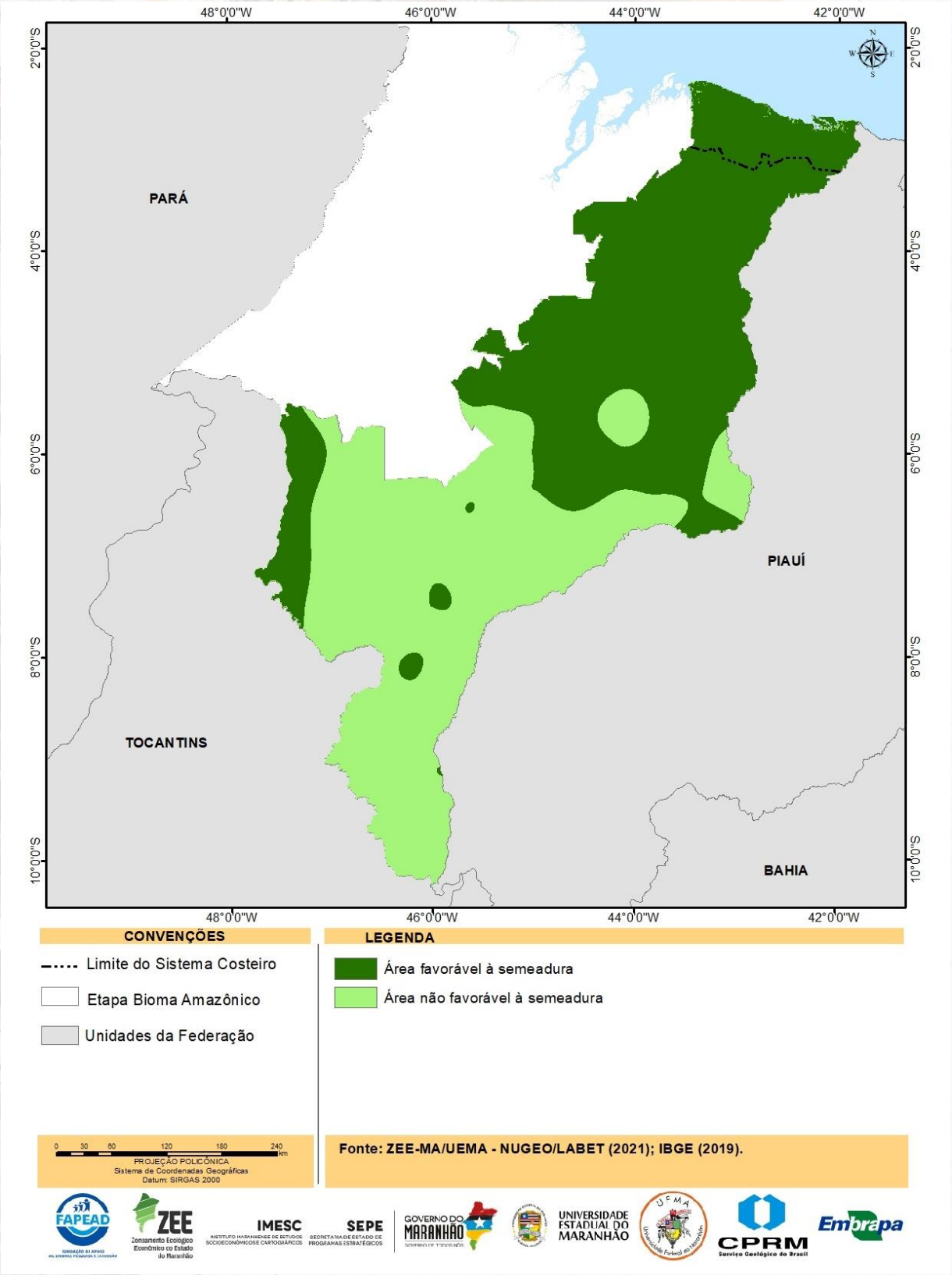
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.21 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em janeiro



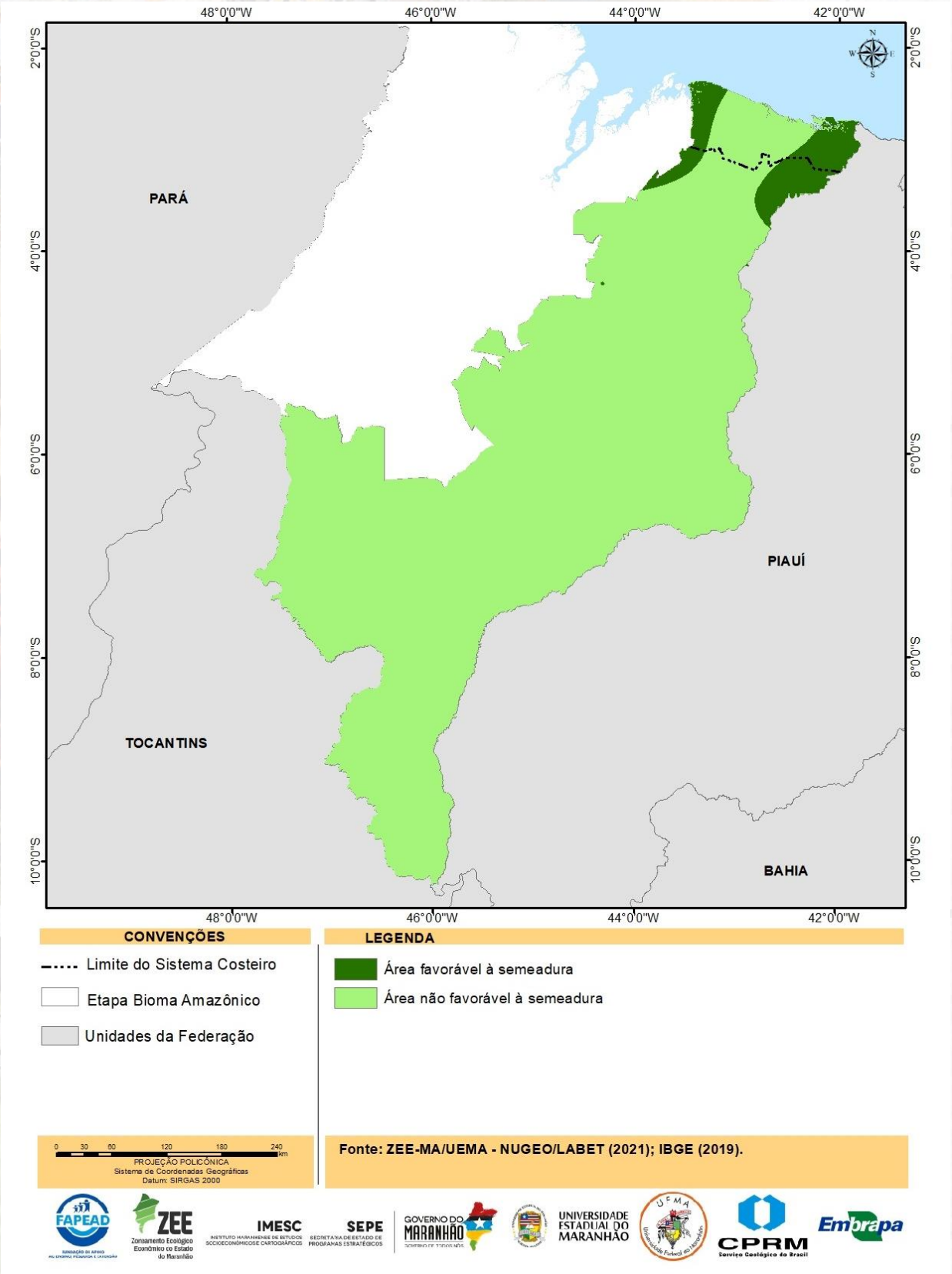
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.22 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em fevereiro



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.23 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em março



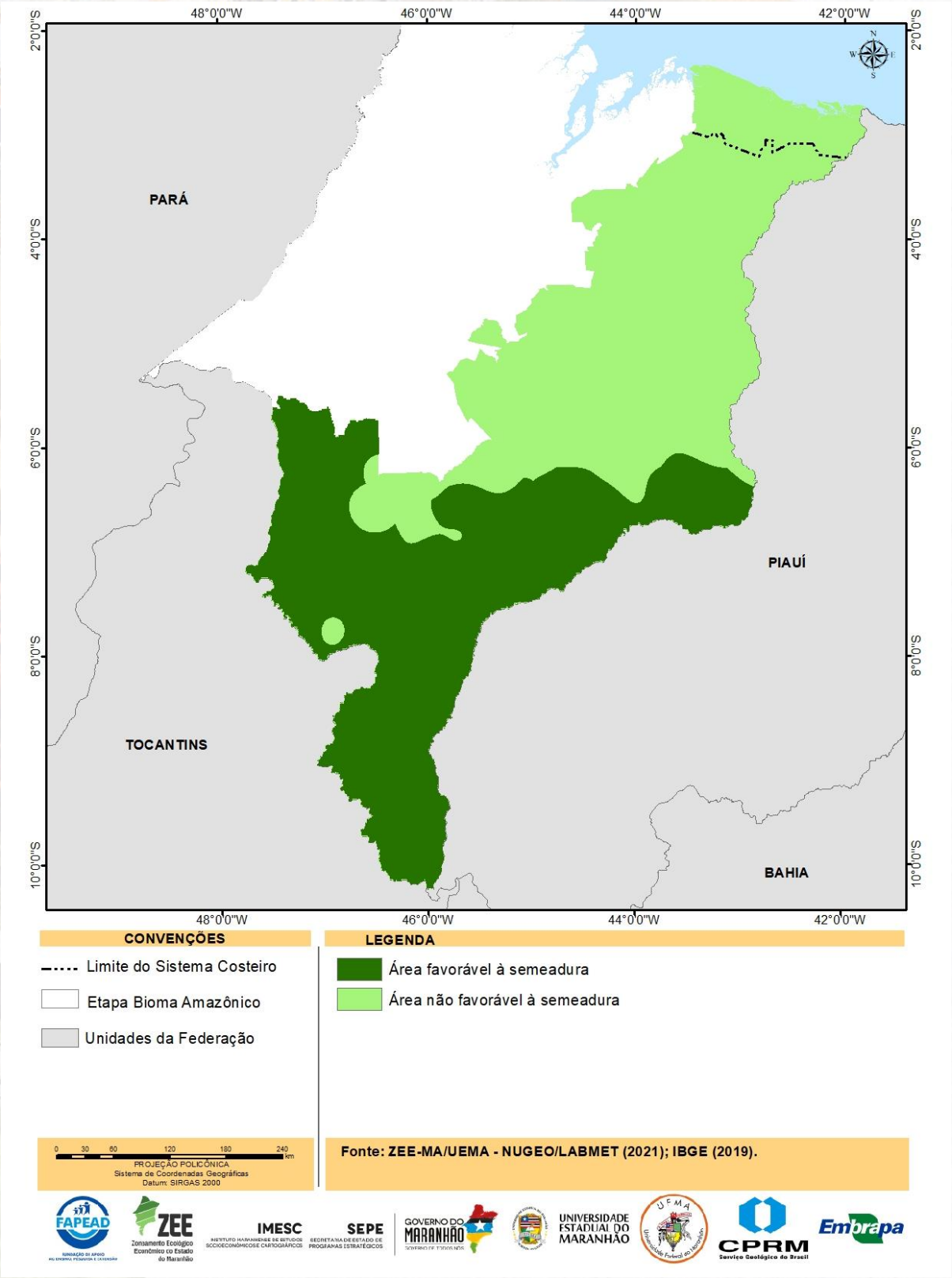
Fonte: ZEE (2021)

3.2.7.5 Milho

As áreas favoráveis ao plantio da cultura do milho, com menos risco de perdas, apresentam distribuição espacial semelhante à da cultura da soja, com ligeira expansão, conforme mostrado nas Figuras 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28 e 2.29.

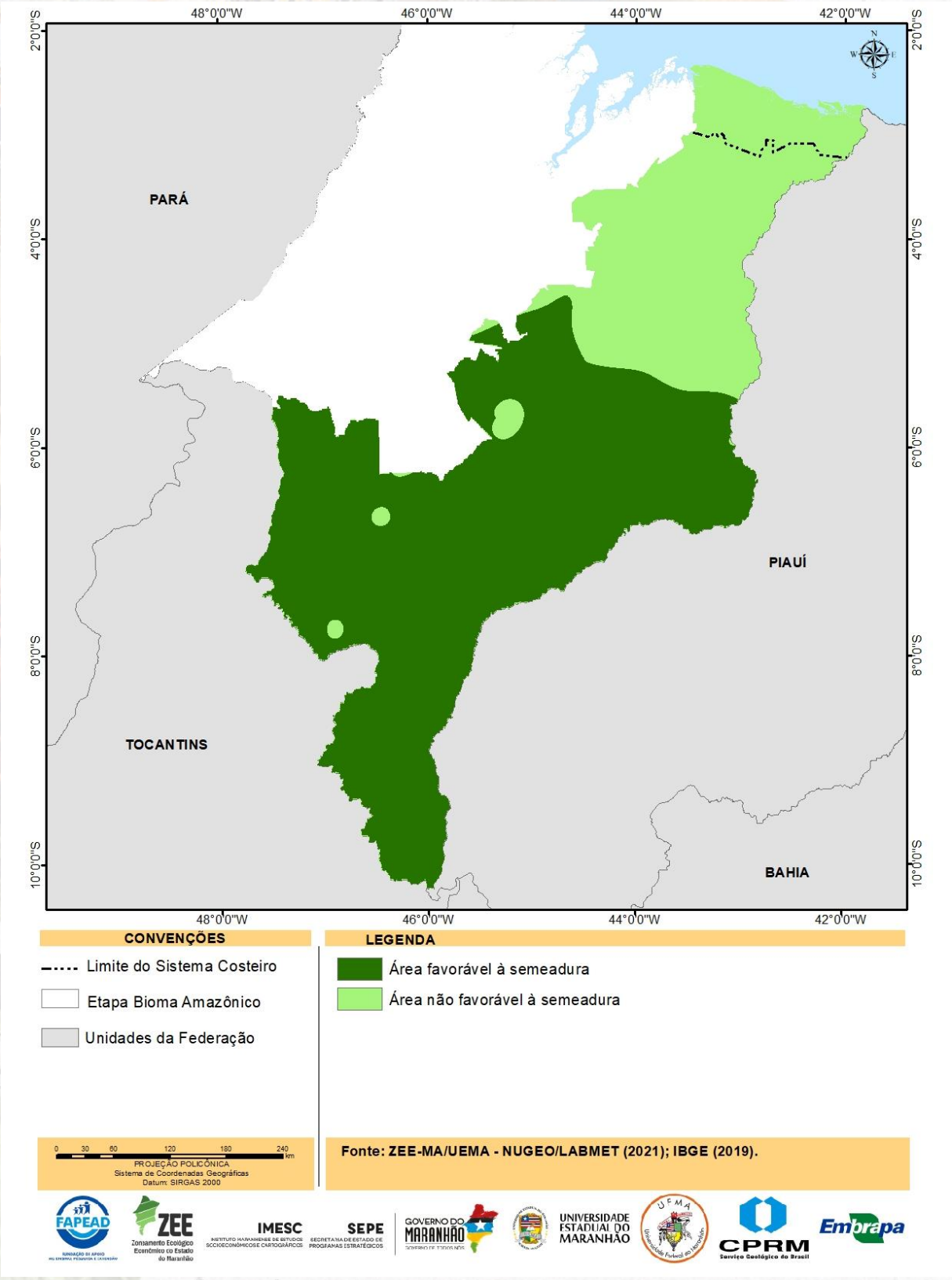
O plantio em outubro, Figura 2.24, é recomendado em uma faixa de latitude acima de 6º, apresentando expansão em novembro, Figura 2.25, para 5º de latitude e em dezembro, Figura 2.26, para 3º de latitude. Em janeiro, Figura 2.27, se observa que as áreas favoráveis ao plantio compreendem todo o Bioma, com exceção de uma pequena área no extremo Sul. Em fevereiro, Figura 2.28, as áreas favoráveis ao plantio se restringem ao Centro-Norte do Bioma, onde as condições hídricas são favoráveis na fase I – Semeadura/emergência e fase III – Floração/enchimento dos grãos. Por fim, em março, Figura 2.29, só é recomendado o plantio no extremo Norte do Bioma.

Figura 2.24 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em outubro



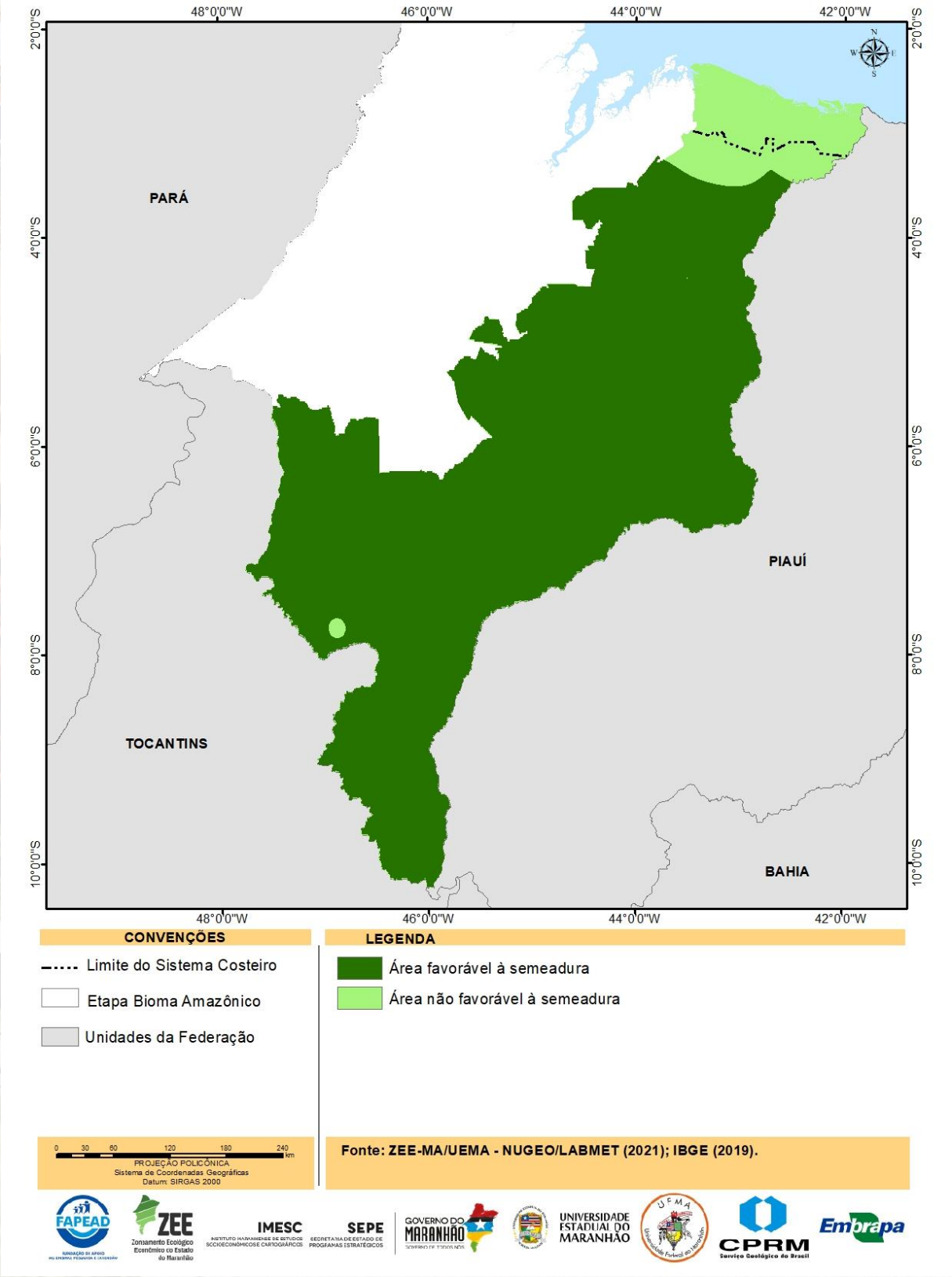
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.25 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em novembro



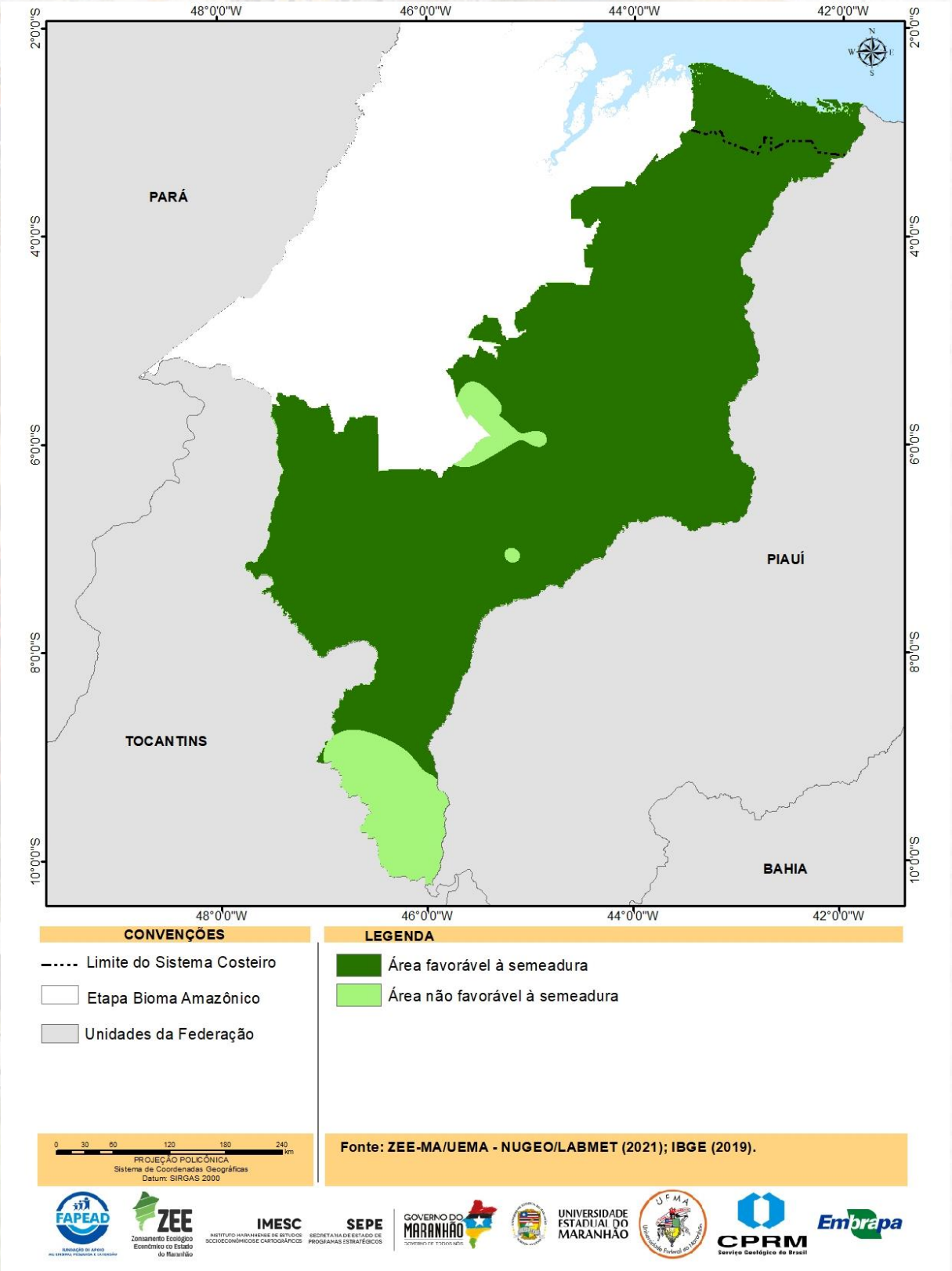
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.26 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em dezembro



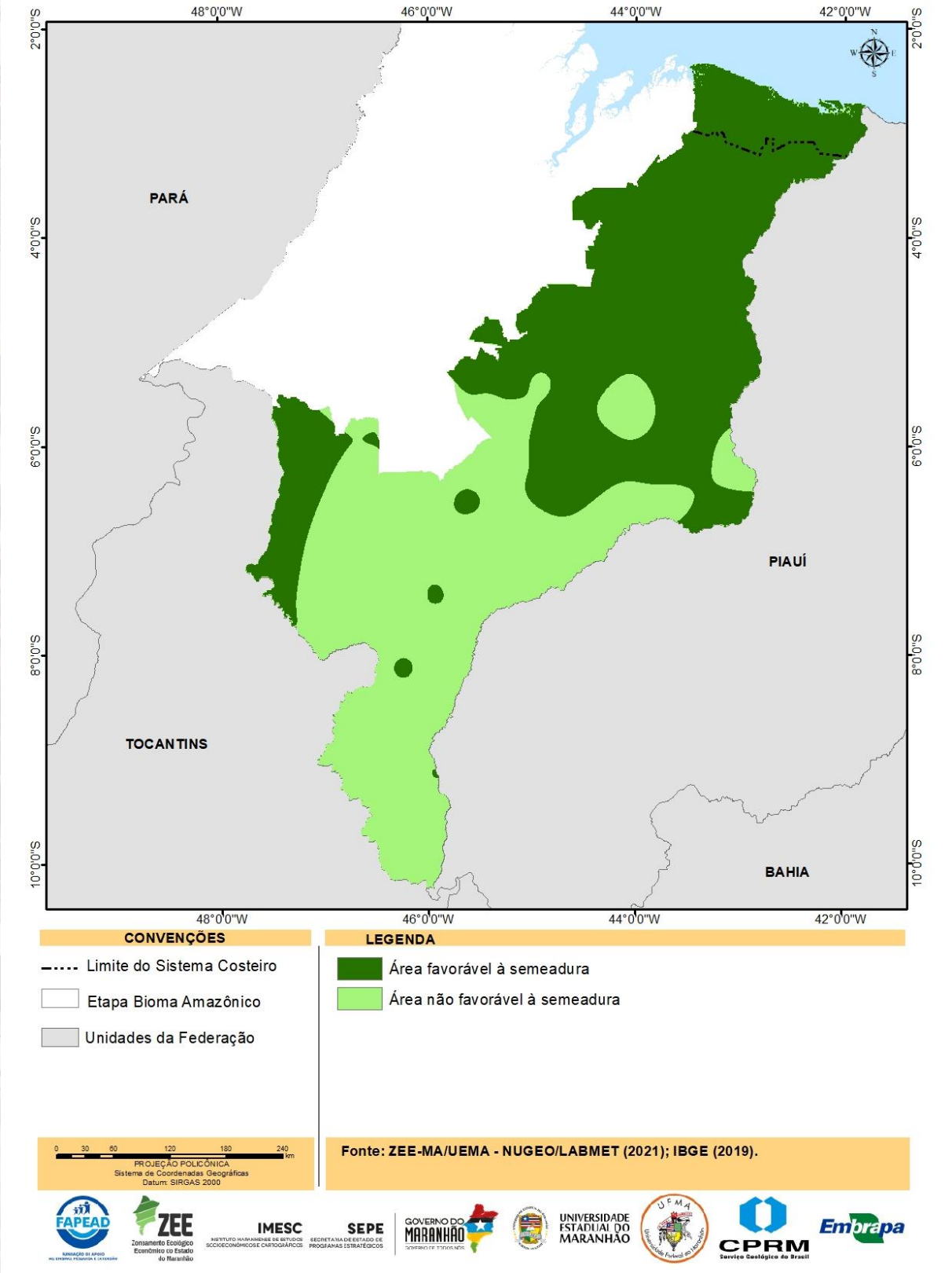
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.27 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em janeiro



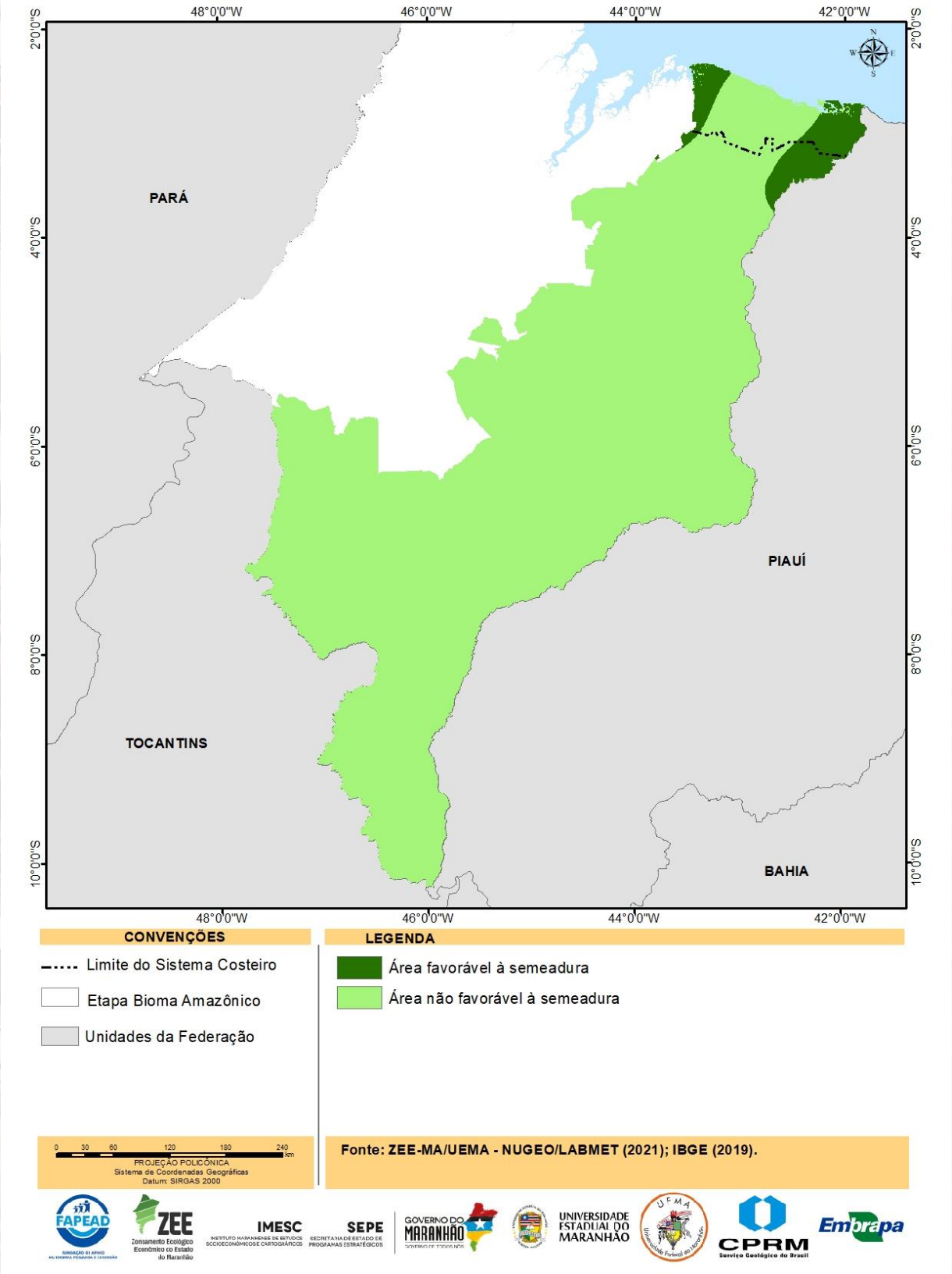
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.28 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em fevereiro



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.29 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em março



Fonte: ZEE (2021)

3.2.7.6 Feijão-Caupí

O feijão-caupí, em outubro, conforme mostrado na Figura 2.30, pode ser cultivado com baixo risco de perdas no extremo Sul do Bioma, em uma faixa compreendida entre 6,5º e 9º de latitude, e 46º e 48º de longitude, e acima de entre 9º e 10º de latitude.

Em novembro, Figura 2.31, com o avanço das chuvas, a área de abrangência favorável ao plantio amplia, cobrindo todo o Centro-Sul do Bioma.

Em dezembro, Figura 2.32, observa-se o surgimento de uma área em condições de risco climático centrada em 7º de latitude e 47º de longitude, que provavelmente está a associada à deficiência hídrica na fase de floração e enchimento dos grãos, promovida por ocorrências de veranicos. Observa-se ainda no mês de dezembro, na faixa central do Bioma, uma área favorável ao plantio centrada em 5º de latitude e 44, 5º de longitude.

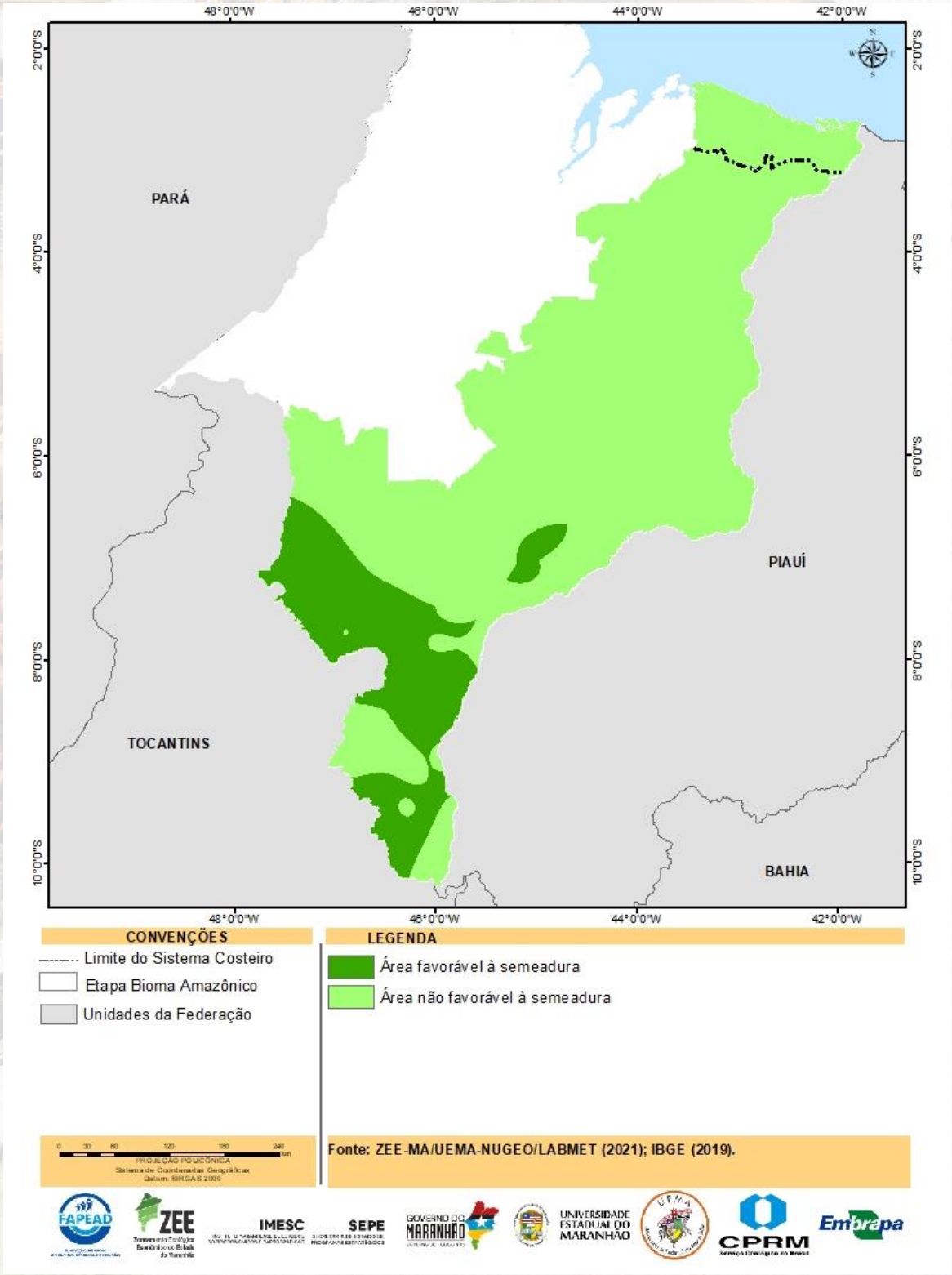
Nos meses de janeiro e fevereiro, mostrado nas Figuras 2.33 e 2.34, respectivamente, o plantio é recomendado em praticamente toda a área do Bioma, com exceção de áreas isoladas no Centro-Sul, em relação às outras culturas, esta é a que apresenta maior área favorável ao plantio, pois devido ao ciclo produtivo mais curto, a fase de floração e enchimento dos grãos ainda ocorrem em pleno período de chuvas, o que garante o suprimento de água nessas fases.

Em março, Figura 2.35, apenas na porção Norte do Bioma o plantio é recomendado, abaixo de 5º de latitude, nas outras áreas, finaliza a janela de plantio, entretanto há disponibilidade hídrica para realizá-lo, uma vez que se encontra ainda em pleno período de chuvas, porém irá faltar água na fase de floração e enchimento dos grãos.

Em termos percentuais, Quadro 2.1, as áreas favoráveis ao plantio com baixo risco climático, para todas as culturas ampliam-se à medida que os meses avançam até o mês de janeiro, quando mais de 90% da área do Bioma encontra-se com aptidão hídrica plena nas duas fases principais do ciclo produtivo, a fase da semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos.

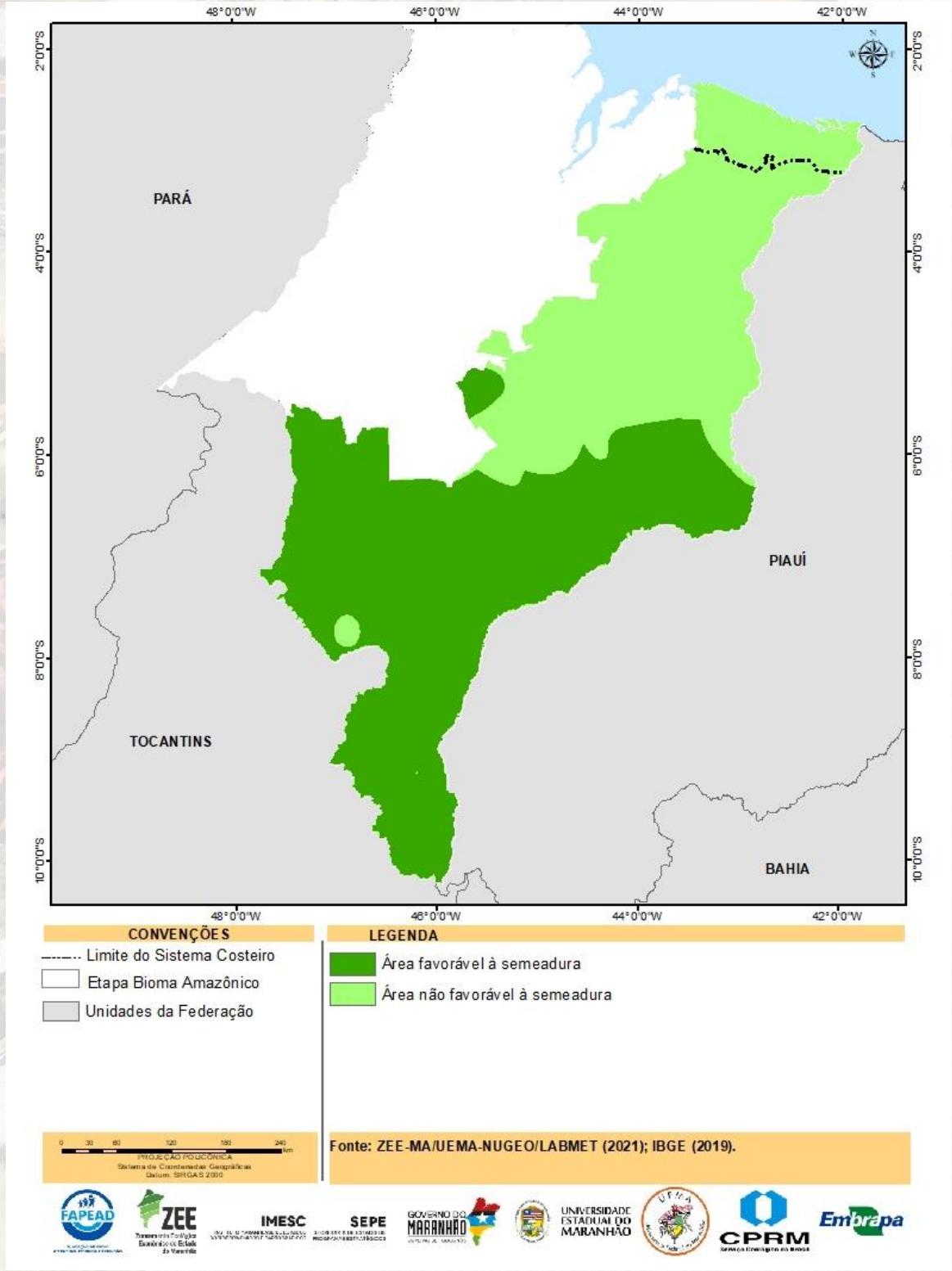
A partir de fevereiro, as áreas favoráveis reduzem gradativamente, concentrando-se apenas na porção Norte do Bioma. Dentre as culturas analisadas, a cultura do milho é a que apresenta os maiores percentuais de áreas favoráveis ao plantio com menor risco climático, seguido pela soja. Por outro lado, a cultura do arroz apresenta os menores percentuais de área favorável ao plantio com risco climático baixo.

Figura 2.30 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em outubro



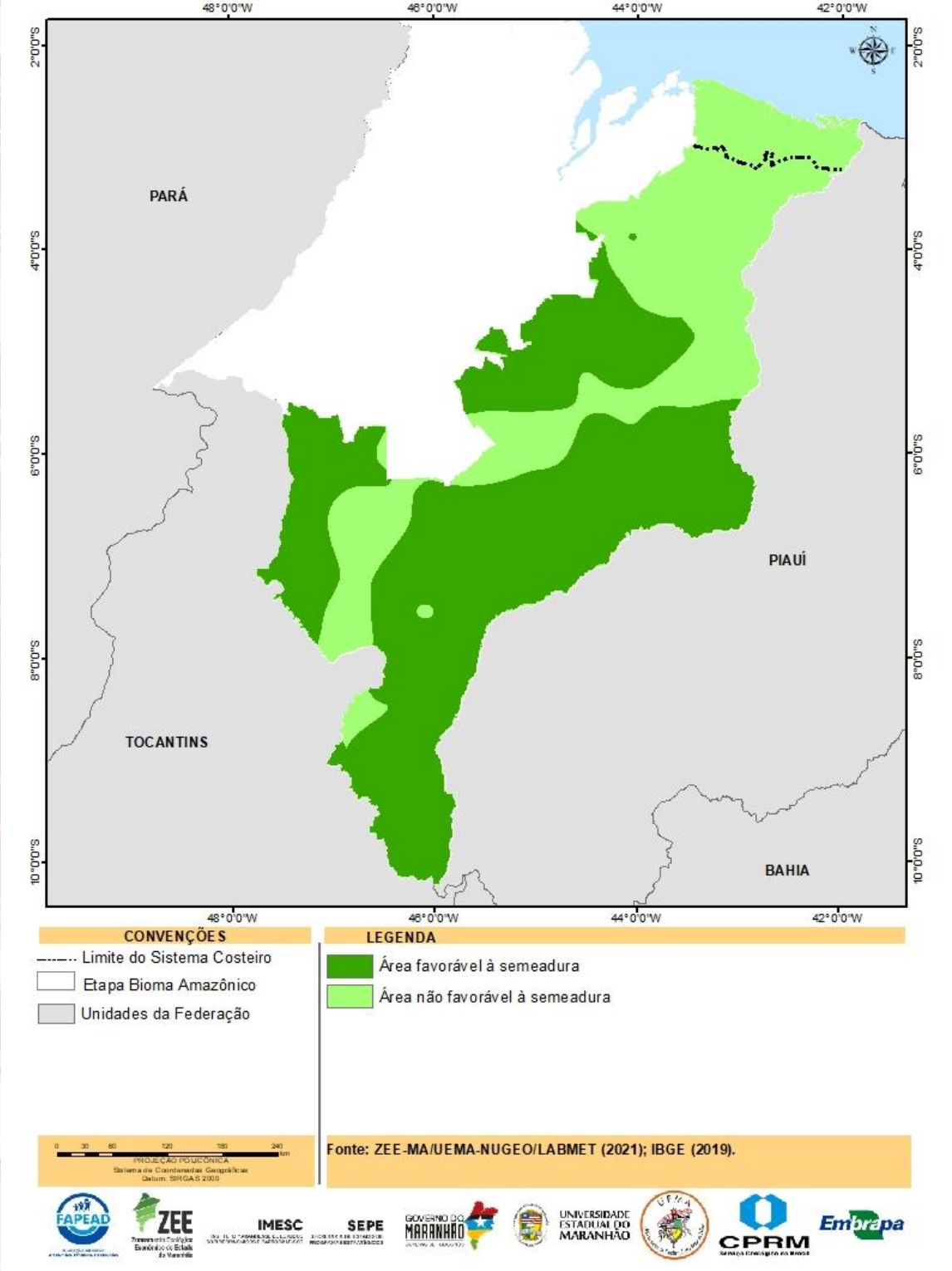
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.31 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em novembro



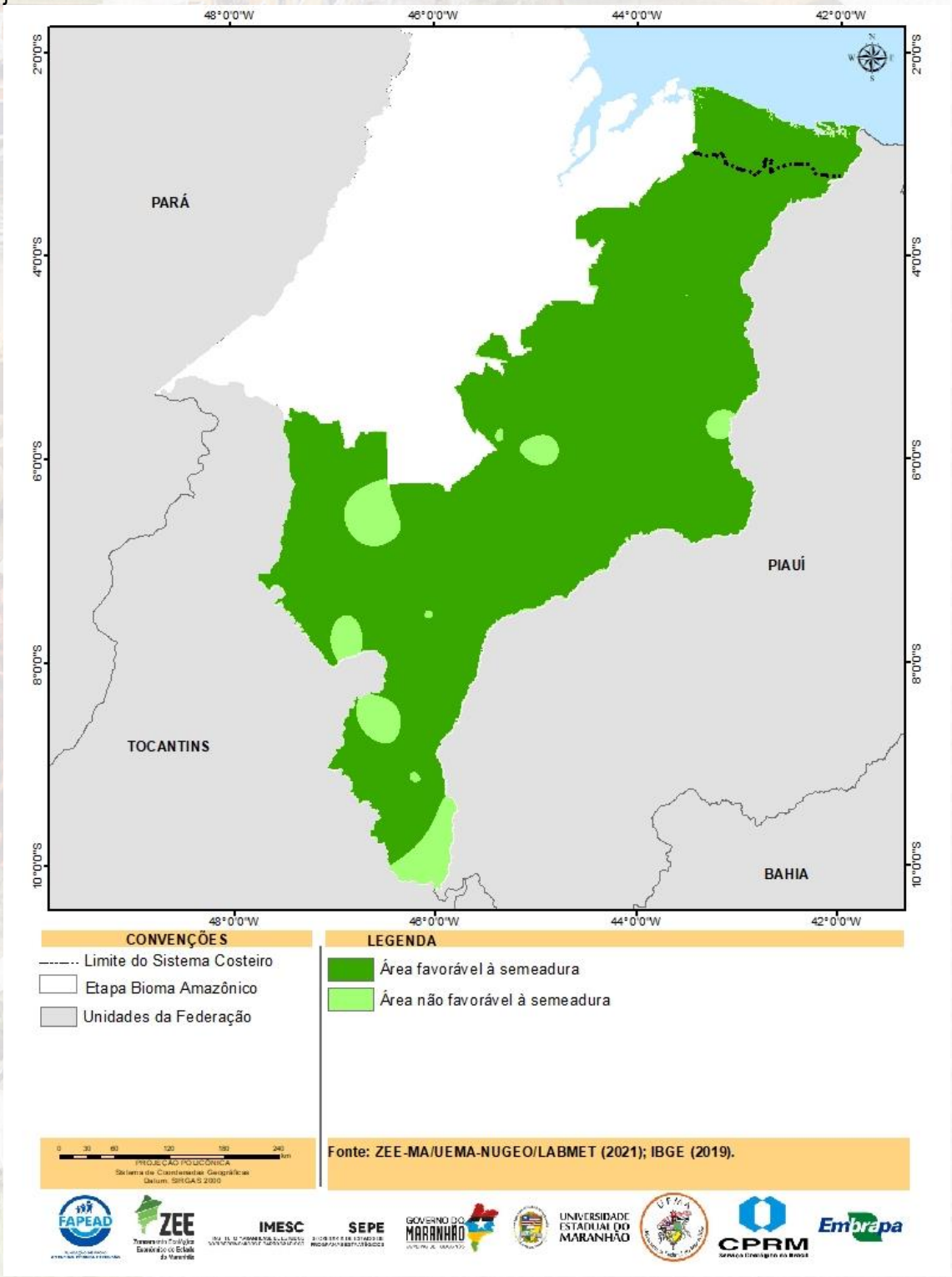
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.32 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em dezembro



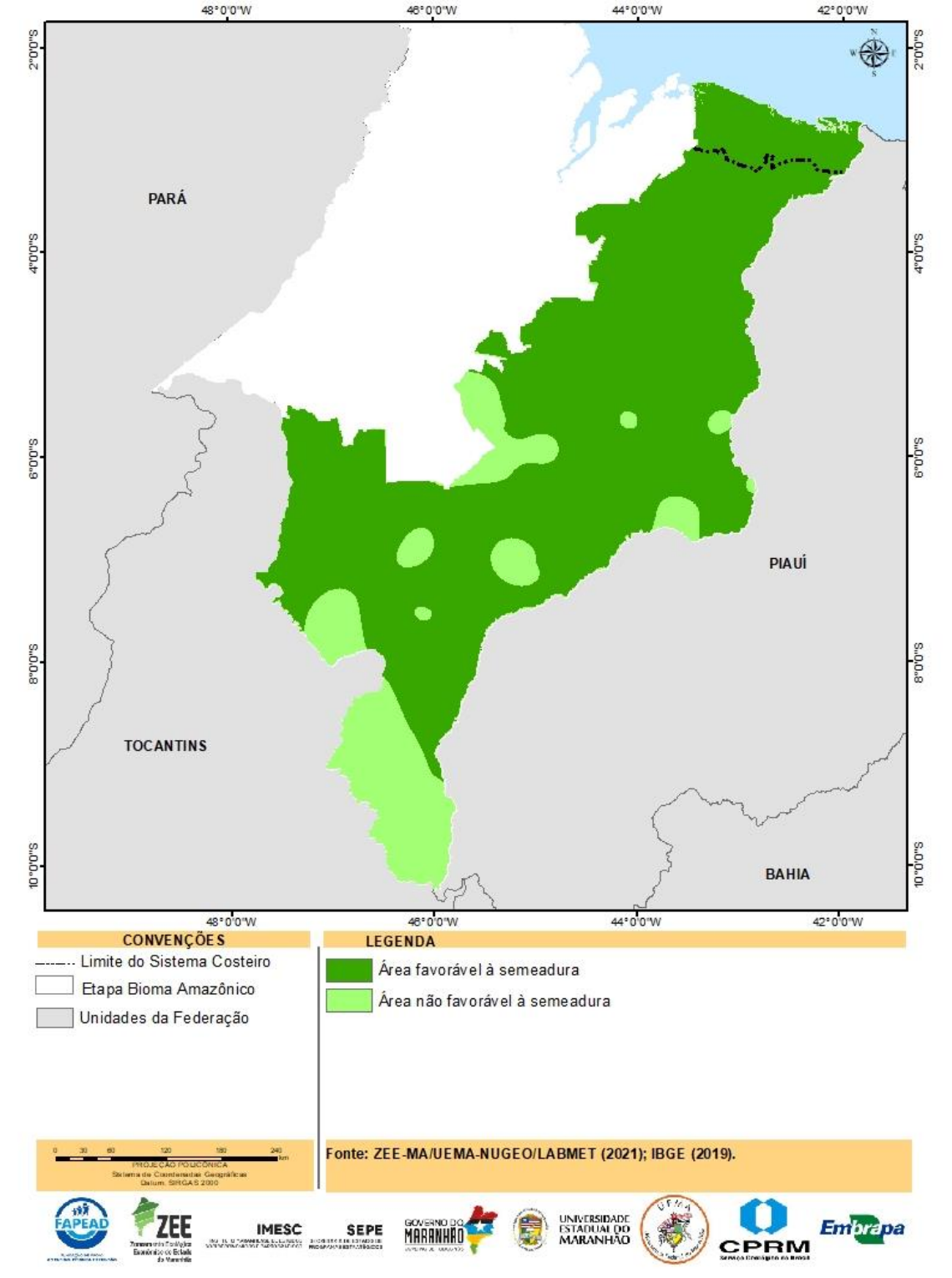
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.33 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em janeiro



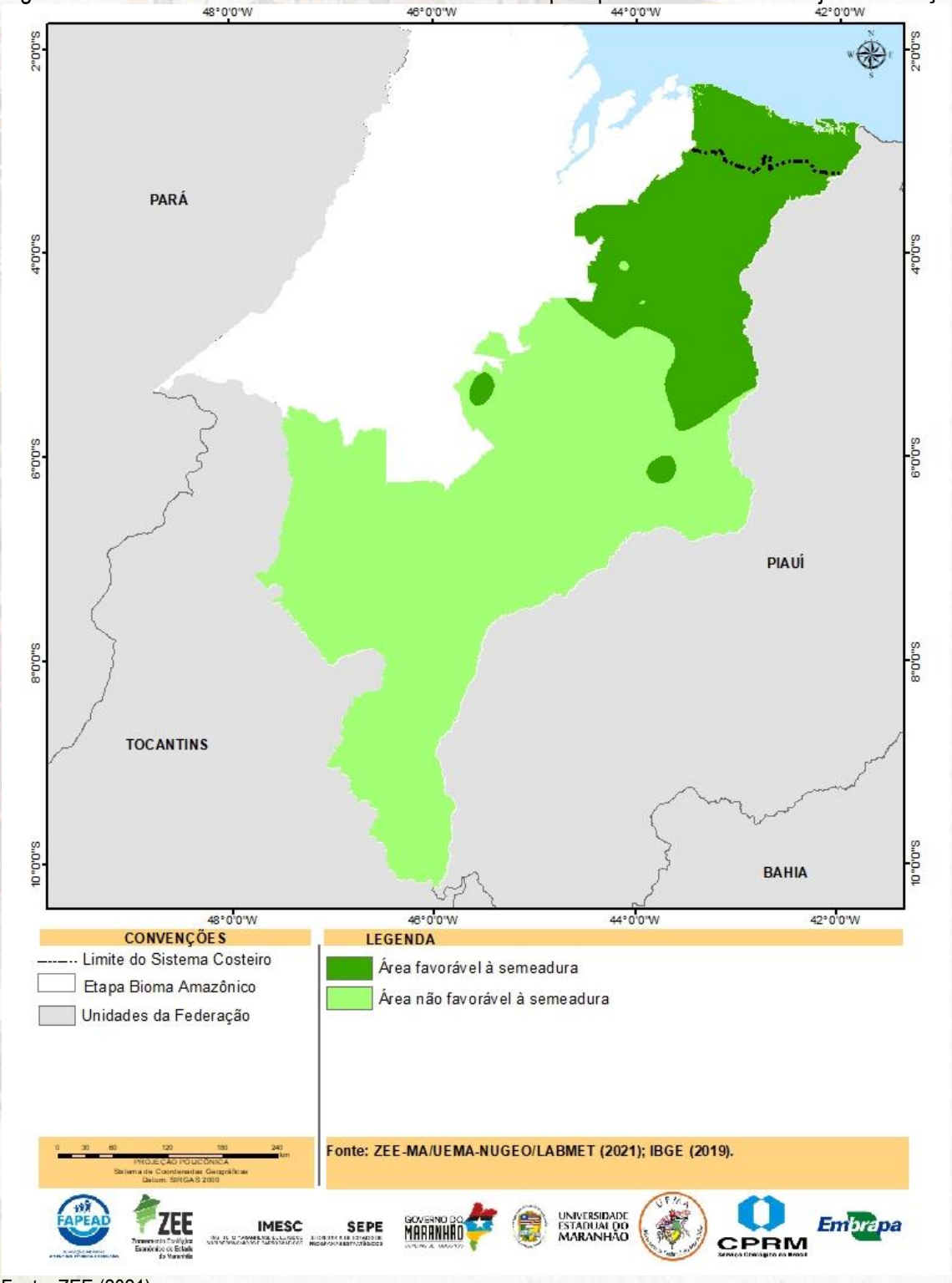
Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.34 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em fevereiro



Fonte: ZEE (2021)

Figura 2.35 - Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em março



Fonte: ZEE (2021)

Quadro 2.1 - Percentual de área favorável (menor risco climático) ao plantio das culturas de sequeiro em relação à área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão

CULTURA	MESES DE PLANTIO							
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Soja	34,2	59	80,2	92	51,6	4,3	-	-
Milho	46	68	90,2	90,6	53,2	3,5	-	-
Arroz	15,5	36,3	61,5	68,8	22,2	-	-	-
Feijão	18,1	55,6	62	92,8	82	27,9	-	-

Fonte: ZEE (2021)

4 CONCLUSÃO

O estudo diagnóstico climático apresentado para o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão revelou que:

- As chuvas apresentam variabilidade espacial condizente com a atuação dos diferentes sistemas meteorológicos. No Norte do bioma, os maiores volumes de chuvas se concentram entre os meses de fevereiro e maio, associados à atuação da Zona de Convergência Intertropical. Por outro lado, a porção Sul do bioma, apresenta os maiores volumes entre os meses de novembro a fevereiro, associados à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.
- A temperatura média do ar apresenta valores altos, típicos das regiões equatoriais, não sofre grandes variações espaciais, sendo influenciada pela variabilidade das chuvas, assim como, por fatores com a maritimidade no Norte do Bioma e pelos efeitos da continentalidade e relevo, na porção Sul do Bioma.
- A evapotranspiração potencial é elevada, condicionada pelas temperaturas mais altas, que proporciona maior demanda de chuva que mantem a região em equilíbrio hídrico para manutenção dos ecossistemas existentes.
- Devido ao volume das chuvas e sua distribuição geográfica, aliado às perdas de água por evapotranspiração, a região apresenta sazonalidade nos períodos de excesso e deficiência de água. Os maiores volumes de excesso hídrico anual são concentrados no Norte e Sul/Sudoeste e os menores concentrados na porção Sudeste da região, por outro lado, se observa predomínio de deficiência hídrica acentuada, principalmente na porção Leste do Bioma, devido

às maiores demandas exigidas pela evapotranspiração potencial.

- Na porção Norte da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão observa-se potencial de erosividade muito forte, nos outros setores da região do bioma a erosividade varia de forte à moderada.
- As porções Norte e Sudoeste são consideradas áreas menos susceptíveis à desertificação, sendo classificadas de acordo com o Índice de Aridez como Subúmido Úmido. Porém, as áreas localizadas na porção sudeste e na região do Baixo Parnaíba maranhense as características são de Subúmido Seco, observa-se ainda que no extremo sudeste da região do bioma há indicação de Semiaridez.
- A região apresenta áreas de risco para o plantio das culturas de sequeiro que dependem da época de plantio, devido à variabilidade sazonal das chuvas. A janela para plantio com menor risco de perdas de safra varia entre os meses de outubro e março. Em outubro, o plantio é recomendado somente na porção Sul, avançando para os meses subsequentes para as outras regiões, de forma que na porção Norte, o plantio só é recomendado a partir de janeiro, quando as chuvas já estão estabelecidas. A partir de fevereiro, o plantio com menor risco climático e consequentemente menor risco de quebra de safra só é recomendado na porção Norte, nas outras regiões só se recomenda o plantio safrinha devido ainda haver disponibilidade de água para o plantio.
- Observa-se, portanto, que a região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão encontra-se em condições climáticas no limite, o que pode se agravar com os cenários de mudanças climáticas estabelecidos por modelos de previsão, que projetam, principalmente, aumento na temperatura do ar para as próximas décadas, o que pode colocar em risco todo o ecossistema existente, com impactos na biodiversidade, na disponibilidade hídrica, na agricultura e principalmente na economia local, com reflexo nos indicadores sociais e de desenvolvimento humano.

REFERÊNCIAS

BARON, C.; Clopes, A.; PEREZ, P.; MULLER, B.; MARAUX, F. **Manuels d'utilisation de** SARRAMET 45p SARRABIL 35p et SARRAZON 29p. Montpellier: CIRAD. 1996.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva:** sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. Bragantia, Campinas, v. 51, n. 2 p. 189-196, 1992.

MENEZES, Ronaldo Haroldo Nascimento de et al. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão**. Brasil, 2009.

PENMAN, H.L. The physical bases of irrigation control. In: **Hort. Congr. London**. Royal Horticultural Society, 1953, p.913-924. 1110 p

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Rev.,** v. 38, n. 1, p. 55 94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; HOLZMAN, B. Evaporation and transpiration. In: **Climate and Man:** Yearbook of Agriculture -- 1941. Washington D.C: U.S. Department of Agriculture, 1941, p.545-550.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in Climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

3

GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO NO ESTADO DO MARANHÃO

1. INTRODUÇÃO 84
2. MATERIAIS E MÉTODOS 84
2.1. Principais fontes de pesquisa bibliográfica 84
2.2. Materiais cartográficos elaborados 85
2.3. Trabalhos de campo 85
3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO 87
3.1. Grupo Canidé – Formação Poti – Carbonífero 300-360Ma 90
3.2. Grupo Balsas – Formação Piauí – Carbonífero 300-360Ma 90
3.3. Grupo Balsas – Formação Pedra de Fogo – Paleozoico – Permiano - 300-251Ma 91
3.4 Grupo Balsas – Formação Motuca – Paleozoico - Permiano – Tríássico 240-260Ma 92
3.5 Grupo Balsas – Formação Sambaíba – Triássico Inferior – 251-200Ma 93
3.6 Formação Mosquito Mesozoico – Jurássico – 190 a 199Ma 94
3.7 Formação Pastos Bons – Mesozoico – Jurássico – 200-145Ma 95
3.8 Formação Corda – Mesozoico – Jurássico/Cretáceo – 200-130Ma 96
3.9 Formação Sardinha – Cretáceo – 130Ma 97
3.10 Formação Grajaú – Mesozoico – Cretáceo – 145-100Ma 98
3.11 Formação Codó – Mesozoico - Cretáceo – 145-100Ma 99
3.12 Grupo Itapecuru – Formação Cujupe – Albiano 100
3.13 Coberturas Superficiais Cenozoicas – Quaternário 101
3.13.1 Grupo Barreiras – Neógeno 23-5.3Ma 101
3.13.2 Cobertura Laterítica Imatura – Quaternários 102
3.13.3 Depósitos de Mangue – Quaternários 103
3.13.4 Depósitos Litorâneos – Quaternários 104
3.13.5 Depósitos Aluvionares – Quaternários 105
3.13.6 Depósitos Flúvio – Lagunares – Quaternários 106
3.13.7 Depósitos Eólicos Continentais Antigos – Quaternários 107
4 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS 108
4.1 Conceitos Gerais 108
4.1.1 Unidades Hidroestratigráficas do Bioma Costeiro 109
4.1.2 Depósito Eólico (Qe) 109
4.1.3 Barreiras – Enb 109
4.1.4 Unidades Hidroestratigráficas do Bioma Cerrado 110
4.2 Descrição das Unidades Hidroestratigráficas do Bioma Cerrado 110
4.2.1 Sistema Aquífero Poti-Piauí (Carbonífero inferior-superior) 110
4.2.2 Aquífero Pedra de Fogo (Permiano Médio) 114
4.2.3 Aquífero Sambaíba (Triássico) 114
4.2.4 Aquífero Corda (Jurássico) 115
4.2.5 Aquífero Itapecuru (Cretáceo) 115
5 ATIVIDADES MINERÁRIAS NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO 117
6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO BIOMA CERRADO E COSTEIRO 122
6.1 Delta do Parnaíba 126
6.2 Lençóis Maranhenses 127

6.3 Golfão e Baixada Maranhense 129
6.4 Superfície Sublitorânea de Bacabal 130
6.5 Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba 132
6.6 Tabuleiros de Chapadinha 134
6.7 Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim 136
6.8 Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba 136
6.9 Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú 137
6.10 Baixos Platôs de Barra do Corda 138
6.11 Chapadas do Alto Rio Itapecuru 139
6.12 Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins 140
6.13 Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina 141
6.14 Depressão Interplanáltica de Balsas 142
6.15 Chapadas do Alto Rio Parnaíba 144
6.16 Aspectos da Hipsometria e Declividade do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 145
7 CONCLUSÃO 153
REFERÊNCIAS 155

3

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Mapa de amostragem no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no estado do Maranhão 86
Figura 3.2 - Mapa Geológico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 88
Figura 3.3 - Vista dos folhelhos carbonosos no PT-241 – Formação Poti 90
Figura 3.4 - Rochas pelíticas alaranjadas maciças e finamente laminada - PT-243 – Formação Piauí 91
Figura 3.5 - Sedimentos avermelhados com camadas de sílex esbranquiçadas – PT- 190 - Formação Pedra de Fogo – Timon 92
Figura 3.6 - Sedimentos avermelhados maciço com porções esbranquiçadas – PT- 382 - Formação Motuca – Benedito Leite 93
Figura 3.7 - Sedimentos arenosos avermelhados friáveis – PT- 650 - Formação Sambaíba – Carolina – MA 94
Figura 3.8 - Vista parcial da jazida de basalto - Formação Mosquito, PT- 360 – Colinas – MA 95
Figura 3.9 - Vista das camadas de calcarenitos com ondulações - Formação Pastos Bons, PT- 260 – Pastos Bons – MA 96
Figura 3.10 - Vista parcial dos arenitos avermelhados com mega estratificação cruzadas – PT- 230 – Formação Corda – Buriti Bravo – MA 97
Figura 3.11 - Vista parcial do derrame de basalto no vale do rio - Formação Sardinha – MA. PT- 201 – Povoado Varjota – Timon 98
Figura 3.12 - Vista parcial dos arenitos friáveis - Formação Grajaú. PT- 564 – Fernando Falcão – MA. 99
Figura 3.13 - Vista dos arenitos amarelados da Formação Codó – Presidente Dutra – MA - PT- 332 . 100
Figura 3.14 - Vista das camadas avermelhadas de pelitos com estratificação plano-paralela - Formação Cujupe. PT- 336 – Joselândia- 101
Figura 3.15 - Sedimentos alaranjados com lateritas, P-335 - Joselândia – MA 102
Figura 3.16 - Cobertura laterítica amarelada com matriz areno-siltosa, P-335 - Joselândia-MA 103
Figura 3.17 - Vista parcial do Depósito de Mangue – Araioses – MA 104
Figura 3.18 - Vista da Praia da Boa Esperança - Pt 28 105
Figura 3.19 - Vista parcial do Depósito de Aluvião – Trizidela do Vale – MA. 106
Figura 3.20 - Vista parcial da área de Apicum – Praia de Tutóia – MA – Pt-47 107
Figura 3.21 - Vista parcial das paleodunas ao longo da MA- 402 – Morros - Pt-06 108
Figura 3.22 - Mapa de profundidade dos poços tubulares do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA 112
Figura 3.23 - Mapa de vazão dos poços tubulares do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA 113
Figura 3.24 - Mapa de distribuição das áreas com processos minerários no estado do Maranhão do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro em maio de 2021 118
Figura 3.25 - Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão 123
Figura 3.26 - Domínios geomorfológicos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão 124
Figura 3.27 - Pontos amostrados e observados no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão. 125

Figura 3.28 - Delta do Parnaíba com a identificação das principais desembocaduras 126
Figura 3.29 - Esporão arenoso na frente oceânica da Planície deltaica do Rio Parnaíba 127
Figura 3.30 - Afloramento ao nível do estirâncio de depósitos de paleomangues na Praia de Caburé. 128
Figura 3.31 - Duna fixada pela vegetação no município de Santo Amaro do Maranhão 128
Figura 3.32 - Vista panarâmica dos Lençóis Maranhenses no PNLM 129
Figura 3.33 - Remanescentes topográficos isolados, aflorantes em meio aos lagos e campos inundáveis 130
Figura 3.34 - Vista aérea da Superfície Sublitorânea de Bacabal nas imediações do ponto de coleta da amostra 109 131
Figura 3.35 - Imagem SRTM nas proximidades do ponto 109 131
Figura 3.36 - Vista área da Superfície Sublitorânea de Bacabal nas proximidades de depósitos pantanosos 132
Figura 3.37 - Vista aérea da Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba 133
Figura 3.38 - Níveis silicificados na Formação Piauí 134
Figura 3.39 - Lagoa do Bacuri no povoado Coqueiro no limite entre os domínios dos Lençóis Maranhenses e os Tabuleiros de Chapadinha 135
Figura 3.40 - Vista das áreas de plantio de soja, ressaltando o aspecto plano da paisagem 135
Figura 3.41 - Vista aérea das Superfícies tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim 136
Figura 3.42 - Vista aérea das Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba 137
Figura 3.43 - Vista aérea dos Planaltos Dissecados do Gurupi-Grajaú 138
Figura 3.44 - Vista aérea dos Baixos Platôs de Barra do Corda 139
Figura 3.45 - Vista aérea das Chapadas do Alto Rio Itapecuru 139
Figura 3.46 - Vista aérea da Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins 140
Figura 3.47 - Vista panorâmica das chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina 142
Figura 3.48 - Vista aérea Depressão Interplanáltica de Balsas 143
Figura 3.49 - Vista parcial do anel interno e da parte central da cratera de impacto Cabeça de Sapo em Nova Colinas – MA. 144
Figura 3.50 - Vista aérea das Chapadas do Alto Rio Parnaíba 145
Figura 3.51 - Mapa Hipsométrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 146
Figura 3.52 - Mapa Hipsométrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 147
Figura 3.53 - Perfis topográficos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 148
Figura 3.54 - Mapa do percentual altimétrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 149
Figura 3.55 - Mapa de relevo sombreado dos baixos platôs, inselbergs e planaltos 150
Figura 3.56 - Mapa de declividade do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 152

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 - Fases dos processos minerários no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas – MA 120

Gráfico 3.2 - Usos dos minerais minérios nas fases dos processos minerários de autorização de pesquisa no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas – MA 120

Gráfico 3.3 - Usos dos minerais minérios nas Fases dos processos minerários de disponibilidade no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas – MA 121

Gráfico 3.4 - Usos dos minerais minérios nas Fases dos processos minerários de concessão de lavra no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas – MA 121

Gráfico 3.5 - Usos dos minerais minérios na Fases dos processos minerários de licenciamento no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas – MA 122

Gráfico 3.6 - Frequência acumulada das diferentes formações geológicas amostradas 141

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 3.1 - Siglas e nomes das unidades de mapeamento geológico 89

Tabela 3.1 - Dados construtivos e hidrodinâmicos dos aquíferos Poti-Piauí – MA 111

1 INTRODUÇÃO

O Zoneamento Econômico e Ecológico do Estado do Maranhão – ZEE (MA), que compreende o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, ocupa aproximadamente 2/3 do território maranhense e visa à realização do levantamento das potencialidades e fragilidades do ambiente como sendo um instrumento orientativo para subsidiar a formulação e espacialização das políticas públicas do estado do Maranhão.

O mapeamento geológico, geomorfológico e hidrogeológico na escala 1:250.000 contou com mapeamento nas áreas dos municípios pertencentes ao Bioma para subsidiar o reconhecimento das formações geológicas, geomorfológicas, seus limites e potencialidades, associado à interpretação de imagens de satélites, sucessivos trabalhos de campo e trabalhos preexistentes do Serviço Geológico do Brasil.

A execução desse instrumento de planejamento foi realizada através do Convênio de Cooperação Técnica entre o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC e a Universidade Estadual do Maranhão - UEMA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização desse mapeamento contou com a utilização de materiais cartográficos para análise de fotointerpretação, sucessivas etapas de campo, análise laboratorial e, para elaboração das cartas temáticas, utilizou-se o método do mapeamento geológico sistemático (CPRM, 2004), o detalhamento progressivo Cerri *et al.* (1996) a partir do Mapeamento Geológico do Programa Geologia do Brasil, na escala 1:750.000 conforme Klein e Sousa, (2012). O mapeamento geológico possibilitou melhor compreensão das causas e dos processos que promoveram a formação das rochas, a geração dos bens minerais e as formações das paisagens, permitindo definir, com maior precisão, a sua espacialização e a indicação de seus potenciais.

O mapeamento geológico sistemático na escala de 1:250.000 se desenvolverá conforme CPRM (2004) e terá as seguintes etapas:

2.1 Principais fontes de pesquisa bibliográficas

Realizou-se o levantamento, avaliação e integração de informações pretéritas disponíveis para melhor compreensão dos aspectos relevantes para o desenvolvimento do mapeamento geológico, geomorfológico e a caracterização hidrogeológica dos aquíferos, em âmbito regional na escala 1:250.000.

As publicações científicas e técnicas utilizadas se referiram às dissertações, teses, anais de eventos científicos, periódicos nacionais e internacionais com enfoque geológico e hidrogeológico alicerçado as proposições do Serviço Geológico do Brasil.

2.2 Materiais cartográficos elaborados

Elaboração de uma base cartográfica digital georreferenciada e análise dos documentos cartográficos disponíveis como o Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão; Cartas Geológicas na escala 1:250.000 e Zoneamento Hidrogeológico e de Pontos de Água da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM, arquivos formato *shapefile* do Programa Geologia do Brasil, na escala 1:750.000 conforme Klein e Sousa, (2012), associada à Interpretação geológica de imagens multiespectrais de satélite (imagens *RapydEye* e *Landsat 8 OLI*), fotografias aéreas, dados aerogeofísicos ou outros sensores remotos aerotransportados como drone.

2.3 Trabalhos de campo

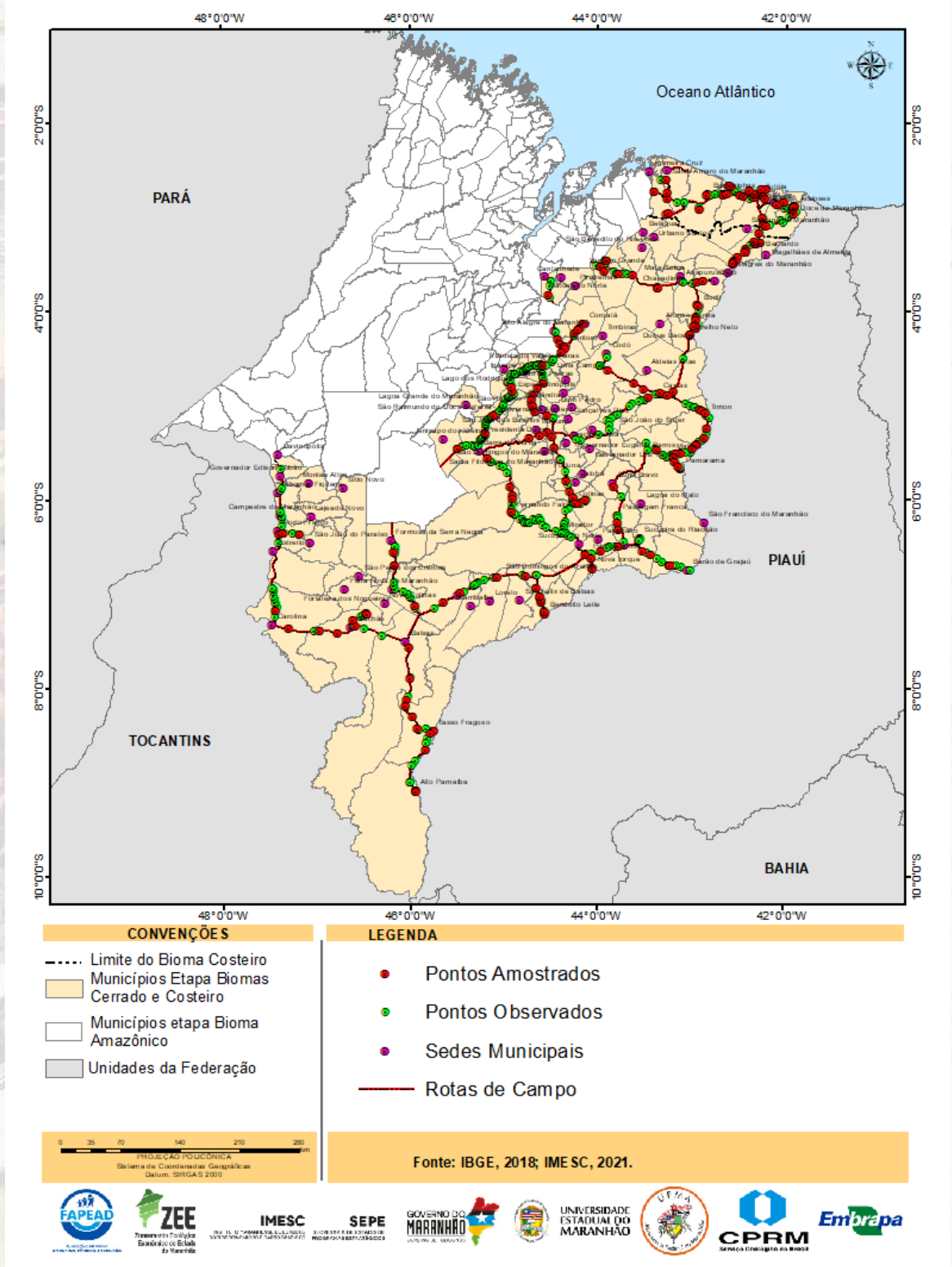
O reconhecimento de campo, estratégico para coleta de informações básicas, buscou o reconhecimento e a caracterização das diferentes composições das formações geológicas e dos domínios geomorfológicos, destacando as principais estruturas, formas de relevo, contatos, limites e recursos minerais envolvidos, conforme o método do mapeamento geológico e geomorfológico sistemático.

O método utilizado na caracterização das formações geológicas foi a descrição táctil-visual, destacando-se os aspectos locacionais, geomorfológicos, litológicos, texturais, mineralógicos e estruturais, uso e ocupação atual, perfil de alteração, processos e problemas ambientais registrados na área, como erosão, assoreamento e outros, além do registro de suas susceptibilidades e potencialidades.

A caracterização geológica foi realizada na escala 1:250.000, com a execução de perfis e coleta de amostras, onde a área mínima mapeável foi de 2,5 km, foram realizadas observações nos afloramentos existentes em cortes de estradas, voçorocas, drenagens, escavações e outros para melhor definição de seus limites e contatos geológicos/geomorfológicos.

Foram levantados 664 pontos observados sendo 212 pontos amostrados (Figura 3.1), para realização das análises granulométricas. Os pontos observados e coletados permitiram uma melhor caracterização e representatividade do bioma analisado.

Figura 3.1 - Mapa de amostragem no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

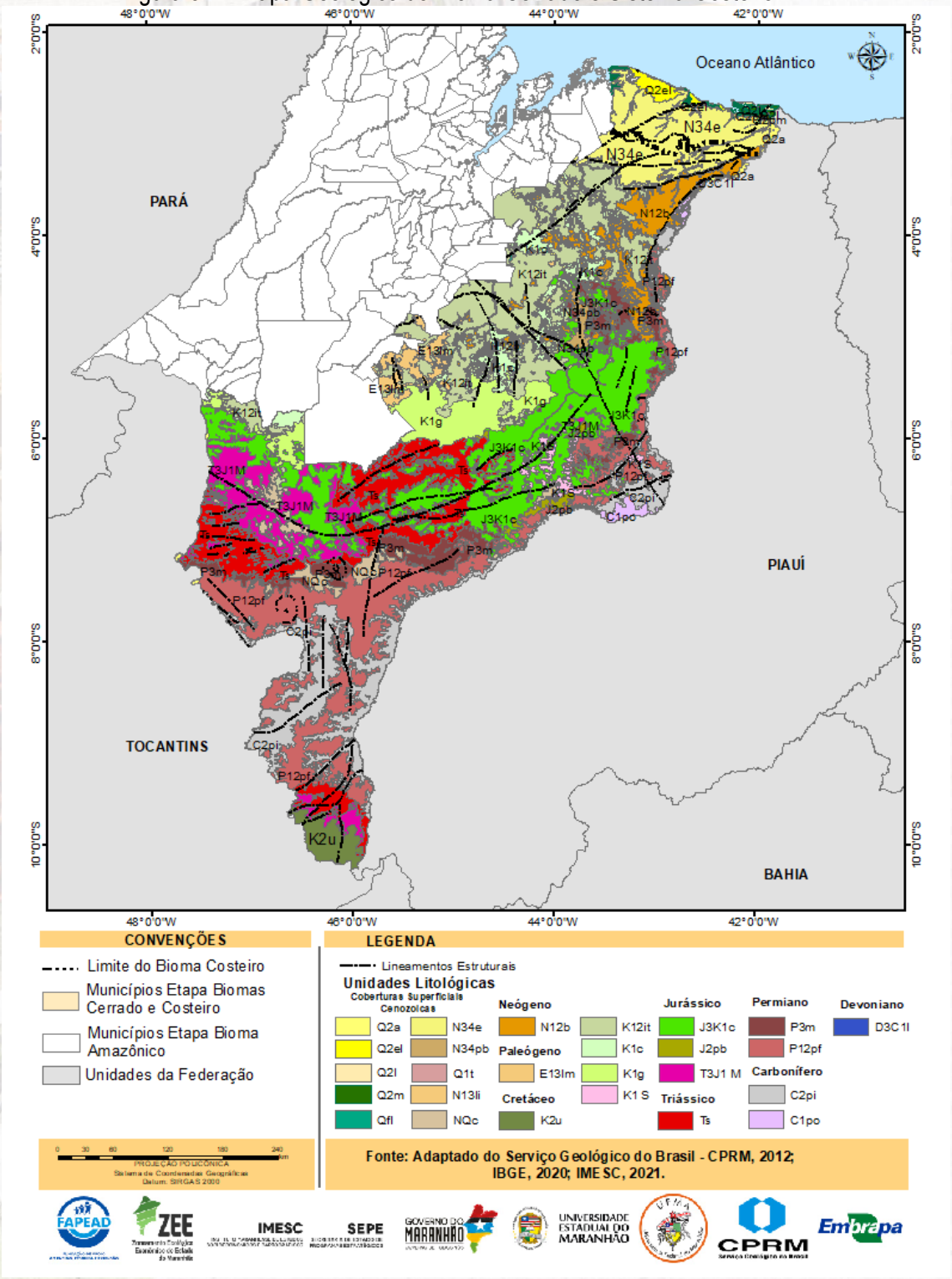
3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DOS BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO

As formações geológicas presentes no território maranhense no bioma Cerrado e Sistema Costeiro retratam o passado geológico dinâmico associado às movimentações das placas tectônicas na elaboração das formações geológicas presentes na bacia costeira de Barreirinhas e bacias intracratônicas Grajaú e Parnaíba, onde se encontram predominantemente rochas sedimentares que guardam as características dos paleoambientes que as formaram, retratados nos registros sedimentares, nas variações texturais mineralógicas e nas estruturas com presença de fósseis.

As formações geológicas depositadas no Paleozoico, Mesozoico e Quaternário guardam registros das movimentações da placa Sul-Americana, dos paleoambientes, fauna, flora que armazenaram diversas riquezas de minerais minérios como calcáreos, gipso, argilas, água mineral, astroblemas, gás e registros fósseis valiosos, e o aquífero Sambaíba de alto potencial de água subterrânea, além de outras riquezas a serem descobertas.

Os grupos e formações geológicas encontrados, no bioma, foram: Grupo Canindé (Formação Poti), Grupo Balsas (Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo, Formação Motuca e Formação Sambaíba), Formação Mosquito, Formação Pastos Bons, Formação Corda, Formação Sardinha, Formação Grajaú, Formação Codó, Grupo Itapecuru, Coberturas Lateríticas Imaturas, Grupo Barreiras e os Depósitos Quaternários como Eólicos-litorâneos, Litorâneos, flúvio-lagunares, Eólicos Continentais Antigo, Mangue, Aluvionares e pós-Barreiras presentes no Bioma Costeiro (Figura 3.2; Quadro 3.1).

Figura 3.2 - Mapa Geológico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA



Fonte: ZEE (2021)

Quadro 3.1 - Siglas e nomes das unidades de mapeamento geológico

SIGLAS	FORMAÇÕES GEOLÓGICAS
Q2a	Depósitos Aluvionares
Q2el	Depósitos Eólicos Litorâneos
Q2l	Depósitos Litorâneos
Q2m	Depósitos de Mangues
Q2fl	Depósitos Flúvio-Lagunares
N34e	Depósito Eólicos Continentais Antigos
N34pb	Sedimentos Pós--Barreiras
Q1t	Unidades Terraços Fluviais
N13li	Coberrturas Lateríticas Imaturas
NQc	Depósitos Colúvio-Elúvios
N12b	Grupo Barreiras
E13lm	Cobertura Laterítica Matura
K2u	Grupo Urucuia
K12it	Grupo Itapecuru
K1c	Formação Codó
K1g	Formação Grajaú
K1S	Formação Sardinha
K3k1c	Formação Corda
J2pb	Formação Pastos Bons
T3J1M	Formação Mosquito
Ts	Formação Sambaíba
P3m	Formação Motuca
P12pf	Formação Pedra de Fogo
C2pi	Formação Piauí
C1po	Formação Poti
D3c1l	Formação Longá

3.1 Grupo Canindé – Formação Poti – Carbonífero 300-360Ma

Litologia - O nome Poti foi proposto por Paiva e Miranda (1937 *apud* KLEIN; SOUZA, 2012) para designar arenitos e folhelhos negros encontrados no Piauí. Mesner e Wooldridge (1964) propuseram a subdivisão da Formação Poti em dois membros, superior e inferior.

A Formação Poti compreende uma sequência psamítica e pelítica de arenitos finos a médios, siltitos e folhelhos, amarelados e esbranquiçados com tons avermelhados, com estratificação plano-paralela, onduladas e cruzadas, com níveis carbonosos (Figura 3.3).

Ambiente Deposicional – O ambiente deposicional desta formação é marinho, de águas rasas e ambiente fluvial e flúvio-deltaico com breves incursões marinhas (LIMA; LEITE, 1978).

Susceptibilidades – Erosão

Potencialidades – Extração mineral

Figura 3.3 - Vista dos folhelhos carbonosos no PT-241 – Formação Poti

Fonte: Registro da pesquisa (2021)

3.2 Grupo Balsas – Formação Piauí – Carbonífero 300-360Ma

Litologia: Oliveira e Leonardos (1943 apud KLEIN; SOUZA, 2012) designaram as camadas carboníferas pensilvanianas como Formação Piauí.

A Formação Piauí compreende arenitos finos e siltitos alaranjados, maciços e finamente ondulado com presença de *waves* e com níveis de sílex. Registra-se a presença de fósseis (Figura 3.4).

Ambiente Deposicional – Conforme Mesner e Wooldridge (1964) sugerem origem fluvial com breves incursões marinhas restritas.

Susceptibilidades – Erosão

Potencialidades – Extração mineral para areia, cascalho e ilmenita

Figura 3.4 - Rochas pelíticas alaranjadas maciças e finamente laminada – PT-243 – Formação Piauí

Fonte: Registro da pesquisa (2021)

3.3 Grupo Balsas – Formação Pedra de Fogo – Paleozoico – Permiano 300-251Ma

Litologia: O nome Formação Pedra de Fogo foi proposto por Plummer (1946) para caracterizar camadas de arenitos ricas em sílex e fósseis vegetais (Psaronius) que afloram no vale do rio Pedra de Fogo entre Pastos Bons e Nova Iorque (GÓES; FEIJÓ, 1994 apud KLEIN; SOUZA, 2012).

A Formação Pedra de Fogo constitui-se de sedimentos pelíticos avermelhados, formados por siltitos e folhelhos, calcáreo, total a parcialmente silicificados, por vezes intensamente mosqueados, com camadas de sílex e nódulos esbranquiçadas, exibindo estratificação estrato paralela e cruzada (Figura 3.5). Destaca-se a presença de troncos vegetais silicificados (psaronius) formando uma floresta petrificada na área Duque Bacelar e Coelho Neto (CONCEIÇÃO, 2016).

Ambiente Deposicional – Essa formação foi depositada em ambiente dunar e litorâneos, associado a planícies de maré, conforme Silva *et al.* (2003).

Susceptibilidades – Erosão e escorregamento de massa

Potencialidades – Mineral minério de calcáreo e argila, turístico arqueológico – *Potencial Turístico* para formação de ecomuseu ou museu a céu aberto.

Figura 3.5 - Sedimentos avermelhados com camadas de sílex esbranquiçadas – PT-190 – Formação Pedra de Fogo – Timon

Fonte: Registro da pesquisa (2021)

3.4 Grupo Balsas – Formação Motuca – Paleozoico – Permiano – Tríassico 240-260Ma

Litologia: O nome Formação Motuca foi proposto por Plummer, Price e Gomes (1948 *apud* KLEIN; SOUZA, 2012) para designar folhelhos de cor vermelho escuro com lentes delgadas de calcário e anidrita, sobrejacente à Formação Pedra de Fogo.

A Formação Motuca constitui-se de 7 (sete) fácies constituídas por arenito com laminação cruzada cavalgante; arenito com estratificação cruzada sigmoidal; arenito maciço; ritmito arenito/pelito; pelito laminado; marga maciça e calcário maciço, conforme Abrantes Júnior; Nogueira, (2013).

A Formação Motuca presentes em Passagem Franca e Benedito Leite consiste de arenito avermelhado, róseos e porções esbranquiçadas, fino a médio, maciço, silicificado com presença de drusas de quartzo e encontram-se intensamente laterizado (Figura 3.6). Destaca-se a presença de troncos vegetais silicificados (psaronius).

Ambiente Deposicional – Deposição em ambiente fluvio-eólico com incursões marinha e prováveis ambiente lagunares em clima desértico, conforme Lima e Leite (1978) e Abrantes Júnior; Nogueira, (2013).

Susceptibilidades – Erosão

Potencialidades – Mineral minério de calcáreo, ferro e indícios de fosfato

Figura 3.6 - Sedimentos avermelhados maciço com porções esbranquiçadas – PT-382 – Formação Motuca – Benedito Leite

Fonte: Registro da pesquisa (2021)

3.5 Grupo Balsas – Formação Sambaíba – Triássico Inferior – 251-200Ma

Litologia: A Formação Sambaíba foi proposta por Plummer, Price e Gomes (1948 *apud* Klein e Sousa 2012) para os arenitos avermelhados aflorantes próximo a cidade de Sambaíba. A formação aflora principalmente no Sudeste do Maranhão nos municípios de Formosa da Serra Negra, Fernando Falcão, São Raimundo das Mangabeiras, Carolina, Estreito e Loreto.

A Formação Sambaíba compreende os arenitos avermelhados, fino a médio, friável, maciço e finamente laminado com frequentes mega estratificações cruzadas e plano-paralela (Figura 3.7).

Ambiente Deposicional – Caracteriza-se pelo ambiente continental, com sedimentação fluviais e eólicos em clima árido, conforme Lima e Leite (1978, pg.151).

Susceptibilidades – Erosão - formação de ravinas e voçorocas.

Potencialidades – Alto potencial para minério de ferro e a melhor formação aquífera (água subterrânea) do Maranhão.

Figura 3.7 - Sedimentos arenosos avermelhados friáveis – PT-650 - Formação Sambaíba – Carolina – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.6 Formação Mosquito Mesozoico – Jurássico – 190 a 199Ma

Litologia: A denominação de Formação Mosquito foi dada por Aguiar (1971) para os derrames basálticos aflorantes no rio de mesmo nome, a sul da cidade de Fortaleza dos Nogueiras. A formação aflora principalmente na região Centro-Oeste do Estado do Maranhão e ocorre em faixas descontínuas, geralmente alinhadas nas direções E-W e NE-SW, conforme (KLEIN e SOUSA, 2012).

A Formação Mosquito compreende os fluxos de lavas de basaltos de coloração preta a cinza, maciço, textura afanítica e amigdaloidal geralmente preenchidas por zeólitas, ocorrem em blocos soltos de tamanhos métricos e em forma de derrames, aflora no vale de rios, encontram-se intensamente intemperados com esfoliação esferoidal e fraturados (Figura 3.8). Encontram-se excelentes exposições na Pedreira São Francisco em Porto Franco e Colinas

Ambiente Deposicional – Derrames basálticos, vulcanismo fissural, típico de magma toleítico com idade de aproximadamente de 190 a 199Ma pelo método Ar-Ar (KLEIN e SOUSA, 2012).

Susceptibilidades – Intemperismo físico – Fraturamento e esfoliação esferoidal.

Potencialidades – Exploração de brita, pedras ornamentais e fertilidade do solo.

Figura 3.8 - Vista parcial da jazida de basalto - Formação Mosquito, PT- 360 – Colinas – MAb

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.7 Formação Pastos Bons – Mesozoico – Jurássico – 200-145Ma

Litologia: Lisboa (1914 apud KLEIN; SOUSA 2012), utilizou o termo “camadas Pastos Bons” para os argilitos e arenitos esverdeados aflorantes nas vizinhanças da cidade de mesmo nome.

A Formação Pastos Bons compreende um pacote de arenitos e siltitos silicificados, intercalados com folhelhos, calcarenitos ardosianos (Figura 3.9), contendo sílex e geodos, estratos plano-paralelo e ondulados, presença de marcas de ondas e mega gretas de contrações. Nesta formação registra-se a presença de fósseis.

Ambiente Deposicional – Fluviolacustre

Susceptibilidade – Erosão

Potencialidades – Jazida de Calcáreo e Turismo Científico – Sítio Paleontológico. Foi encontrado nesta formação o *Batrachomimus pastosbonensis* do grupo: Crocodiloformes no município de Nova York – 2012 (NOTÍCIAS USP, 2013).

Figura 3.9 - Vista das camadas de calcarenitos com ondulações - Formação Pastos Bons, PT-260 – Pastos Bons – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.8 Formação Corda – Mesozoico – Jurássico/Cretáceo – 200- 130Ma

Litologia: A denominação de "Arenitos Corda" foi usada inicialmente por Lisboa (1914) para designar os arenitos vermelhos que ocorrem intercalados em basaltos no vale do rio Mearim.

A Formação Corda constitui-se de arenitos fino a médio, arenito siltoso vermelho a alaranjado, rico em óxido ferro, variando de maciços a mosqueados, estratificação sub-horizontais e com mega estratificações cruzadas como se pode observar a seguir na figura 3.10.

Ambiente Deposicional – O ambiente deposicional desta unidade é interpretado como sistema desértico com contribuição interdunar e fluvial (VAZ *et al.,* 2007; CAPUTO, 1984; REZENDE, 2002 apud KLEIN; SOUSA, 2012).

Susceptibilidades – Erosão.

Potencialidades – Extração de areia, ocorrências de cobre, ferro e ouro.

Figura 3.10 - Vista parcial dos arenitos avermelhados com mega estratificação cruzadas – PT-230 – Formação Corda – Buriti Bravo – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.9 Formação Sardinha – Cretáceo – 130Ma

As rochas vulcânicas da Formação Sardinha apresentam coloração esverdeada a preto com texturas porfiríticas e afaníticas, ocorre em forma de diques e soleiras de diabásio e subordinamente basaltos (Figura 3.11). Ocorre excelentes exposições no Povoado Varjota no município de Timon.

Estudos petrográficos indicaram a presença dos minerais de óxidos de olivina, augita, plagioclásio e Fe -Ti (magnetita com ilmenita) e em menores proporções vidro vulcânico, diopsídio, pigeonita, apatita, pirita e calcopirita. Amígdalas preenchidas com calcita ou zeólita são raras e aparecem em rochas de granulação fina (OLIVEIRA, 2017). Datação pelo método Nd-Sr isotopic para a Formação Sardinha indicaram idade 130Ma.

Susceptibilidades – Intemperismo físico – Fraturamento e esfoliação esferoidal.

Potencialidades – Exploração de brita, pedras ornamentais e fertilidade do solo.

Figura 3.11 - Vista parcial do derrame de basalto no vale do rio - Formação Sardinha – MA. PT-201 – Povoado Varjota – Timon – MA.

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.10 Formação Grajaú - Mesozoico – Cretáceo – 145-100Ma

Litologia: Lisboa (1914 apud LEITES *et al.,* 1994) denominou de série Grajaú os arenitos amarelados e friáveis, capeados por arenitos silicificados que constituem o platô do Grajaú.

A Formação Grajaú consiste em arenitos esbranquiçados a amarelados, fino a médio com tons avermelhados, fino a médio com níveis silicificados e com lateritas, estratificados plano-paralela e com estratificações cruzadas de grande porte (Figura 3.12). Encontram-se excelentes exposições nos municípios de Fernando Falcão e Barra do Corda.

Ambiente Deposicional – Sistema flúvio-deltaico, conforme (CUNHA; SOUZA; CORDOBA, 2019) e eólica em sistema desértico (LEITES *et al.,* 1994).

Susceptibilidades – Erosão – ravinas e voçorocas.

Potencialidades – Exploração de areia para construção civil, minério de ouro e fosfato.

Figura 3.12 - Vista parcial dos arenitos friáveis - Formação Grajaú. PT- 564 – Fernando Falcão – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.11 Formação Codó - Mesozoico - Cretáceo - 145- 100Ma

Litologia: Os folhelhos Codó foram identificados pela primeira vez no vale do Rio Itapecuru na região de Codó, conforme Lisboa (1914 apud KLEIN; SOUSA, 2012).

A Formação Codó constitui-se de arenitos amarelados a bege claro, arenitos finos a médio e areno-siltoso, maciços, estratificação plano-paralela e com mega estratificação cruzada, presença de finíssimas plaquetas de micas, por vezes silicificados e carbonático (Figura 3.13). Observa-se presença de fósseis.

Ambiente Deposicional – O ambiente deposicional transgressivo predominantemente de deltaica (MIRANDA; ROSSETTI, 2006) e frente deltaica e lacustre e marinho raso e planície de maré (LEITES et al., 1994, p.23).

Susceptibilidades – Erosão.

Potencialidades – Extração de Calcário, gipsita e argila e água subterrânea.

Figura 3.13 - Vista dos arenitos amarelados da Formação Codó – Presidente Dutra – MA - PT- 332

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.12 Grupo Itapecuru – Formação Cujupe – Albiano

Litologia: Os arenitos aflorantes entre os rios Itapecuru e Alpercatas foram descritos inicialmente por Lisboa (1914 apud KLEIN; SOUSA, 2012).

O Grupo Itapecuru é uma das unidades com maior distribuição espacial no Estado do Maranhão e compreende as Formações Alcântara, Cujupe e Unidade Indiferenciada, conforme (ROSSETTI E TRUCKENBRODT, 1997).

O Grupo Itapecuru (Formação Cujupe) apresenta uma sequência de arenitos, siltitos e argilitos, avermelhados, com bancos esbranquiçados de caulinita, com mosqueamentos nítido e intensa laterização, com estratificação plano-paralela (Figura 3.14), com presença de rica quantidades de fósseis.

Ambiente Deposicional – Ambiente Deposicional de canal de maré, preenchimento de baía estuarina, planície de areia e delta de maré. Sistema estuarino dominado por ondas e composto por barras de desembocaduras fluviais e prodelta, conforme (ROSSETTI, 2001).

Susceptibilidades – Erosão (voçorocas e ravinas) e escorregamento de massa.

Potencialidades - Minerais minérios de emprego direto na construção civil e na cerâmica como areia, laterita, piçarra e argila.

Figura 3.14 - Vista das camadas avermelhadas de pelitos com estratificação plano-paralela - Formação Cujupe.PT – 336 – Joselândia – MA.

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

3.13 Coberturas Superficiais Cenozoicas – Quaternário

Os depósitos quaternários encontrados no bioma Cerrado e Sistema Costeiro foram: Grupo Barreiras no Neógeno e os Depósitos Quaternários como Mangue, Litorâneos, Aluvionares, Flúvio-Lagunares e Eólicos Continentais Antigos.

3.13.1 Grupo Barreiras – Neógeno 23-5.3 Ma

Litologia: O nome Barreiras foi usado por Oliveira e Leonardos (1943 *Apud* KLEIN e SOUSA, 2012) para designar as rochas cenozoicas que ocorrem no litoral brasileiro. O Grupo Barreiras predomina na porção nordeste do Maranhão constitui-se por sedimentos, alaranjados a avermelhados, silte-arenoso com lateritas centimétricas, subangular e em formação (Figura 3.15).

Ambiente Deposicional – Ambiente Deposicional transgressivo e estuarino, conforme (ROSSETTI; GOES, 2004; ARAÍ, 2006).

Susceptibilidades – Erosão (voçorocas e ravinas) e escorregamento de massa.

Potencialidades – Potencial para laterita e água subterrânea (aquífero livre).

Figura 3.15 - Sedimentos alaranjados com lateritas, P-335 - Joselândia - MA

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

3.13.2 Cobertura Laterítica Imatura– Quaternários

Litologia – Conforme proposto por Vasquez et al. (2008 *Apud* KLEIN e SOUSA, 2012), com base na proposta de Costa (1991), utiliza-se neste trabalho o termo Cobertura Laterítica Imatura para designar coberturas lateríticas formadas pelos horizontes pálido ou transicional, argiloso e ferruginoso (da base para o topo). Nesta unidade o horizonte bauxítico e/ou fosfático não ocorre, o que a diferencia da Cobertura Laterítica Matura.

A cobertura laterítica encontra-se geralmente no topo dos morros e colinas das formações mesozoicas desenvolvendo um solo concrecionário amarelado a avermelhado, com concentrações de lateritas de tamanhos variados, angulosa a subangulosa, com matriz silto-arenosa a argilosa. Destaca-se a presença de lateritas colunares métricas (Figura 3.16).

Figura 3.16 - Cobertura laterítica amarelada com matriz areno-siltosa, P-335 - Joselândia-MA

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Ambiente Deposicional – A sua abrangência ocorre principalmente no Centro Sul do bioma cerrado recobrindo as formações mesozoicas na bacia do Parnaíba

Susceptibilidades - Quando essas áreas são desmatadas e retirada a capa laterítica aumenta a susceptibilidade para dinamizar os processos de erosão e deslizamentos.

Potencialidades- Emprego direto na construção civil.

3.13.3 Depósitos de Mangue – Quaternários

Litologia - Os depósitos de mangue apresentam coloração esverdeada escura, sedimentos argilosos e siltosos, lamosos, lodoso, rico em matéria orgânica e mal drenado sujeito a dinâmica da maré.

Ambiente Deposicional – Abrangência no litoral do Maranhão e nas áreas de planícies de maré dos municípios de Tutóia, Araioses e Delta do Parnaíba e adjacências (Figura 3.17).

Susceptibilidades - Erosão marinha ativa e transgressão marinha.

Potencialidades – Lazer, rica biodiversidade e pesqueiro.

Figura 3.17 - Vista parcial do Depósito de Mangue – Araioses – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2020).

3.13.4 Depósitos Litorâneos – Quaternários

Litologia – Trata-se de depósitos encontrados na zona costeira formados por areias esbranquiçadas, finas, quartzosas e minerais pesados, bem selecionadas que ocorrem na faixa costeira, constituindo de dunas móveis e fixas em forma de barcanas a transversais. Originadas pela dinâmica dos ventos predominantemente de NE principalmente sob influência de marés (Fotos 3.16 – 3.18). Destaca-se a presença de paleomangues (Figura 3.18) e um Parque Eólico da Empresa Omega em Paulino Neves, na Praia de Boa Esperança.

Ambiente Deposicional – Abrangência no litoral nordeste do Maranhão nos municípios de Tutóia, Paulino Neves, Barreirinhas, Araioses e Delta do Parnaíba.

Susceptibilidades – Erosão marinha e Degradação ambiental.

Potencialidades – Turismo, lazer, ecoturismo, geração de energia e área de recarga.

Figura 3.18 - Vista da Praia da Boa Esperança – Pt 28

Fonte: Registro da pesquisa (2020).

3.13.5 Depósitos Aluvionares – Quaternários

Litologia – Os depósitos são formados por sedimentos esbranquiçado, arenosos finos a grosseiros, mal selecionadas, quartzosas, associados a pelitos (Figura 3.19). Originam-se por processos de tração subaquosa; compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial (VEIGA JR. 2000).

Ambiente Deposicional – Encontrados nas margens dos rios maranhenses.

Susceptibilidades – Assoreamento, erosão das margens e contaminação por efluentes domésticos.

Potencialidades – Turismo (lazer).

Figura 3.19 - Vista parcial do Depósito de Aluvião – Trizidela do Vale – MA

Fonte: Registro da pesquisa (2020).

3.13.6 Depósitos Flúvio - Lagunares – Quaternários

Litologia – Os depósitos são formados por sedimentos pelíticos (silte, argila) e areia fina de coloração cinza escura rica em matéria orgânica. Encontram-se nas áreas rebaixadas e alagadas do litoral do norte do Maranhão onde encontra-se área de Apicum que nas marés de sizígia são inundadas com frequência (Figura 3.20).

Ambiente Deposicional – Regiões localizadas acima da cota de preamares no norte do Estado do Maranhão.

Susceptibilidades – Inundação e assoreamento.

Potencialidades – Turismo, ecoturismo, pesqueiro, depósito de sais.

Figura 3.20 - Vista parcial da área de Apicum – Praia de Tutóia – MA – Pt-47

Fonte: Registro da pesquisa (2020).

3.13.7 Depósitos Eólicos Continentais Antigos– Quaternários

Litologia - Compreende as dunas fixas do interior do continente maranhense com vegetação, denominadas de paleodunas com idades holocênicas, conforme Santos e Silva (2009). São depósitos formados por sedimentos arenosos predominando areia fina, esbranquiçadas, bem selecionadas, quartzosas com minerais pesados em proporções subordinadas (Figura 3.21).

Ambiente Deposicional – Encontram-se nas áreas do litoral do nordeste do Maranhão nos municípios de Morros, Paulino Neves, Barreirinhas, Tutóia, Araioses e adjacências.

Susceptibilidades – Erosão, migração e ocupações irregulares.

Potencialidades – Turismo, ecoturismo, recarga de aquíferos.

Figura 3.21 - Vista parcial das paleodunas ao longo da MA- 402 – Morros - Pt-06

Fonte: Registro da pesquisa (2020)

4 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

4.1 Conceitos Gerais

A área pesquisada envolve o bioma Cerrado e Sistema Costeiro, ambos com características particulares**.** Na área do Sistema Costeiro existem dois sistemas de aquíferos que estão representados na: Formação Barreiras e Depósitos Eólicos. Essas formações aquíferas ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos decompostos *in situ*. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo elevado volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Quanto a área do Bioma Cerrado é constituída por rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que compõem sistemas aquíferos multicamadas, muitos com notável continuidade espacial, com menores expressões, em termos de continuidade e distribuição espacial, ocorrem rochas ígneas básicas como: diabásios, basaltos e, mais raramente, gabros.

4.1.1 Unidades Hidroestratigráficas do Sistema Costeiro

A caracterização hidráulica das Unidades Hidroestratigráficas quanto à produtividade das unidades apresenta produtividade baixa, porém localmente moderada, o que significa fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.

4.1.2 Depósito Eólico (Qe)

Localização – Constitui a cobertura da área emersa da bacia de Barreirinhas, abrangendo a totalidade dos municípios inseridos no bioma.

Características Litológicas – Esta unidade hidroestratigráfica é predominantemente constituída dos Depósitos Eólicos Continentais (Q1e) e em menores proporções, as unidades estratigráficas associadas: Depósitos Eólicos litorâneos (Q2e l), Depósitos de Cordões Litorâneos (Q1c l) e Dunas Inativas (QD), (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM, 2015). Litologicamente é composta de areia fina a média, geralmente bem selecionada e de coloração esbranquiçada.

Características Hidrogeológicas - É um aquífero poroso, contínuo, livre e sua espessura pode atingir até 30 metros. Apresenta vazão entre 10 e 25 m^3/h e capacidade específica de 0,4 a 1,0 m^3/h/m para 12 horas de bombeamento. A recarga ocorre através da infiltração direta da água da chuva (Monteiro *et al.* 2013).

Produtividade – De acordo com a classificação aqui adotada apresenta uma produtividade *Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada (Classe 4), conforme* (Monteiro *et al.* 2013).

Qualidade – De modo geral, as águas são adequadas para consumo humano, com média de 263 µS/c m para Condutividade Elétrica (CE) e 171 m g/L para Sólidos Totais Dissolvidos (STD), embora ocorra locais com condutividade alta com o máximo de 6.620 µS/cm. (Monteiro *et al.* 2013).

4.1.3 Barreiras - ENb

Localização – Ocorre ao sul da unidade anterior, constituindo altos topográficos.

Características Litológicas – É constituído por clásticos finos a grosseiros, heterogêneos, pouco consolidados, representados por arenitos médios a conglomeráticos, siltitos e argilas de cores variegadas.

Características Hidrogeológicas - Constitui um aquífero poroso, heterogêneo, descontínuo, livre, espessura média de 60 metros, capacidade específica entre 0,04 e 2,0m^3/h/m para 12 horas de bombeamento e vazão entre 5 e 50m^3/h para rebaixamento de 25 metros. A elevada variação litológica

desse aquífero acarreta condutividade hidráulica e transmissividade, também variável, consequentemente uma produtividade diversificada, entretanto, de modo geral, possui uma produtividade de moderada a muito baixa. É de vital importância no abastecimento da ilha de São Luís junto com o aquífero Itapecuru (Monteiro *et al.* 2013).

Produtividade – De acordo com a classificação adotada nesse trabalho apresenta as seguintes produtividades, conforme (MONTEIRO *et al.* 2013): *Moderada* (Classe 3), *Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada (Classe 4) e Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5).*

Qualidade – São águas de boa qualidade, adequadas para consumo humano e agricultura, com Condutividade Elétrica (CE) média de 142µS/cm e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 92,3 m g/L (MONTEIRO et al. 2013).

4.1.4 Unidades Hidroestratigráficas do bioma Cerrado

Os domínios litoambientais presentes são representados por feições geomorfológicas que caracterizam um relevo levemente ondulado a plano, e litologia heterogênea, quanto à natureza e granulometria dos materiais geológicos, salvo os sedimentos eólicos, com marcante influência no comportamento hidráulico dos aquíferos.

4.2 Descrição das Unidades Hidroestratigráficas do Bioma Cerrado

4.2.1 Sistema Aquífero Poti-Piauí (Carbonífero Inferior-superior)

As características hidrogeológicas dessas unidades apresentam-se semelhantes, formando o sistema aquífero Poti/Piauí. Ocorre na condição de aquífero livre e de aquífero confinado. É um sistema aquífero contínuo, extensão regional, espessura média de 400 metros, porosidade primária alta e potencialidade de moderada a elevada. Na condição de aquífero livre apresenta produtividade moderada sofrendo forte incremento quando ocorre como aquífero confinado, passando a apresentar uma produtividade elevada. A zona de ocorrência desse sistema ocupa o vale do rio Parnaíba, e ainda os vales escavados no interior dos amplos platôs no sul do Maranhão, geralmente sob sedimentos granulares sem coesão, de cobertura Neógena.

A Formação Poti (Carbonífero Inferior) é aflorante na área. Sua espessura média é de 176m. Em razão do predomínio da fração areia é considerada um aquífero promissor. É constituída por arenitos finos a médios, esbranquiçados a cremes, consolidados, com intercalações de siltitos argilosos, folhelhos, além de conglomerado intraformacional na base do pacote. Possui cimentação, compactação

e grau de fraturamento médio.

A Formação Piauí apresenta espessura média de 143m, e seus materiais aquíferos ocorrem em sua porção basal. É constituída por arenitos avermelhados, esbranquiçados e creme, finos a médios, terrígenos, consolidados, com intercalações de folhelhos, cimentação e compactação média e grau de fraturamento alto. Sua porção aflorante é constituída por sedimentos finos a argilosos, que atuam como materiais semiconfinantes. A recarga do sistema aquífero ocorre pela infiltração das águas pluviométricas, e a evapotranspiração constitui-se em forte exultório.

De acordo com a classificação de Struckmeir e Margat (1995) modificado por Diniz et al (2012 apud MONTEIRO et al., 2013), esse sistema apresenta uma produtividade *Moderada (Classe 3)* quando livre e, quando em confinamento, produtividade *Alta (Classe 2).*

A água subterrânea é boa para consumo humano, e adequada para a agricultura. A Condutividade Elétrica (CE) registra a média de 345 µS/cm, com Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 221 mg/l, conforme (MONTEIRO et al. 2013).

Esse sistema aquífero aflora em superfície na área do bioma Cerrado e encontra-se ao longo do curso do rio Parnaíba e vales internos nos platôs do sul maranhense, com espessuras médias, respectivamente de 290m e 260m. A sua ocorrência verifica-se a profundidades variáveis entre 200m a 1.000m.

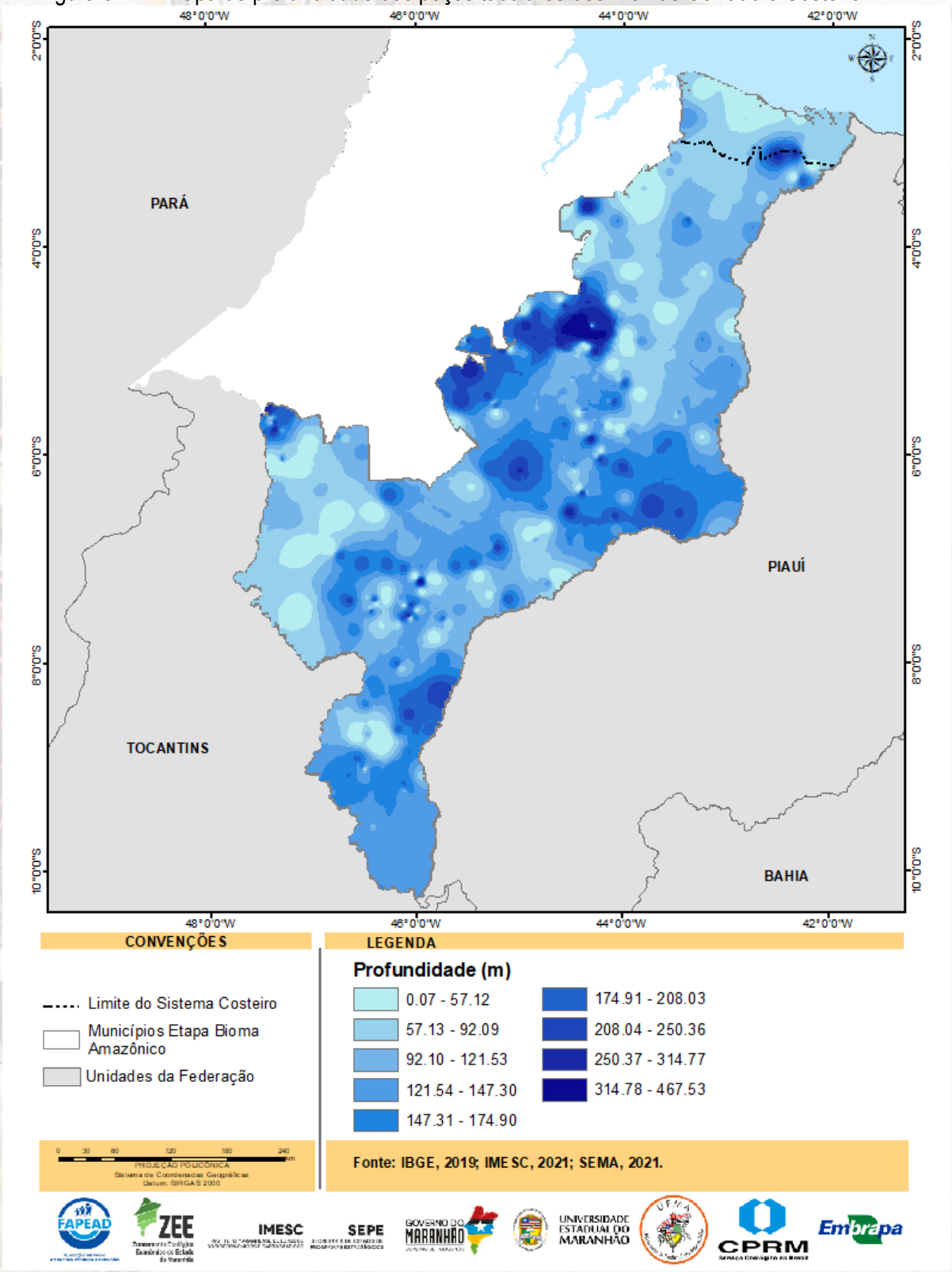
Ribeiro (1997) identificou 354 poços tubulares (70%) que explotam água desse sistema. Considerando a distribuição espacial do sistema na zona fronteiriça dos estados do Maranhão e Piauí, os valores apresentados assumem importante fonte de dados para o planejamento da instalação de poços tubulares no bioma Cerrado (Tabela 3.1, Figuras 3.22 e 3.23).

Tabela 3.1- Dados Construtivos e Hidrodinâmicos dos aquíferos Poti-Piauí – MA

Profundidade/ Dados hidrodinâmicos	MÉDIA		MÁXIMO		MÍNIMO	
Aquíferos	**POTI**	**PIAUÍ**	**POTI**	**PIAUÍ**	**POTI**	**PIAUÍ**
Profundidade (m)	84 (136)	80 (217)	351	354	14	22
Nível Estático (m)	8,7 (132)	12 (216)	27	66	1	0,22
Nível Dinâmico (m)	23,3 (112)	21,5(200)	128	75	3	0,50
Vazão (m³/h)	9,62 (124)	10,31 (199)	72	45	0,20	1,29
Capacidade Específica (m³/h/m)	2,98 (105)	3,12 (191)	27,99	40	0,010	0,07

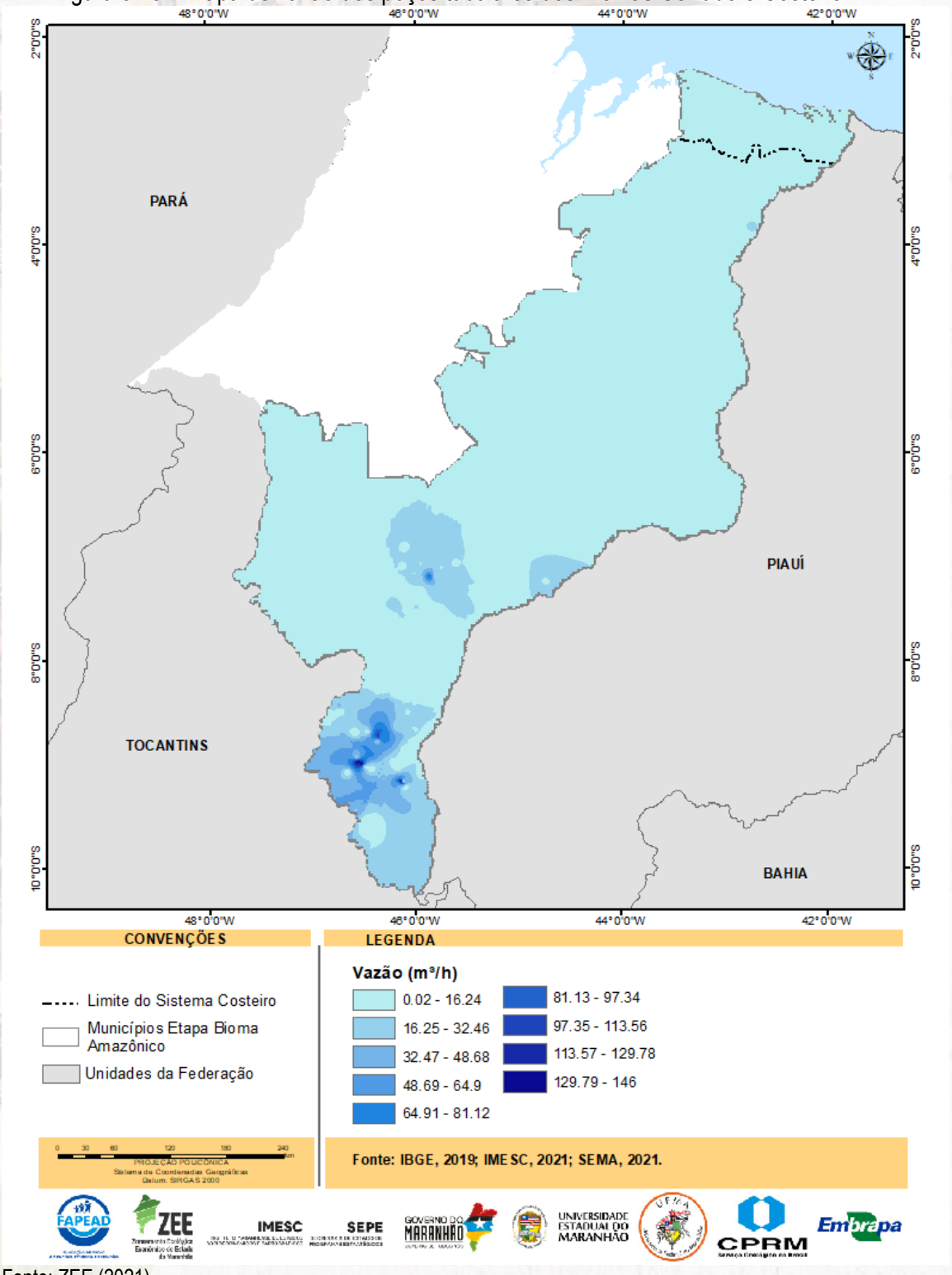
Fonte: RIBEIRO (1997). (136) = número de poços tubulares.

Figura 3.22 – Mapa de profundidade dos poços tubulares dos Biomas Cerrado e Costeiro – MA



Fonte: ZEE (2021).

Figura 3.23 – Mapa de vazão dos poços tubulares dos Biomas Cerrado e Costeiro – MA



Fonte: ZEE (2021).

4.2.2 Aquífero Pedra de Fogo (Permiano Médio)

Trata-se de aquífero livre, contínuo, espessura média de 130 metros; produtividade e permeabilidade muito baixas, em razão, principalmente, dos níveis de silexito. Apresenta uma produtividade *Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa (Classe 5).* Suas águas são boas para consumo humano e apropriadas para a agricultura, apresentando valores médios de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), respectivamente, de 312 µS/c m e 200 m g/L, conforme Monteiro *et al.* (2013).

A Formação Pedra de Fogo ocorre descontinuamente, margeando o rio Parnaíba e zonas com destaque topográfico ao centro e ao sul da área do bioma Cerrado. Seus litotipos são arenitos finos a médios, intercalados com siltitos e folhelhos calcíferos. Seu caráter mais argiloso lhe confere uma baixa permeabilidade e fraca potencialidade hídrica. Sua alimentação é através das águas das chuvas na área de afloramento. A evapotranspiração e o sistema fluvial constituído pelo rio Parnaíba e afluentes se constituem nos principais exultórios. RIBEIRO (1997) registra a ocorrência de vazões anômalas nesse aquífero, atribuindo o fenômeno à contribuição dos aquíferos subjacentes.

4.2.3 Aquífero Sambaíba (Triássico)

As características litológicas são marcadas por uma sequência de arenitos avermelhados, róseos e esbranquiçados, granulometria fina a média, bem selecionados, consolidados, cimentação média, friáveis, baixo grau de fraturamento, com níveis de sílex e basalto no topo do pacote. Aflora praticamente somente na zona sudoeste do bioma Cerrado.

Em função de alta porosidade e permeabilidade proporcionada pela expressiva fração arenosa é classificada como unidade mais promissora para a captação de água subterrânea, o que lhe confere potencialidade muito elevada.

Na condição de aquífero livre, apresenta espessura média de 230 metros e, quando confinado, sua espessura média é de 300 metros. Possui produtividade muito alta, com vazões específicas superiores a 4m^3/h/m, para 12 horas de bombeamento, e vazões superiores a 100m^3/h, para 25 metros de rebaixamento. Embora praticamente aflore somente na zona sudoeste do bioma Cerrado a sua produtividade justifica investimentos para explotação de suas águas, conforme Monteiro *et al.* (2013).

De acordo com a classificação adotada nesse trabalho apresenta uma produtividade *Muito Alta (Classe 1),* que dependendo da espessura e profundidade, varia para *Alta (Classe 2), conforme* Monteiro *et al.* (2013). Suas águas são adequadas para consumo humano e para agricultura, com Condutividade

Elétrica (CE), média, de 345 µS/cm e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de 88,32 m g/L, Monteiro *et al.* (2013).

4.2.4 Aquífero Corda (Jurássico)

É um aquífero poroso, livre a semiconfinado, contínuo, de extensão regional, espessura média de 160 metros e capacidade específica média de 1,5m^3/h/m, para 12 horas de bombeamento, e vazão média de 37,5m^3/h para rebaixamento de 25 metros, conforme Monteiro *et al.* (2013).

Os sedimentos da Formação Corda ocupam grande área de exposição na zona central do bioma Cerrado, tanto em altos topográficos como na região de Mirador como em planos arenosos a leste de Presidente Dutra.

Constitui-se de arenitos finos a médios, amarronzados e arroxeados, consolidados, quartzosos, com níveis argilosos e eventuais intercalações de siltitos e folhelhos. Mostra um grau de cimentação, compactação e fraturamento médio. De acordo com a classificação de Struckmeir e Margat (1995), modificado por Diniz et al (2012 apud, MONTEIRO *et al.* 2013), esse aquífero apresenta uma produtividade *Moderada (Classe 3).* Entretanto, pode variar para *Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada (Classe 4)*, principalmente quando livre, em decorrência dos arenitos argilosos na seção inferior da unidade. Suas águas são boas para consumo humano e adequadas para a agricultura apresentando uma média de 248µS/cm para Condutividade Elétrica (CE) e 158mg/L para Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

4.2.5 Aquífero Itapecuru (Cretáceo)

O aquífero Itapecuru possui presença expressiva no âmbito da área de estudo. Sua espessura aumenta para o norte do estado atingindo profundidades variáveis entre 400m e 600m (PETROBRAS apud COLARES; ARAÚJO, 1990).

Os materiais geológicos são, preferencialmente, arenitos de coloração variada, avermelhados a claros, finos a muito finos, argilosos, com níveis arenosos que justificam a perfuração de poços tubulares.

A associação das litofácies identificadas conduz à interpretação de que o Grupo Itapecuru foi depositado em ambientes continentais, tipos leques aluviais, rios e lagos, de um sistema desértico quente.

A interpretação das litofácies indica que os sedimentos do Grupo Itapecuru se originaram de depósitos da porção média a distal de um sistema fluvial de canais fluviais entrelaçados (*braided)*, com

contribuição de sistemas lagunares ou lacustres. As fácies correspondentes a corpos lenticulares arenosos estariam relacionadas a frentes deltaicas.

A ocorrência de transgressões marinhas está registrada em faixas da porção arenosa da Formação Itapecuru, em associação com bancos carbonáticos com vestígios fossilíferos, corroborando a interpretação de sua deposição em ambiente tipo planície de maré.

A produtividade fraca, em termos de água subterrânea, segue a feição típica dos aquíferos gerados nesses ambientes, onde corpos de areia e cascalho transportados por carga de fundo, têm geometria irregular e truncada. Os materiais finos em suspensão geram fortes contrastes de permeabilidades entre o preenchimento do canal e a deposição nas planícies.

A geometria dos aquíferos dessa unidade é bastante complexa, predominando formas lenticulares nos estratos arenosos, função dos ambientes continentais de deposição desenvolvidos próximos à zona costeira, e do grau de retrabalhamento dos materiais. A justaposição de ambientes com níveis diferentes de energias hidrodinâmicas determinou o alto grau de heterogeneidade texturais dos sedimentos, afetando a condutividade hidráulica das camadas aquíferas e, portanto, suas características hidráulicas.

Quanto à forma de ocorrência da água subterrânea caracteriza-se como aquífero livre a semiconfinado. Tem uma produtividade relativamente baixa, e sua exploração exige projeto construtivo e locação de poços tubulares apoiado em conhecimento da geologia de cada local. A profundidade do nível das águas subterrâneas no Aquífero Itapecuru segue uma tendência local, sendo seu controle condicionado por efeitos topográficos, litológicos e estruturais.

O aquífero apresenta produtividade baixa, onde as vazões sustentáveis recomendadas situam-se, em geral, abaixo de 10m³/h por poço tubular. A heterogeneidade é uma característica marcante deste aquífero sendo comum encontrar poços tubulares com vazões maiores. Ocorrências localizadas de litologias mais arenosas são responsáveis por maiores produtividades de água, cujas vazões sustentáveis recomendadas podem atingir mais de 20m³/h.

De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud MONTEIRO et al., 2013), apresenta produtividade moderada a geralmente baixa, porém Localmente Moderada *(Classes 3 e 4)*.

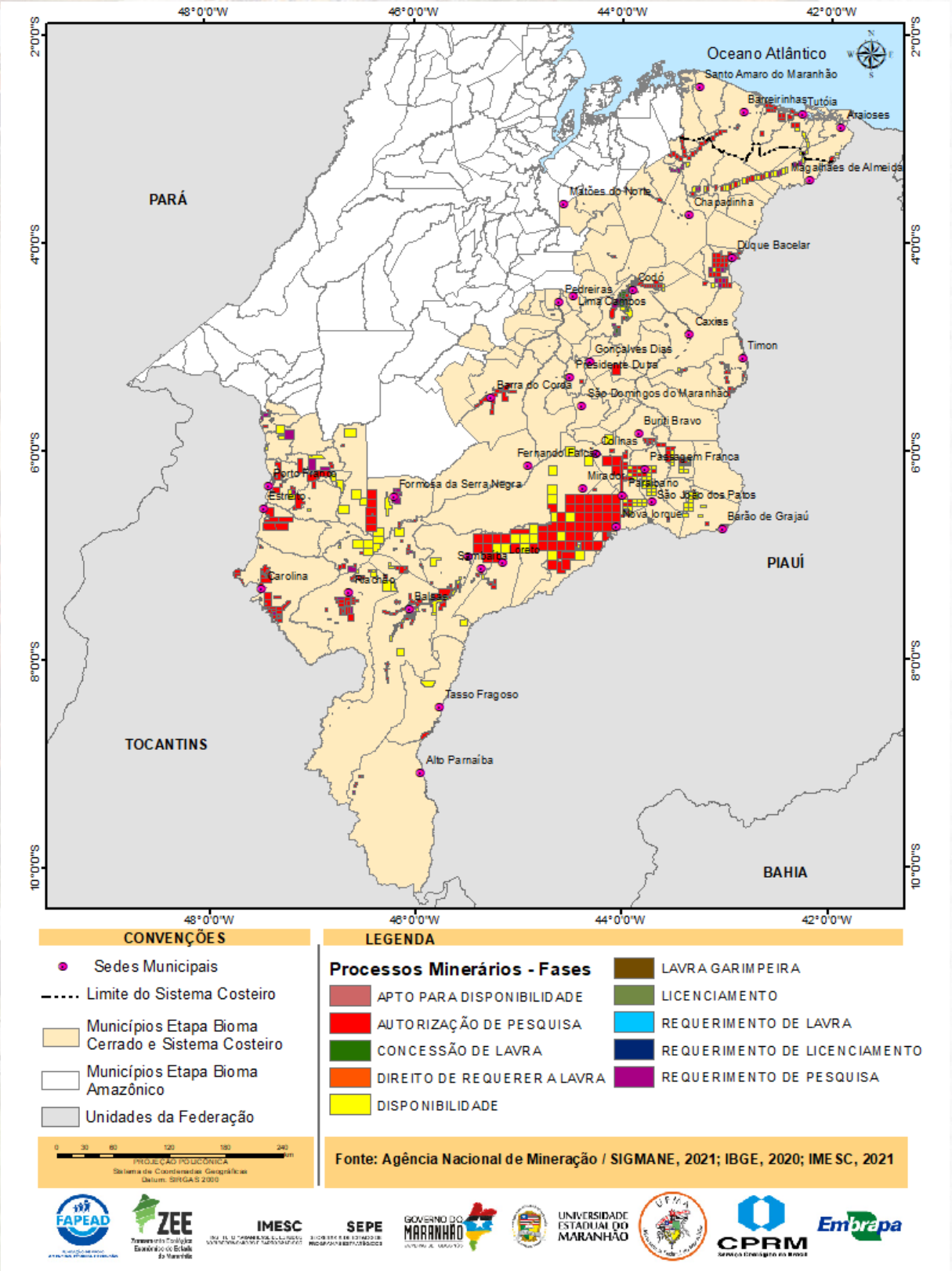
Conforme Colares, Araújo e Parente Filho (1990) as águas procedentes desse aquífero são distribuídas nas seguintes fácies hidroquímicas: carbonatadas, cloretadas, cloretadas-carbonatadas, mista e sulfatadas cloretadas. Dentre as classes mencionadas, há predominância do tipo sódica, o que lhes confere um caráter alcalino.

5 ATIVIDADES MINERÁRIAS NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

As atividades minerárias com registros ativos no órgão legislador Agência Nacional de Mineração (ANM) presentes no banco de dados disponibilizado através do Cadastro Mineiro – SIGMINE em maio de 2021, conta com 1.194 processos minerários no bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas sendo registrados processos em fase de autorização de pesquisa, concessão de lavra, licenciamento, disponibilidade, requerimento de licenciamento, requerimento de lavra, requerimento de pesquisa.

As atividades minerárias se concentram principalmente no Nordeste, Sudeste, Sudoeste do bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão com predomínio das fases de autorização de pesquisa, disponibilidades, licenciamento e concessão de lavra para os minerais minérios presentes nas formações geológicas presentes no Estado do Maranhão (Figura 3.24).

Figura 3.24 - Mapa de distribuição das áreas com processos minerários no Estado do Maranhão do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro em maio de 2021.



Fonte: ZEE (2021).

No Nordeste, as atividades minerárias predominam na Bacia de Barreirinhas nos municípios de Urbano Santos, São Benedito do Rio Preto, Santa Quitéria do Maranhão, São Bernardo, Araioses, Barreirinhas, Tutóia e Paulino Neves nos Depósitos Quaternários Eólicos Continentais Antigos através das autorizações de pesquisa para ilmenita. Na plataforma continental há a concessão de lavra para calcário e autorizações de pesquisa para fosfato, conchas calcáreas para fabricação de cal e fertilizantes insumos empregados na agricultura (Figura 3.24).

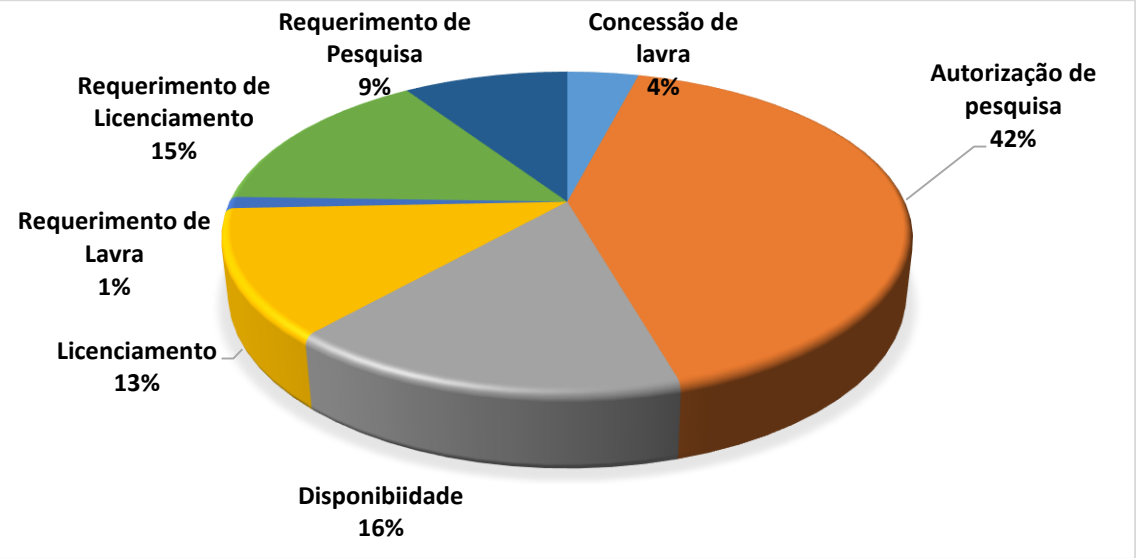
No Sudeste, predominam as atividades minerárias na Bacia de Parnaíba nas Formações geológicas Itapecuru, Corda, Piauí, Codó, Sambaíba, Motuca, Sardinha, Pedra de Fogo e Pastos Bons (KLEIN; SOUSA, 2012). No município de Codó predominam as concessões de lavra e autorização de pesquisa para fosfato, calcáreos, gipsita e argila. No município de Timon predominam as autorizações de pesquisa para basaltos/diabásios, argila e ilmenita. Em Duque Bacelar e Coelho Neto existem autorizações de pesquisa para minério de ferro e areia (Figura 3.24).

Nos municípios a sudoeste no Maranhão como Formosa da Serra Negra e Feira Nova do Maranhão predominam autorizações de pesquisa e várias áreas em disponibilidades com pesquisas para minério de ouro, cobre, bauxita, gipsita e mármore. No sul do Maranhão predomina autorização de pesquisa na Formação Pedra de Fogo, nos municípios de Balsas, Tasso Fragoso e São Raimundo das Mangabeiras para os minerais minérios de cobre, ouro, caulim, calcáreo e turfas. Enquanto para o município do Alto Parnaíba predominam autorizações de pesquisa na Formação Piauí para cromita (Figura 3.24).

Destaca-se que no Maranhão apesar das ocorrências dos minerais minérios de ouro, cobre, bauxita, gipsita, mármore, fosfato, calcáreos, argila, basaltos/diabásios, areia e outros, predominam as fases de autorizações de pesquisa e áreas em disponibilidades perfazendo 58% dos processos registrados na Agência Nacional de Mineração-ANM, em maio de 2021 (Gráfico 3.1). As autorizações de pesquisa incluem os usos para indústria, fertilizantes, construção civil, corretivo do solo, brita, energéticos, engarrafamento e cerâmica vermelha (Gráfico 3.2). Existem, ainda, 191 processos em fase de disponibilidade no Maranhão para as substâncias utilizadas na indústria, fertilizantes (fosfato), construção civil (areia, cascalho e saibro) e argila vermelha presentes principalmente no sul do Maranhão (Gráfico 3.3).

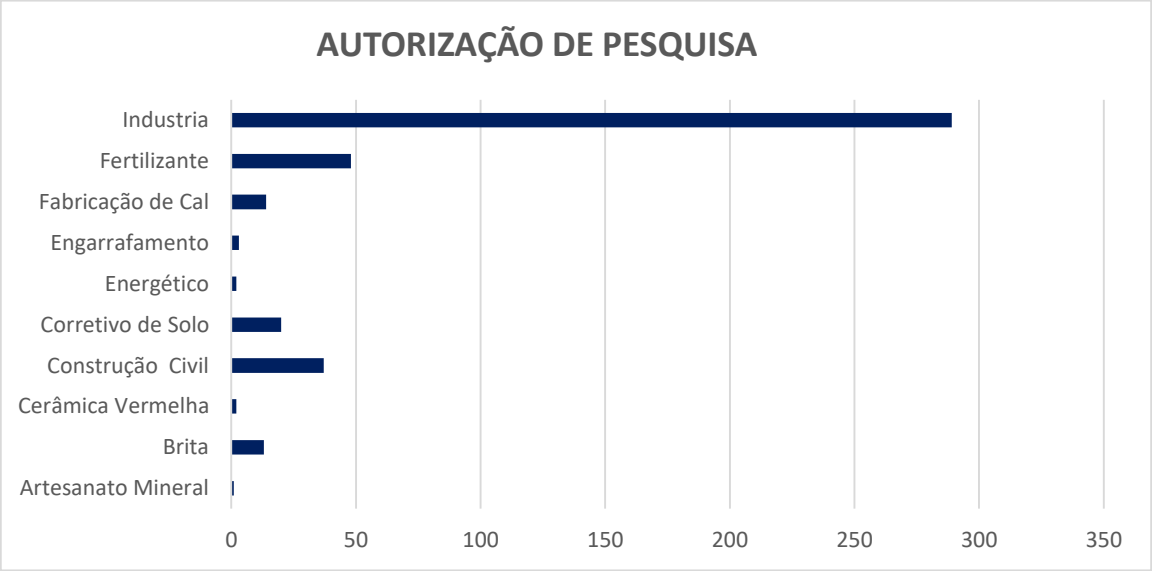
As concessões de lavra expedidas pela ANM foram 48, associado há 1 para lavra garimpeira e 2 para o direito de requerer lavra que são para exploração mineral de calcáreo, gipsita, ouro, água mineral e minerais de emprego direto na construção civil como argilas e basaltos (Gráfico 3.4).

Gráfico 3.1 - Fases dos processos minerários no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas - MA



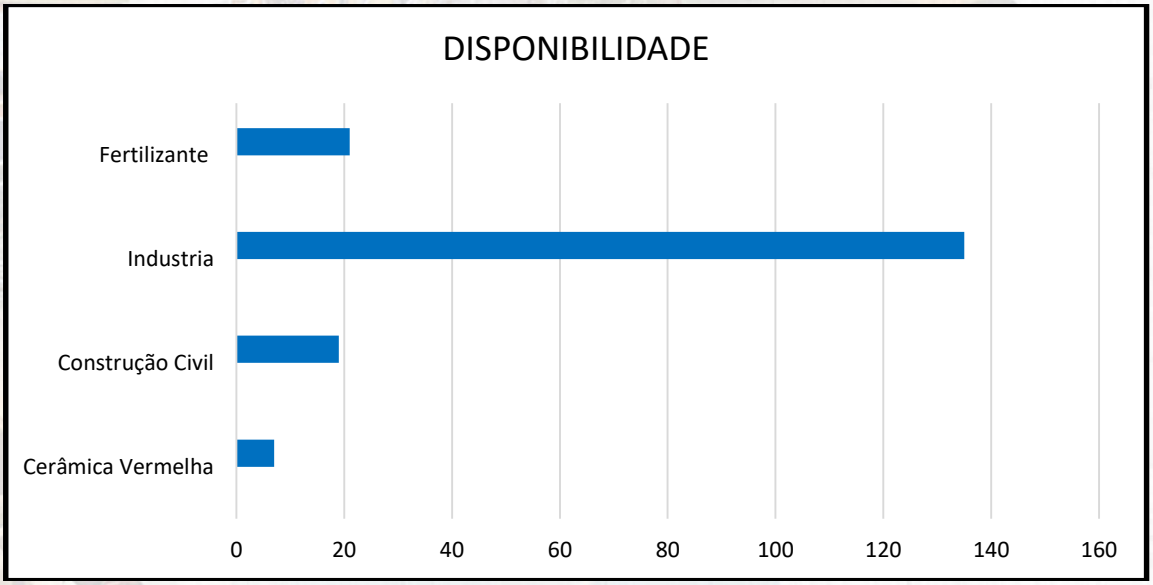
Fonte: SIGMINE/ANM – maio 2021.

Gráfico 3.2 - Usos dos minerais minérios na Fases dos processos minerários de autorização de pesquisa no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas - MA



Fonte: SIGMINE/ANM – maio 2021.

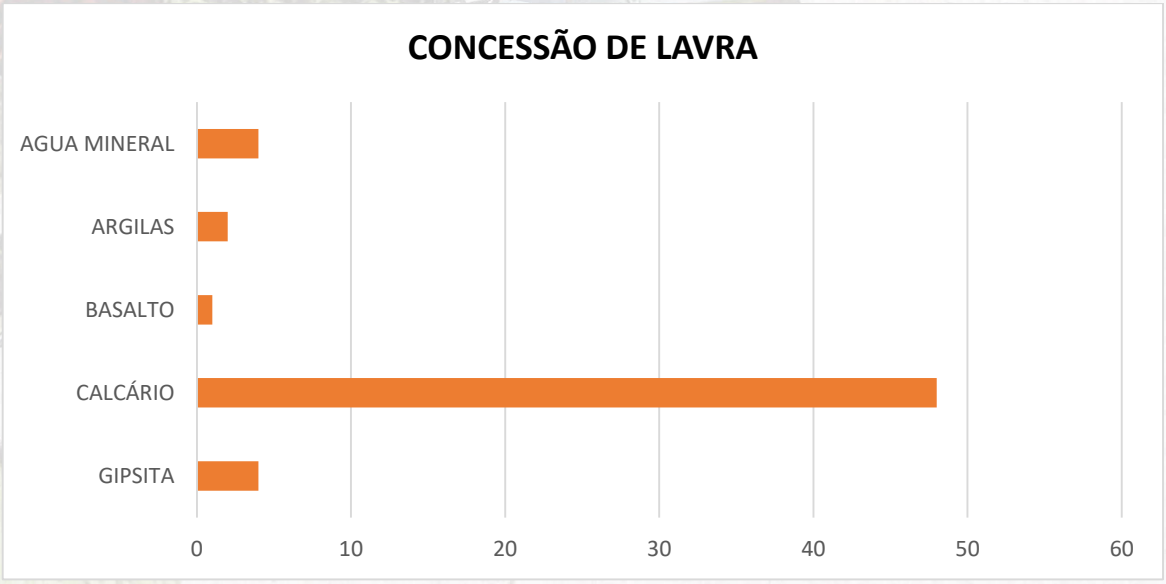
Gráfico 3.3 - Usos dos minerais minérios nas Fases dos processos minerários de disponibilidade no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas - MA



Fonte: SIGMINE/ANM – maio 2021.

Os licenciamentos expedidos pela ANM foram 151 para substâncias minerais de emprego direto na construção civil como saibro, cascalho e areia, cerâmica vermelha, brita, corretivo do solo e indústria (Gráfico 3.5).

Gráfico 3.4 - Usos dos minerais minérios nas Fases dos processos minerários de concessão de lavra no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas - MA

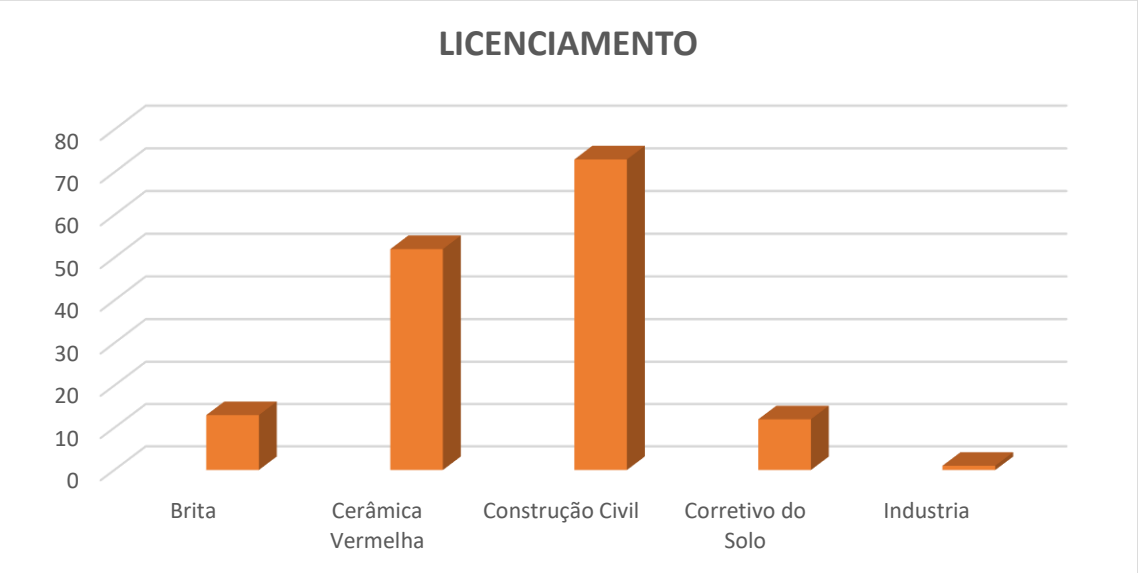


Fonte: SIGMINE/ANM – maio 2021.

Consideram-se substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, conforme (BRASIL, 2000).

- Areia, cascalho e saibro, quando utilizados in natura na construção civil e no preparo de agregado e argamassas;
- Material sílico-argiloso, cascalho e saibro empregados como material de empréstimo;
- Rochas, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões ou lajes para calçamento;
- Rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil.

Gráfico 3.5 - Usos dos minerais minérios na Fases dos processos minerários de licenciamento no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na Bacia do Parnaíba e Barreirinhas - MA

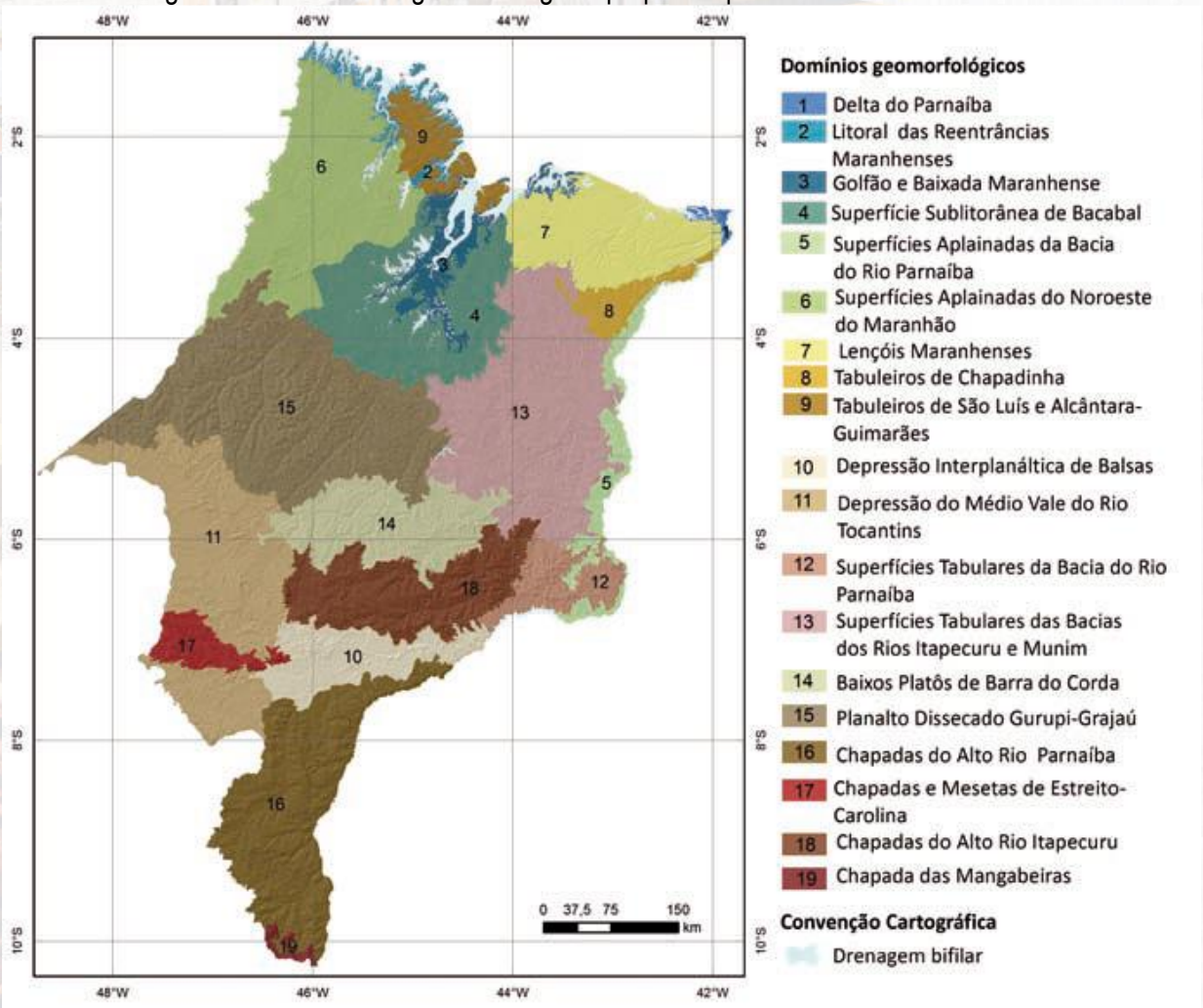


Fonte: SIGMINE/ANM – maio 2021.

6 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO

Este relatório apresenta resultados da análise preliminar dos domínios e unidades geomorfológicas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão, baseado no trabalho de Dantas et al., (2013) o qual identificou 19 domínios geomorfológicos para o estado do Maranhão (Figura 3.25).

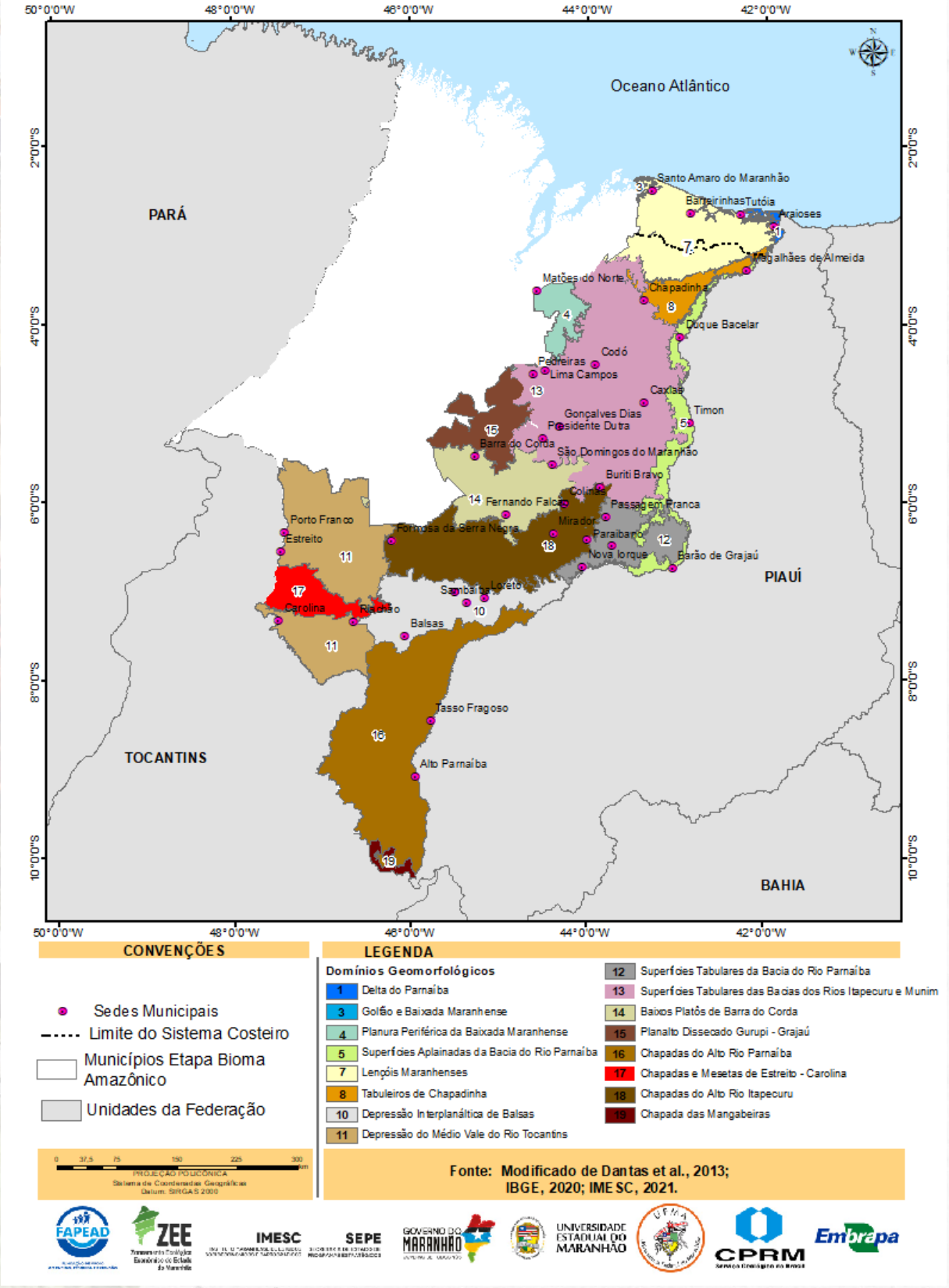
Figura 3.25 - Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão



Fonte: Dantas et al., (2013).

Especificamente no bioma Cerrado e Sistema Costeiro maranhense serão analisados 16 domínios, a saber: Delta do Parnaíba, Golfão e Baixada Maranhense, Superfície Sublitorânea de Bacabal, Superfícies Aplainadas da Bacia do Parnaíba, Lençóis Maranhenses, Tabuleiros de Chapadinha, Depressão Interplanáltica de Balsas, Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins, Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba, Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim, Baixos Platôs de Barra do Corda, Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, Chapadas do Alto Rio Parnaíba, Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina, Chapadas do Alto Itapecuru e Chapada das Mangabeiras (Figura 3.26).

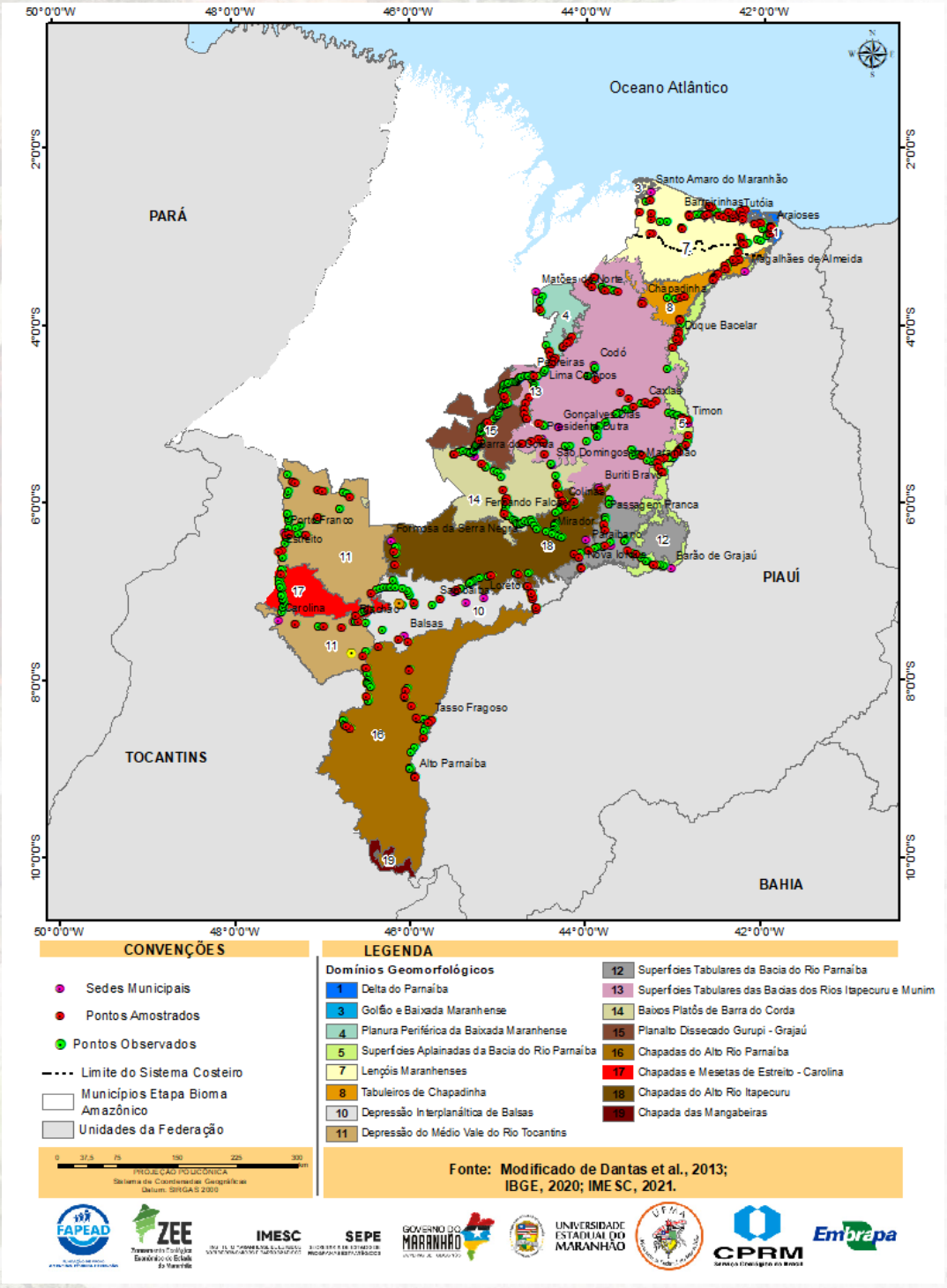
Figura 3.26 - Domínios geomorfológicos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de Dantas et al. (2013).

A seguir, apresenta-se uma descrição sobre os domínios geomorfológicos inspecionados durante os trabalhos de campo e suas principais unidades geomorfológicas reconhecidas no bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Estado do Maranhão (Figura 3.27), as quais possuem padrões de respostas espectrais e variações topográficas distintas, conforme detalhamento abaixo.

Figura 3.27 - Pontos amostrados e observados no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do MA



Fonte:ZEE (2021)

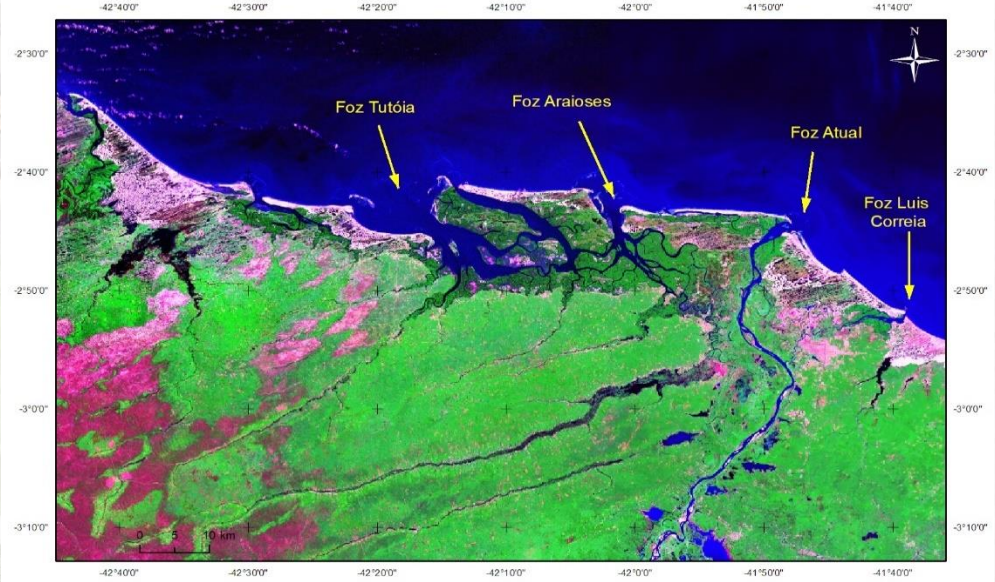
6.1 Delta Do Parnaíba

Entre os estados do Piauí e do Maranhão, no extremo Leste da Planície Costeira Maranhense, desenvolve-se o delta do rio Parnaíba, também conhecido como Delta das Américas. Devido à deriva litorânea de sedimentos, a maior parte da planície deltaica encontra-se em território maranhense. A porção ocidental do referido delta encontra-se delimitada, a sul e a oeste, pelos Lençóis Maranhenses. As principais cidades do Delta do Parnaíba no estado do Maranhão são: Tutóia, Água Doce do Maranhão e Araioses.

De acordo com Santos (2008), reposicionamentos consecutivos da embocadura do Parnaíba podem ter causado a geração dos lençóis sucessivos em que a geração e o posicionamento do atual campo de dunas dos Lençóis Maranhenses podem estar relacionados ao abandono da barra de Tutóia, bastante recente, provavelmente a menos de 5.500 anos. Através da análise das imagens do referido delta, Santos (2008) constatou a existência de pelo menos três bocas principais (a atual e duas em abandono), a saber: 1) Foz situada a leste – encontra-se nas imediações da cidade de Luís Corrêa; 2) Foz situada a oeste - apresenta canais em processo de abandono, constituindo um complexo de embocaduras denominado Araioses / Tutóia e 3) Foz atual - tendo direção N/NE, constituindo a principal foz do Parnaíba (Figura 3.28).

Esta unidade, caracterizada por um ambiente deltaico de interface entre os sistemas sedimentares fluviais e marinhos, apresenta um diversificado conjunto de feições deposicionais de origens fluvial, fluviomarinha, eólica e marinha, com marcante domínio das planícies fluviomarinhas e mangues (DANTAS et al., 2013).

Figura 3.28 - Delta do Parnaíba com a identificação das principais desembocaduras



Fonte: Santos (2008)

Nesta região, a interação de ondas e marés (mesomarés) proporciona o desenvolvimento de praias e sistemas eólicos acoplados na frente oceânica do Delta, enquanto sua retaguarda protegida das ondas é ocupada por extensos manguezais. A frente oceânica do Delta exibe uma fragilidade inata, onde, esporões arenosos (Figura 3.29) passam a controlar sua dinâmica modificando os limites entre praias e manguezais.

Figura 3.29 - Esporão arenoso na frente oceânica da Planície deltaica do rio Parnaíba

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020)

6.2 Lençóis Maranhenses

Limitado a Leste pelo delta do Parnaíba, considerado sua principal área fonte de sedimentos (Santos, 2008), os Lençóis Maranhenses ampliam-se continuamente a oeste estendendo cada vez mais em direção a baía de Tubarão, onde começa apresentar sinais de colmatação. Este domínio é ancorado em subsuperfície por fácies marinhas do Grupo Barreiras, onde por vezes é possível observar tais sedimentos de granulometria siltosa em pontos de extração de areias.

De acordo com Ab'Saber (2000), a planície costeira do Maranhão possui um dos maiores registros de campo de dunas costeiras desenvolvidos ao longo do Quaternário. Os Lençóis Maranhenses constituem o maior campo eólico ativo do Brasil, onde inúmeras formas de dunas se destacam em superfície como as barcanas, cadeias barcanóides e parabólicas. Dunas frontais são quase ausentes destacando o caráter erosivo deste litoral, onde, pelo contrário, nas praias são evidenciados depósitos de ambientes de retrobarreira (manguezais), aflorando na linha de costa (Figura 3.30). Em direção ao interior do continente as dunas deixam de ser móveis tornando-se vegetadas e ocupam uma área dezenas de vezes maior que o campo eólico ativo.

Figura 3.30 - Afloramento ao nível do estirâncio de depósitos de paleomangues na Praia de Caburé

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020)

Nesse domínio geomorfológico destacam-se as seguintes unidades morfológicas: praias, lençóis de areia, lagoas, pontais, cordões e terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, tabuleiro dissecado, rastros de dunas e montes residuais, além das dunas barcanas, parabólicas, oblíquas e das cadeias de barcanas, parabólicas e transversais.

No Sistema Costeiro em questão podem ser encontradas dunas móveis e fixas (Figura 3.31) nas proximidades do litoral, bem como, outras mais interiorizadas como as dunas fixas observadas nos municípios de Icatu, Axixá e Morros, com idades superiores a 5.900 AP, segundo Santos (2008).

Figura 3.31 - Duna fixada pela vegetação no município de Santo Amaro do Maranhão

Fonte: Registro da pesquisa (2020)

No período de cheias, o lençol freático regional eleva-se e alaga as áreas entre as dunas (lagoas interdunares), tanto das dunas vegetadas, quanto principalmente, das dunas móveis, propiciando uma beleza cênica incomparável, que se traduz no elevado potencial turístico (Figura 3.32).

Figura 3.32 - Vista panorâmica dos Lençóis Maranhenses PNLM

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020).

6.3 Golfão e Baixada Maranhense

O Golfão Maranhense, localizado entre o litoral ocidental e o oriental na zona costeira do Estado do Maranhão comunica-se com o oceano Atlântico através da abertura compreendida entre as baías de Cumã e a de Tubarões Santos *et al.,* (2019). Dentre as principais unidades geomorfológicas existentes na área de abrangência do Golfão Maranhense, destacam-se: baías, canais e planícies de maré lamosa, com ou sem manguezais, praias dissipativas de areia fina, dunas móveis e fixas, falésias, afloramentos com concreções lateríticas, plataforma de abrasão e terraço de abrasão de superfície irregular, tabuleiros, planície arenosa, dunas (fixas e móveis), lagoas, lagunas e campos. Destaca-se ainda, que a Ilha do Maranhão se localiza na parte central do referido golfão.

A Baixada Maranhense é uma unidade ecossistêmica de 1.775.035 hectares, situada na planície costeira da área em análise, onde encontram-se as praias, os estuários e os baixos cursos dos rios. Esta configuração é resultante da última Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP) que no decorrer do Holoceno invadiu as baías do Cumã, São José, São Marcos e Tubarão e inundou também os cursos inferiores do Rio Pericumã, Turiaçu e Mearim. Este evento transgressivo está relacionado a uma rápida ascensão do Nível Relativo do Mar (NRM) que alcançou os arenitos cretácicos do Grupo Itapecuru e sedimentos Neógenos do Grupo Barreiras, criou reentrâncias que hoje são reconhecidas como falésias

e colinas com topos aplainados (tabulares).

Esta extensa planície fluviomarinha de topografia extremamente plana é constituída segundo Teixeira; Souza Filho, 2009 a*pud* Dantas *et al.,* (2013) por uma superfície sazonalmente inundada de pântanos de água doce (campos hidrófilos de várzea) (Figura 3.33), lagos intermitentes, campos halófilos de várzea, pântanos salinos (ou apicuns), manguezais, planícies de maré lamosa (ou coroas de lama) e canais estuarinos.

Figura 3.33 - Remanescentes topográficos isolados, aflorantes em meio aos lagos e campos inundáveis

Fonte: Santos et al. (2019).

6.4 Superfície Sublitorânea de Bacabal

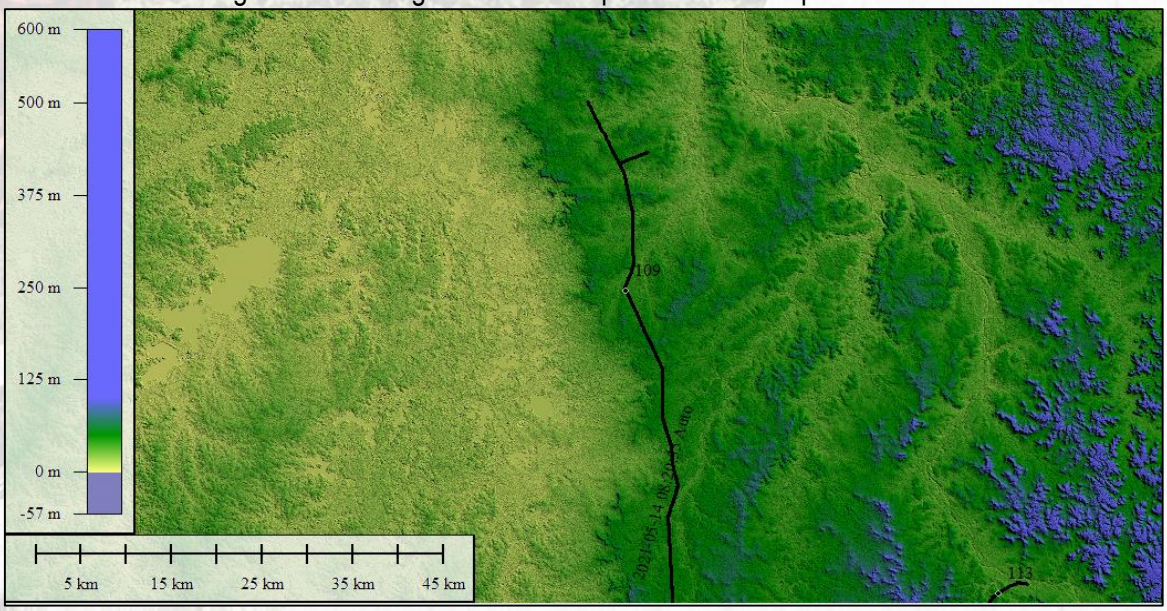
Este domínio denominado por Santos et al., (2019) de planura periférica da Baixada Maranhense, compreende uma paisagem monótona dominantemente de superfícies aplainadas (Figuras 3.34) e colinas esparsas no limite com superfícies trabulares das bacias do Rio Munim e Itapecuru.

Figura 3.34 - Vista aérea da Superfície Sublitorânea de Bacabal, nas imediações do ponto de coleta da amostra 109

Fonte: Registro da pesquisa (2021).

O domínio em questão marca o limite continental da Planície Costeira do Maranhão (Figura 3.35). Seus sedimentos são siltosos e indicam baixa permeabilidade nestes depósitos litorâneos.

Figura 3.35 - Imagem SRTM nas proximidades do ponto 109



Fonte: SRTM (2020).

As posições mais baixas destes terrenos, hoje vales incisos, representam os limites superiores dos estuários do Golfão Maranhense durante o máximo da Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP). Seus sedimentos são dominantemente silte grosso (phi 4,1) e indicam baixa permeabilidade de tais depósitos litorâneos, principalmente por este domínio, encontram-se ancorado à Formação Itapecuru.

Tais características conferem a este domínio uma ampla disposição de ambientes lacustres e inundáveis densamente ocupados por vegetação bem adaptada ao alagamento em que ocorrem gleissolos (Figura 3.36). Estes níveis de solos ocasionam a ressedimentação do silte já presente em subsuperfície e ocasionam a diminuição dos grãos para silte muito fino (phi 7,3) moderadamente selecionado. As suaves ondulações topográficas que restam neste domínio são a exemplo dos demais domínios, sustentados por um manto de seixos, nódulos e horizontes lateríticos.

Figura 3.36 - Vista aérea da Superfície Sublitorânea de Bacabal nas proximidades de depósitos pantanosos

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021).

Foi também observado que os topos das esparsas colinas deste domínio, apresentam sinais de retrabalhamento na ausência dos horizontes lateríticos, ressedimentando estratos siltosos da Formação Cujupe, em meio às demais fácies sedimentares desta formação.

Conforme Dantas *et al.,* (2013), trata-se de uma área ideal para implantação de projetos agrícolas com uso intensivo de mão-de-obra e baixo dispêndio de capital e tecnologia (agricultura familiar) em detrimento do atual cenário de grandes pastagens para pecuária extensiva.

6.5 Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba

As Superfícies Aplainadas da bacia do rio Parnaíba (seguindo denominação proposta por Ferreira e Dantas, 2010 para o Estado do Piauí) consiste num conjunto de superfícies aplainadas (Figura 3. 37), em diferentes níveis altimétricos, apresentando baixas altitudes, entre 30 e 200 metros.

Figura 3.37 - Vista aérea da Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

No território maranhense, segundo Dantas *et al*., (2011) este domínio das superfícies aplainadas ocupa uma estreita e comprida faixa situada na margem oeste do rio Parnaíba no seu baixo e médio curso, estando imediatamente delimitada por curtas escarpas e rebordos erosivos em diferentes níveis altimétricos, apresentando baixas altitudes, entre 30 e 200 metros (dos tabuleiros de Chapadinha e das superfícies tabulares das bacias dos rios Itapecuru e Munim, além das superfícies tabulares do rio Parnaíba, mais ao sul) devido à erosão diferencial de suas formações geológicas (F. Poti, F. Piauí, F. Pedra de Fogo e F. Motuca), e, principalmente, à ocorrência de níveis silicificados do Grupo Balsas sob este domínio (Figura 3.38).

Figura 3.38 - Níveis silicificados na Formação Piauí

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021).

6.6 Tabuleiros de Chapadinha

Os tabuleiros de Chapadinha ocupam uma extensa superfície tabular pouco dissecada instalada, ao sul dos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses (Figura 3.39), sobre o Grupo Barreiras, onde curtos rebordos erosivos ampliam-se para norte. A granulometria deste embasamento é essencialmente silte grosso (phi 4,3), muito pobremente selecionada, conferindo certa impermeabilidade aos solos, o que reflete no seu elevado potencial de preservação. É muito provável que a preservação destes tabuleiros também esteja controlada por soerguimentos relacionados ao Lineamento Rio Parnaíba.

Estes tabuleiros são sustentados por sedimentos do Grupo Barreiras sendo, frequentemente, capeados por coberturas detrítico-lateríticas bem elaboradas (IBGE, *op cit*. Dantas *et al.,* 2011).

Este domínio é representado por uma extensa superfície planáltica conservada e demarcada por curtos rebordos erosivos, um relevo suavemente ondulado, onde o aspecto plano da superfície tem propiciado o plantio de cultivos anuais sobre os tabuleiros (Figura 3.40). Tal unidade geomorfológica apresenta-se com um caimento muito suave de sul para norte, apresentando uma baixíssima densidade de drenagem e baixa altitude variando entre 80 e 120 metros.

Figura 3.39 - Lagoa do Bacuri no povoado Coqueiro no limite entre os domínios dos Lençóis Maranhenses e os Tabuleiros de Chapadinha

Fonte: Registro da pesquisa (2020).

Figura 3.40 - Vista das áreas de plantio de soja, ressaltando o aspecto plano da paisagem

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020)

6.7 Superfícies Tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim

Neste domínio geomorfológico ocorre o dessecamento gradual de superfícies tabulares na direção da Superfície Sublitorânea de Bacabal. Cinco formações geológicas afloram neste domínio, são elas Barreiras, Itapecuru, Corda, Motuca e Codó. Os sedimentos basais arenosos muito finos (phi 3,5) pertencem à Formação Codó, no entanto, pontualmente no topo destas superfícies tabulares (Figura 3.41) ocorrem os siltes grossos (phi 4,1) da Formação Barreiras. Em superfície, a Formação Itapecuru é aflorante em direção à Superfície Sublitorânea de Bacabal, enquanto junto a Superfície Aplainada da Bacia do Rio Parnaíba ocorrem a Formação Corda e Motuca. A maior parte das colinas neste domínio é sustentado pela presença de um massivo horizonte laterítico. Neste mesmo sentido, em alguns pontos onde afloram as fácies sedimentares siltosas/argilosas da formação Cujupe, é perceptível camadas Lateríticas bem desenvolvidas, conferindo uma impermeabilização dos sedimentos friáveis abaixo.

Figura 3.41 - Vista aérea das Superfícies tabulares das Bacias dos Rios Itapecuru e Munim

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020)

6.8 Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba

Este domínio geomorfológico é marcado por planaltos intensamente dissecados pelos tributários do Rio Parnaíba. Remanescentes do planalto original que podem ser observados na localidade de Sucupira do Riachão, local em que os entalhes e rebordos abriram vales fluviais de 270 metros de desnível. Estes entalhes denudaram mais intensamente a Formação Corda, a mais friável (areia fina)

das formações geológicas aflorantes neste domínio. Pelo contrário, a Formação Pedra de Fogo representa os estratos remanescentes dos baixos platôs e baixos platôs dissecados, *sensu* Budel (1982), em cotas abaixo de 300m do NRM, justamente pelo elevado potencial de preservação dos níveis de topo (silexitos) desta formação (Figura 3.42).

Figura 3.42 - Vista aérea das Superfícies Tabulares da Bacia do Rio Parnaíba

Fonte: Registro da própria pesquisa (2020)

6.9 Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú

As cotas deste planalto (Figura 3.43) variam de 200 a 450 metros, tendo como elemento arquitetural a presença de superfícies tabulares alternando com vales incisos. A Formação Codó aflora nos limites leste deste domínio, com vastos horizontes lateríticos que conferem uma reduzida permeabilidade, geralmente associado ao topo do planalto. Este domínio é sustentado pela Formação Itapecuru, no entanto o espesso pacote laterítico que recobre as superfícies tabulares mais elevadas, indica uma elevada permeabilidade, condicionando a formação do pacote superior. O padrão de drenagem é do tipo treliça e indica um controle estrutural provavelmente epirogenético, o que reduz drasticamente as planícies fluviais, e estas quando presentes, ocupam o limite leste do domínio.

Figura 3.43 - Vista aérea dos Planaltos Dissecados do Gurupi-Grajaú

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

6.10 Baixos Platôs de Barra do Corda

Estes consistem num conjunto de extensas superfícies planálticas pouco dissecadas em cotas altimétricas baixas, entre 150 e 250 metros.

Os baixos platôs presentes neste domínio são entalhados por uma rede de drenagem dendrítica a subdendrítica de baixa a moderada densidade. Conforme Dantas et al., (2013), em restritas áreas com presença de alta densidade de drenagem, os baixos platôs estão francamente dissecados num relevo de colinas tabulares.

Similar ao domínio adjacente Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, este domínio apresenta um controle estrutural epirogenético, conduzindo à erosão fluvial a partir do Neogeno, a alcançar o nível de base regional. Destaca-se neste domínio as areias finas (phi 2,2), moderadamente selecionadas (0,9) da Formação Grajaú, na porção central domínio, enquanto a Formação Corda também arenosa fina (phi 2,5) encontra-se encaixada na drenagem do Rio que cruza o município de Fernando Falcão.

Sobre essas superfícies planas dos baixos platôs (Figura 3.44) pôde-se observar áreas de recente expansão da fronteira agrícola, em que o cerrado nativo está sendo substituído pelas plantações de soja e milho.

Figura 3.44 - Vista aérea dos Baixos Platôs de Barra do Corda

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

6.11 Chapadas do Alto Rio Itapecuru

As Chapadas do Alto Itapecuru (Figura 3.45) preservam nos seus topos planos e pouco dissecados a robustez deste relevo, devendo-se em parte à principal formação aflorante neste domínio, a Formação Corda com impressionantes níveis silicificados, conferindo uma grande resistência ao intemperismo. Pelo contrário, as porções mais baixas (inferiores a 450m do NRM) ocorrem as areias médias (phi 1,3) bem selecionadas da Formação Sambaíba. Nesta última porção, as chapadas dão lugar a um relevo colinoso, e nos vales são aflorantes blocos de basalto rolados pertencentes à Formação Mosquito, que anteriormente se sobrepunham à Formação Sambaíba.

Figura 3.45 - Vista aérea das Chapadas do Alto Rio Itapecuru

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

6.12 Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins

A Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins encontra-se sobre uma ampla superfície de aplainamento, ainda com remanescentes de um relevo de mesetas e morros-testemunhos (Figura 3.46). As cotas em geral deste domínio diminuem seu gradiente em direção à calha principal do Rio Tocantins, enquanto a drenagem a leste capta os altos cursos dos rios Pindaré e Grajaú. As superfícies de aplainamento apresentam baixa densidade de drenagem, pontuadas por baixos platôs. Como o próprio nome deste domínio, esta depressão também aloca a planície aluvial do rio Tocantins no seu baixo curso. Este domínio encontra-se sustentado pelas Formações Pedra de Fogo, Motuca, Mosquito, Corda e Itapecuru, aflorantes nesta ordem em direção norte.

Figura 3.46 - Vista aérea da Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

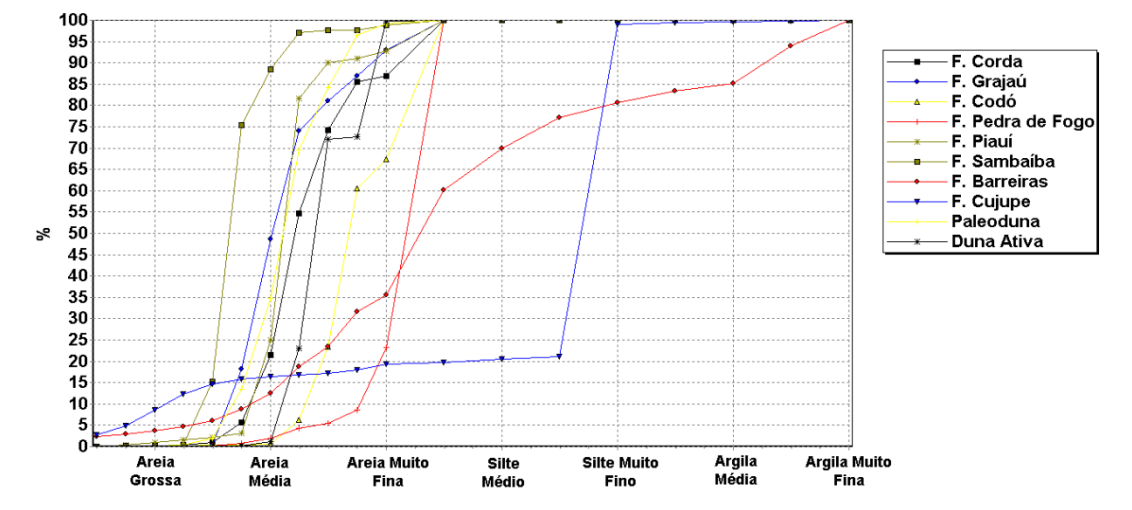
Neste domínio, tem-se a ocorrência de uma cratera de impacto formada por um corpo sólido vindo do espaço, genericamente chamado de “meteorito”. Segundo Crosta (2012), a primeira referência à cratera de impacto com estrutura circular denominada de Riachão foi feita por McHone e Dietz (1978), a partir da interpretação de imagens do satélite Landsat.

A cratera de Riachão apresenta diâmetro de 5,4 km e 300 m de profundidade, com base em levantamentos geofísicos aerotransportados em anomalias magnética e nas formas de relevo (SILVA, 2020). Na referida área, já existem visitações incipientes sem maiores informações sobre a sua origem e respectivas características geológicas.

6.13 Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina

As chapadas e mesetas de Estreito-Carolina são, em área, o menor dos domínios geomorfológicos do Maranhão. Representam os remanescentes de um planalto sustentado pelas areias médias (phi 1,3) da formação Sambaíba (Gráfico 3.6).

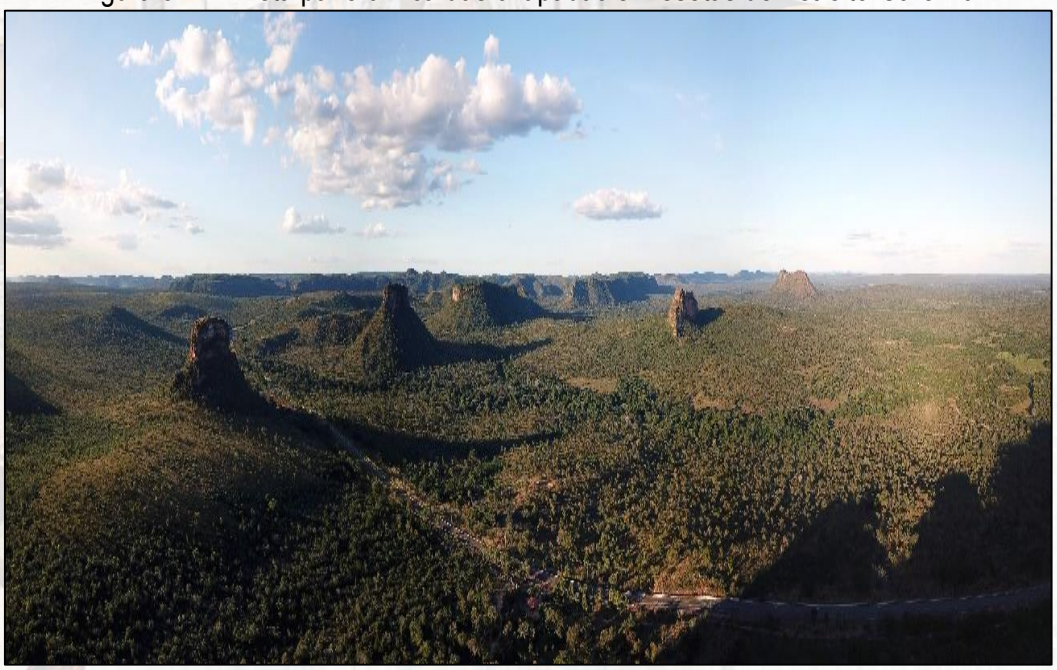
Gráfico 3.6 - Frequência acumulada das diferentes formações geológicas amostradas



Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

No topo desses planaltos, aflora os basaltos da Formação Mosquito, responsáveis por sustentar o topo das mesetas devido à sua resistência, e conferindo à região uma beleza cênica incomparável (Figura 3.47). Esta disposição estratigráfica de basaltos recobrindo areias foi responsável também, por endurecer (silicificar) a Formação Sambaíba, resultando em paredões verticais superiores a 100m de desnível. Nas superfícies de aplainamento e nas bordas das chapadas são encontrados blocos rolados da Formação Mosquito, que indicam completa erosão dos estratos arenosos e friáveis da Formação Sambaíba.

Figura 3.47 - Vista panorâmica das chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina



Fonte: Registro da própria pesquisa (2021).

Localizada na divisa entre os estados do Maranhão e Tocantins, dentro dos limites dos domínios geomorfológicos das Chapadas e Mesetas de Estreito-Carolina, Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins e da Depressão Interplanáltica de Balsas, encontra-se a Chapada das Mesas, abrangendo parcialmente os municípios sul-maranhenses de Carolina, Estreito, Riachão e Balsas, o que constitui uma paisagem geomorfológica de exuberante beleza cênica, destacando-se: chapadas, baixos platôs, mesetas, morros testemunhos, escarpas, superfícies de aplainamento, cânions, cachoeiras, cavernas, grutas, claraboias, monolitos, torres, dolinas, Lapiás, marmitas e as lagoas de águas azuis e cristalinas.

De acordo com Barreto et al., (2015) devido ao seu posicionamento em uma área de transição entre os climas semiúmido e úmido, associado às diferentes formas de relevo ruiniformes, decorrentes de sucessivas fases de erosão diferencial, encontra-se na região importante diversidade biogeográfica, com espécies vegetais e faunísticas pertencentes aos biomas Amazônia (floresta tropical equatorial), Cerrado (savana) e Caatinga (estepe semiárida brasileira)", com elevadíssimo potencial para o desenvolvimento das atividades geoturísticas de forma sustentável.

6.14 Depressão Interplanáltica de Balsas

Este domínio é compreendido como o próprio nome diz, numa depressão entre os domínios geomorfológicos das Chapadas do Alto Rio Parnaíba e as Chapadas do Alto Itapecuru (Figura 3.48). Ao centro, o rio de Balsas, responsável pela remoção dos sedimentos remobilizados de ambas as chapadas. O relevo coalesce em direção às duas chapadas sendo mais íngreme no bordo do Alto Itapecuru. Morros

testemunho ocorrem dispersos nesta paisagem, no qual é possível observar afloramentos da Formação Motuca e Formação Mosquito. Esta última aparece altamente intemperizada indicando que sua exposição nesta depressão é de longo termo.

Figura 3.48 - Vista aérea Depressão Interplanáltica de Balsas

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021).

Neste domínio, tem-se a ocorrência de um astroblema denominado Cabeça de Sapo situado no município de Nova Colinas, abrangendo também pequenas áreas dos municípios de Balsas e Fortaleza dos Nogueiras (Figura 3.49). Astroblema de acordo com Thomé Filho et al., (2012) diz respeito a uma cicatriz deixada na superfície da Terra por uma cratera de impacto antiga, após modificação por processos erosivos. Os astroblemas têm geralmente dimensões de até dezenas de quilômetros, contendo em seu interior rochas intensamente modificadas por metamorfismo de impacto (ou de choque).

O astroblema Cabeça de Sapo foi identificado por Brenha (2013), que evidenciou as fraturas planares, feições de deformação planar e silicatos fundidos, que aparecem como clastos das brechas suevíticas. Apresenta uma estrutura circular de 6 km de diâmetro (SILVA, 2020). Essas evidências são indispensáveis na indicação da origem por impacto meteorítico no referido astroblema. Corroborando com Oliveira (2017), destaca-se o elevado potencial turístico e de investigação científica da referida estrutura de impacto no Cerrado maranhense.

Nesta perspectiva, os astroblemas Riachão Ring e Cabeça de Sapo situados na Bacia Sedimentar do Paranaíba, especificamente nos municípios de Riachão e Nova Olinda, respectivamente,

constituem um importantíssimo patrimônio geológico/geomorfológico, por serem registros de antigos meteoritos que caíram na superfície maranhense. Dessa maneira, faz-se necessária a realização de estudos mais aprofundados sobre a viabilidade de transformá-las em geoparque(s), objetivando a disseminação do conhecimento sobre essas estruturas, a realização de atividades educacionais e de pesquisa, assim como a geração de emprego e renda a partir da atividade do geoturismo, de forma sustentável.

Figura 3.49 - Vista parcial do anel interno e da parte central da cratera de impacto Cabeça de Sapo em Nova Colinas - MA.

Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

6.15 Chapadas do Alto Rio Parnaíba

As Chapadas do Alto Rio Parnaíba deixam claro que os níveis silicificados da Formação Pedra de Fogo são responsáveis pela sustentação deste relevo e critério diagnóstico desta geomorfologia. Ao Sul deste domínio aflora a Formação Sambaíba, onde, na ausência de níveis silicificados, sua morfologia resume-se a colinas dissecadas com amplos depósitos de tálus. Pelo contrário, ao norte, esta formação dá lugar à Formação Pedra de Fogo e Formação Piauí, em que o relevo passa a exibir amplas superfícies planálticas (Figura 3.50), preservando cotas superiores a 500m do NRM.

Figura 3.50 - Vista aérea das Chapadas do Alto Rio Parnaíba

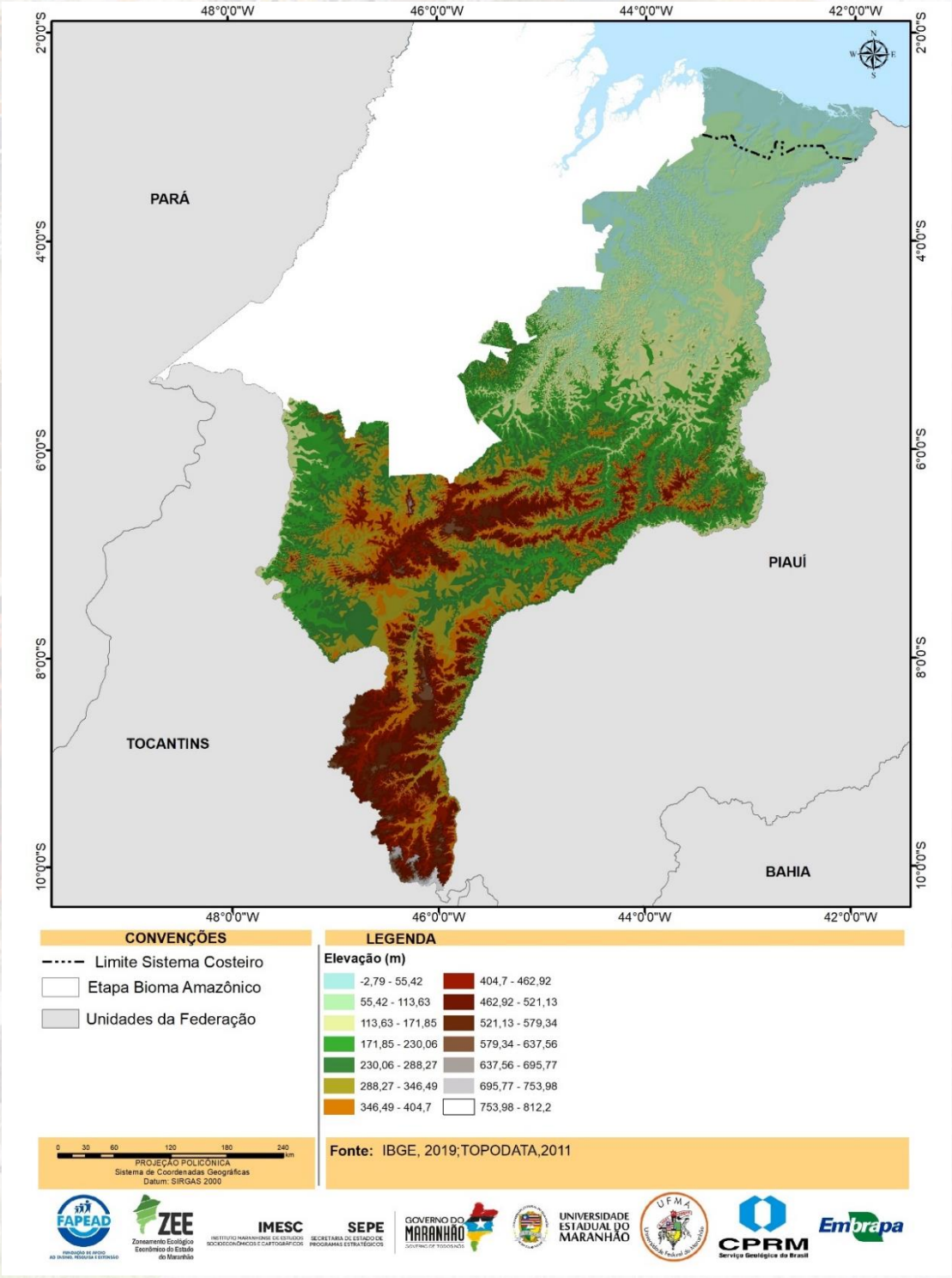
Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

6.16 Aspectos da Hipsometria e Declividade do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

A planície corresponde aos terrenos que dominam o norte do Sistema Costeiro e do Bioma cerrado com baixas altitudes (Figura 3.51), apresentando um conjunto significativo de unidades geomorfológicas (Delta, ilhas, praias, planície de maré, apicuns, dunas e campos de dunas, planície costeira, planície fluviomarinha, colinas, tabuleiros, dentre outras) que se diferenciam pelas diferentes formas, litologias, composições, processos dominantes e origem.

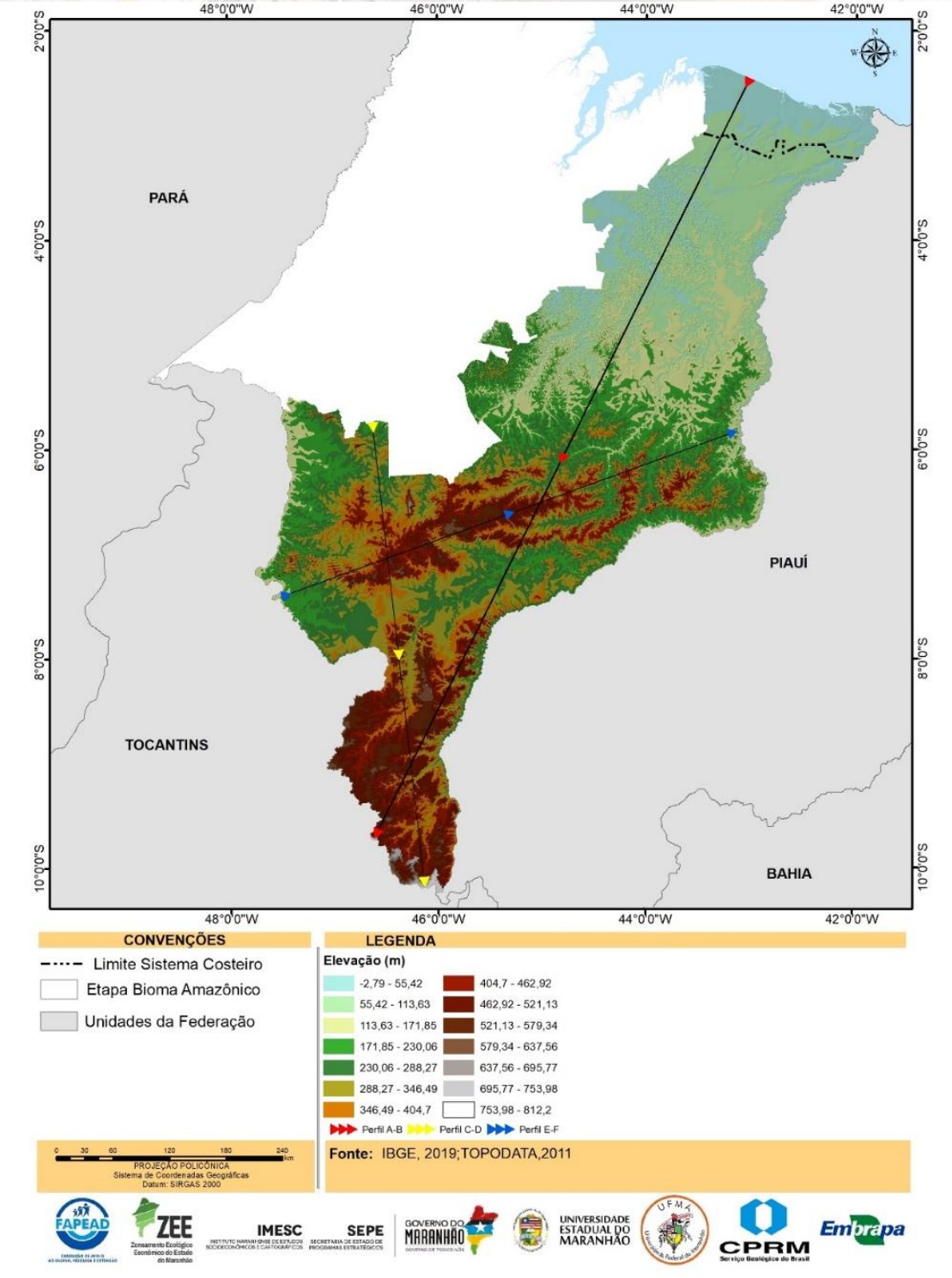
De acordo com a interpretação das imagens orbitais, observações de campo e a elaboração dos perfis altimétricos, realizados sobre a carta hipsométrica da área em investigação (Figuras 3.52 e 3.53), constatou-se que 57,22% do bioma Cerrado encontra-se entre as altitudes de 200 a 812 metros (Figura 3.54), com as maiores altitudes localizadas no domínio dos planaltos, (no sentido Norte-Sul / Leste-Oeste), notadamente na Chapada das Mangabeiras, no extremo sul do Maranhão, onde se tem a maior altitude e nasce vários afluentes do Rio Parnaíba (Figura 3.55).

Figura 3.51 - Mapa Hipsométrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA



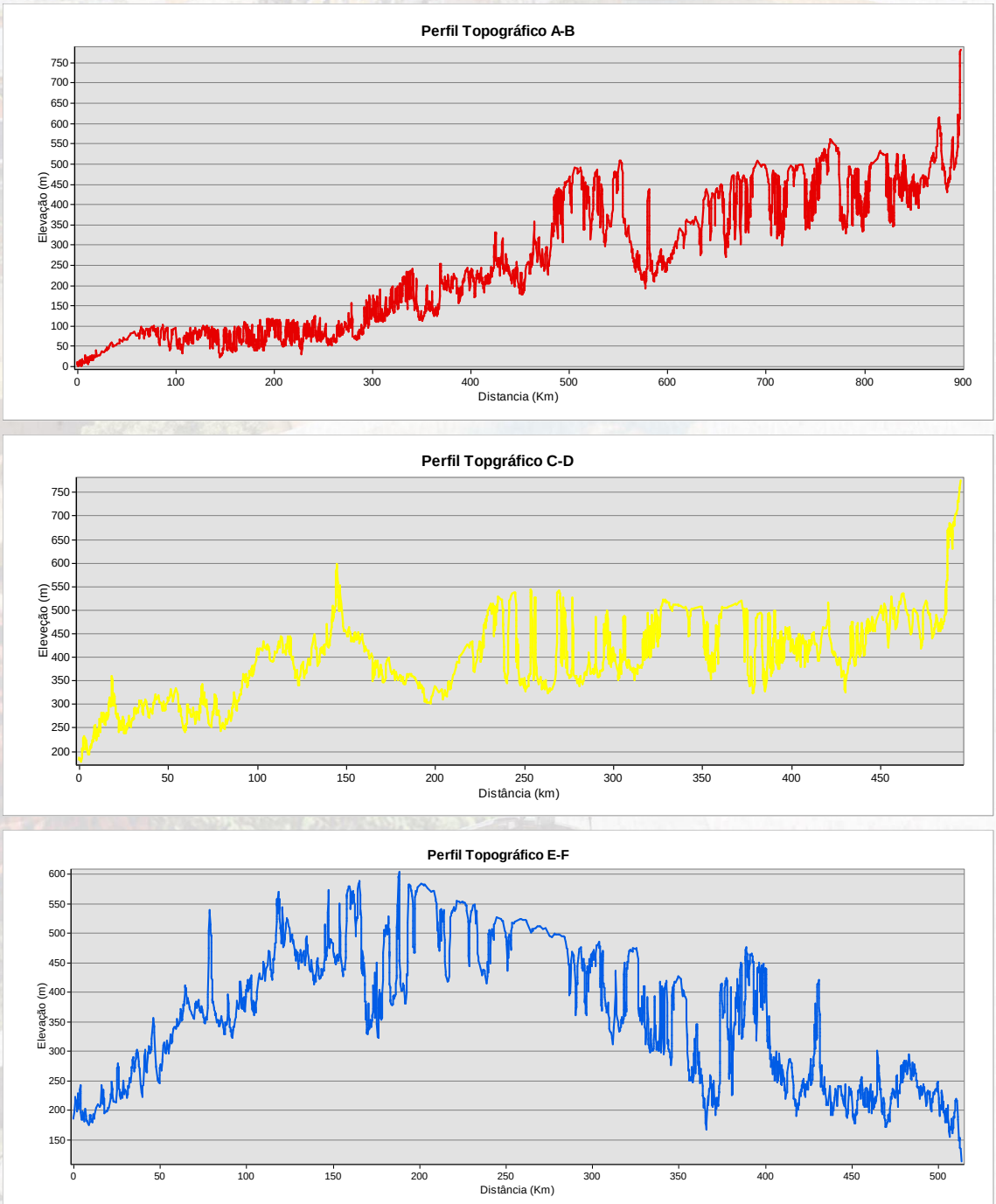
Fonte: ZEE (2021)

Figura 3.52 - Mapa Hipsométrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA



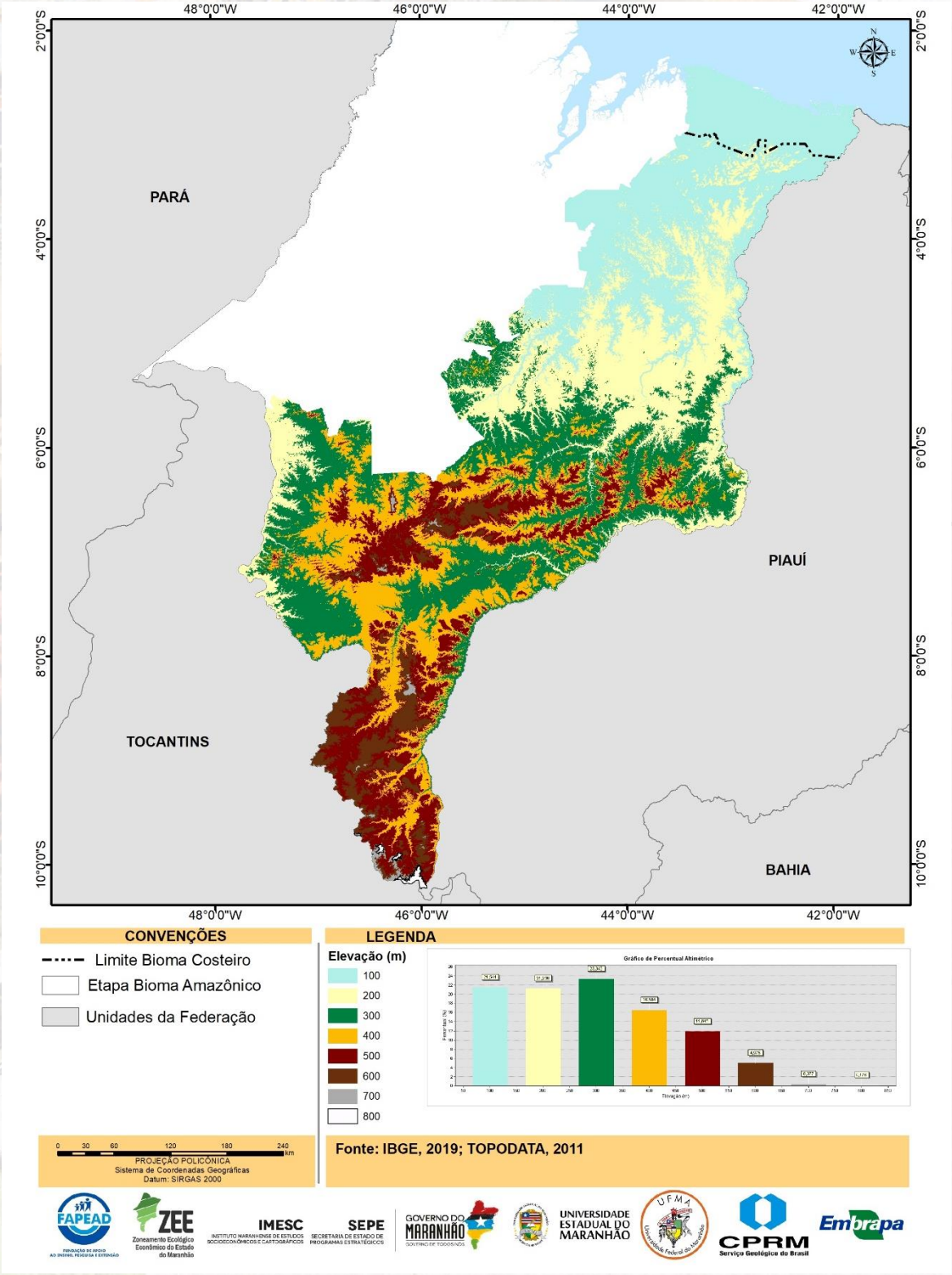
Fonte: ZEE (2021)

Figura 3.53 - Perfis topográficos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



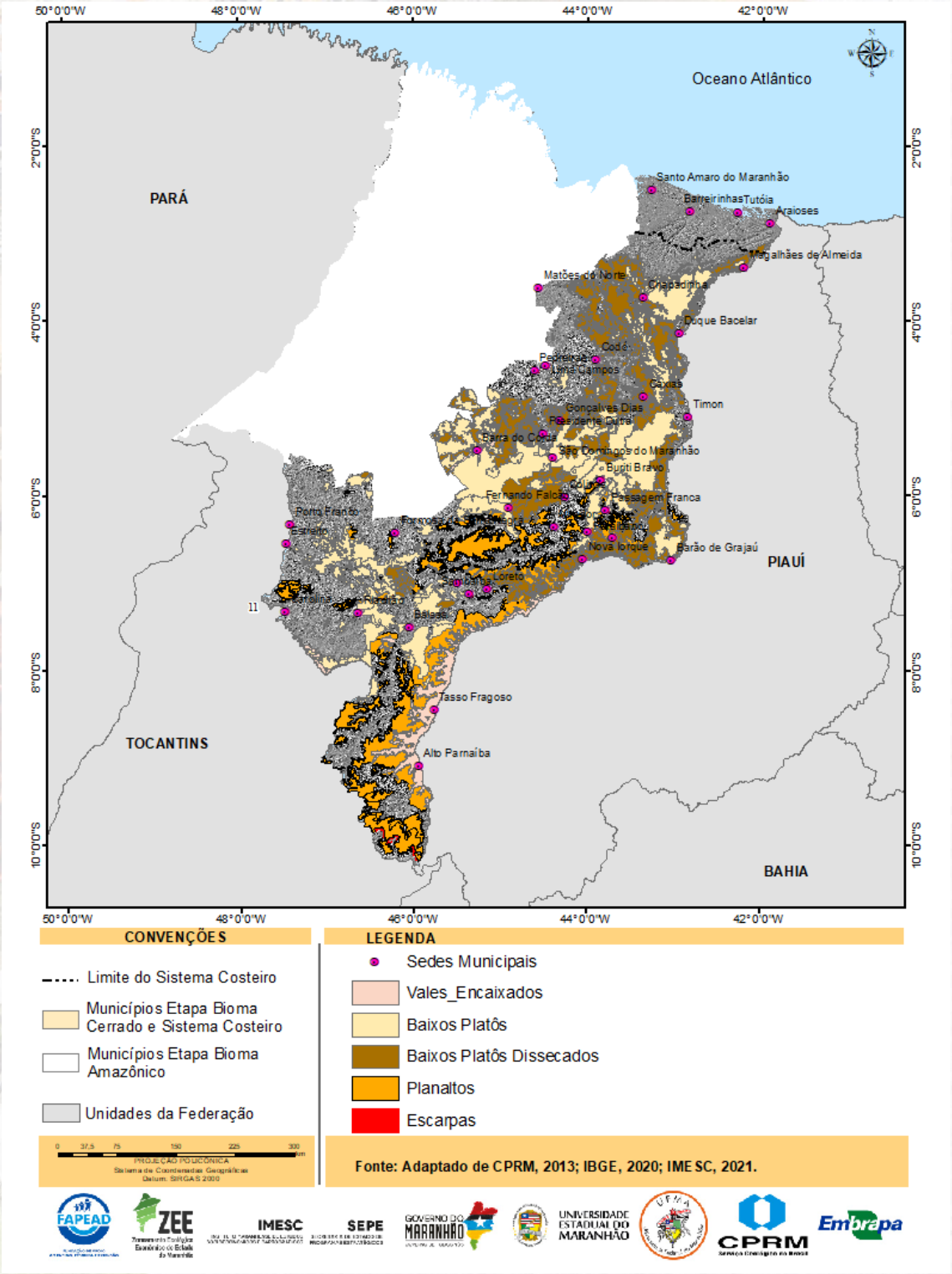
Fonte: Registro da própria pesquisa (2021)

Figura 3.54 - Mapa do Percentual altimétrico do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: ZEE (2021)

Figura 3.55 - Mapa de Relevo Sombreado dos baixos platôs, inselbergs e Planaltos

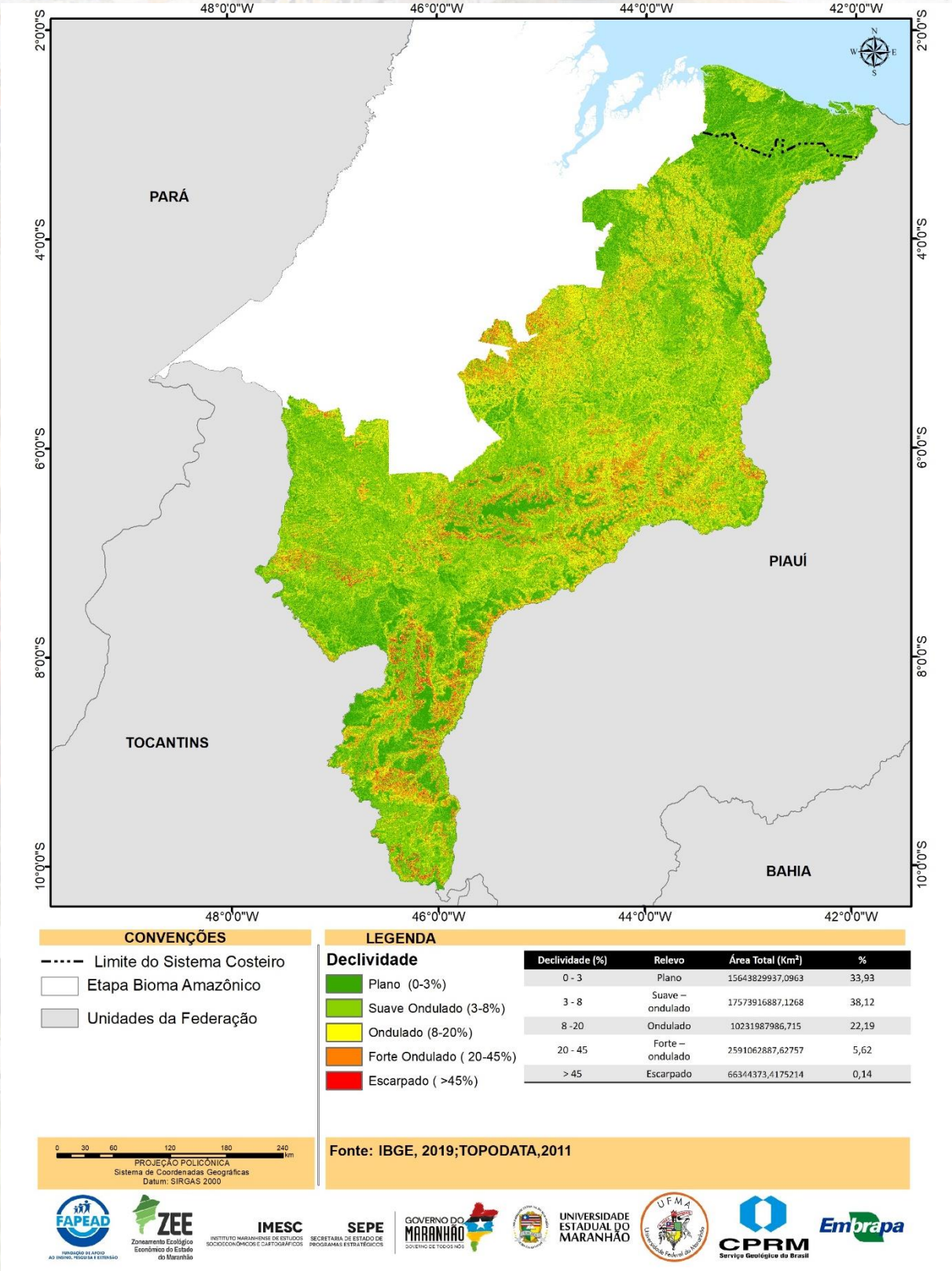


Fonte: ZEE (2021)

Quanto à declividade (Figura 3.56), nas áreas mais elevadas dos baixos platôs e das chapadas (Planaltos) tem-se as maiores inclinações e desnivelamentos das escarpas/encostas que sugere ou indica uma maior suscetibilidade aos processos erosivos e aos diferentes movimentos de massa em determinados locais, principalmente, naqueles no qual o desmatamento e/ou queimadas nas bordas das chapadas ou platôs aceleram os processos geomorfológicos. No que se refere à erosão vários fatores irão condicionar a sua intensidade a exemplo da natureza geológica, dos agentes climáticos, da cobertura do solo, bem como do comprimento, forma e declividade da encosta.

Dentre os fatores topográficos, a declividade do relevo é possivelmente a mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo (RODRIGUES, 1982 apud SILVA et al., 2003). Dessa forma, nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 metros em projeções horizontais, com ou sem vegetação, devem ser preservadas; assim como as encostas ou parte destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% da linha de maior declive, pois constituem áreas de preservação permanente, conforme o novo Código Florestal, instituído pela Lei 12.651/2012.

Figura 3.56 - Mapa de declividade do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA



Fonte: ZEE (2021)

7 CONCLUSÃO

A área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro maranhense apresenta rochas e sedimentos que retratam o passado geológico da Terra desde o Paleozoico ao Cenozoico. Na ba cia estrutural de Barreirinhas, Grajaú e Parnaíba considerando as abrangências das formações geológicas do Grupo Itapecuru, Corda, Piauí, Codó, Mosquito, Sambaíba, Motuca, Sardinha, Pedra de Fogo e Pastos Bons onde são explorados água mineral, argilas, basaltos, calcário e gipsita, que representam potencialidades minerárias e contribuem para arrecadação da Compensação Financeira por Exploração Mineral – CEFEM nos municípios. Assim, importa ressaltar forte potencial turístico arqueológico para formação de ecomuseu a céu aberto nas florestas de psaronius da Formação Pedra de Fogo e registros de verdadeiros Sítio Paleontológico no município de Nova Iorque.

A disponibilidade de água subterrânea no bioma Cerrado e Sistema Costeiro compõem-se de sistemas aquíferos multicamadas de abrangência regional e de continuidade espacial, sendo as unidades aquíferas mais promissoras a Itapecuru, Poti-Piauí, Pedra de Fogo, Sambaíba e Corda e em menores expressões, em termos de continuidade e distribuição espacial, ocorrem rochas ígneas básicas como diabásios e basaltos intensamente fraturados. Destaca-se que o aquífero Sambaíba, na condição de aquífero livre a confinado, possui produtividade muito alta, com vazões superiores a 100m^3/h utilizado principalmente para consumo humano e agricultura.

Para o diagnóstico geológico/geomorfológico foram elaborados mapas temáticos mostrando a distribuição espacial das principais formações geológicas, dos domínios e unidades geomorfológicas, bem como da hipsometria e declividade existente no bioma em análise. Em relação aos aspectos geomorfológicos destacam-se as planícies, as depressões e os planaltos como as principais formas de relevo da área de estudo. Sendo que no bioma Costeiro, a planície costeira predomina em praticamente todo o bioma. No que se refere ao bioma Cerrado, este se caracteriza pela presença dos planaltos, depressões e pelas planícies, esta última situada a retaguarda do bioma Costeiro e dos domínios da: Superfície Sublitorânea de Bacabal e do Golfão e Baixada Maranhense, assim como ao longo dos principais rios.

Vale destacar que tanto as planícies e depressões quanto os planaltos apresentam grandes potencialidades de uso do solo as quais podem propiciar o desenvolvimento socioeconômico do nosso Estado, todavia, para que essas áreas sejam exploradas da melhor forma possível faz-se necessário que as limitações ambientais sejam respeitadas, tanto pelo poder público, quando da instalação das obras de infraestrutura, como na etapa de licenciamento ambiental; quanto pela iniciativa privada, respeitando em especial o Código Florestal no que se refere as APP's. No bioma Costeiro a ocupação das praias e das dunas deve ser evitada, bem como o desmatamento da cobertura vegetal das dunas fixadas para

que elas não reiniciem o processo de migração. Neste bioma há, além de outras unidades de conservação estadual, o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, considerado um dos mais belos santuários ecológicos do globo a ser apreciado pela atual e futuras gerações. Na região Centro-Sul do bioma Cerrado do Maranhão, há um relevo modelado nas formações sedimentares eopaleozoicas e mesozoicas representado pelas principais unidades geomorfológicas: superfícies aplainadas, depressões, planícies fluviais e os planaltos caracterizados pela presença de tabuleiros, baixos platôs e chapadas (Cinta, Negra, Alpercatas, Croeira, Itapecuru, Menina, Penitente, Gado Bravo, Mangabeiras, dentre outras).

Nesta área também há belas paisagens representadas pelas cachoeiras, grutas, cavernas, cânions, crateras de impactos de meteoritos, mesetas, tabuleiros e chapadas com exuberantes escarpas. Não por acaso, neste setor do bioma, está o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), nos municípios de Carolina, Riachão e Estreito. A região Centro Sul do Maranhão é extremamente rica em espécies animais e vegetais (atuais e fósseis) e apresenta um elevadíssimo potencial ecoturístico/geoturístico em franco desenvolvimento com a implantação de estabelecimentos e/ou complexos turísticos de baixo, médio e alto padrão.

Contudo, no Centro-Sul dominado pela presença dos planaltos, as grandes áreas de terrenos planos passiveis de utilização apresenta potencialidades para atividades de grande porte, como observado durante os trabalhos de campo a exemplo dos usos agropecuários, tanto as monoculturas como a criação de gado. Importa ressaltar também que sobre essa área planáltica, nascem os principais rios genuinamente maranhenses, responsáveis pelo abastecimento da população e circulação de passageiros e mercadorias, denotando assim a elevadíssima importância e vulnerabilidade destes domínios geomorfológicos para manutenção da qualidade ambiental e da população maranhense.

É importante evidenciar que devem ser observadas todas as técnicas de manejo e proteção do solo e dos recursos hídricos, para que seja conciliado o desenvolvimento das referidas atividades econômicas com a proteção ambiental, sob pena de tais atividades destruírem as belezas naturais existentes de forma irreversível.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. (1960). Contribuição à Geomorfologia do Estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**, 3 (5), Campinas, Unicamp, p.35-45.

AB' SABER, A. N. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil Atlântico Inter e Subtropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 1, n.1, p. 27- 43. 2000.

ABRANTES JÚNIOR, F. R.; NOGUEIRA, A. C. R. Reconstituição paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, **Brasil. Geol**. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 13, n. 3, p. 6-82, setembro. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO- ANM. **Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE).** Disponível em https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine. Acesso em: 05.mai.2021.

AGUIAR, G. A. Revisão geológica da Bacia paleozóica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971, v.3, p. 113-122.

BRENHA, S. L. A. Identificação da Cratera Meteorítica Cabeça de Sapo: Metamorfismo de choque em rochas sedimentares da maior estrutura de impacto do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil, palestra. 16°, **ENAST. Encontro Nacional de Astronomia.** Disponível em http://www.16.enast.com.br/pt-br/16/o-evento/atividades/identificacao-da-cratera-meteoritica-cabeca-de-sapo-metamorf/index.html. Acesso em 02.jun.2021.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy tectonics paleoclimatology and paleogeography of Norther Basins of Brazil.** 1984. 583 f. Tese (Doutorado em Geologia). University of California, Santa Barbara, Santa Bárbara, 1984.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINE, J. E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996, p. 537-548.

CONCEIÇÃO, D. M. **Prospecção, mapeamento e caracterização de Depósitos Fitofossilíferos da porção nordeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Formação Pedra de Fogo, Permiano**. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, jun. 1991.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Sistemáticos. **Relatório Anual – 2004**. 2004. 20 p.

CRÓSTA, Álvaro Penteado. Estrutura de Impacto e Astroblemas Brasileiros. *In*: HASUI, Y. *et al*. (orgs.). **Geologia do Brasil.** São Paulo: Beca, 2012. p.673- 708.

DANTAS, M.E.; SHINZATO, E.; BANDEIRA, I.C.N.; VARGAS, L.; RENK, J.F.C. Compartimentação geomorfológica do Estado do Maranhão, cap. 3. In: BANDEIRA, I.C.N. (ed.) **Geodiversidade do**

Estado do Maranhão, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Teresina/PI, 2013. p. 31-62.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil escala 1:250.000.** Documentação Técnica Geral. Rio de Janeiro. IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geomorfologia**: mapa geomorfológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Escala 1:400.000.

KLEIN, E.L; SOUSA, C.S (Org.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão:** Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM. 2012.

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S.; VASQUEZ, M.L.; LOPES, E.C.S.; TEIXEIRA, S.G.; OLIVEIRA, J.K.M.; MOURA, E.M.; LEÃO M.H.B. 2012. Mapa Geológico e Recursos Minerais do Estado do Maranhão. In: Klein, E.L.; SOUSA, C.S. (Orgs.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**: Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM. 2012.

LEITE, S. R.; PIMENTEL, G.B.; ALVES, F.J.; CARNOZZATO,E. (Org.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** Presidente Dutra. Folha SB-23-X-C. Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1994.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética**: relatório final, etapa III. Belém: DNPM; CPRM, 1978. 190 p. v. 1.

MESNER, J. C.; WOOLDRIDGE, L. C. P. Estratigrafia das Bacias paleozóicas e cretáceas do Maranhão. **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 7, n. 2, p. 137-164, abr-jun. 1964.

MIRANDA. M. C. C.; ROSSETTI. D. F. **Reconstituição Paleoambiental de Depósitos Albianos na borda leste da Bacia de Grajaú**, Ma. 2006. Disponível em http://mtc-6c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2006/12.06.10.02/doc/v1.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.

MONTEIRO, A.B.; CORREIA FILHO, F.G.; DINIZ, J.A.O.; SOUZA, R.R. IN: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Teresina: CPRM, 2013. 294p.

Notícias USP. **Cientistas da USP descrevem fósseis de primeiro tetrápode jurássico do País.** Disponível em https://www5.usp.br/noticias/pesquisa-noticias/cientistas-da-usp-descrevem-fosseis-de-tetrapode-jurassico-do-pais. Acesso em: 10 maio 2021.

OLIVEIRA, A. **Perspectivas do Potencial Geoparque do Astroblema Cabeça de Sapo no Município de Nova Colinas-Ma.** Universidade Estadual do Maranhão. Programa De Pós-Graduação em Desenvolvimento Socioespacial e Regional, São Luís, P.180, 2017.

OLIVEIRA, A. L. **Geologia e Petrologia dos Basaltos das Formações Mosquito e Sardinha, Bacia do Parnaíba.** Brasília: Universidade de Brasília. Instituto de Geociências, Dissertação, 79pg., 2017.
RIBEIRO, J. A. P. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caxias. Folha SB.23-X-B. Escala 1:250.000. Brasília. CPRM. 1997.

ROSSETTI, D. F. Arquitetura Deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES,

A. M.; TRUCKENBRODT, W. (orgs.). O Cretáceo na Bacia de São-Luís Grajaú. Belém: **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2001. p. 31-46.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís (MA), Norte do Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 9, 1997. p. 29-41.

SANTOS, J. H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos**: um tratamento espacial. Rio de Janeiro: Doutorado. UFRJ/PPGG, 2008. 248 p.

SANTOS, J. H. S.; SILVA, J. X. Datação e evolução dos campos de dunas eólicas inativas dos Lençóis Maranhenses. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA,13., 2009, Viçosa, MG. **Anais..**. Resumos Expandidos, Viçosa, MG: SBGFA, 2009. v. 1, p. 1-17.

SANTOS, J.H.S.; CATUNDA, P.H.A.; DIAS, L.J.B.S (Org.). **Relatório técnico de Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico.** São Luís: IMESC, 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM.**Carta Hidrogeológica.** Folha SA.23. SÃO LUIS. Escala 1:1.000.000-Serviço Geológico do Brasil-CPRM,2015.

SILVA, A. B. Identification of impact cratering-related similarities based on airborne geophysical data and satellite images: the Cabeça de Sapo Structure, Parnaíba Basin, Northeast Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil** vol 3, nº 2, 97 - 111, August 2020. Disponível em https://jgsb.cprm.gov.br/index.php/journal/article/view/93. Acesso em 08.ago.2021.

SILVA, A.J. P., LOPES. R. C., VASCONCELOS. A. M., BAHIA, R. B. C.. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores Paleozoic and Meso-Cenozoic Sedimentary Basins. In: Bahia Bizzi, L. A. SCHOBBENHAUS. C; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES. J.H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, 2003. Disponível em http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/capII.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **Inventario Hidrogeológico Básico do Nordeste**. Folha n. 4. São Luis-SE. Recife, SUDENE,1977.

VAZ, P. T. et al. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 253-264, 2007.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **São Luís NE/SE, Folhas SA- 23-X e SA-23-Z**: Estados do Maranhão e Piauí: escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB. Brasília, DF: CPRM, 2000.

4

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

1 INTRODUÇÃO 164
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 166
2.1 Hidrografia 166
2.1.1 Escala de trabalho 166
2.1.2 Bases espaciais 167
2.1.3 Tratamento da informação espacial 168
2.2 Qualidade de Água 169
2.2.1 Definição da rede amostral de águas superficiais 169
2.2.2 Parâmetros de Qualidade de Água 172
2.2.3 Rede Hidrometeorológica Nacional 173
2.3 Hidrologia 175
2.3.1 Dados e pré-processamento dos dados de Vazão do Rios do BCSC 176
2.3.2 Climatologia e Espacialização das Vazões no Domínio das Bacias Hidrográficas 179
3 RESULTADOS 179
3.1 Sistemas de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande 181
3.1.1 Hidrografia 181
3.1.2 Qualidade de Águas 181
3.1.2.1 Dados Pretéritos do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande 181
3.1.2.2 Caracterização do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande 183
3.1.2.3 Dados Coletados do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande 183
3.2 Bacia do Rio Preguiças 186
3.2.1 Hidrografia 186
3.2.2 Regime Fluvial 186
3.2.3 Qualidade de Águas 188
3.2.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Preguiças 188
3.2.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Preguiças 189
3.2.3.3 Dados Coletados da Bacia do Rio Preguiças 191
3.3 Sistema de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo 192
3.3.1 Hidrografia 192
3.3.2 Qualidade de Água 194
3.3.2.1 Dados Pretéritos do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro 194
3.3.2.2 Caracterização do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro 194
3.3.2.3 Dados Coletados do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro 196
3.4 Bacia do Rio Munim 197
3.4.1 Hidrografia 197
3.4.2 Regime Fluvial 198
3.4.3 Qualidade de Água 203
3.4.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Munim 203
3.4.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Munim 204
3.4.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Munim 206
3.5 Bacia do Rio Itapecuru 207
3.5.1 Hidrografia 207
3.5.2 Regime Fluvial 207

3.5.3 Qualidade de Água 214
3.5.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Itapecuru 214
3.5.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Itapecuru 215
3.5.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Itapecuru 217
3.6 Bacia do Rio Mearim 218
3.6.1 Hidrografia 218
3.6.2 Regime Fluvial 218
3.6.3 Qualidade de Água 225
3.6.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Mearim 225
3.6.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Mearim 226
3.6.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Mearim 226
3.7 Bacia do Rio Tocantins 229
3.7.1 Hidrografia 229
3.7.2 Regime Fluvial 229
3.7.3 Qualidade de Água 235
3.7.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Tocantins *235*
3.7.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Tocantins *236*
3.7.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Tocantins *236*
3.8 Bacia do Rio Parnaíba 238
3.8.1 Hidrografia 238
3.8.2 Regime Fluvial 238
3.8.3 Qualidade de Águas 245
3.8.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Parnaíba *245*
3.8.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Parnaíba *246*
3.8.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Parnaíba *248*
4 CONCLUSÃO 249
REFERÊNCIAS 251

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Rede de drenagem em multiescala em bacias do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 166
Figura 4.2 - Carta topográfica DSG; Imagem de satélite *Rapideye* e Modelo Digital de Elevação SRTM (TOPODATA). Em vermelho o limite do IBGE e em preto o limite novo traçado 167
Figura 4.3 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 171
Figura 4.4 - Distribuição das estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão 174
Figura 4.5 - Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro – MA 180
Figura 4.6 - Mapa da rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande 182
Figura 4.7 - Pontos de coleta do Sistema Rio Grande 183
Figura 4.8 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande 185
Figura 4.9 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Preguiças 187
Figura 4.10 - Série temporal histórica das vazões médias mensais obtidas da estação fluviométrica de Morro Alto localizada no médio curso do Rio Preguiças, na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças 188
Figura 4.11 - Pontos de coleta do Rio Preguiças 189
Figura 4.12 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças 190
Figura 4.13 - Mapa da rede hidrográfica dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo 193
Figura 4.14 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios - Barro Duro e Novo 195
Figura 4.15 - Pontos de coleta dos Rios Barro Duro e Novo 196
Figura 4.16 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Munim 199
Figura 4.17 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim e b) Vazão média entre as estações 200
Figura 4.18 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA, localizadas na Bacia do Munim, entre os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues 201
Figura 4.19 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA, localizadas na Bacia do Munim, entre os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues 202
Figura 4.20 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Munim 205
Figura 4.21 - Pontos de coleta Bacia Rio Munim 206
Figura 4.22 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Itapecuru 210
Figura 4.23 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e b) Vazão média entre as estações 211
Figura 4.24 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede 212
Figura 4.25 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3

– Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede 213

Figura 4.26 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru 216

Figura 4.27 - Pontos de coleta Bacia Rio Itapecuru 217

Figura 4.28 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Mearim 220

Figura 4.29: a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e b) Vazão média da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim 222

Figura 4.30 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim entre os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II 223

Figura 4.31 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim entre os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II 224

Figura 4.32 - Pontos de coleta Bacia Rio Mearim 226

Figura 4.33 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Mearim 227

Figura 4.34 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Tocantins 231

Figura 4.35 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e b) Vazão média entre as estações 232

Figura 4.36 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para os meses que compõem a estação chuvosa (Janeiro a Maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapicuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo 233

Figura 4.37 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapicuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo 234

Figura 4.38 - Pontos de coleta do Rio Tocantins 236

Figura 4.39 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais na Bacia do Rio Tocantins 237

Figura 4.40 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Parnaíba 241

Figura 4.41 - a) Séries temporais históricas das vazões médias mensais (m^3s^{-1}) obtidas das 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e b) Vazão média da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba 242

Figura 4.42 - Distribuição espacial das vazões médias medid*as* pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto 243

Figura 4.43 - Distribuição espacial das vazões médias medid*as* pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Felix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto 244

Figura 4.44 - Pontos de coleta do Rio Parnaíba 246

Figura 4.45 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba 247

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Parâmetros, métodos de referência e precisão relativa/limite de quantificação e Padrão da resolução CONAMA utilizados para a determinação da química da água nas Bacias Hidrográficas do Cerrado e Sistema Costeiro 173
Tabela 4.2 - Estações fluviométricas (com dados de vazão) da Agência Nacional das águas (ANA) localizadas nas bacias hidrográficas pertencentes ao BCSC 177
Tabela 4.3 - Dados de qualidade de água da estação de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras do Periá e Grande, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão 181
Tabela 4.4 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande 184
Tabela 4.5 - Vazão média anual da estação fluviométrica pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças . 186
Tabela 4.6 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia Hidrográfica do rio Preguiças, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão 189
Tabela 4.7 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças 191
Tabela 4.8 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro, Bioma Cerrado do estado do Maranhão 194
Tabela 4.9 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro 197
Tabela 4.10 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Munim 198
Tabela 4.11 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Munim 203
Tabela 4.12 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim 207
Tabela 4.13 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru 209
Tabela 4.14 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Itapecuru 214
Tabela 4.15 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru 218
Tabela 4.16 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mearim 221
Tabela 4.17 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Mearim 225
Tabela 4.18 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim 228
Tabela 4.19 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins 230
Tabela 4.20 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Tocantins 235
Tabela 4.21 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins 238
Tabela 4.22 - Vazões médias anuais das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba 240
Tabela 4.23 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Parnaíba 245
Tabela 4.24 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba 248

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Pontos Amostrais do ZEE Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.....170

Quadro 4.2 - Estações fluviométricas situadas nas bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão.....175

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à vida e, enquanto recurso, é utilizada para diversos fins. Os usos e as demandas dos recursos hídricos para atender a todos os setores da sociedade podem comprometer a disponibilidade e a qualidade hídrica superficial. Nessa perspectiva, urge a necessidade do desenvolvimento de estudos que possam fomentar o gerenciamento preventivo para a conservação desse recurso natural. Para isso, no contexto de um Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) – instrumento de gestão que tem por objetivo viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental – a água é um recurso estratégico e quer uma abordagem abrangente quanto às atividades econômicas. Nesse sentido, conhecer as características da rede hidrográfica, da qualidade da água e das condições hidrológicas, associadas a outras variáveis ambientais, possibilita a construção de análise detalhada das condições ambientais dos recursos hídricos superficiais de uma determinada área.

Nessa perspectiva, o presente estudo, de abordagem multidisciplinar, almeja elucidar as interações físicas, químicas e biológicas nas águas das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (BCSC), contribuindo para o monitoramento e manejo adequado dos diversos usos destes recursos hídricos, no contexto do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão, eixo temático Recursos Hídricos Superficiais. Este estudo é de grande relevância para o Estado do Maranhão, por considerar que este é utilizado como fonte de alimentação e renda pela população que habita suas margens, e que suas águas estão sujeitas às pressões dos diversos tipos de uso pelo homem, tais como atividades de pesca, agricultura, navegação, turismo, ocupação por núcleos urbanos desordenados, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, entre outros, capazes de modificar as suas condições naturais, resultando em um conjunto de fenômenos que merecem atenção nos estudos hidrológicos e ambientais.

Para isso, o estudo abrange três sub-eixos temáticos (grupos de trabalho) dentro do eixo temático principal Recursos Hídricos Superficiais: hidrografia, hidrologia e qualidade de água. No eixo hidrografia, o estudo terá como abordagem o mapeamento dos cursos d'água e massas de água e a delimitação das bacias hidrográficas do bioma, na escala 1:250.000. O ajuste e detalhamento cartográfico possibilitará a elaboração de base espacial com escala única, uma vez que a base vetorial atual da rede hidrográfica se encontra disponível em multiescala pelos órgãos oficiais. Além disso, a determinação de parâmetros morfométricos que caracterizem as bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem. Este eixo portanto visa contribuir para o melhoramento cartográfico, imprescindível para o desenvolvimento de pesquisas de base e de ações governamentais que envolvam a questão hídrica.

No eixo hidrologia, o estudo abordará a espacialização e a análise dos dados históricos da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas, a partir do tratamento e modelagem estatística dos dados de vazão, visando o conhecimento e o acompanhamento das características ambientais que modulam a distribuição da rede hidrográfica do BCSC. Este eixo trata de análises fundamentais para a determinação do grau de vulnerabilidade das bacias hidrográficas e da disponibilidade hídrica, permitindo a geração de indicadores ambientais que auxiliem na elaboração de políticas públicas de seus recursos hídricos.

No eixo qualidade da água, a abordagem concentrará na coleta e análise das águas superficiais, considerando que suas características físicas, químicas e biológicas, desempenham um papel fundamental na compreensão das mudanças ocasionadas pelo impacto antrópico. A compreensão dessas interações que ocorrem no meio hídrico constitui, hoje, uma forte ferramenta para a detecção das alterações naturais e antrópicas. Entretanto, é importante mencionar que se torna cada vez mais difícil a avaliação das alterações nas características ambientais, uma vez que a intervenção humana é comum à maioria dos ambientes hidrológicos. Certamente, as informações que serão reportadas neste estudo devem enriquecer com mais detalhes as ações mitigadoras. Assim, considerando que as respostas a estes impactos são sinalizadas por processos de eutrofização e perda da qualidade da água, o desenvolvimento deste estudo é bastante importante às pesquisas nacionais, pois constitui uma ferramenta adequada para avaliação das mudanças de origem natural e antrópica nos ambientes aquáticos, contribuindo para um rápido diagnóstico ambiental.

Portanto, o objetivo geral deste estudo consistiu na caracterização dos recursos hídricos superficiais do BCSC por meio do mapeamento de cursos d'água e massas d'água, da determinação da qualidade físico-química das águas superficiais e da análise estatística de dados hidrológicos. Os objetivos específicos foram: mapear os cursos d'água e massas de águas em escala 1:250.000; verificar a qualidade e precisão de escala e corrigir eventuais erros da rede hidrográfica; determinar parâmetros morfométricos pertinentes à análise da hidrografia; obter e analisar as séries de dados históricos de vazão disponibilizados pelas Plataformas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e Sistema de Informações Hidrológicas on-line (Hidroweb); espacializar os dados de vazão por meio de modelos estatísticos e; avaliar os parâmetros físicos e químicos da água, para compor a caracterização ambiental das bacias hidrográficas do BCSC.

A seguir será realizada a apresentação do detalhamento metodológico realizado neste estudo.

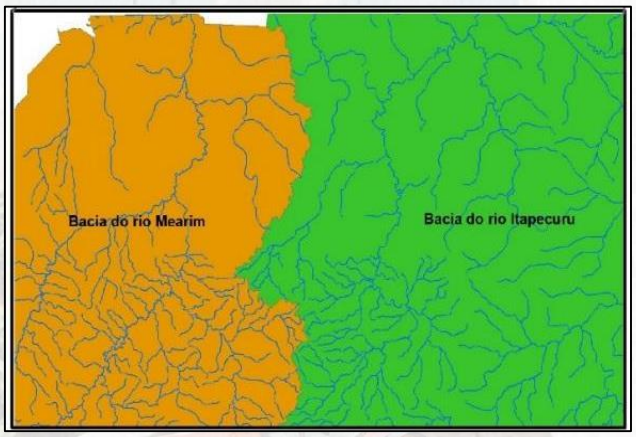
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Hidrografia

2.1.1 Escala de trabalho

No caso particular do Estado do Maranhão, tem-se disponível, para a área do BCSC, a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA), em escala 1:250.000, que incorpora os planos de informação: trechos de drenagem e limites de bacias hidrográficas, conforme mostrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Rede de drenagem em multiescala em bacias do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Contudo, a partir da análise da base hidrográfica do IBGE, concluiu-se que a rede de drenagem se apresenta em multiescala, devido à generalização cartográfica presente na maior parte das bacias que contemplam o bioma. A Figura 4.1 mostra a diferença de detalhamento cartográfico dos trechos de drenagem das bacias do rio Mearim e do rio Itapecuru. Além disso, destaca-se nesta base, diversos erros cartográficos na delimitação de bacias hidrográficas e dos trechos de drenagem. Quando se trata de bacias hidrográficas de grande extensão territorial, muitas vezes o limite de bacia é delimitado por meio de extração automática, processada em Sistema de Informação Geográfica. Embora seja um processo adotado para a cobertura de grandes bacias, nem sempre é realizada a conferência e o refinamento cartográfico.

Na Figura 4.2, esse tipo de erro comum nas bases espaciais de hidrografia, é ilustrado com o limite hidrográfico das bacias dos rios Itapecuru e Mearim no município de Fernando Falcão, Serra das Alpercatas.

Figura 4.2 - Carta topográfica DSG; Imagem de satélite *Rapideye* e Modelo Digital de Elevação SRTM (TOPODATA). Em vermelho o limite do IBGE e em preto o limite novo traçado

Fonte: Elaborada pelos autores (2021)

Para atender ao termo de referência do ZEE quanto à escala de trabalho, foi adotado o sistema de referência internacional do Manual de Normas, Especificações e Procedimentos para a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo – CIM (IBGE, 1993). O sistema de folhas da carta ao milionésimo desdobra-se em outras escalas, enquanto que a Folha 1:250.000 apresenta um índice de nomenclatura composto da letra da zona e do número do fuso correspondente à Folha, precedido da letra S pelo fato da área situar-se no hemisfério Sul. Por se tratar da escala 1:250.000, a nomenclatura ainda recebe duas letras. Assim, os produtos cartográficos referentes à base hidrográfica neste trabalho, serão apresentados conforme o sistema internacional de articulação de Folhas que fornece informações sobre a posição da área mapeada, padronizando as referências cartográficas.

2.1.2 Bases espaciais

A princípio, foram selecionadas diversas bases espaciais por meio de pesquisa junto aos órgãos governamentais responsáveis pela elaboração de bases cartográficas oficiais. As diferentes informações requeridas para o ajuste e construção da nova base hidrográfica foram obtidas no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A base de dados vetoriais foi extraída do IBGE e da ANA, enquanto que os planos de informação utilizados para o ajuste cartográfico da drenagem foram: trecho de drenagem, massa de água, curva de nível, ponto cotado e limite de bacia hidrográfica. Quanto às bases de dados matriciais, foram selecionados três tipos de documentos cartográficos para auxiliar no processo de correção e ajuste espacial dos cursos d'água, sendo estes:

- O Modelo Digital de Elevação (MDE) de imagens de radar SRTM, com resolução espacial de 30 metros, do Projeto TOPODATA/INPE (2008). O MDE é uma forma de representação do terreno, referente exclusivamente à altimetria ou modelagem topográfica. Essa base altimétrica foi utilizada para refinar a rede de drenagem.

- As imagens de satélite do sensor *Rapideye*, com resolução espacial de 5 metros, do Geocatálogo do MMA, referente ao ano de 2011. Para as bases matriciais referentes ao MDE do TOPODATA e as imagens de satélite *Rapideye*, foram elaborados os mosaicos da área a partir do conjunto de cenas. Estes documentos auxiliaram na atualização das informações da rede de drenagem e na verificação dos erros de vetorização dos trechos de drenagem da base original do IBGE.
- A base topográfica adquirida por meio das cartas digitalizadas planialtimétricas de 1989 e planimétricas de 1978 da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e IBGE. Mesmo se tratando de cartas em escalas de maior detalhe (1:100.000), esses documentos foram utilizados para identificação de informações básicas, como por exemplo a toponímia dos cursos d'água.

2.1.3 Tratamento da informação espacial

O tratamento da informação espacial foi realizado a partir de ferramenta computacional comumente utilizada para o processamento de informações espaciais, a saber: os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O SIG representa um conjunto de tecnologias voltadas para a coleta e tratamento de informações espaciais que atendam a um objetivo específico, desde a coleta até a geração de produtos na forma de mapas, relatórios, arquivos digitais, entre outros.

Estes sistemas destinam-se ao processamento de dados referenciados geograficamente, gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfície (LONGLEY, 2013). Assim, o aspecto mais fundamental dos dados tratados no SIG é a natureza dual da informação. Um dado geográfico possui uma localização geográfica e atributos descritivos. Outro aspecto importante é que o dado geográfico não existe sozinho no espaço, além de sua localização é fundamental representar a relação entre os diversos dados. Neste sentido, foi adotado neste trabalho, o sistema *ArcGIS 10.3* para a representação dos fenômenos geográficos rede de drenagem, limite de bacia e massa de água. Nas extensões *ArcMAP* e *ArcTOOLBOX* deste sistema, foram iniciados os procedimentos de organização, recorte, georreferenciamento e vetorização dos referidos planos de informação, detalhados na sequência.

Após a etapa de aquisição das bases espaciais (subitem 3.1.2), foi realizada a análise da base cartográfica. No ambiente SIG, procedeu-se, inicialmente, a conversão de toda a base cartográfica para o sistema de coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) e o referencial geodésico brasileiro, o datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) do ano de 2000. Além disso, foram georreferenciadas sete cartas planialtimétricas e planimétricas, uma vez que nem

todas as cartas foram disponibilizadas com referencial espacial, ou seja, georreferenciadas. Após o procedimento de georreferenciamento foi gerado o mosaico das cartas planimétricas e o mosaico das cartas planialtimétricas da área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.

Posteriormente, fez-se o recorte da base cartográfica vetorial e matricial conforme o limite da área do bioma. Os planos de informação (PI) selecionados para esta etapa foram: trecho de drenagem, massa de água, curva de nível, ponto cotado e limite de bacia hidrográfica provenientes do site do IBGE e do limite de bioma do IMESC. Em seguida, foram identificados os principais erros da base cartográfica oficial do IBGE, considerando-se a meta de escala de trabalho de 1:250.000 do ZEE. Estes erros foram corrigidos, a partir da análise da base de dados hidrográfica do IBGE, partindo-se do processo de vetorização. Este processo consiste na conversão de dados espaciais para vetor, com utilização de SIG para essa finalidade. O princípio norteador desse processo, consiste na identificação das entidades representadas no mapa ou representadas nos arquivos *raster* (imagens) por conjuntos de pontos, e seguir essas feições transformando-as em linhas (vetores). Neste trabalho, este processo foi realizado de forma semi-automática, ou seja, uma vetorização assistida em que o sistema acompanha e vetoriza uma determinada linha que lhe foi indicada pelo operador. Em caso de conflito no cruzamento ou conexão de vetores, cabe ao operador a decisão de edição.

A partir deste procedimento, foi realizada a correção topológica por meio da edição da rede de drenagem, para a correção de erros cometidos no processo de digitalização, ou de elementos (cursos d'água) em falta, por comparação com documentos cartográficos originais e produtos de sensores remotos (imagens de satélite e radar). Para editar feições no *ArcGIS*, foram acionadas as ferramentas *Editor* e *Snapping.* A barra de comando do *Editor*, permitiu selecionar e modificar feições e vértices dos cursos d'água assim como acrescentar registros na tabela de atributos do trecho de drenagem selecionado. A barra de comando *Snapping*, permitiu a perfeita conexão de pontos e vértices da feição vetorizada.

2.2 Qualidade de Água

2.2.1 Definição da rede amostral de águas superficiais

A rede de amostragem de água foi definida com o objetivo de contemplar os principais rios das bacias hidrográficas do Mearim, Munim, Itapecuru, Tocantins, Parnaíba, Preguiças e bacias dos Sistemas Costeiros (rios Grande, Novo e Barro Duro). Para isso, foram definidos 35 pontos de coleta (Quadro 4.1 e Figura 4.3), sendo 10 pontos amostrais localizados no Sistema Costeiro e 25 pontos

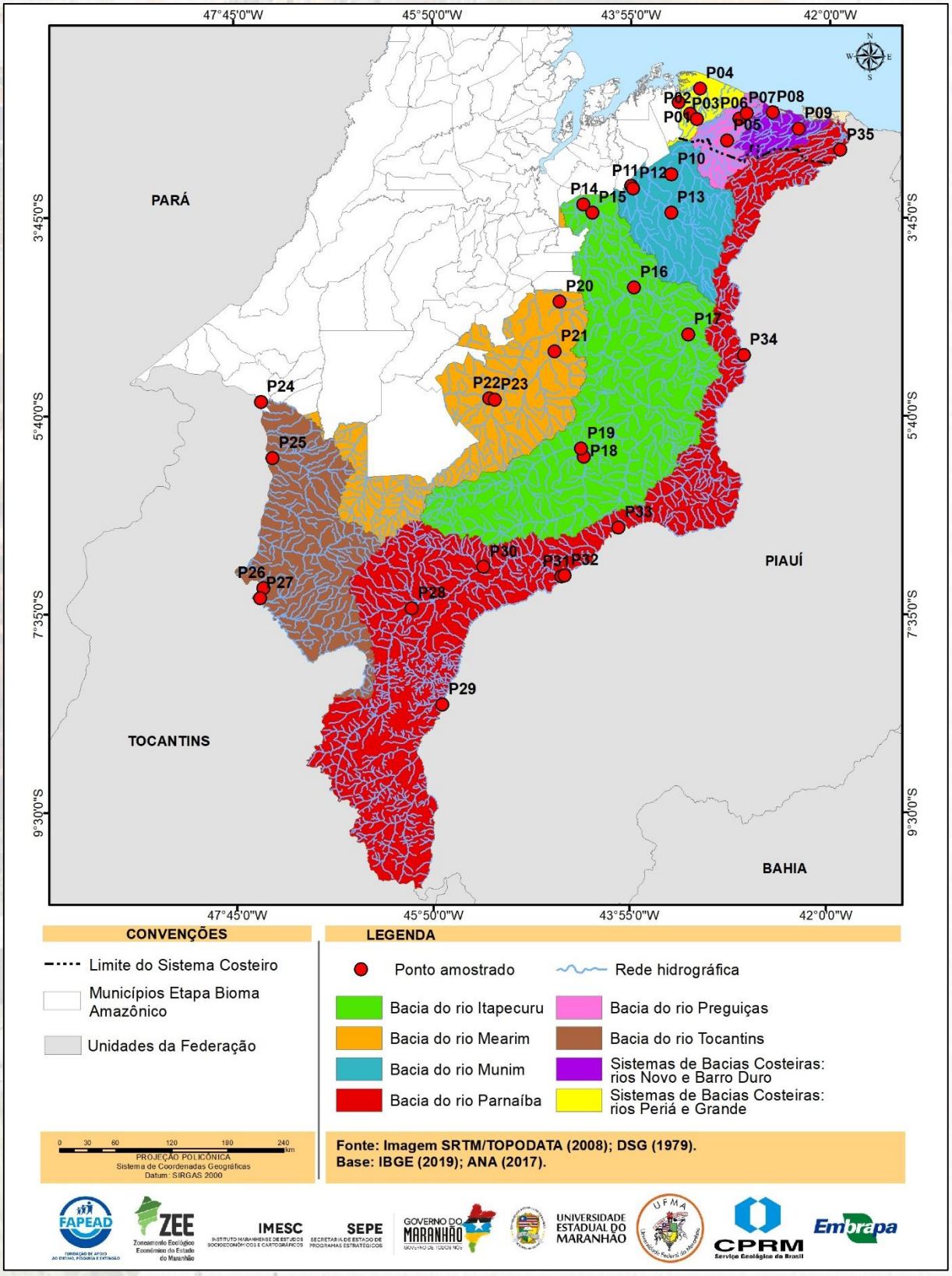
amostrais distribuídos no Bioma Cerrado. Em cada ponto de coleta, amostras de água superficiais foram obtidas para determinações analíticas *in situ* e em laboratório.

Quadro 4.1 - Pontos Amostrais do ZEE Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

Bacia	Pontos	Latitude	Longitude	Rio – Município
Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande	P01	671378.43 m E	9708232.43 m S	Humberto de Campos
	P02	683684.00 m E	9696042.00 m S	MA 402
	P03	690809.00 m E	9690430.00 m S	MA 402
	P04	694144.00 m E	9722918.00 m S	Rio Grande - Santo Amaro
Rio Preguiças	P05	723400.00 m E	9667303.00 m S	Povoado (Alto Curso Rio Preguiças)
	P06	736600.00 m E	9690758.00 m S	Povoado (Médio Curso – Riacho do Gengibre)
	P07	744026.00 m E	9696697.00 m S	Rio Preguiças - Barreirinhas
Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro	P08	771876.00 m E	9697833.00 m S	Rio da Fome - Paulino Neves
	P09	799719.00 m E	9679976.00 m S	Rio Barro Duro - Barro Duro
Rio Munim	P10	663681.00 m E	9631235.00 m S	Rio Preto - São Benedito do Rio Preto
	P11	620327.00 m E	9618729.00 m S	Rio Munim - Nina Rodrigues
	P12	622422.00 m E	9616143.00 m S	Rio Munim - Nina Rodrigues
	P13	663297.00 m E	9590189.00 m S	Rio Munim - Chapadinha
Rio Itapecuru	P14	569089.00 m E	9598803.00 m S	Rio Itapecuru - Cantanhede
	P15	579142.94 m E	9589996.33 m S	Rio Peritoró - Pirapemas
	P16	623514.00 m E	9510128.00 m S	Rio Itapecuru – Codó
	P17	681484.00 m E	9459636.00 m S	Rio Itapecuru – Caxias
	P18	573426.00 m E	9330929.00 m S	Baixo Curso Itapecuruzinho - Colinas
	P19	575836.00 m E	9333998.00 m S	Baixo Curso Alpercatas - Colinas
Rio Mearim	P20	543709.00 m E	9494793.00 m S	Rio Mearim - Pedreiras
	P21	538570.00 m E	9441651.00 m S	Rio Flores - São José dos Basílios
	P22	470801.00 m E	9390998.00 m S	Rio Mearim - Barra do Corda
	P23	472594.00 m E	9390845.00 m S	Rio Corda - Barra do Corda
Rio Tocantins	P24	223826.00 m E	9387262.00 m S	Rio Tocantins - Imperatriz
	P25	236369.00 m E	9327098.00 m S	Rio Lajeado – Lajeado
	P26	226367.00 m E	9187782.00 m S	Rio Tocantins - Carolina
	P27	222746.00 m E	9177182.00 m S	Rio Manuel Alves Grande
Rio Parnaíba	P28	385323.00 m E	9166406.00 m S	Rio Balsas – Balsas
	P29	418235.00 m E	9062985.00 m S	Alto Curso Rio Parnaíba - Tasso Fragoso
	P30	461987.00 m E	9210449.00 m S	Sambaíba – Médio Balsas
	P31	545568.00 m E	9200211.00 m S	Foz Balsas - Benedito Leite
	P32	549064.00 m E	9201220.00 m S	Rio Parnaíba - Parnaíba
	P33	606905.00 m E	9252747.00 m S	Rio Parnaíba UHE - Nova Iorque
	P34	741065.00 m E	9437405.00 m S	Rio Parnaíba - Teresina
	P35	177698.00 m E	9657417.00 m S	Rio Parnaíba Baixo Curso - MA 345

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Figura 4.3 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: ZEE (2021)

2.2.2 Parâmetros de Qualidade de Água

Foram realizadas coletas de água superficial para as determinações analíticas em laboratório de fosfato, silicato, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, clorofila-*α* e Total de Sólidos Suspensos (TSS). Cada amostragem de água foi acondicionada diretamente no seu respectivo frasco de coleta, devidamente etiquetado e checando a presença do reagente preservante adequado para cada análise, evitando que interferências posteriores (reações químicas e biológicas) alterem os resultados das análises. Após a coleta, estas amostras foram refrigeradas e acondicionadas em caixas térmicas, sendo transportadas ao laboratório para análise das variáveis.

Os parâmetros clorofila-*α* e nutrientes dissolvidos (silicato, fosfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal) foram mensurados no Laboratório Cernitas. Os totais de sólidos suspensos foram mensurados no Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS) do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão (DEOLI-UFMA).

Os sólidos totais em suspensão (TSS) presente nas águas superficiais foram determinados por medida gravimétrica, segundo as metodologias descritas em Strickland e Parsons (1968) e APHA (2001). No laboratório, as amostras de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro de 47mm de diâmetro, previamente secos por 1 hora a 60ºC. Os filtros foram previamente identificados e pesados em balança analítica, com precisão de ± 0,0001g. Após a filtração, os filtros foram colocados novamente a 60°C por 1 hora em estufa, resfriado em dessecador e pesado, repetindo o processo de secagem e pesagem até peso constante. A diferença entre o peso final e o inicial forneceu o peso dos sólidos totais em suspensão para um exato volume filtrado e os cálculos expressam o valor em mg L^{-1}.

A Tabela 4.1 sumariza as metodologias e métodos de medição dos parâmetros físicos, químicos e biológico estudados, além dos valores de referência adotados, segundo a resolução CONAMA vigente n.°357/2005, para as águas doces superficiais de Classe 1.

Tabela 4.1 - Parâmetros, métodos de referência e precisão relativa/limite de quantificação e Padrão da resolução CONAMA utilizados para a determinação da química da água nas Bacias Hidrográficas do Cerrado e Sistema Costeiro

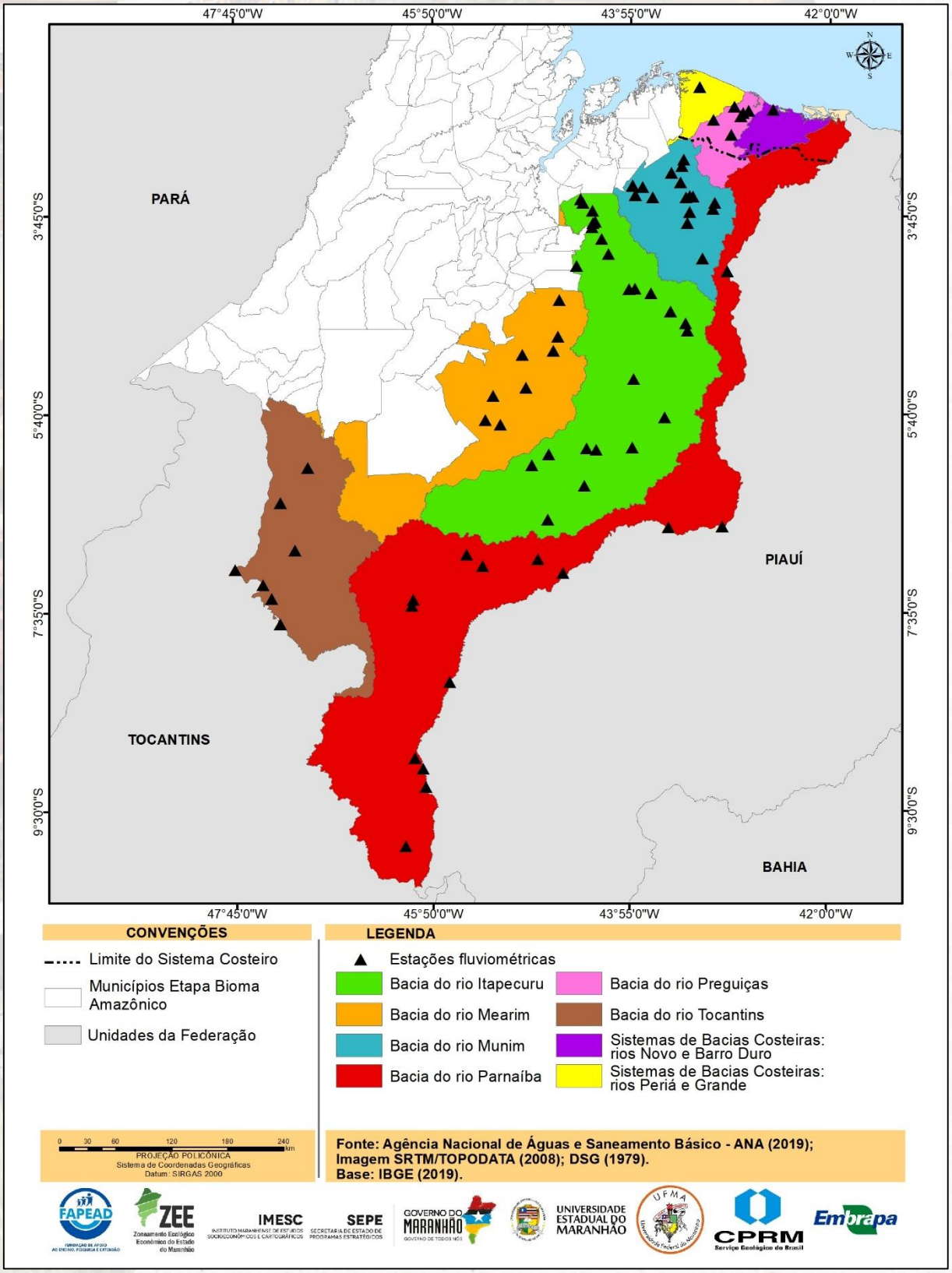
Parâmetro	Método de Referência	Resolução / Precisão Relativa	CONAMA 357/2005 Classe 1
pH	Sonda HORIBA U-50	0,01 pH / ±0,1 pH	6,0 a 9,0 pH
Potencial de Oxirredução (ORP)	Sonda HORIBA U-50	1 mV / ±15 mV	*não é especificado nesta resolução
Condutividade	Sonda HORIBA U-50	0,000 a 99,9 mS cm^{-1} / ± 1%	*não é especificado nesta resolução
Salinidade	Sonda HORIBA U-50	0,1 g kg^{-1} / ± 3 g kg^{-1}	≤ 0,5 g kg^{-1}
Temperatura	Sonda HORIBA U-50	0,01 °C / ± 0,10 °C	*não é especificado nesta resolução
Totais de Sólidos Dissolvidos – TDS	Sonda HORIBA U-50	0,1% / ±5 g L^{-1}	Máx. 500 mg L^{-1}
Turbidez	Sonda HORIBA U-50	0 a 99,9 NTU / ±5% NTU	até 40 NTU
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método de Winkler (1888), descrito em Strickland & Parsons (1972)	O método apresenta precisão de ± 0,02 cm^3 dm^{-3} para teores de 2 cm^3 dm^{-3}; e precisão de ± 0,04 cm^3 dm^{-3} para teores superiores.	≥ 6,0 mg L^{-1}
Totais de Sólidos em Suspensão – TSS	Metodologias descritas em Strickland & Parsons (1968) e APHA (2001)	0,1 mg L^{-1}	*não é especificado nesta resolução
Fosfato	SMEWW 4500-P B 23ª edição	0,1 mg L^{-1}	Máx. 0,1 mg L^{-1} P
Silicato	SMEWW 3030E 22ª edição	0,01 mg L^{-1}	*não é especificado nesta resolução
Nitrito	SMEWW 4500 NO_2 B 23ª edição	0,001 mg L^{-1}	Máx. 1,0 mg L^{-1} N
Nitrato	SMEWW 4500-NO_3 B 23ª edição	0,10 mg L^{-1}	Máx. 10,0 mg L^{-1} N
Nitrogênio Amoniacal	SMEWW - 4500 NH_3 - F 23ª edição	0,0010 mg L^{-1}	Máx.: 3,7 mg L^{-1} N (pH = 7,5); 2,0 mg L^{-1} N (pH 7,5 a 8,0); 1,0 mg L^{-1} N (pH 8,0 a 8,5); 0,5 mg L^{-1} N (pH > 8,5)
Clorofila-α	Clorofila: IT 06-07.198	10 µg L^{-1}	Máx. 10 µg L^{-1}

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.2.3. Rede Hidrometeorológica Nacional

Nesta seção, serão apresentados os procedimentos referentes ao levantamento dos dados das 84 estações fluviométricas distribuídas no BCSC, no Estado do Maranhão (Figura 4.4). Estas estações integram a rede fluviométrica da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Figura 4.4 - Distribuição das estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

O Quadro 4.2 apresenta a distribuição das estações fluviométricas da ANA nas bacias hidrográficas do BCSC. Os dados foram obtidos por meio de *downloads* do banco das estações fluviométricas na plataforma HIDROWEB (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas). Em seguida, o banco de dados foi tabulado e sistematizado no Microsoft Excel.

Quadro 4.2 - Estações fluviométricas situadas nas bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão

Bacia Hidrográfica	Estações Fluviométricas	Rios contemplados
Sistemas de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande	33820000	Rio Grande
Rio Preguiças	33711500; 33700001; 33711000; 33712000 33708000; 33710000; 33700000	Riacho Achui; Igarapé da Preguiça; Rio Preguiças
Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro	33717000	Paulino Neves
Rio Itapecuru	33630500; 33450000; 33680001; 33680000; 33550000; 33590000; 33480000; 33630000; 33620000; 33430000; 33685000; 33520000; 33420000; 33530000; 33490000; 33638000; 33661000; 33460000; 33410000	Rio Alpercatas; Rio Andiroba; Rio Balseiros; Rio Codozinho; Rio Correntes; Rio Itapecuru; Rio Pirapemas; Rio Peritoró
Rio Mearim	33271000; 33250000; 33222000; 33270000 33273000; 33212000; 33281000; 33215000 33260000; 33214000	Rio Flores; Rio Mearim; Rio Ourives; Rio Flores; Ribeirão Papagaio; Rio Mearim; Rio Corda Ou Capim; Ribeirão Pau Grosso
Rio Munim	33720001; 33740000; 33750000; 33743000 33742000; 33750001; 33720000; 33770000 33747000; 33748000; 33742500; 33730000 33765000; 33765001; 33780000; 33780001 33760000; 33788000; 33790001; 33790000 33770001; 33730001	Rio Munim; Rio Preto; Riacho Riachão; Rio Iguará; Riacho Bom Sossego; Rio Mocambo; Rio Iguará
Rio Parnaíba	34020000; 34130000; 34142000; 34311000 34202000; 34820000; 34820001; 34040500 34010000; 34140000; 34030000; 34145000 34001000; 34160000; 34988000; 34170000 34219080	Rio Parnaíba; Rio das Balsas; Rio Pequeno; Rio Maravilha; Rio Medonho; Rio Neves; Rio Parnaibinha; Rio Buriti
Rio Tocantins	23718000; 23250001; 23250000 23650000; 23251000; 23610000 23310000; 23466000	Rio Tocantins; Rio Manoel Alves Grande; Rio Lajeado; Rio Itapicuru; Rio Itaueiras; Rio Farinha

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

2.3 Hidrologia

A demanda hídrica compreende o volume de água destinado a suprir diversas finalidades, e são classificadas de acordo com seu uso, usos consuntivos ou usos não consuntivos. Os usos consuntivos são, em geral: abastecimento urbano e rural, pecuária, irrigação e a indústria. Os usos não consuntivos, não constituem consumo e estão relacionados à geração de energia, turismo, recreação, preservação

da fauna e flora, entre outros. A demanda hídrica do Estado do Maranhão é de aproximadamente 1,5 trilhão de m³ por ano, onde a maior demanda destina-se a irrigação, seguida pelo abastecimento urbano. As bacias hidrográficas do Maranhão drenam em torno de 202.203,50 km², correspondendo a 60,90% da área do Estado. Com o intuito de preservar o ecossistema local e garantir condições estabelecidas, empenhando a manter as condições existentes antes da intervenção antrópica, de forma a abrandar os impactos das intervenções, parte da vazão retirada de água para atender aos usos múltiplos deve permanecer no leito. Esta parcela da vazão é denominada vazão residual, remanescente, ambiental ou ecológica (MARANHÃO, 2016).

A disponibilidade hídrica de cada bacia hidrográfica no Estado do Maranhão corresponde às parcelas da água disponível para uso. As maiores parcelas da água correspondendo às bacias pertencentes ao Bioma Cerrado e Sistema Costeiro estão presentes nas bacias hidrográficas de domínio federal, sendo a primeira a da bacia do Rio Tocantins (2.412hm³/ano) e bacia do Rio Parnaíba (1.475hm³/ano), seguida pelas bacias hidrográficas estaduais, sendo a bacia do Rio Itapecuru (1.112,55hm³/ano), bacia do Rio Mearim (665,21hm³/ano), bacia do Rio Munim (269,80hm³/ano) e por último a bacia do Rio Preguiças (131,22hm³/ano) (MARANHÃO, 2009).

2.3.1 Dados e Pré-processamento dos Dados de Vazão do Rios do BCSC

As séries temporais de vazões médias foram obtidas das 44 estações fluviométricas localizadas no BCSC (Tabela 4.2), as quais estão distribuídas em quatro (4) bacias hidrográficas estaduais e em duas (2) bacias hidrográficas de domínio federal (União), a saber: Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (15), apresentando a maior quantidade de estações, seguida da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (11), Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (7), Bacia Hidrográfica do Rio Munim (6), Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (4) e Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças (1), sendo as bacias do Parnaíba e Tocantins as bacias de domínio federal (Tabela 4.2). As séries temporais mensais dos dados históricos de vazão disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), via plataformas do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e do Sistema de Informações Hidrológicas O*n-line* (Hidroweb), foram obtidas pré-processadas e tratadas estatisticamente.

Além de distintas coberturas temporais, a maioria das séries temporais brutas obtidas das 44 estações fluviométricas localizadas no BCSC apresentam lacunas nos dados medidos. Por isso, foi necessário o pré-processamento dos dados, a fim de tornar as séries de vazão contínuas e com equivalência no tempo entre as estações. Após a obtenção dos dados de vazão para todas as estações, foi realizado um tratamento para rastreamento automático das lacunas de dados (gaps) existentes em cada uma das 44 séries temporais. Uma vez encontradas as lacunas nos dados, foram criadas as linhas

referentes aos anos e meses dos dados faltantes e estes preenchidos com um valor numérico indefinido (no caso, NaN, acrônimo em inglês para Not a Number). Com isso, todas as séries temporais de vazão passaram a ser contínuas e temporalmente equivalentes, compreendendo o período total de janeiro de 1963 a dezembro de 2020 (58 anos). A palavra destacada (isto é, VARVAZOES), funciona como um contador para a variação (loop) entre os códigos das 44 estações fluviométricas utilizadas. Para que o rastreio das lacunas de tempo dos dados pudesse ser feito de uma maneira automática, evitando erros bastante comuns no tratamento manual de dados, foi criada uma rotina de execução em Shell (um interpretador de comandos do ambiente Linux) que foi rodada no terminal do Linux como ./submete_fillgaps_vazoes_INMET.csh

Tabela 4.2 - Estações fluviométricas (com dados de vazão) da Agência Nacional das águas (ANA) localizadas nas bacias hidrográficas pertencentes ao BCSC

Bacias Hidrográficas	Código da Estação	Localidade	Longitude (°)	Latitudes (°)	Série Temporal
Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins	23250000	Goiatins	47,3117°W	7,7078°S	1971 - 2020
	23251000	Rio Itapecuru	47,3922°W	7,4619°S	2005 - 2020
	23610000	Rio Itaueiras	47,3036°W	6,5353°S	2004 - 2019
	23650000	Lajeado Novo	47,0411°W	6,1958°S	1999 - 2020
Bacia Hidrográfica do Rio Mearim	33215000	Rio Corda II	45,3183°W	5,735°S	1981 - 2020
	33222000	Fazenda Ourives	45,1736°W	5,7794°S	2004 - 2018
	33250000	Barra Do Corda	45,2436°W	5,5006°S	1964 - 2020
	33260000	Santa Vitória	44,9614°W	5,1019°S	1972 - 2020
	33270000	Flores	44,9278°W	5,4194°S	1972 - 2018
	33273000	Joselândia	44,6181°W	4,9253°S	2000 - 2020
	33281000	Pedreiras II	44,6056°W	4,5703°S	1978 - 2020
Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru	33410000	São Felinho	44,7167°W	6,700°S	1999 - 2020
	33420000	Mirador	44,3603°W	6,3708°S	1968 - 2020
	33430000	Fernando Falcão	44,8689°W	6,1700°S	2000 - 2020
	33450000	Campo Largo	44,7083°W	6,0669°S	1972 - 2020
	33460000	Porto Do Lopes	44,3400°W	6,0072°S	1970 - 2020
	33480000	Colinas	44,2486°W	6,0208°S	1968 - 2020
	33490000	Nazaré	43,9000°W	6,0000°S	1999 - 2020

	33520000	Mendes	43,5861°W	5,7061°S	1972 - 2018
	33530000	Montevidéu	43,8844°W	5,3372°S	1975 - 2020
	33550000	Caxias	43,3675°W	4,865°S	1963 - 2020
	33590000	Codó	43,875°W	4,4583°S	1968 - 2020
	33620000	Fazenda Sobral	43,9333°W	4,4653°S	1972 - 2020
	33630000	Coroatá	44,1297°W	4,1258°S	1975 - 2020
	33661000	Peritoró II	44,2872°W	3,7064°S	1984 - 2018
	33680000	Cantanhede	44,3792°W	3,6278°S	1968 - 2018
Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças	33700000	Morro Alto	42,9467°W	2,9686°S	1999 - 2019
Bacia Hidrográfica do Rio Munim	33720000	Fazenda Capueira	43,2239°W	4,1669°S	2003 - 2020
	33730000	Munim	43,7028°W	3,5775°S	1972 - 2020
	33750000	Bonsucesso	43,3169°W	3,5678°S	1999 - 2020
	33760000	São Benedito	43,5250°W	3,3347°S	1975 - 2020
	33770000	Iguará	43,8736°W	3,5536°S	1972 - 2018
	33780000	Nina Rodrigues	43,8989°W	3,4594°S	1963 - 2020
Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba	34010000	Fazenda União	45,9019°W	9,2900°S	2012 - 2020
	34020000	Alto Parnaíba	45,9261°W	9,1131°S	1966 - 2020
	34030000	Medonho	46,0058°W	9,0083°S	2000 - 2020
	34040500	Fazenda Paracati II	45,6683°W	8,2708°S	1996 - 2020
	34130000	Balsas	46,0358°W	7,5344°S	1973 - 2020
	34140000	Maravilha Br-230	46,0219°W	7,4742°S	1999 - 2020
	34145000	Neves Br-230	45,5008°W	7,0372°S	2000 - 2020
	34160000	Sambaíba	45,3489°W	7,1489°S	2004 - 2020
	34170000	São Felix De Balsas	44,8139°W	7,0819°S	1973 - 2020
	34311000	Barão De Grajaú	43,0278°W	6,7614°S	1983 - 2020
	34820000	Coelho Neto	42,9856°W	4,2881°S	1999 - 2019

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

2.3.2 Climatologia e Espacialização das Vazões no Domínio das Bacias Hidrográficas

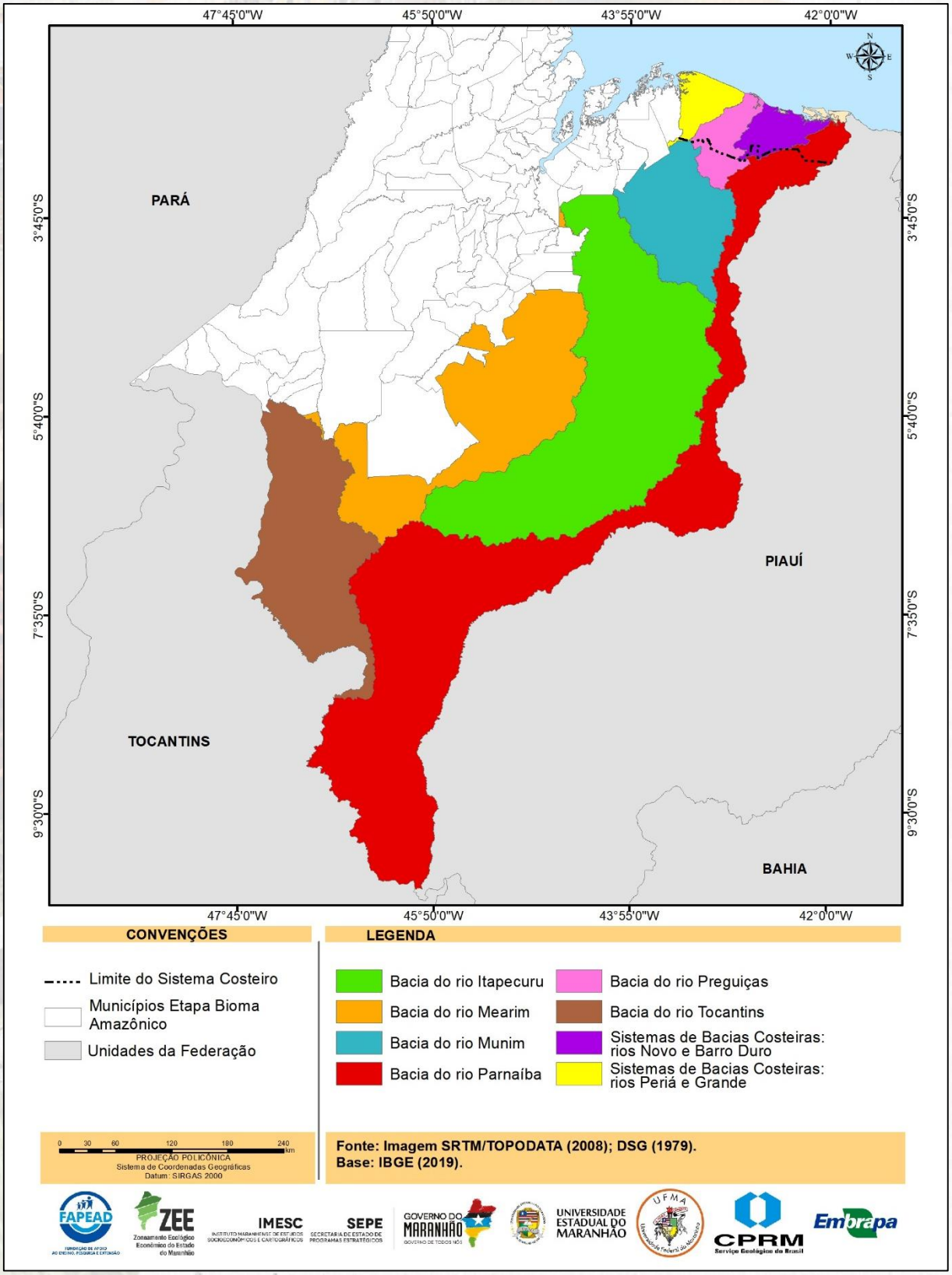
Após o pré-processamento dos dados de vazão média mensal, foram calculadas as médias temporais para cada uma das 44 estações fluviométricas do BCSC. Para cada bacia hidrográfica, foram calculadas as médias mensais (janeiro – dezembro) de cada estação fluviométrica, considerando todo o período existente da série temporal histórica (Tabela 4.2). Os valores médios (janeiro – dezembro) calculados para cada ponto das estações fluviométricas foram então espacializados para o domínio da bacia hidrográfica a qual pertencem. A espacialização dos dados de vazões foi feita por bacia hidrográfica, utilizando-se do método da ponderação pelo inverso da distância (*Inverse Distance Weighting – IDW*) (SHEPARD, 1968), disponibilizado no software QGIS 3.18.2. A interpolação é uma ferramenta que utiliza os pontos vetoriais de dados existentes para ponderar o valor de uma variável em locais não amostrados de uma mesma região. Na interpolação IDW, a partir de um ponto conhecido onde a variável está sendo calculada, ocorrerá a estimativa de pesos ponderados a cada um dos valores mais próximos deste ponto. De modo que o peso de cada valor seja função inversa da distância, ou seja, a influência da ponderação declina à medida que a distância a partir de pontos desconhecidos aumenta, e maior será o peso quanto mais próximo do ponto conhecido.

Os arquivos de entrada para o tratamento estatístico dos dados de vazão constituíram-se de vetores (cujas linhas representam o número de estações fluviométricas ou pontos de medição) contendo três colunas, as coordenadas (latitude e longitude) e o valor da vazão média mensal em cada estação. Ou seja, primeiramente foi feita a estatística dos dados de vazão e então a espacialização dos mesmos. Após a espacialização dos dados de vazão mensal para o domínio das bacias, foi aplicada uma máscara de continente constituída de um polígono vazado na rede hidrográfica. Foram então construídos compostos climáticos para os meses que compõem o período chuvoso (janeiro, fevereiro, março, abril e maio) e o período seco (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) do BCSC.

3 RESULTADOS

As bacias hidrográficas que compõem o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro dividem-se em bacias estaduais e bacias federais. As bacias estaduais correspondem aos rios Itapecuru, Mearim, Munim, Preguiças e aos Sistemas de Bacias Costeiras dos rios Periá e Grande e dos rios Barro Duro e Novo. As bacias federais que fazem parte do bioma, correspondem à porção do médio curso do Rio Tocantins e à margem esquerda da Bacia do Rio Parnaíba (Figura 4.5).

Figura 4.5 - Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro - MA



Fonte: ZEE (2021)

3.1 **Sistemas de Bacias Costeiras:** Rio Periá e Rio Grande

3.1.1 Hidrografia

As bacias dos rios Periá e Grande foram agrupadas num dos sistemas de bacias costeiras presentes no BCSC. Esses sistemas compreendem uma área de 3.075km^2, equivalente à 1,6%. Ao todo, a rede hidrográfica possui 172 trechos de drenagem com 789,8km de cursos d'água (Figura 4.6), destacando-se como os rios de maior extensão, Negro (55,9km), Marciano (53,5km) e Grande (35,9km). A maior parte dos cursos d'água desses sistemas, deságuam na unidade de conservação integral do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e o Rio Grande deságua no Lago do Santo Amaro. Nessas bacias, não há estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas para a análise do regime fluvial.

3.1.2 Qualidade de Águas

3.1.2.1 Dados Pretéritos do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande

No sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande, existe apenas uma estação de monitoramento da qualidade de água da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Os resultados sugerem que as características dos recursos hídricos, quanto aos parâmetros monitorados, apresenta condição satisfatória e esperada para rios tropicais.

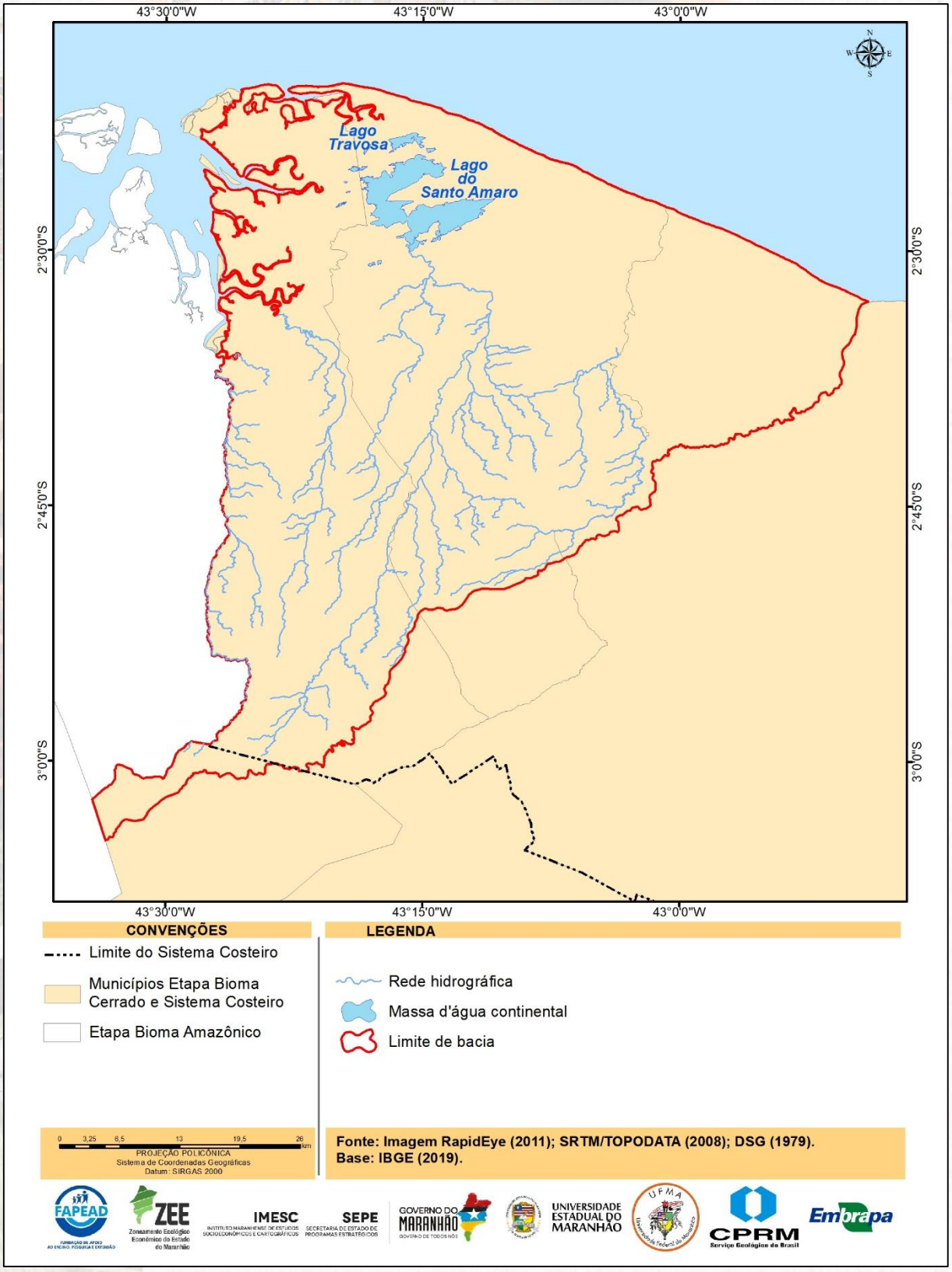
Entre os resultados, é importante evidenciar que os valores obtidos para o oxigênio dissolvido (7,23±0,78 mg L^{-1}) apresentaram concentrações com baixa variação e com saturação apropriada para a manutenção da vida aquática em aerobiose. Os resultados também sugerem baixa carga de matéria orgânica nos rios da região, turbidez indicando menores resultados para todo o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, qualificando a zona monitorada como águas límpidas. A variável pH demonstrou que as águas desta bacia possuem características ácidas, provavelmente em função da decomposição de ácidos húmicos e fúlvicos no ambiente fluvial (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Dados de qualidade de água da estação de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras do Periá e Grande, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Estado do Maranhão

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.
33820000	28,69 ±2,56	5,59 ±1,52	2,22 ±1,32	7,23 ±0,78	52,99 ±7,58

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica

Figura 4.6 - Mapa da rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande



Fonte: ZEE (2021)

3.1.2.2 Caracterização do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 4.7 e 4.8), nos municípios de Humberto de Campos e Santo Amaro. O ponto 1 foi coletado próximo a povoado de baixa infraestrutura e vegetação ciliar preservada, já os pontos 2 e 3 localizam-se em áreas cortadas pela MA 402, com trechos meândricos de rio e vegetação preservada. O ponto 4 teve água coletada na proximidade da sede de Santo Amaro, com margens parcialmente ocupadas em alguns trechos por residências, pousadas e restaurantes com vegetação preservada em ambos os lados.

Figura 4.7 - Pontos de coleta do Sistema Rio Grande

Fonte: Elaboradas pelos autores (2021).

3.1.2.3 Dados Coletados do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Periá e Rio Grande

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados no Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande se encontram na Tabela 4.4. No geral, os resultados obtidos estão dentro do que preconiza a legislação brasileira, mas, no entanto, a condutividade elétrica (CE) no Rio Periá (P01) foi um pouco elevada, indicando contribuição de sais inorgânicos dissolvidos nessas águas, embora esta não seja suficiente para alterar os valores de salinidade, que ficaram dentro do padrão de rio.

A condutividade elétrica é a capacidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons, que são partículas carregadas eletricamente, por isso quanto maior a quantidade de íons dissolvidos na água, maior será a condutividade elétrica (CALAZANS et al., 2011). A turbidez apresentou concentrações acima de 40 NTU, nos rios que compõem este Sistema de Bacias,

estando além do que estabelece a resolução CONAMA 357/2005, exceto no alto curso do Rio Grande, onde este valor foi menor. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

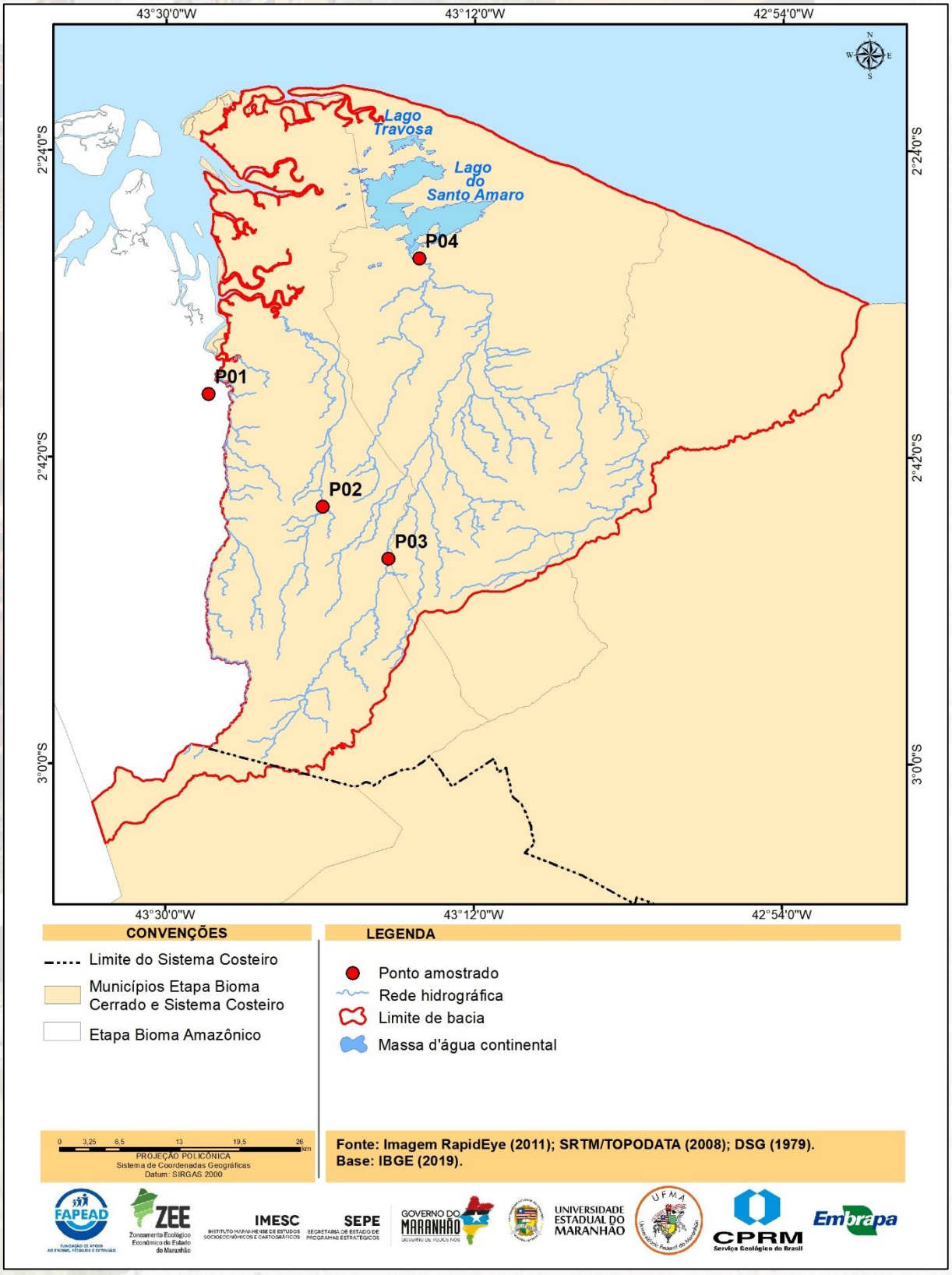
O pH também ficou abaixo do que recomenda a resolução, caracterizando as águas dessas bacias como ácidas. O total de sólidos suspensos (TSS) na água foi maior no Rio Periá, indicando importante transporte de sedimento por este rio. O fosfato e o silicato apresentaram maiores concentrações nos rios Periá e Mapari, o que pode estar relacionado com a contribuição antrópica nestes rios.

Tabela 4.4 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande

Bacia Hidrográfica		Sistema de Bacias Costeiras: Rios Periá e Grande			
Ponto de Coleta		P01	P02	P03	P04
Local de Coleta		Rio Periá - Humberto de Campos	Rio Mapari - MA 402	Rio Grande - Alto Curso - MA 402	Rio Grande - Baixo Curso - Santo Amaro
Data da Coleta		25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021
Horário de Coleta		6:55	8:05	8:45	9:57
Temperatura	(°C)	26,09	25,95	26,68	28,21
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	280,00	16,00	32,00	2,00
TDS	(mg L^{-1})	182	9	20	1
Turbidez	(NTU)	119,00	155,00	11,10	126,00
pH		4,65	4,79	5,16	3,11
ORP	(mV)	149	153	159	241
OD	(mg L^{-1})	6,88	6,41	6,88	5,33
OD	(%)	86,62	79,28	72,86	68,84
TSS	(mg L^{-1})	31,14	0,67	0,43	1,89
Fosfato	(mg L^{-1})	2,67	2,96	1,53	0,78
Silicato	(mg L^{-1})	31,10	34,20	25,80	23,50
Nitrato	(mg L^{-1})	0,12	0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,50	< 0,001	< 0,001	1,20
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.8 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Periá e Grande



Fonte: ZEE (2021)

3.2 Bacia do Rio Preguiças

3.2.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Preguiças representa aproximadamente 2,1% do BCSC e situa-se ao nordeste da área, entre os sistemas costeiros das bacias dos rios Periá e Grande e das bacias dos rios Novo e Barro Duro. A Bacia do Rio Preguiças abrange uma área de 3.957,8 km², e ao todo, a rede hidrográfica compreende 319 trechos de drenagem e ainda 1.595,3km de cursos d'água (Figura 4.9), destacando-se os rios de maior extensão: Preguiças (139,4 km), Palmira (58km) e Cocal (51,3 km).

3.2.2 Regime Fluvial

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças há somente dados de vazão disponíveis de 1 (uma) estação fluviométrica, localizada em Morro Alto, no médio curso do Rio Preguiças. Devido à existência de apenas 1 ponto amostral em toda a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, não foi possível realizar a espacialização dos dados de vazões para a ela. Nota-se uma tendência de diminuição da vazão em Morro Alto, ao longo do tempo (Figura 4.9). Isso pode estar relacionado ao crescimento da população e do turismo no município de Barreirinhas, resultando em alta demanda de água para abastecimento urbano e do turismo, bem como por influência de eventos climáticos extremos. Durante o período de 20 (vinte) anos analisados neste estudo, há uma inversão de tendência no ano de 2015 para 2016 em diante, saindo da tendência negativa e indo para a tendência positiva, atingindo o pico de vazão em 2019. Os meses de março - abril – maio e outubro - novembro – dezembro apresentaram as maiores (menores) vazões na série histórica (Figura 4.10).

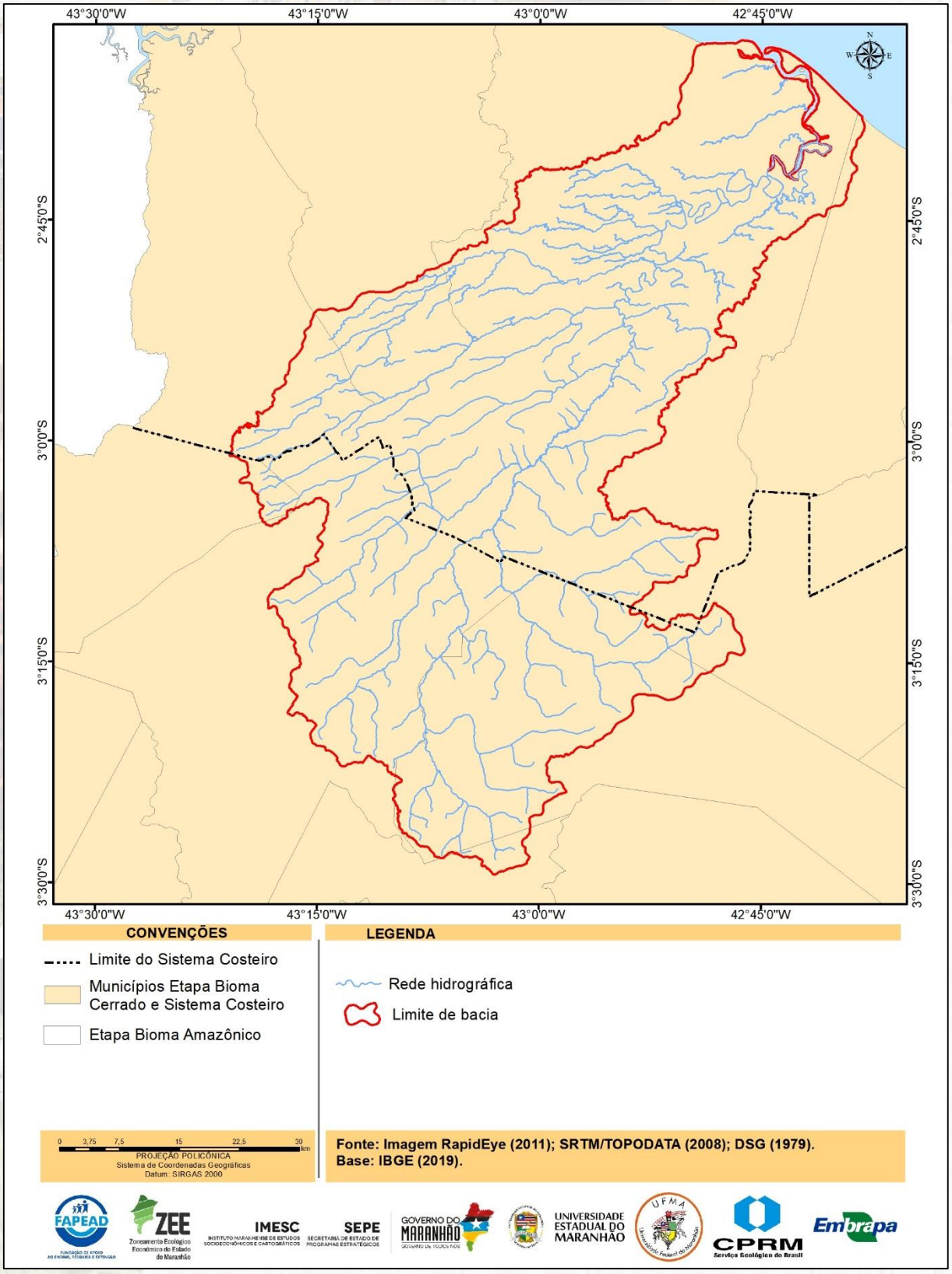
Os dados da estação fluviométrica de Morro Alto mostraram que a vazão média anual (1999-2019) foi de 15,9 m^3/s (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Vazão média anual da estação fluviométrica pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Período
Morro Alto	15,9	1999 - 2019

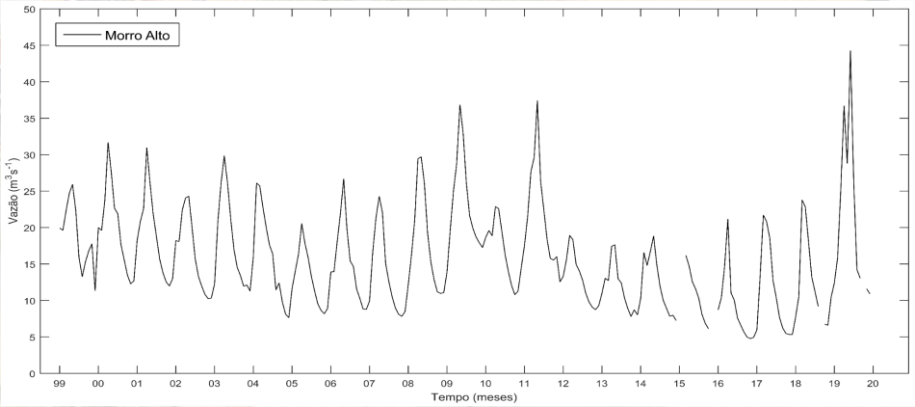
Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.9 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Preguiças



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.10 - Série temporal histórica das vazões médias mensais obtidas da estação fluviométrica de Morro Alto localizada no médio curso do Rio Preguiças, na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças



Fonte: ZEE (2021)

3.2.3 Qualidade de Águas

3.2.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Preguiças

Na Bacia do Rio Preguiças, estão localizadas 7 (sete) estações de monitoramento de qualidade da água da RHN. Os resultados revelaram que o rio Preguiças possui águas com características ácidas, com variação de pH entre 4,26±1,31 até 5,82±1,09 entre as estações de monitoramento. O padrão evidenciado indicou forte influência dos ácidos fúlvicos e húmicos na qualidade da água do Rio Preguiças (Tabela 4.6).

Com relação a variável turbidez, os valores da série histórica indicaram que os recursos hídricos apresentam águas límpidas, com pouca influência de material particulado em suspensão. Os padrões evidenciados para oxigênio dissolvido indicaram concentrações que asseguram a manutenção da vida aquática. A temperatura da água e condutividade específica demonstraram padrões esperados para recursos hídricos equatoriais.

Tabela 4.6 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia Hidrográfica do rio Preguiças, Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})
33708000	29,08 ±4,40	5,05 ±0,84	5,99 ±2,36	5,67 ±0,35	50,35 ±6,90	-
33710000	26,62 ±0,53	4,26 ±1,31	5,83 ±13,33	4,92 ±1,16	44,41 ±6,07	-
33711000	28,56 ±1,74	5,64 ±0,84	5,13 ±2,11	5,48 ±0,71	53,13 ±6,92	-
33712000	29,81 ±0,37	5,82 ±1,09	6,86 ±3,96	5,66 ±2,40	53,80 ±7,11	-
33711500	28,12 ±0,98	4,38 ±1,02	1,63 ±2,32	4,71 ±1,75	49,40 ±8,36	-
33700001	27,88 ±0,72	4,86 ±0,90	5,98 ±3,58	6,81 ±0,92	56,24 ±7,14	-
33700000	28,60 ±0,95	5,46 ±0,73	6,52 ±1,78	6,71 ±1,62	44,55 ±6,96	44,68 ±16,68

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica; CE – Condutividade Elétrica

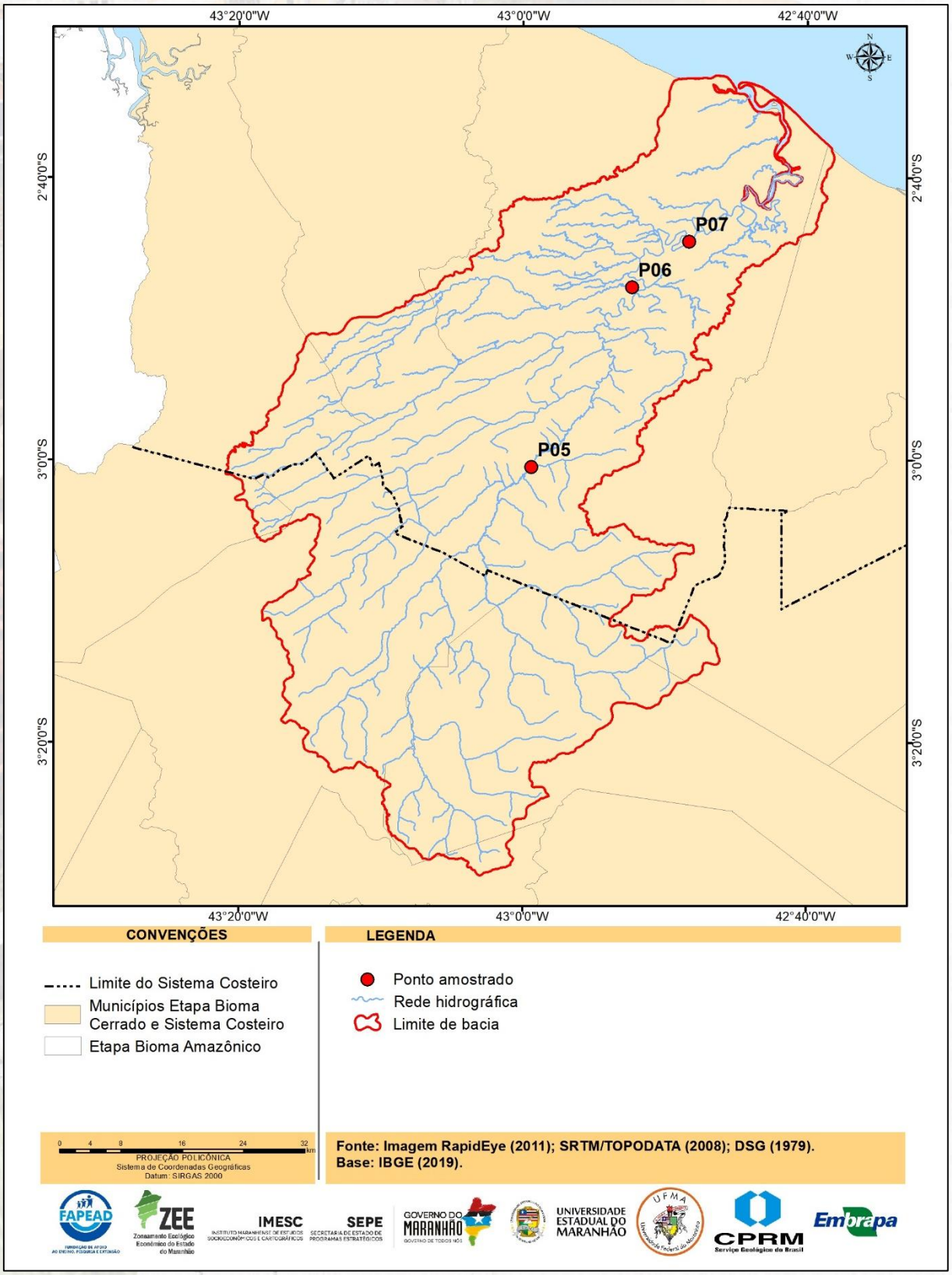
3.2.3.2. Caracterização da Bacia do Rio Preguiças

A coleta ocorreu em 3 pontos do Rio Preguiças (Figuras 4.11 e 4.12), os pontos 5 e 6, foram coletados em povoados com pequena oferta de infraestrutura, trechos dos rios bastante meandrosos, vegetação ciliar preservada e usos para pesca e banho. O ponto 7 foi coletado nas proximidades da sede do município de Barreirinhas, com a margem direita do rio bastante ocupada por residências, bares, hotéis e pousadas, além de alto fluxo de barcos motorizados para passeios, tendo a vegetação degradada na margem direita e a esquerda preservada.

Figura 4.11 - Pontos de coleta do Rio Preguiças

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Figura 4.12 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças



Fonte: ZEE (2021)

3.2.3.3 Dados Coletados da Bacia do Rio Preguiças

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Preguiças se encontram na Tabela 4.7. A turbidez apresentou concentrações acima de 40 NTU nos rios que compõem esta bacia, estando acima do que estabelece a resolução CONAMA 357/2005. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa. O pH nos pontos P05 e P06 do Rio Preguiças apresentaram valores bem menores do que determina a resolução brasileira, indicando águas muito ácidas neste rio.

O oxigênio dissolvido (OD) mostrou valor baixo no Riacho do Gengibre (P06), indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática, pois segundo Von Sperling (2005), concentrações próximas a 2mg L^{-1} podem causar morte de peixes. Os valores obtidos de fosfato e silicato nesta bacia foram elevados, com o fosfato acima da resolução vigente. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e lixiviação continental nos rios. Os demais valores estão dentro do que preconiza a resolução CONAMA.

Tabela 4.7 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Preguiças

Bacia Hidrográfica		Sistema de Bacias Costeiras: Rio Preguiças		
Ponto de Coleta		P05	P06	P07
Local de Coleta		Rio Preguiças - Povoado São José das Varas	Riacho do Gengibre - Barreirinhas	Rio Preguiças - Barreirinhas
Data da Coleta		25/04/2021	25/04/2021	25/04/2021
Horário de Coleta		16:43	13:45	14:52
Temperatura	(°C)	29,07	29,26	28,93
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	10,00	18,00	13,00
TDS	(mg L^{-1})	5	10	8
Turbidez	(NTU)	113,00	57,70	96,00
pH		2,15	3,44	6,77
ORP	(mV)	262	177	119
OD	(mg L^{-1})	7,82	3,07	7,11
OD	(%)	101,00	39,65	93,38
TSS	(mg L^{-1})	0,88	10,78	2,22
Fosfato	(mg L^{-1})	0,94	2,28	1,07
Silicato	(mg L^{-1})	52,00	31,10	44,50
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,90	0,90
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00

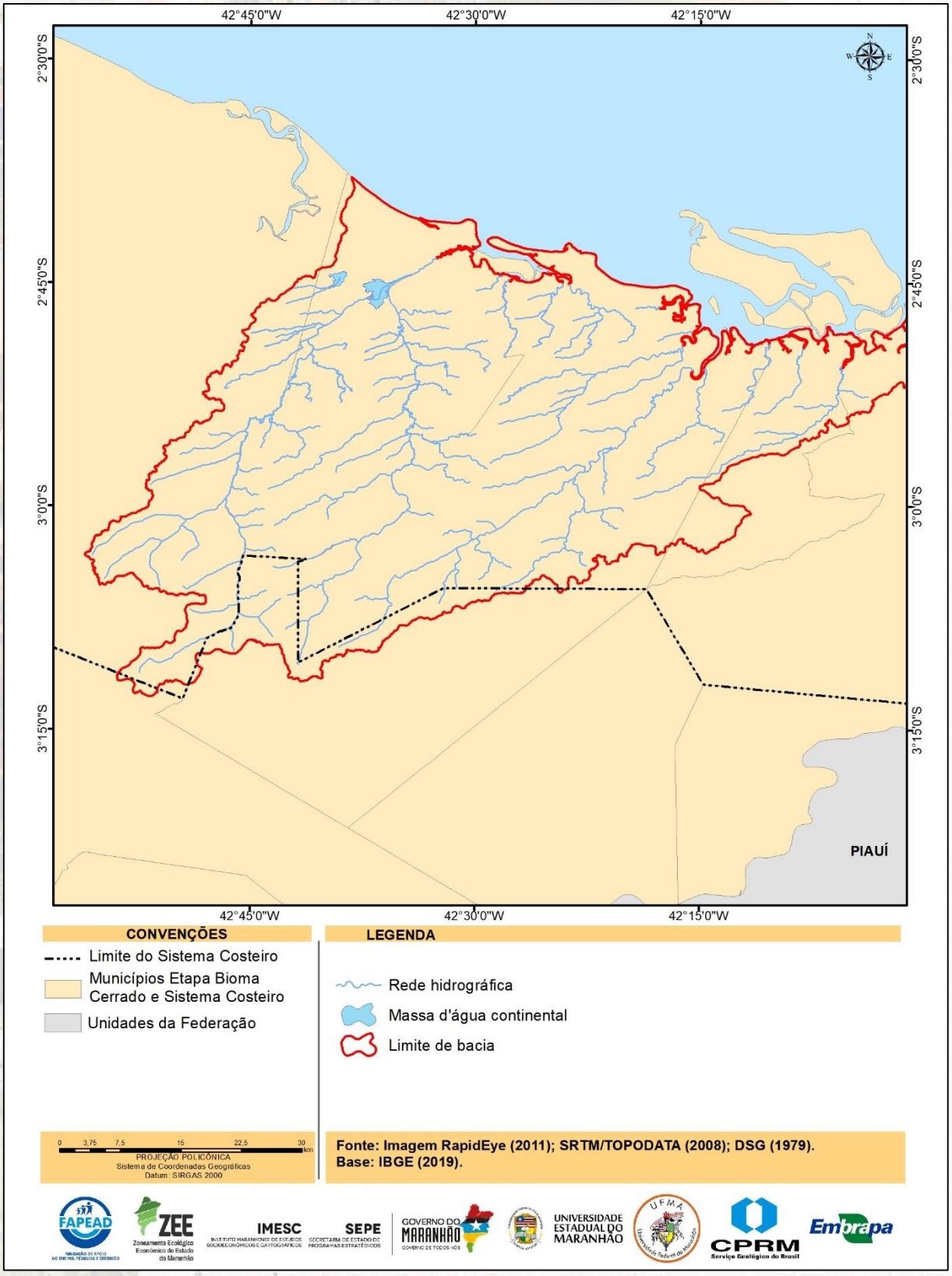
Fonte: ZEE (2021)

3.3 Sistema de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo

3.3.1 Hidrografia

As bacias dos rios Barro Duro e Novo apresentam área de 3.195,6km^2. A rede hidrográfica é composta de 186 trechos de drenagem e 1.034,2km de extensão de cursos d'água (Figura 4.13), destacando-se como os rios de maior extensão, Barro Duro (59,2km), Carrapato (54,1km) e Fome ou Formiga (45,4km). Nessas bacias não há estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas para a análise do regime fluvial.

Figura 4.13 - Mapa da rede hidrográfica dos Sistemas de Bacias Costeiras: rios Barro Duro e Novo



Fonte: ZEE (2021)

3.3.2 Qualidade de Água

3.3.2.1 Dados Pretéritos do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro

No Sistema de Bacias Costeiras dos Rios Novo e Barro Duro existe apenas uma estação de monitoramento da RHN. Os resultados sugeriram que a qualidade de água na estação de monitoramento, quanto aos parâmetros monitorados, apresenta condição satisfatória e esperada para rios tropicais (Tabela 4.8).

A variável pH apresentou tendências para um padrão levemente ácido com variação para neutralidade, demonstrando menor influência de compostos fúlvicos e húmicos em relação ao Sistema Periá/Grande e ao Rio Preguiças. Quanto à variável turbidez, os valores foram baixos, indicando baixa influência da concentração de partículas sólidas em suspensão na água. Os valores de oxigênio dissolvido demonstraram concentrações essenciais para manutenção da vida aquática, indicando que o ambiente apresenta boa qualidade quanto ao comportamento da série histórica dessa variável.

Tabela 4.8 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente ao Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro, Bioma Cerrado do estado do Maranhão

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})
33717000	29,63 ±2,37	6,76 ±0,91	11,54 ±6,69	6,88 ±1,60

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido.

3.3.2.2 Caracterização do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro

A coleta foi realizada em 2 pontos (Figuras 4.14 e 4.15), nos municípios de Paulino Neves e Tutóia. O ponto 8 foi coletado próximo da sede do município de Paulino Neves, em trecho meândrico e vegetação preservada. A coleta do ponto 9 foi realizada no Povoado Barro Duro, com pequena infraestrutura e vegetação ciliar preservada.

Figura 4.14 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais dos Sistemas de Bacias Costeiras: Rios - Barro Duro e Novo

Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.15 - Pontos de coleta dos Rios Barro Duro e Novo

Fonte: Elaborada pelos autores (2021)

3.3.2.3 Dados Coletados do Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados no Sistema de Bacias Costeiras do Rio Novo e Barro Duro se encontram na Tabela 4.9. A CE e os totais de sólidos dissolvidos (TDS) foram elevados no Rio Novo (P08), indicando contribuição de sais inorgânicos dissolvidos nessas águas, embora esta não seja suficiente para alterar os valores de salinidade, que ficaram dentro do padrão. O TDS na água é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água (PARRON et al., 2011), e estes são, na grande maioria, constituídos de elementos maiores dissolvidos (sais inorgânicos). Assim, pode-se relacionar de forma direta os parâmetros CE e TDS, onde há maior CE, o TDS tende a ser maior.

O OD mostrou valores abaixo do recomendado pela resolução CONAMA 357/2005 nestes rios, sendo menor no Rio Barro Duro (P09), indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática. Os valores obtidos de fosfato e silicato nesta bacia foram elevados, com o fosfato acima da resolução vigente. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e lixiviação continental para os rios. Os demais parâmetros estudados apresentaram valores dentro das normas da legislação vigente.

Tabela 4.9 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais do Sistema de Bacias Costeiras: Rio Novo e Rio Barro Duro

Bacia Hidrográfica		Sistema de Bacias Costeiras: Rios Novo e Barro Duro	
Ponto de Coleta		P08	P09
Local de Coleta		Rio Novo - Paulinho Neves	Rio Barro Duro - Barro Duro
Data da Coleta		26/04/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		9:17	10:51
Temperatura	(°C)	28,99	28,24
Salinidade	(g kg^{-1})	0,03	0,00
CE	(µS cm^{-1})	667,00	62,00
TDS	(mg L^{-1})	405	37
Turbidez	(NTU)	25,40	25,00
pH		6,04	5,98
ORP	(mV)	172	89
OD	(mg L^{-1})	5,49	3,72
OD	(%)	72,04	48,49
TSS	(mg L^{-1})	8,67	0,22
Fosfato	(mg L^{-1})	1,20	0,61
Silicato	(mg L^{-1})	38,30	53,80
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,40	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00

Fonte: ZEE (2021)

3.4 Bacia do Rio Munim

3.4.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Munim possui área de 12.832,7 km^2, que corresponde à 6,7% do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. A rede hidrográfica compõe-se de 2.389 trechos de drenagem e 7.538,7 km de extensão de cursos d'água (Figura 4.16), destacando-se como os rios de maior extensão, Munim (260,6 km), Preto (286,2 km) e Iguará (175,5 km).

3.4.2 Regime Fluvial

As séries temporais das vazões médias mensais das 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim (isto é, estações Fazenda Capueira, Munim, Bonsucesso, São Benedito, Iguará e Nina Rodrigues) e a vazão média da bacia são mostradas na Tabela 4.10. Analisando-se as séries temporais, é possível notar que a estação Nina Rodrigues apresentou a maior amplitude de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Munim, atingindo dois picos, um de 1.141m^3s^{-1} e outro de 1.108m^3s^{-1} em 1986 e 2009, respectivamente (Figura 4.17a). A série temporal da vazão média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Munim variou de 0,04m^3s^{-1} a 644,8m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1971 (Figura 4.17b).

As distribuições espaciais médias das vazões para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.18) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.19) são mostradas a seguir. Os resultados mostram maiores vazões no setor noroeste e menores vazões no setor sul. As maiores amplitudes de vazões ocorreram nos rios que compõem o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Munim, tanto no período chuvoso quanto no período seco da bacia.

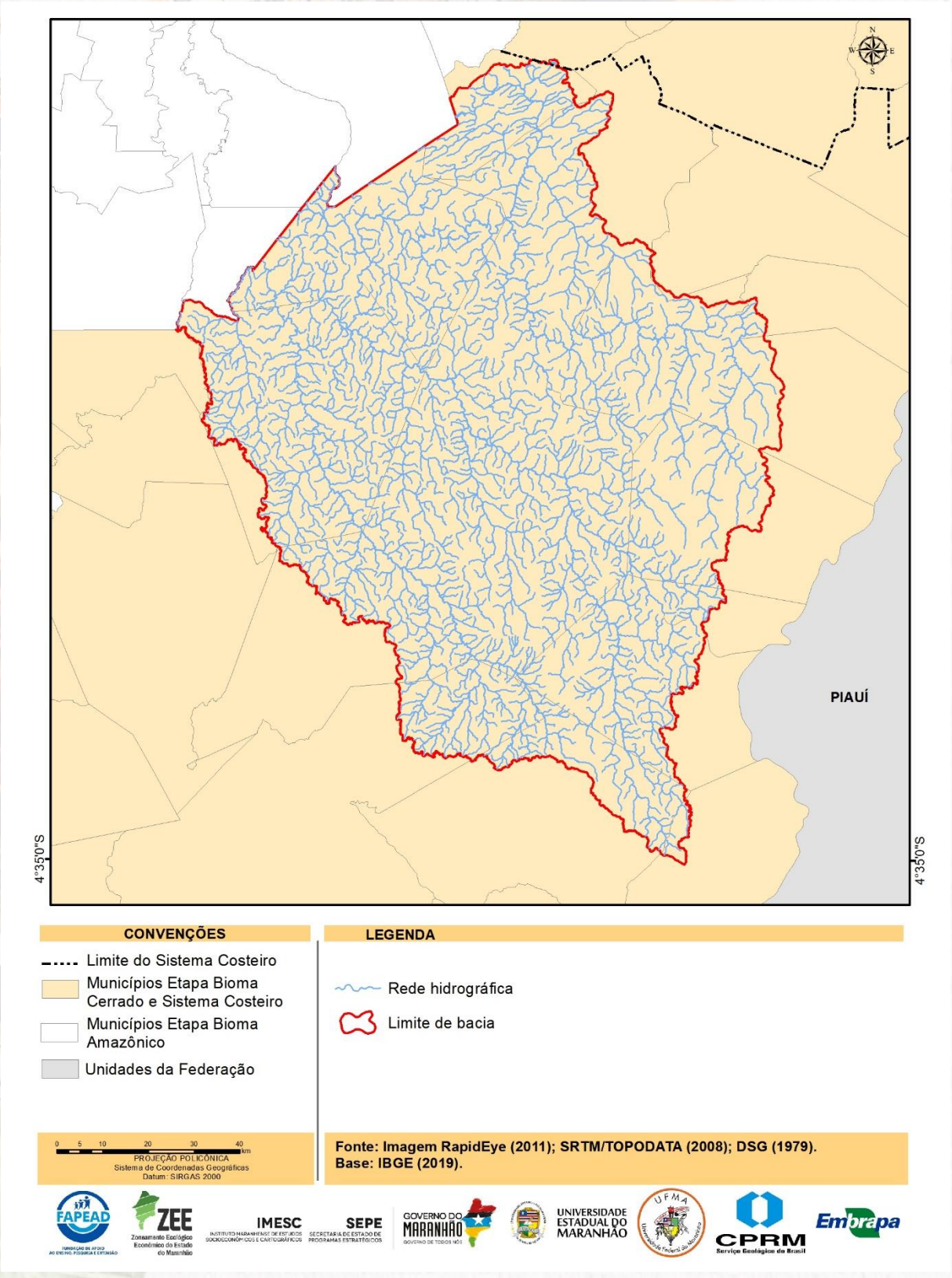
De acordo com os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Munim, no alto curso do Rio Munim a vazão média anual é de 2,4m^3s^{-1} (Tabela 4.10). No médio curso da bacia hidrográfica, o Rio Munim apresentou vazão média anual de 31,5m^3s^{-1}. O Rio Preto, com duas estações fluviométricas localizadas em seu médio e baixo curso, apresentou vazão média anual de 7,9m^3s^{-1} e 26,1m^3s^{-1}, respectivamente. No baixo curso da bacia, o Rio Iguará, afluente do Rio Munim, próximo à sua foz, apresentou vazão média anual de 19,7m^3s^{-1}. O Rio Munim, com dados da estação Nina Rodrigues, apresentou vazão média anual de 103,3m^3s^{-1} (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Munim

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Rio	Período
Fazenda Capueira	2,4	Rio Munim	2003 - 2020
Munim	31,5	Rio Munim	1972 - 2020
Bonsucesso	7,9	Rio Preto	1999 - 2020
São Benedito	26,1	Rio Preto	1975 - 2020
Iguará	19,7	Rio Iguará	1972 - 2018
Nina Rodrigues	103,3	Rio Munim	1963 - 2020

Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.16 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Munim



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.17 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 6 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Munim e b) Vazão média entre as estações

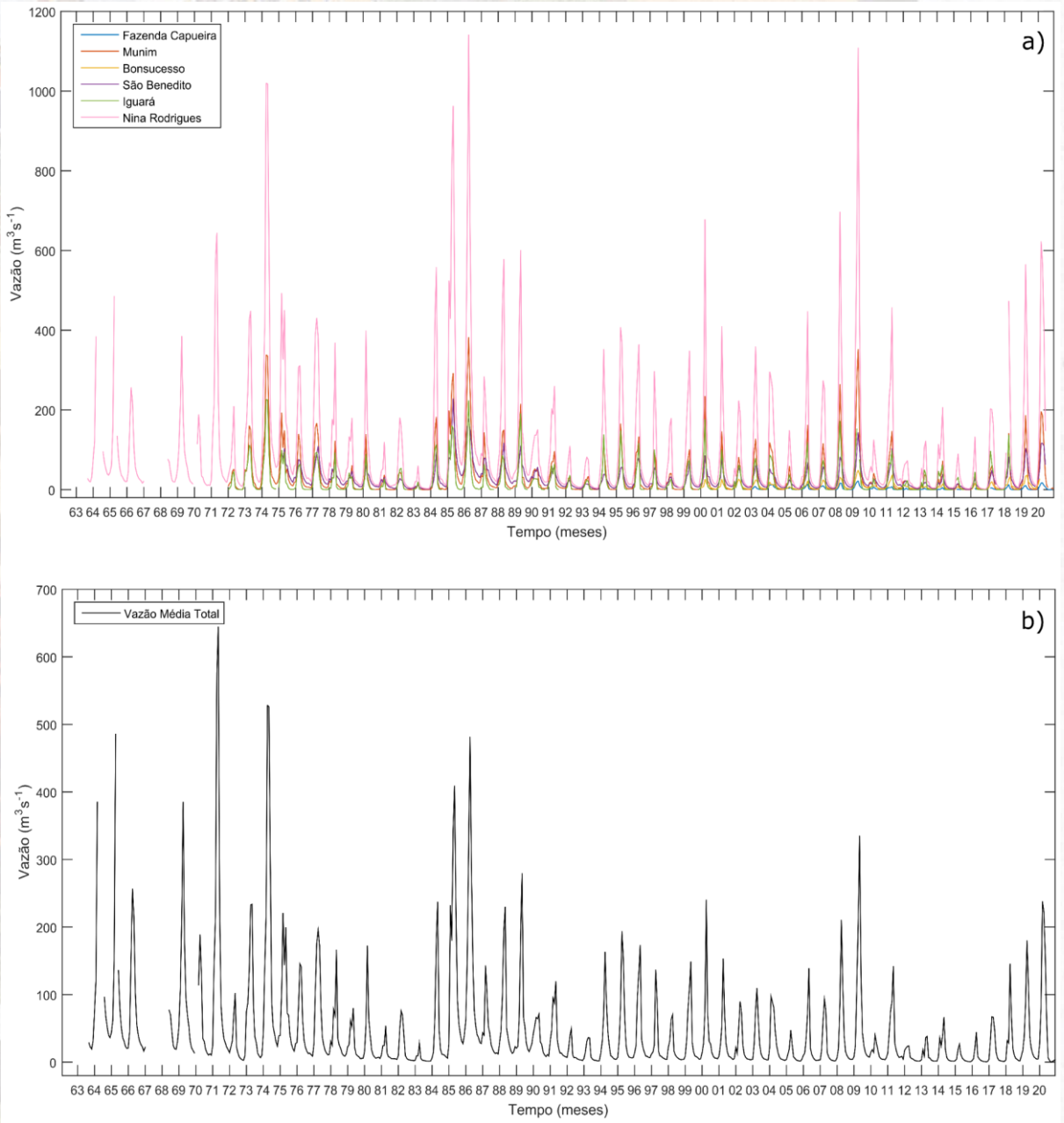
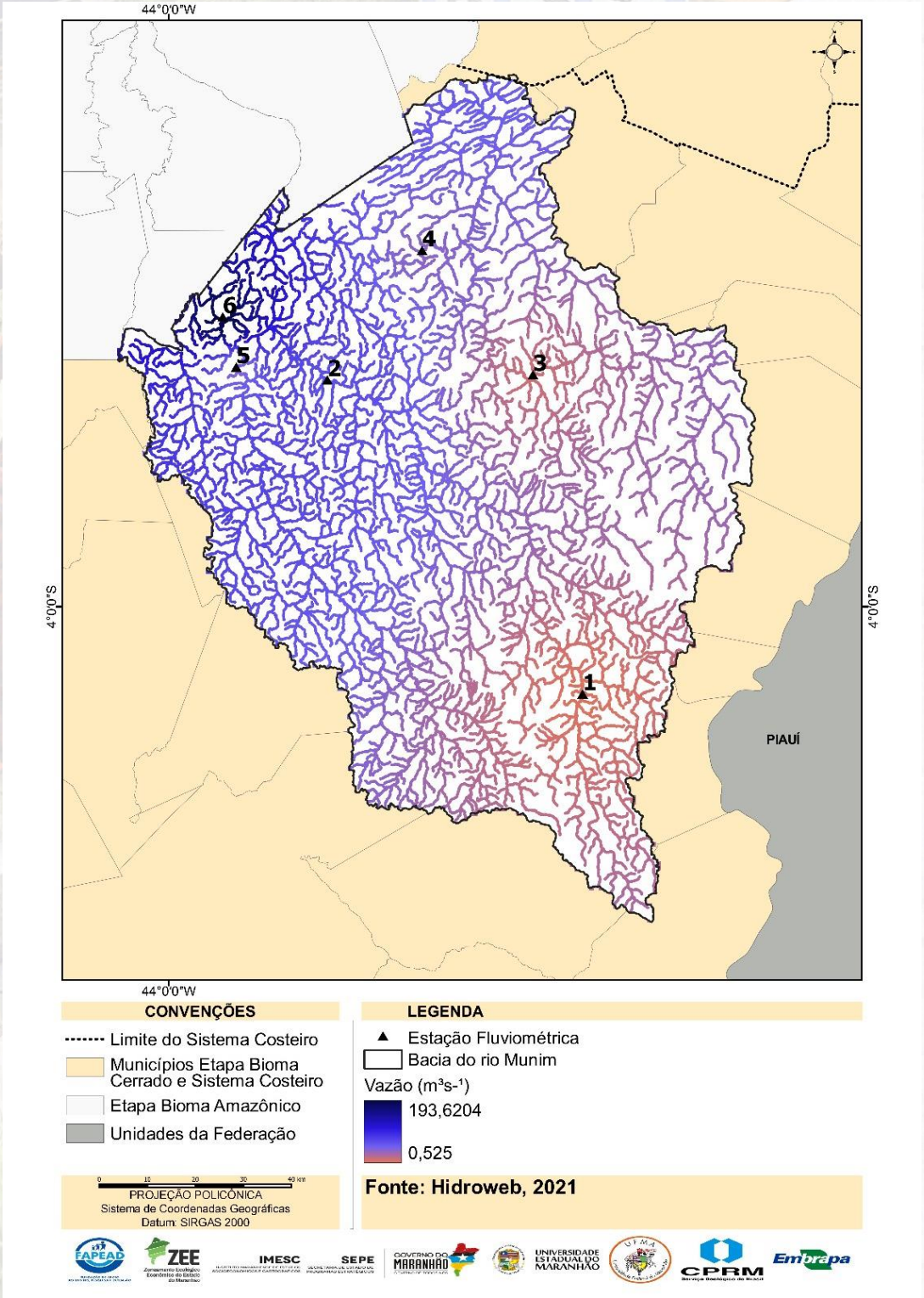
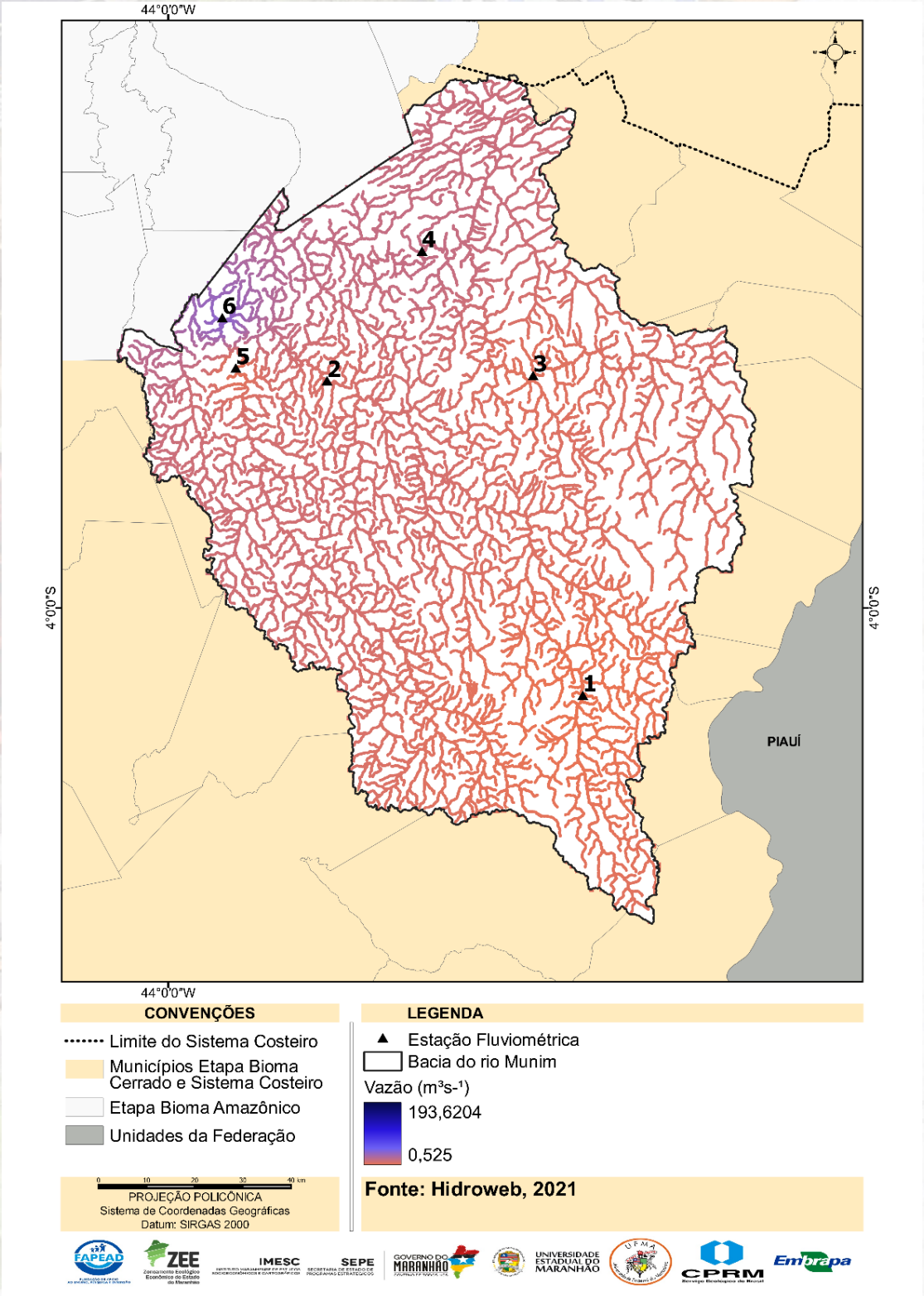


Figura 4.18 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA, localizadas na Bacia do Munim, entre os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.19 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 6 estações fluviométricas da ANA, localizadas na Bacia do Munim, entre os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 6 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda Capueira; 2 – Munim; 3 - Bonsucesso; 4 – São Benedito; 5 – Iguará; 6 – Nina Rodrigues



Fonte: ZEE (2021)

3.4.3 Qualidade de Água

3.4.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Munim

A Bacia do Rio Munim possui uma rede de monitoramento composta por 22 estações vinculadas a RHN. A temperatura da água variou em faixas características de rios tropicais. A variável pH revelou que o rio apresenta águas tendendo para acidez, com variações entre as estações de 4,96±0,29 a 6,62±0,44. Os valores de oxigênio dissolvido, em todas as estações de monitoramento obtiveram concentrações essenciais para manutenção da vida aquática, no entanto, na estação 33740000 (Rio Preto, município de Anapurus), ocorreram os níveis mais baixos da série histórica, com concentrações de 2,49±0,76 mg L^{-1}, sendo considerado uma zona de maior suscetibilidade quanto à variável oxigênio dissolvido (Tabela 4.11).

Com relação à variável turbidez, os valores variaram na ordem de 8,08±5,77 a 154,18±85,59 NTU. A série histórica demonstrou que a bacia possui rios com águas límpidas e relativamente turvas. Por exemplo, no rio Rio Iguará (estação 33770000), onde ocorreram os maiores valores, os resultados sugerem que ele sofre maior influência da descarga de sólidos suspensos na água. No que tange à condutividade, as variações identificadas estão na faixa de variação esperada para os rios da região, sendo que os rios com menor ordenamento hierárquico apresentaram tendências relativamente menores.

Tabela 4.11 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Munim

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})
33720001	28,07 ±1,49	6,41 ±0,19	37,90 ±24,02	4,25 ±1,32	128,62 ±41,13	-
33740000	27,06 ±1,08	4,96 ±0,29	8,08 ±5,77	2,49 ±0,76	42,75 ±3,73	-
33750000	29,78 ±1,46	5,75 ±0,79	42,28 ±67,92	7,08 ±1,22	43,39 ±15,21	65,13 ±136,78
33742000	28,37 ±2,41	5,85 ±1,27	33,37 ±33,08	4,91 ±3,07	69,26 ±18,38	-
33743000	28,30 ±1,87	5,23 ±0,61	30,70 ±28,94	3,93 ±1,60	47,24 ±1,91	-
33750001	29,51 ±1,43	5,78 ±0,72	39,53 ±32,68	7,16 ±0,30	50,84 ±9,27	-
33720000	28,80 ±1,45	6,25 ±0,68	63,52 ±39,14	5,34 ±1,61	98,74 ±40,11	87,90 ±31,61
33770000	29,98 ±2,25	6,34 ±0,67	154,18 ±85,59	5,26 ±1,71	29,40 ±0,85	95,74 ±58,51
33747000	26,87 ±0,98	5,65 ±0,28	32,81 ±28,36	6,84 ±0,35	65,88 ±18,32	-
33748000	29,44	5,64	37,69	7,10	52,46	-

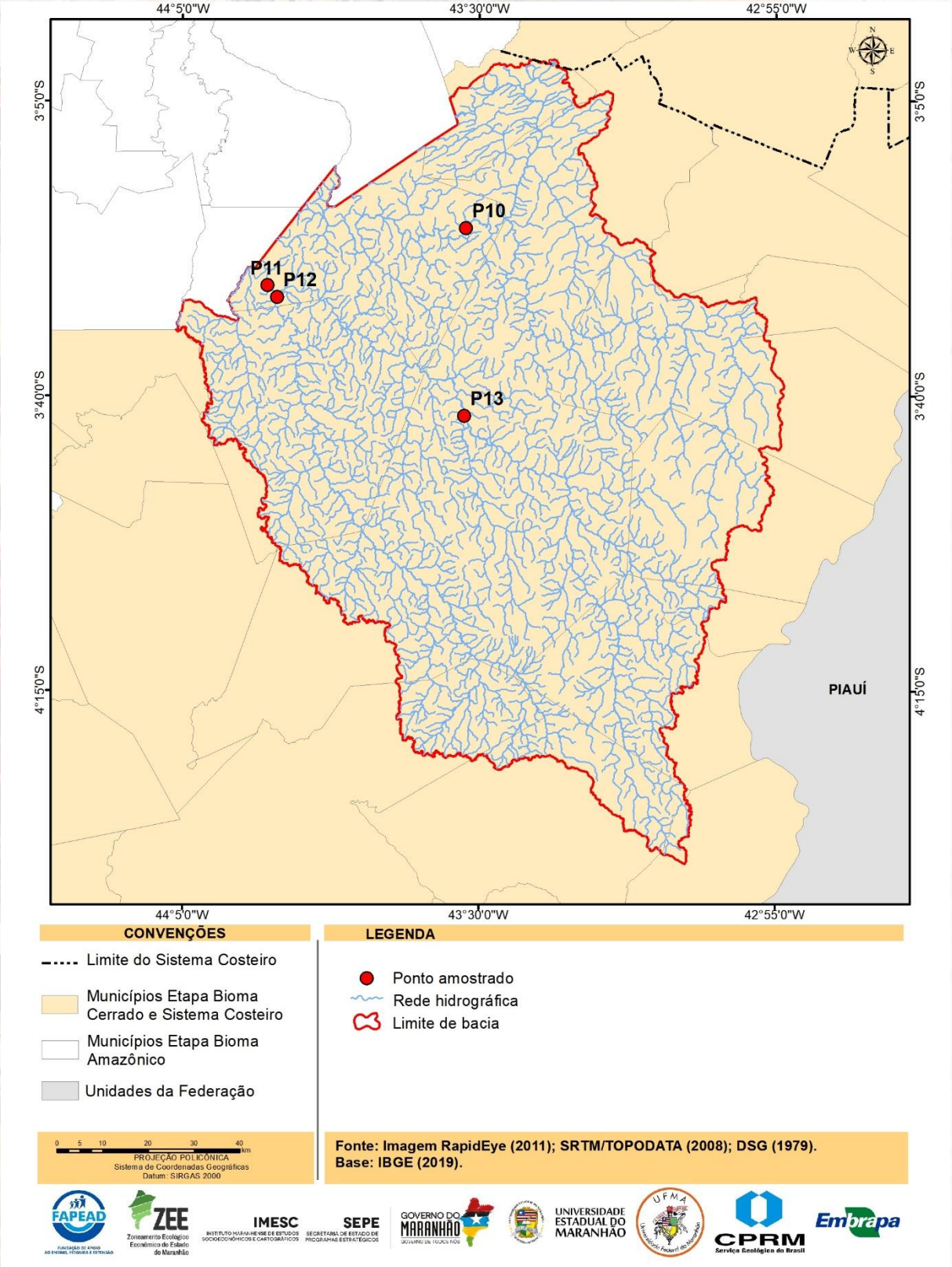
	±1,46	±0,27	±24,66	±0,51	±7,28	
33742500	27,40 ±0,60	5,62 ±0,87	8,51 ±6,12	5,34 ±0,63	50,58 ±5,06	-
33730000	29,84 ±1,68	6,45 ±1,00	77,87 ±38,67	5,58 ±1,29	68,81 ±21,15	-
33765000	28,85 ±1,39	5,90 ±0,19	34,86 ±27,18	6,63 ±1,07	55,99 ±9,36	-
33765001	28,59 ±1,52	6,01 ±0,52	34,34 ±27,59	6,33 ±1,42	54,33 ±10,64	-
33780000	30,28 ±1,45	5,99 ±0,88	48,87 ±47,65	6,45 ±1,44	50,53 ±4,69	45,50 ±12,78
33780001	28,27 ±1,33	6,04 ±1,14	36,80 ±45,84	6,44 ±1,33	55,85 ±20,53	-
33760000	29,67 ±1,37	5,78 ±0,91	25,27 ±14,41	6,75 ±1,01	58,25 ±7,37	51,26 ±18,12
33790000	28,66 ±1,65	5,70 ±0,82	6,44 ±2,96	6,78 ±1,04	44,38 ±2,87	41,60 ±15,83
33788000	27,86 ±1,24	5,38 ±0,37	6,56 ±4,72	6,77 ±0,93	54,64 ±10,85	-
33790001	28,95 ±3,60	5,29 ±0,41	3,86 ±2,93	6,87 ±0,65	46,40 ±8,05	-
33730001	29,59 ±2,34	6,62 ±0,44	65,30 ±18,81	6,39 ±1,41	105,51 ±57,26	-
33770001	28,49 ±1,35	6,40 ±0,33	84,10 ±60,31	5,43 ±1,44	111,06 ±65,18	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica; CE – Condutividade Elétrica

3.4.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Munim

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 4.20 e 4.21), nos municípios de Nina Rodrigues, São Benedito do Rio Preto e Chapadinha. O ponto 10 foi coletado na sede do Município de São Benedito do Rio Preto, com intensa ocupação imobiliária nas duas margens do rio. Os pontos 11 e 12 possuem vegetação bastante preservada em ambas as margens do rio, sendo o ponto 12 bastante usado para pesca. O P13 é cortado pela BR-222, com pequena estrutura de casas, vegetação conservada e curso d'água meândrico.

Figura 4.20 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Munim



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.21 - Pontos de coleta Bacia Rio Munim

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

3.4.3.3. Dados Coletados na Bacia do Rio Munim

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Munim se encontram na Tabela 4.12. O Rio Munim, no geral, obteve resultados dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, mas houve alguns valores que merecem destaque, como a turbidez, que apresentou concentrações acima de 40 NTU nos pontos P11 e P13 desta bacia, estando acima do que estabelece a legislação. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

O pH do Rio Munim foi abaixo dos valores padronizados na resolução brasileira, indicando águas levemente ácidas neste rio. O OD mostrou valores menores do que é recomendado pela resolução CONAMA nestes rios, sendo menor no Rio Iguará (P12), indicando maior demanda de consumo do que de produção deste gás nessas águas, o que pode comprometer a saúde da biota aquática.

As concentrações de fosfato ficaram bem acima do que determina a resolução vigente, indicando um potencial para eutrofização nesse rio, que também apresenta boa disponibilidade de silicato e N-amoniacal nas suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios.

Tabela 4.12 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Munim

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Munim			
Ponto de Coleta		P10	P11	P12	P13
Local de Coleta		Rio Preto - São Benedito do Rio Preto	Rio Munim - Nina Rodrigues	Rio Iguará - Nina Rodrigues	Rio Munim - Chapadinha
Data da Coleta		27/04/2021	27/04/2021	27/04/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		9:00	11:09	11:44	17:10
Temperatura	(°C)	27,57	27,50	27,97	26,93
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	50,00	28,00	32,00	31,00
TDS	(mg L^{-1})	33	17	20	19
Turbidez	(NTU)	18,20	55,20	32,40	65,30
pH		5,85	4,44	5,6	5,34
ORP	(mV)	210	186	252	122
OD	(mg L^{-1})	3,60	6,24	3,37	4,95
OD	(%)	46,15	80,00	43,93	63,46
TSS	(mg L^{-1})	9,89	7,89	6,22	10,00
Fosfato	(mg L^{-1})	2,80	2,30	3,85	2,90
Silicato	(mg L^{-1})	46,80	40,40	35,10	48,70
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	0,20	0,16	0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	0,01	0,01
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,70	2,80	1,10	0,70
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: ZEE (2021)

3.5 Bacia do Rio Itapecuru

3.5.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Itapecuru representa a segunda maior bacia hidrográfica da área do BCSC (26,3%), com área equivalente a 50.094,3km^2. Ao todo, a rede hidrográfica possui 9.926 trechos de drenagem e 31.166,9 km de extensão de cursos d'água (Figura 4.22). No alto curso da Bacia do Rio Itapecuru, tem-se a unidade de conservação do Parque Estadual do Mirador, importante área preservada que agrega as nascentes do rio Itapecuru e do seu principal afluente, o Rio Alpercatas.

3.5.2 Regime Fluvial

As séries temporais das vazões médias mensais das 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (isto é, estações São Felinho, Mirador, Fernando Falcão, Campo

Largo, Porto do Lopes, Colinas, Nazaré, Mendes, Montevidéu, Caxias, Codó, Fazenda Sobral, Coroatá, Peritoró II, Cantanhede) e a vazão média da bacia são mostradas na Figura 4.23 e Tabela 4.13. A série temporal da vazão média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru variou de 4 m^3s^{-1} a 613,1m^3s^1, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1986 (Figura 4.23b). Analisando-se as séries temporais, é possível notar que as estações de Cantanhede e Coroatá, localizadas no baixo curso do Rio Itapecuru, apresentam as maiores amplitudes de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, atingindo um pico de 2.678m^3s^{-1} na estação Cantanhede em 1986 (Figura 4.23a).

As distribuições espaciais médias das vazões para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.24) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.25) são mostradas a seguir. Os resultados mostraram que há uma clara distribuição zonal das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, com maiores vazões no setor norte e menores vazões no setor sul. As maiores amplitudes de vazões ocorreram nos rios que compõem o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, tanto no período chuvoso quanto no período seco da bacia.

De acordo com os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, no alto curso da bacia, o Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação São Felinho, apresentou vazão média anual de 15,3 m^3s^{-1} (Tabela 4.13). Na estação Mirador, o Rio Itapecuru apresentou vazão média anual de 16,9 m^3s^{-1}. Ainda no alto curso da bacia, o Rio Alpercatas, um dos principais afluentes do Rio Itapecuru, possui três estações fluviométricas, onde apresentou vazão média anual variando de 27,1m^3s^{-1} a 32,1m^3s^{-1}. Mais adiante, o Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Colinas, apresentou vazão média anual de 53,8m^3/s. No médio curso da Bacia do Itapecuru, o Rio Balseiros e o Rio Correntes, afluentes do Rio Itapecuru nessa região, apresentaram vazão média anual de 2,1m^3s^{-1} e 6,6m^3s^{-1}, respectivamente.

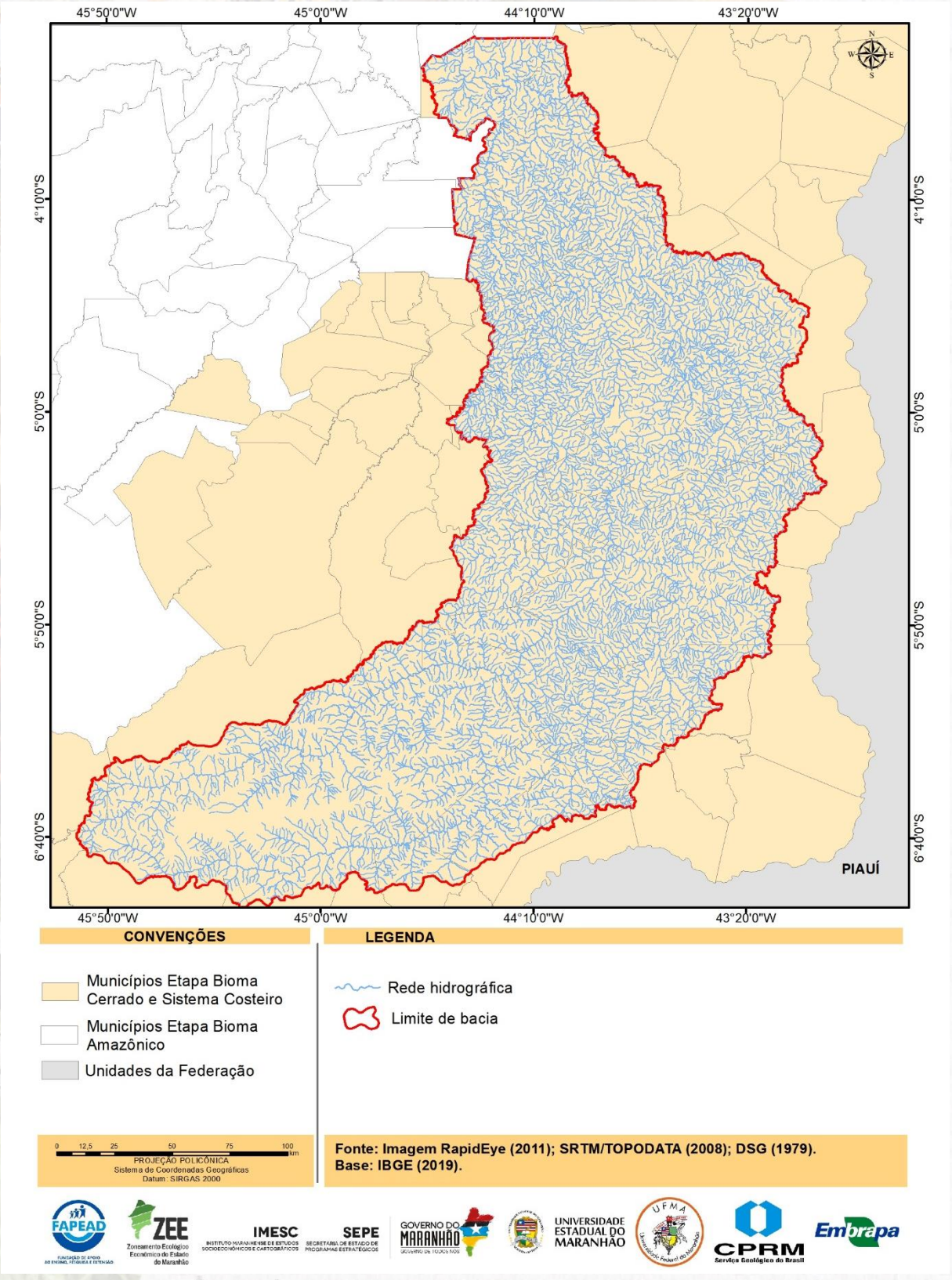
O Rio Balseiros apresentou falta de dados ao longo dos anos de monitoramento, podendo implicar na definição correta de sua vazão. No Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Montevidéu e Caxias, a vazão média anual foi de 59,8m^3s^{-1} e 69,1m^3s^{-1}, respectivamente (Tabela 4.13). No Rio Itapecuru, os dados monitorados na estação Codó mostram vazão média anual de 106,8m^3s^{-1}. O Rio Codozinho, afluente do Rio Itapecuru, apresentou vazão média anual de 36,5m^3s^{-1}. Ainda no trecho do médio curso da bacia, no Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Coroatá, a vazão média anual foi de 150,7m^3s^{-1}. No baixo curso da bacia, o Rio Peritoró, afluente do Rio Itapecuru, apresentou vazão média anual de 43m^3s^{-1}. Mais adiante, a vazão média anual do Rio Itapecuru, com dados monitorados na estação Cantanhede, foi de 226,8m^3/s (Tabela 4.13).

Tabela 4.13 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Rio	Período
São Felinho	15,3	Rio Itapecuru	1999 - 2020
Mirador	16,9	Rio Itapecuru	1968 - 2020
Fernando Falcão	27,1	Rio Alpercatas	2000 - 2020
Campo Largo	31,7	Rio Alpercatas	1972 - 2020
Porto do Lopes	32,1	Rio Alpercatas	1970 - 2020
Colinas	53,8	Rio Itapecuru	1968 - 2020
Nazaré	2,1	Rio Balseiros	1999 - 2020
Mendes	6,6	Rio Correntes	1972 - 2018
Montevidéu	59,8	Rio Itapecuru	1975 - 2020
Caxias	69,1	Rio Itapecuru	1963 - 2020
Codó	106,8	Rio Itapecuru	1968 - 2020
Fazenda Sobral	36,5	Rio Codozinho	1972 - 2020
Coroatá	150,7	Rio Itapecuru	1975 - 2020
Peritoró II	43	Rio Peritoró	1984 - 2018
Cantanhede	226,8	Rio Itapecuru	1968- 2018

Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.22 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Itapecuru



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.23 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 15 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e b) Vazão média entre as estações

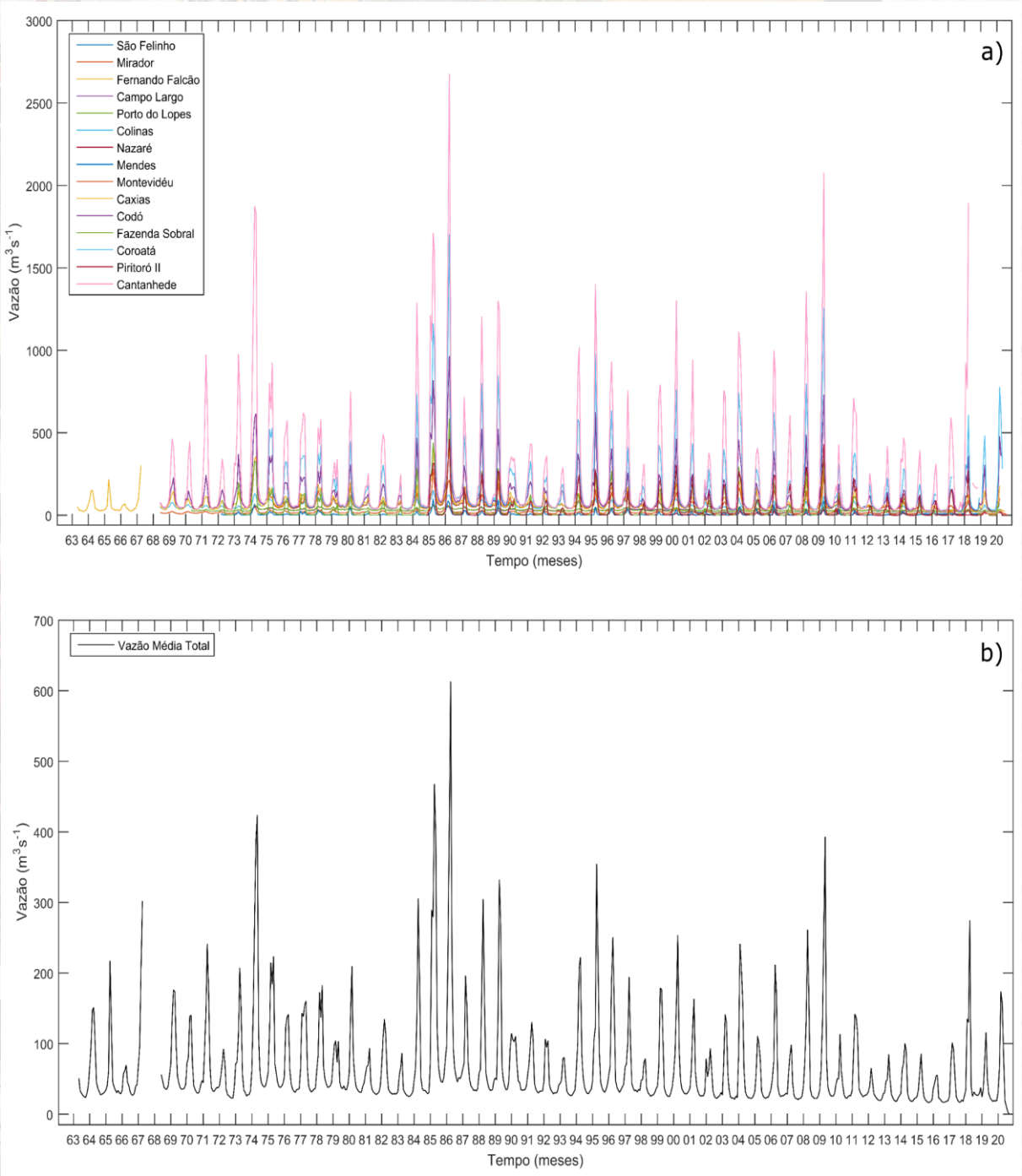
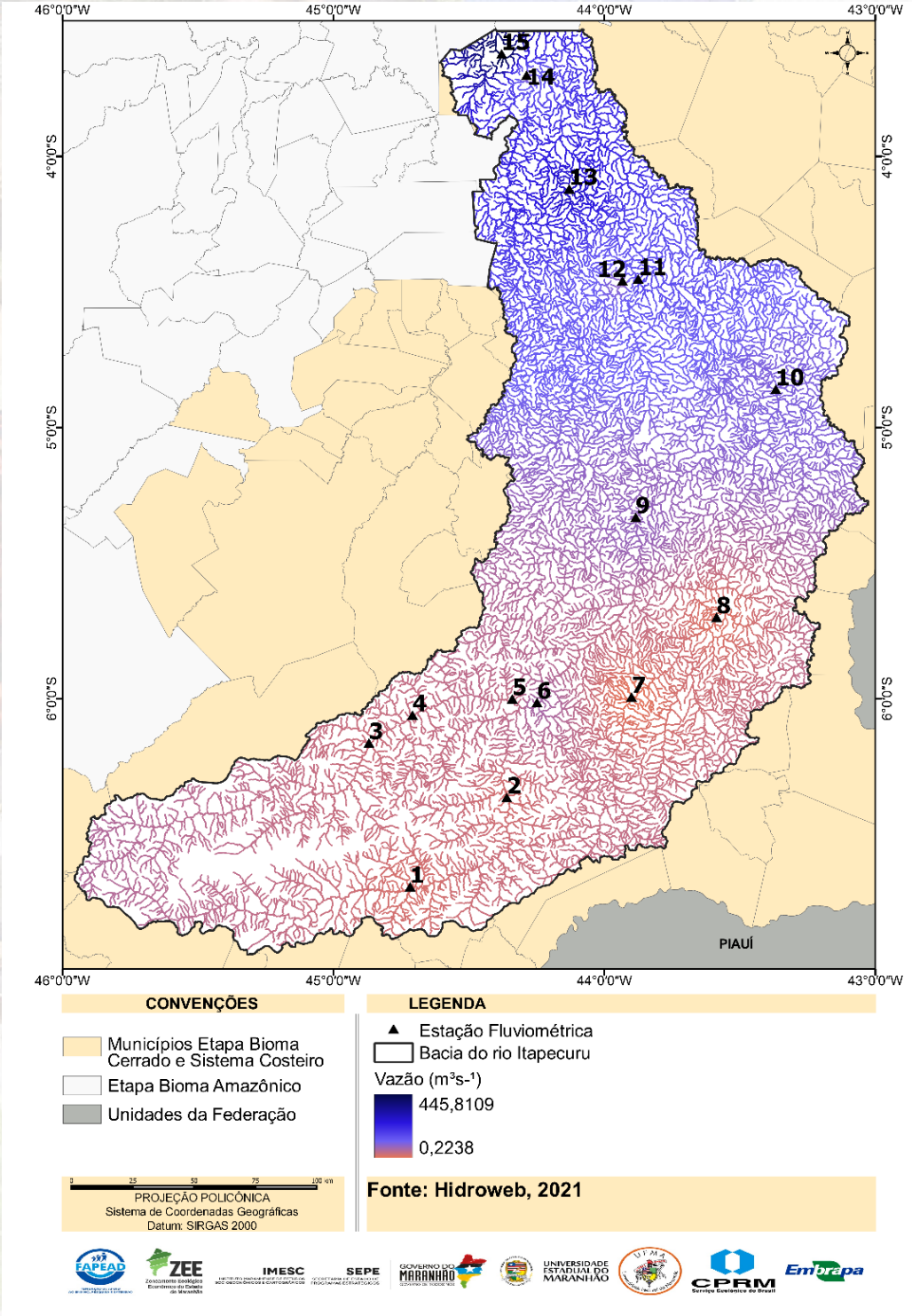
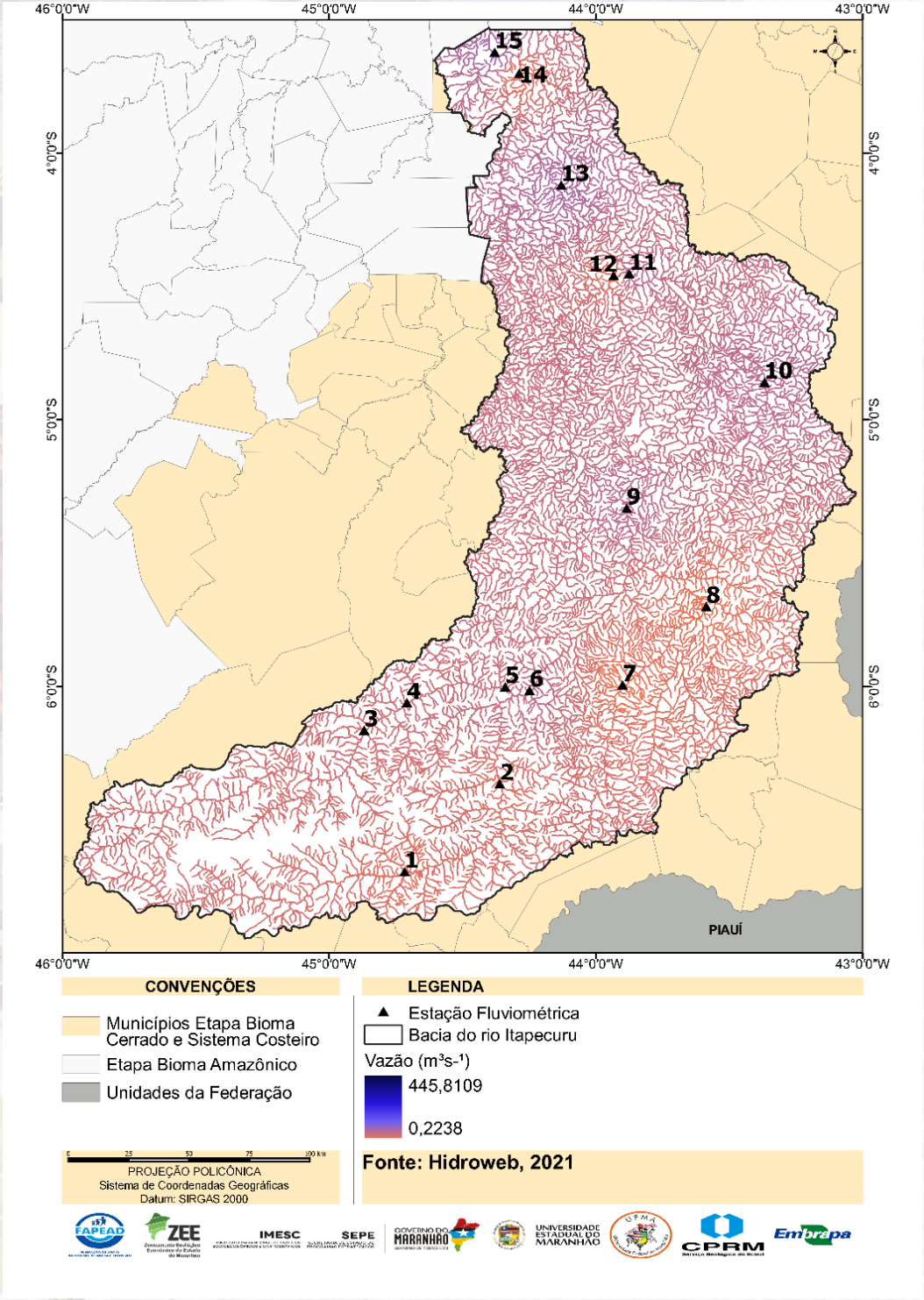


Figura 4.24 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede



Fonte: ZEE (2021).

Figura 4.25 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 15 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Itapecuru para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 15 estações fluviométricas, a saber: 1 – São Felinho; 2 – Mirador; 3 – Fernando Falcão; 4 – Campo Largo; 5 – Porto do Lopes; 6 – Colinas; 7 – Nazaré; 8 – Mendes; 9 – Montevidéu; 10 – Caxias; 11 – Codó; 12 – Fazenda Sobral; 13 – Coroatá; 14 – Peritoró II e 15 – Cantanhede



Fonte: ZEE (2021).

3.5.3 Qualidade de Água

3.5.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Itapecuru

A bacia do rio Itapecuru possui uma rede de monitoramento composta por 20 estações vinculadas a RHN. A variável temperatura da água oscilou entre 26,86±1,66 a 29,92±1,34 ºC. Os valores refletem que a bacia possui comportamento característico de regiões tropicais. A escala de pH tendeu águas de levemente ácida à levemente alcalina, com faixa variando entre 5,68±0,68 até 7,38±0,66 (Tabela 4.14). Este tipo de variação é esperado para bacias com a dimensão territorial e hidrográfica como a do Rio Itapecuru, onde seus afluentes estão submetidos a diferentes dinâmicas geoambientais.

A turbidez apresentou valores médios e desvio padrão que refletem relevantes alterações da variável nas estações de monitoramento. Provavelmente, essa tendência deve estar associada aos ciclos pluviométricos que convergem na bacia hidrográfica, potencializando ou reduzindo o carreamento de material em suspensão para o caudal fluvial do rio ao longo do ano. A maior variação e valor médio foi detectada no Rio Itapecuru, no município de Codó (64,89±56,86 NTU, estação 33590000), sugerindo que essa região está submetida a uma maior influência dos sólidos em suspensão no rio.

Na Bacia do Itapecuru, duas estações apresentam dados referentes às variáveis DQO, DBO, TSS e STD. Também, para a estação 33630000 (rio Itapecuru, na cidade de Coroatá), estão disponíveis os dados de Nitrogênio Total e Nitritos. Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 4.14 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Itapecuru

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	TSS	STD	NT	Nitritos
33630500	29,92 ±1,34	6,23 ±0,56	14,20 ±10,99	2,20 ±2,06	101,42 ±39,92	-	-	-	-	-	-	-
33450000	27,27 ±1,23	5,68 ±0,68	7,42 ±4,13	6,90 ±1,37	10,08 ±1,53	11,96 ±12,94	-	-	-	-	-	-
33680001	29,23 ±1,46	7,07 ±0,59	38,21 ±33,42	7,20 ±0,95	79,73 ±20,33	-	-	-	-	-	-	-
33680000	29,92 ±1,93	6,88 ±1,01	62,97 ±61,16	6,36 ±1,62	65,87 ±21,18	55,64 ±18,72	-	-	-	-	-	-
33590000	29,42 ±1,46	6,60 ±1,08	64,89 ±56,86	6,71 ±1,75	72,53 ±26,02	50,81 ±24,11	-	-	-	-	-	-
33550000	28,75 ±1,91	6,28 ±0,88	46,38 ±48,29	6,48 ±1,47	60,27 ±27,17	49,31 ±24,48	18,95 ±11,56	3,04 ±2,99	53,64 ±38,09	52,25 ±37,27	-	-
33480000	27,88 ±1,23	6,08 ±0,79	26,61 ±14,23	6,67 ±1,57	21,11 ±4,84	23,54 ±23,41	-	-	-	-	-	-
33410000	27,38 ±1,23	6,17 ±0,91	10,95 ±10,78	7,13 ±1,18	8,01 ±3,03	11,53 ±10,64	-	-	-	-	-	-
33630000	29,51 ±2,05	6,44 ±0,97	42,23 ±27,91	6,47 ±1,62	78,21 ±33,11	68,39 ±26,47	23,25 ±17,28	2,59 ±2,47	33,03 ±26,81	74,67 ±79,20	1,49 ±2,27	0,83 ±2,97

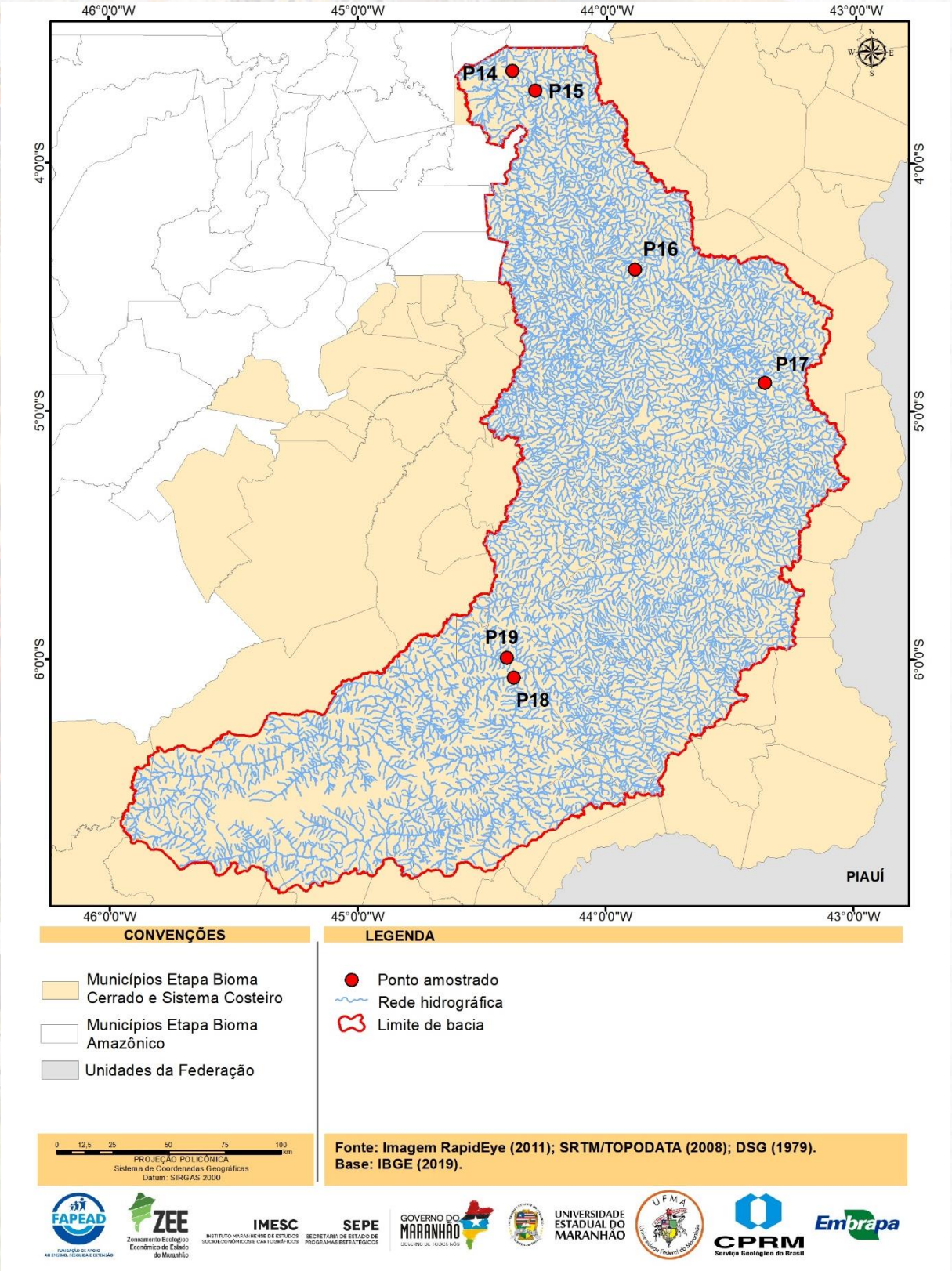
33620000	28,69 ±1,63	6,68 ±0,81	32,68 ±38,90	6,43 ±1,39	155,25 ±58,35	121,56 ±42,09	-	-	-	-	-	-
33430000	26,98 ±1,09	5,70 ±0,70	5,53 ±3,93	6,85 ±1,19	9,04 ±2,61	8,86 ±4,38	-	-	-	-	-	-
33685000	29,33 ±1,64	7,38 ±0,66	37,61 ±34,44	7,33 ±1,04	69,46 ±15,74	-	-	-	-	-	-	-
33520000	26,86 ±1,66	7,14 ±0,57	39,49 ±50,17	5,59 ±1,49	265,61 ±53,77	222,59 ±66,01	-	-	-	-	-	-
33420000	27,81 ±1,62	6,03 ±0,64	33,72 ±21,79	6,80 ±1,22	19,36 ±12,02	23,00 ±42,03	-	-	-	-	-	-
33530000	28,73 ±1,27	6,48 ±1,10	32,03 ±18,77	6,81 ±1,45	48,31 ±19,78	34,91 ±20,88	-	-	-	-	-	-
33490000	26,61 ±1,45	7,01 ±0,78	30,19 ±29,05	5,77 ±1,23	204,42 ±114,44	186,21 ±76,58	-	-	-	-	-	-
33638000	29,63 ±1,39	6,52 ±0,70	45,15 ±38,01	4,19 ±1,84	105,05 ±43,77	63,50 ±45,90	-	-	-	-	-	-
33661000	29,30 ±1,84	6,77 ±0,85	58,08 ±35,39	6,25 ±1,77	159,05 ±68,14	112,67 ±73,17	-	-	-	-	-	-
33460000	27,65 ±1,39	5,89 ±0,67	12,25 ±7,62	7,25 ±1,14	13,50 ±6,25	14,94 ±12,66	-	-	-	-	-	-
33410000	27,38 ±1,23	6,17 ±0,91	10,95 ±10,78	7,13 ±1,18	8,01 ±3,03	13,59 ±16,48	-	-	-	-	-	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); TSS – Total de Sólidos Suspensos (mg L^{-1}); STD – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1})

3.5.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Itapecuru

A coleta foi realizada em 6 pontos (Figuras 4.26 e 4.27), nos municípios de Cantanhede, Pirapemas, Codó, Caxias e Colinas. Os pontos P14 e P16 foram definidos nas proximidades da sede dos municípios, porém com pequena ocupação imobiliária e vegetação preservada. Os pontos P15 e P17 localizam-se nas proximidades da MA 332 e BR 316, respectivamente em áreas meândricas e com vegetação preservada. Os pontos P18 e P19 também são trechos meândricos, distantes da sede e de povoados, com vegetação preservada nas duas margens do rio.

Figura 4.26 - Mapa dos pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.27 - Pontos de coleta Bacia Rio Itapecuru

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

3.5.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Itapecuru

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Itapecuru se encontram na Tabela 4.15. A turbidez mostrou valores elevados em quase todos os pontos de estudo dessa bacia, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no ponto P19, que ficou dentro do limite. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

O OD apresentou teores preocupantes em P14 e P16 dessa bacia, com valores menores do que é referendado pelo padrão CONAMA, uma indicação direta de qualidade, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000).

A carga dos totais de sólidos suspensos (TSS) foi alta no Rio Peritoró (P15), indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência tanto das chuvas como também de erosão das margens, seja por ações naturais e/ou antrópicas. As concentrações de fosfato ficaram bem acima do que determina a resolução vigente, exceto no Rio Alpecartas (P19), indicando um potencial para eutrofização nesse rio, que também apresenta altas concentrações de silicato, além de boas quantidades dos nutrientes nitrato e N-amoniacal, capazes de sustentar a produtividade primária de suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios. Os resultados dos outros parâmetros estudados na Bacia do Rio Itapecuru ficaram dentro do limiar regido pela resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 4.15 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Itapecuru

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Itapecuru					
Ponto de Coleta		P14	P15	P16	P17	P18	P19
Local de Coleta		Rio Itapecuru - Cantanhede	Rio Peritoró - Pirapemas	Rio Itapecuru - Codó	Rio Itapecuru - Caxias	Rio Itapecuru - Rio Itapecurizinho	Rio Itapecuru - Rio Alpecartas - Colinas
Data da Coleta		27/04/2021	05/05/2021	04/05/2021	04/05/2021	20/04/2021	20/04/2021
Horário de Coleta		14:58	17:00	8:41	10:50	10:12	11:38
Temperatura	(°C)	29,54	26,80	27,67	28,00	26,76	27,11
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	106,00	77,00	5,00	95,00	29,00	13,00
TDS	(mg L^{-1})	69	50	4	62	19	9
Turbidez	(NTU)	68,10	138,00	99,00	70,50	62,80	6,30
pH		6,58	7,37	6,56	5,83	6,89	6,43
ORP	(mV)	173	69	117	160	107	124
OD	(mg L^{-1})	3,55	6,17	3,74	4,59	5,71	5,97
OD	(%)	47,06	80,36	48,30	60,85	70,62	74,43
TSS	(mg L^{-1})	53,22	107,60	40,00	14,60	38,83	4,40
Fosfato	(mg L^{-1})	2,51	3,71	1,95	2,80	2,83	0,06
Silicato	(mg L^{-1})	45,60	26,20	47,80	47,60	58,30	50,50
Nitrato	(mg L^{-1})	0,12	0,51	0,19	0,12	0,15	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	1,60	2,20	0,70	0,90	0,80	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: ZEE (2021)

3.6 Bacia do Rio Mearim

3.6.1 Hidrografia

A Bacia do Rio Mearim tem área de 27.925,7km² que corresponde à 14,6% do BCSC. A rede hidrográfica compõe-se de 4.305 trechos de drenagem, totalizando 15.431,6km de cursos d'água (Figura 4.28).

3.6.2 Regime Fluvial

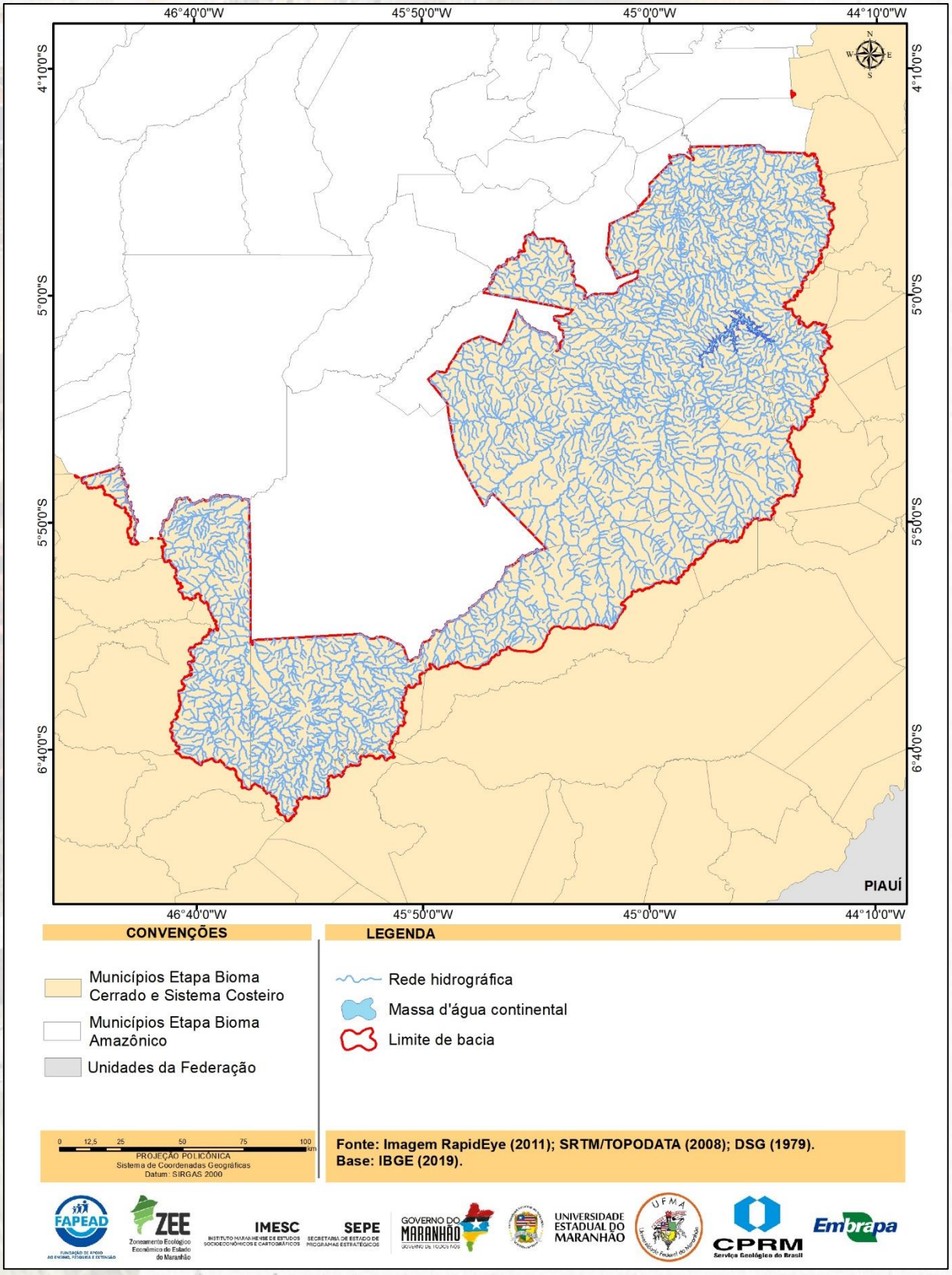
As séries temporais das vazões médias mensais das 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (isto é, estações Rio Corda II, Fazenda Ourives, Barra do Corda, Santa Vitória, Flores, Joselândia e Pedreiras II) e a vazão média da bacia são mostradas na Figura 4.29.

Analisando-se as séries temporais, é possível notar que a estação Pedreiras II apresentou a maior amplitude de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, atingindo dois picos, um de 598,4m^3s^{-1} e outro de 546,6m^3s^{-1} em 1985 e 2009, respectivamente (Figura 4.29a). A série temporal da vazão média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim variou de 15m^3s^{-1} a 205,1m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1985 (Figura 4.29b).

As distribuições espaciais médias das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.30) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.31) são mostradas a seguir. Os resultados evidenciaram maiores vazões no setor norte e menores vazões no setor sul. As maiores amplitudes de vazões ocorreram nos rios que compõem o baixo e médio curso da bacia, tanto no período chuvoso quanto no período seco da bacia.

Com base nos dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, as estações pertencentes ao Bioma Cerrado e Sistema Costeiro estão inseridas no médio curso da bacia. O Rio Corda, com dados monitorados na estação Rio Corda II, apresentou vazão média anual de 21,3m3s-1, e o Rio Ourives, com dados monitorados na estação Fazenda Ourives, apresentou vazão média anual de 4,1m3s-1. O Rio Mearim, com dados monitorados na estação Barra do Corda, apresentou vazão média anual de 58,9m3s-1 (Tabela 4.16). Mais adiante, o Rio Mearim, com dados monitorados na estação Santa Vitória, apresentou vazão média anual de 61,1m3s-1. O Rio Flores, afluente do Rio Mearim, possui duas estações fluviométricas nesse trecho, as estações Flores e Joselândia, apresentando vazão média anual de 1,9m3s-1 e 15,4m3s-1, respectivamente. O Rio Mearim, com dados monitorados na estação Pedreiras II, apresentou vazão média anual de 85,4m3s-1 (Tabela 4.16).

Figura 4.28 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Mearim



Fonte: ZEE (2021)

Tabela 4.16 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mearim

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Rio	Período
Rio Corda II	21,3	Rio Corda ou Capim	1981 – 2020
Fazenda Ourives	4,1	Rio Ourives	2004 – 2018
Barra do Corda	58,9	Rio Mearim	1964 – 2020
Santa Vitória	61,1	Rio Mearim	1972 – 2020
Flores	1,9	Rio Flores	1972 – 2018
Joselândia	15,4	Rio Flores	2000 – 2020
Pedreiras II	85,4	Rio Mearim	1978 – 2020

Figura 4.29 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 7 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim e b) Vazão média da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim

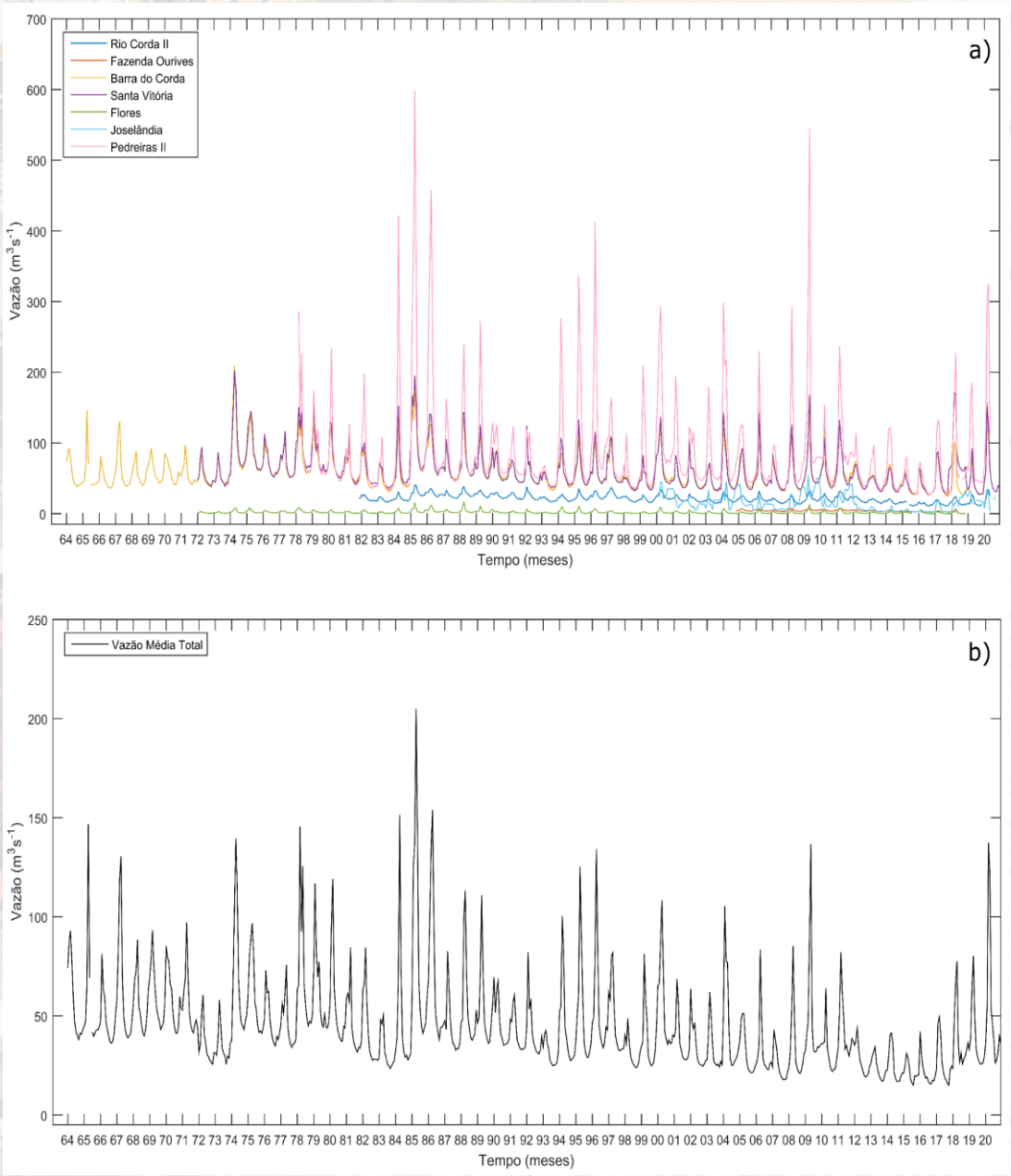
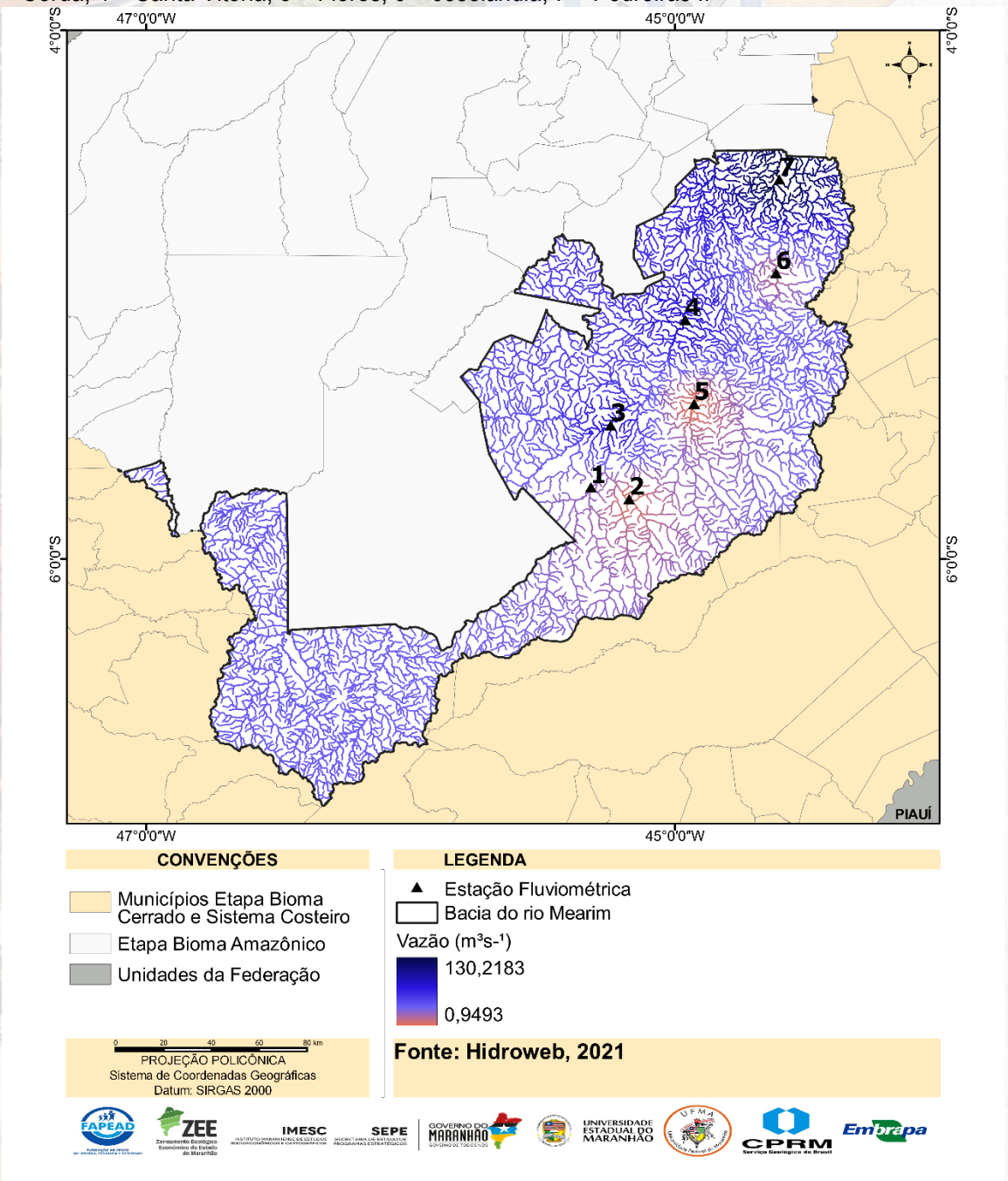
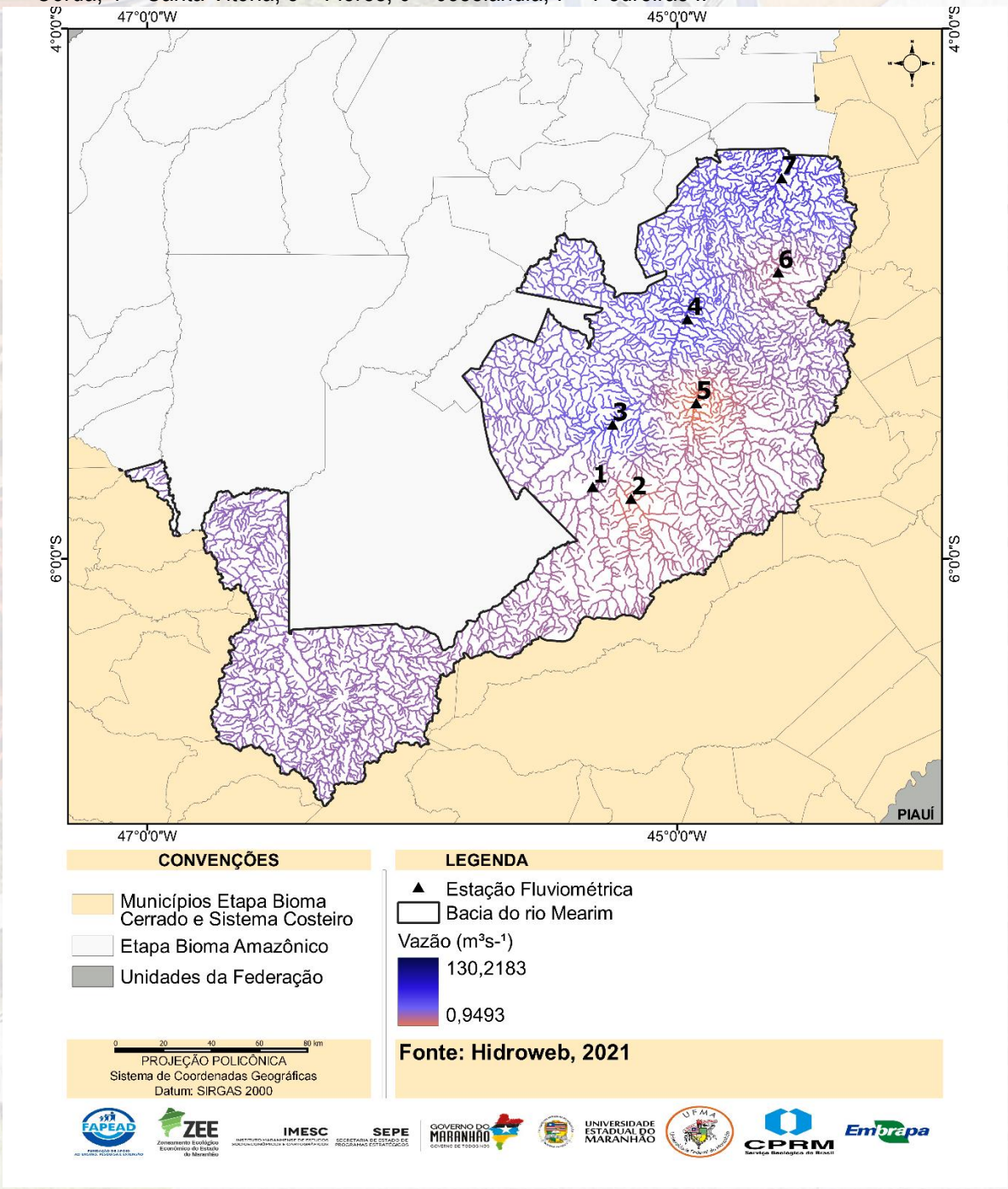


Figura 4.30 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim entre os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.31 - Distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 7 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Mearim entre os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 7 estações fluviométricas, a saber: 1 – Rio Corda II; 2 – Fazenda Ourives; 3 – Barra do Corda; 4 – Santa Vitória; 5 – Flores; 6 – Joselândia; 7 – Pedreiras II



Fonte: ZEE (2021)

3.6.3 Qualidade de Água

3.6.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Mearim

A bacia do Rio Mearim possui uma rede de monitoramento composta por 9 estações vinculadas a RHN. A temperatura da água variou em faixas características de rios tropicais, sem variações significativas nas estações. A escala de pH evidenciou águas com tendência de acidez, com faixa de variação entre 5,84±0,91 até 7,05±0,86. O oxigênio dissolvido apresentou concentrações acentuadas e com valores médios acima de 4,19±2,49 mg L^{-1}. Com relação à turbidez, os valores mais acentuados ocorreram nas estações 33273000 (Rio Flores, no município de Joselândia), 33281000 (Rio Mearim, na cidade de Pedreiras), demonstrando que nessa região, ocorre maior descarga de sólidos suspensos no rio (Tabela 4.17).

Na bacia do Mearim, uma estação de monitoramento possui dados referentes as variáveis DQO, DBO, TSS, STD, Nitrogênio Total e Nitritos (Rio Mearim, na cidade de Pedreiras). Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 4.17 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Mearim

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	STD	NA	NT	Nitritos
33250000	27,96 ±1,67	6,28 ±0,86	27,85 ±33,61	7,26 ±1,25	48,84 ±16,68	35,77 ±14,17	-	-	-	-	-	-
33222000	26,65 ±1,43	5,63 ±0,85	5,53 ±3,57	7,24 ±1,37	19,94 ±6,20	16,46 ±6,22	-	-	-	-	-	-
33270000	27,06 ±1,68	6,28 ±1,20	14,21 ±7,94	4,19 ±2,49	-	69,27 ±27,45	-	-	-	-	-	-
33273000	28,97 ±1,27	7,05 ±0,86	48,05 ±30,27	5,96 ±1,60	-	-	-	-	-	-	-	-
33212000	26,73 ±0,94	5,50 ±0,86	6,79 ±3,02	6,52 ±1,20	12,08 ±4,54	10,91 ±4,47	-	-	-	-	-	-
33281000	29,08 ±2,14	6,58 ±1,00	46,69 ±23,81	6,51 ±1,66	100,17 ±28,85	73,86 ±27,03	13,14 ±9,01	3,15 ±3,18	86,71 ±53,60	0,13 ±0,12	1,40 ±2,44	0,65 ±1,91
33215000	26,97 ±1,28	5,84 ±0,91	7,32 ±6,00	7,59 ±1,47	11,08 ±5,81	11,61 ±7,04	-	-	-	-	-	-
33260000	28,43 ±1,44	6,83 ±1,06	28,94 ±24,90	7,05 ±1,43	49,36 ±20,27	40,15 ±14,36	-	-	-	-	-	-
33214000	27,14 ±1,09	5,43 ±0,95	4,09 ±3,06	5,93 ±1,12	11,29 ±3,41	10,03 ±3,97	-	-	-	-	-	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade específica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); STD – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NA – Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1})

3.6.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Mearim

A coleta foi realizada em quatro pontos (Figuras 4.32 e 4.33), nos municípios de Pedreiras, Joselândia e Barra do Corda. Os pontos P20, P22 e P23 foram coletados próximos da sede, com intensas ocupações imobiliárias e vegetação degradada em alguns trechos; enquanto o ponto P21 foi coletado próximo da barragem do rio Flores, área com poucas residências e vegetação preservada.

Figura 4.32 - Pontos de coleta Bacia Rio Mearim

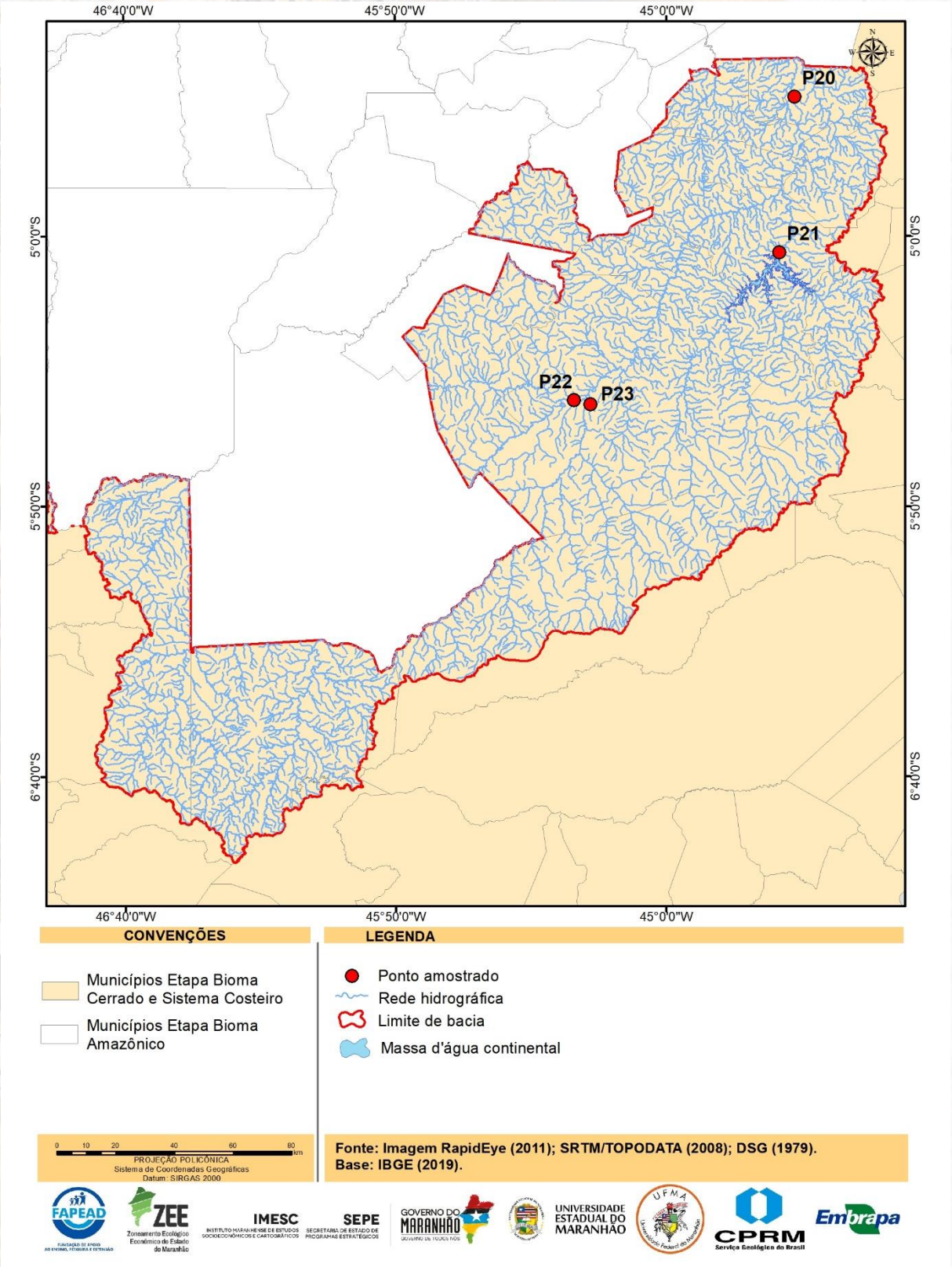
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

3.6.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Mearim

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Mearim se encontram na Tabela 4.18. Os valores de CE nessa bacia foram elevados, sobretudo no Rio Flores (P21), indicando contribuição de sais inorgânicos dissolvidos nessas águas. As concentrações dos elementos maiores são diretamente responsáveis pela condutividade, onde a condutividade elevada pode indicar impactos ambientais provocados por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água (Moura, 2007).

A exceção de CE foi do Rio Corda (P23), que mostrou baixos valores. O Rio Flores (P21) também registrou valores altos de TDS, porém ainda dentro do limite aceito pela legislação brasileira. A turbidez também mostrou valores elevados ao longo desta bacia, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no Rio Corda (P23). A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

Figura 4.33 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Mearim



Fonte: ZEE (2021)

O OD apresentou um teor baixo nos pontos P21 e P23, com valores menores do que é referendado pelo padrão CONAMA, o que pode comprometer a saúde da biota aquática, uma vez que este gás é essencial para as vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000). O TSS foi alto no P20, indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência ou das mudanças espaciais nas feições deposicionais; ou em virtude das condições climáticas da região (seca ou chuva), que influenciam no maior ou menor aporte terrígeno nos rios.

As concentrações de fosfato, em todos os pontos de coleta, ficaram bem acima do que determina a resolução vigente, indicando que esta bacia possui uma fonte de contaminação deste nutriente, com grande potencial a sofrer os efeitos danosos dos processos de eutrofização nesse rio, que também apresenta altas concentrações de silicato, além de boas quantidades dos nutrientes nitrato e N-amoniacal, capazes de sustentar a produtividade primária de suas águas. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há maior contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios, porém, as concentrações observadas neste rio sugerem contribuições antropogênicas de nutrientes, tais como esgotos domésticos e os efluentes industriais e agrícolas. Os demais resultados obtidos estão dentro do que preconiza a resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 4.18 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Mearim

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Mearim			
Ponto de Coleta		P20	P21	P22	P23
Local de Coleta		Rio Mearim - Pedreiras	Rio Flores - Joselândia	Rio Mearim - Barra do Corda	Rio Corda - Barra do Corda
Data da Coleta		05/05/2021	04/05/2021	05/05/2021	05/05/2021
Horário de Coleta		14:11	17:00	10:30	8:45
Temperatura	(°C)	29,19	28,91	27,31	26,23
Salinidade	(g kg^{-1})	0,01	0,02	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	138,00	384,00	120,00	20,00
TDS	(mg L^{-1})	89	250	78	13
Turbidez	(NTU)	87,40	114,00	159,00	4,20
pH		7,33	7,14	6,56	6,48
ORP	(mV)	85	31	143	149
OD	(mg L^{-1})	7,66	5,41	7,56	3,50
OD	(%)	99,85	69,81	95,98	43,67
TSS	(mg L^{-1})	74,00	52,38	28,88	2,50
Fosfato	(mg L^{-1})	1,20	9,70	9,40	6,80
Silicato	(mg L^{-1})	60,40	45,00	66,20	43,70
Nitrato	(mg L^{-1})	0,22	0,49	0,27	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	0,90	1,30	2,40	0,60
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

3.7 Bacia do Rio Tocantins

3.7.1 Hidrografia

A porção da Bacia do Rio Tocantins que se insere no estado do Maranhão corresponde à margem direta do médio curso do rio Tocantins. A bacia ocupa área de 24.364,2 km^2 e representa 12,8% da área do BCSC. Possui 3.833 trechos de drenagem e 13.015,1 km de extensão de cursos d'água (Figura 4.34). Nesta bacia encontra-se uma das principais unidades de conservação de uso integral do Estado do Maranhão, o Parque Nacional da Chapada das Mesas.

3.7.2 Regime Fluvial

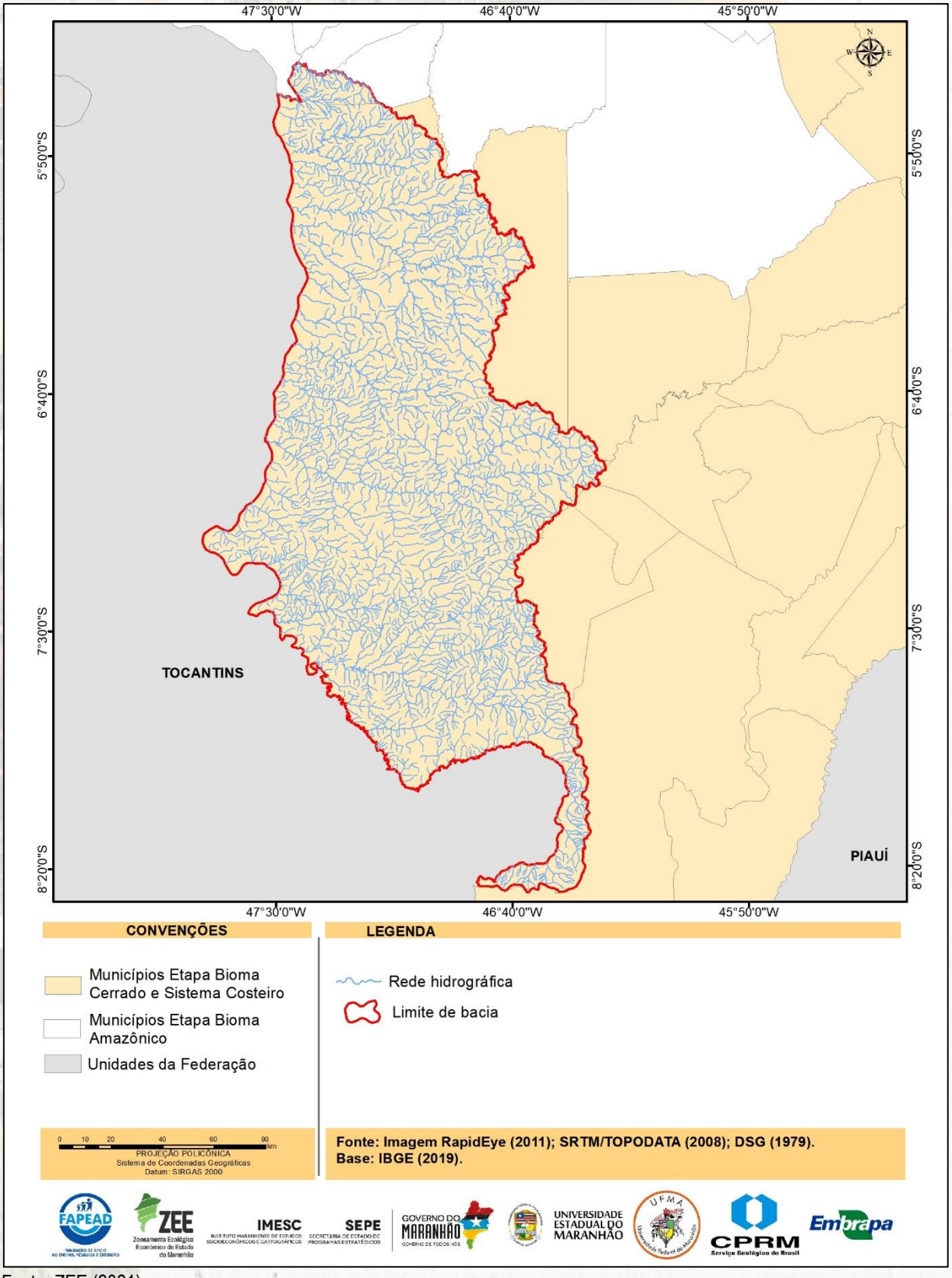
As séries temporais das vazões médias mensais das 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins (isto é, estações Goiatins, Itapicuru, Itaueiras e Lajeado Novo) e a vazão média da bacia são mostradas na Figura 4.35. Analisando-se as séries temporais, é possível notar que a estação Goiatins apresentou a maior amplitude de vazão para esta bacia hidrográfica, atingindo um pico de 505,8 m^{3}s^{-1} em 1986 (Figura 4.35a). A série temporal da vazão média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins variou de 14,4 a 505,8 m^{3}s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1986 (Figura 4.35b). As distribuições espaciais médias das vazões para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.36) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.37) são mostradas a seguir. Os resultados mostram a maior vazão no setor sul e menor vazão no setor centro-oeste da bacia em ambos os períodos chuvosos e secos. A maior amplitude sazonal de vazão ocorreu no Rio Lajeado Novo, no setor norte da bacia hidrográfica.

De acordo com os dados hidrológicos monitorados nas estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins compreendendo o BCSC, o baixo curso do Rio Manuel Alves Grande, principal afluente maranhense do Rio Tocantins, com dados monitorados na estação Goiatins, apresentou vazão média anual de 158m^{3}s^{-1} (Tabela 4.19). Os outros rios fluindo em direção ao Rio Tocantins e suas respectivas vazões, são estes: o Rio Itapicuru, apresentando vazão média anual de 25,4m^{3}s^{-1}; o Rio Itaueiras, apresentando vazão média anual de 12,5 m^{3}s^{-1}, e o Rio Lajeado, apresentando vazão média anual de 28,3 m^{3}s^{-1} (Tabela 4.19). Todos os rios maranhenses pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins são afluentes do Rio Tocantins, o principal rio da bacia.

Tabela 4.19 - Dados de vazão média anual das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Rio	Período
Goiatins	158	Rio Manuel Alves Grande	1971 - 2020
Rio Itapicuru	25,4	Rio Itapecuru	2005 - 2020
Rio Itaueiras	12,5	Rio Itaueiras	2004 - 2019
Lajeado novo	28,3	Rio Lajeado	1999 - 2020

Figura 4.34 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Tocantins



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.35 - a) Séries temporais históricas da vazão média mensal (m^3s^{-1}) obtidas para as 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e b) Vazão média entre as estações

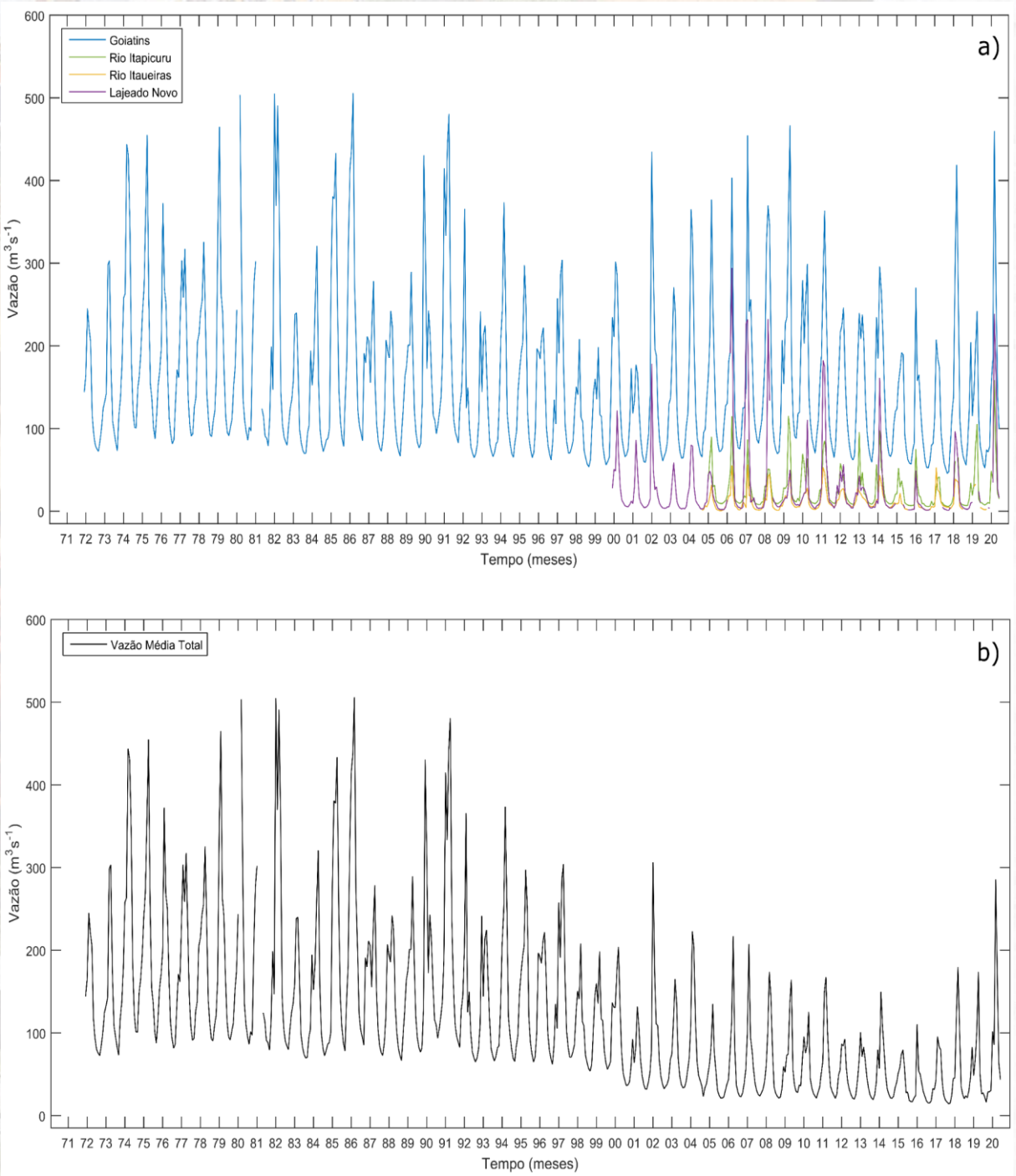
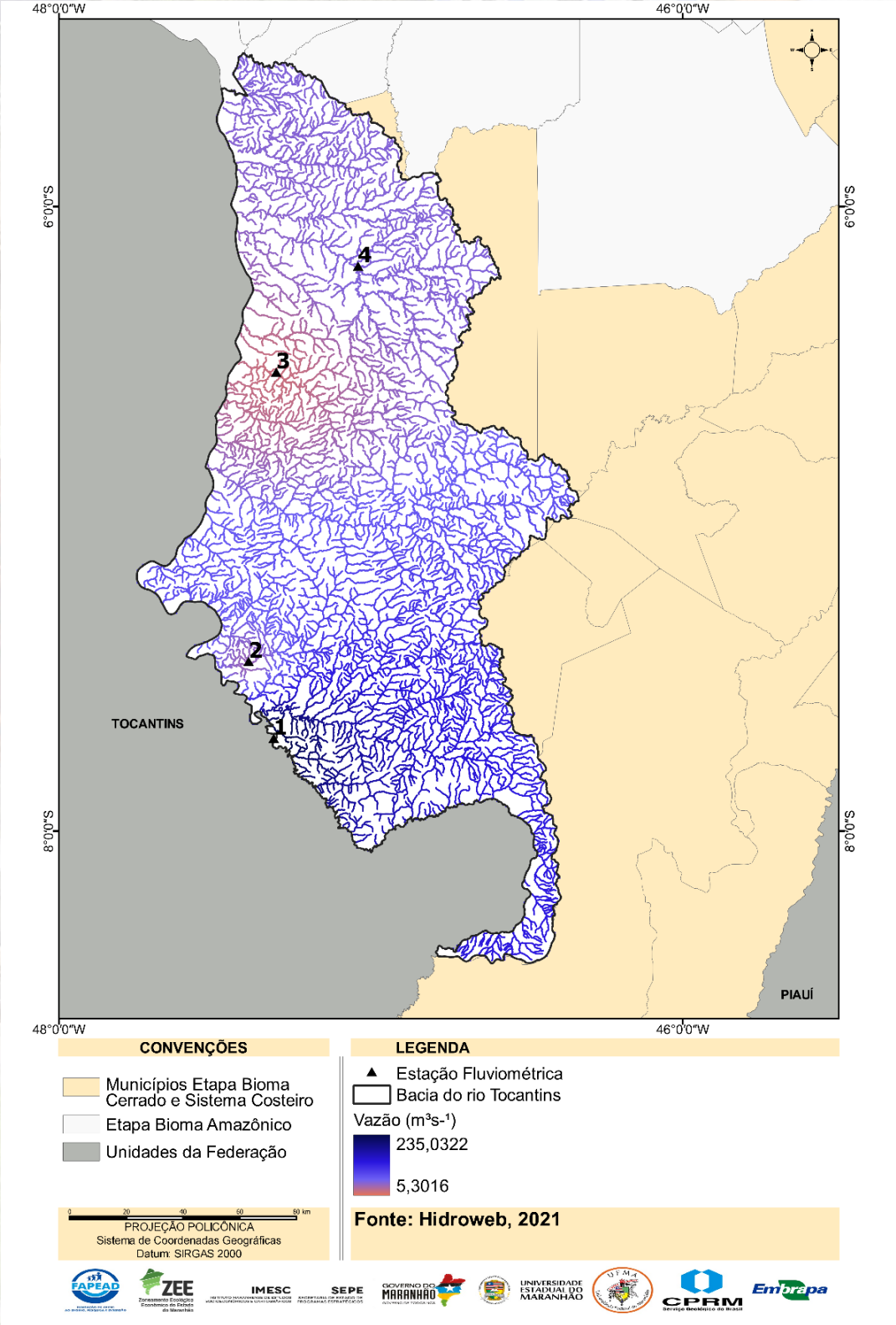
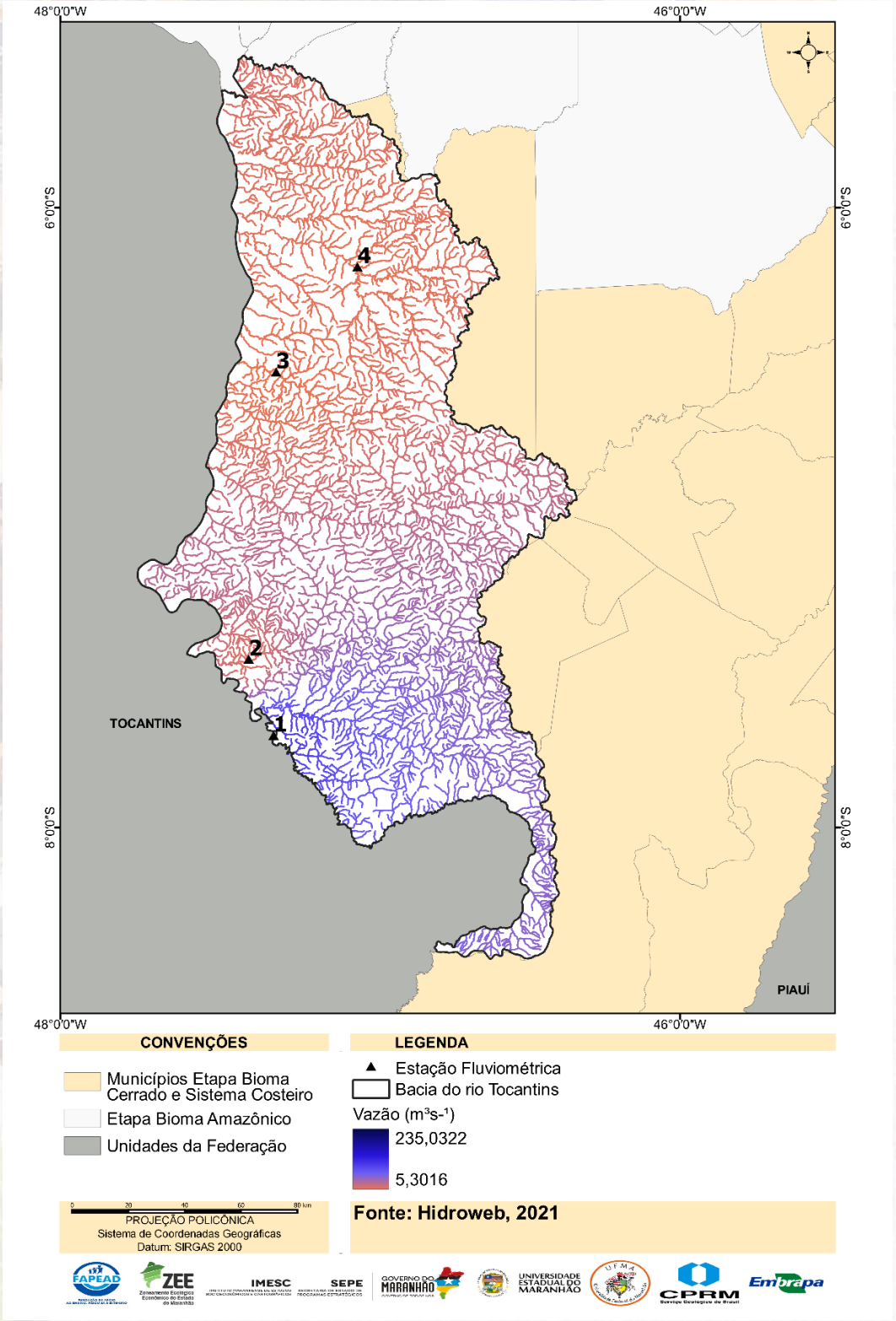


Figura 4.36 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para os meses que compõem a estação chuvosa (Janeiro a Maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapicuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.37 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 4 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Tocantins para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 4 estações fluviométricas, a saber: 1 – Goiatins; 2 – Rio Itapicuru; 3 – Rio Itaueiras; 4 – Lajeado Novo



Fonte: ZEE (2021)

3.7.3 Qualidade de Água

3.7.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Tocantins

A Bacia do Rio Tocantins possui uma rede de monitoramento composta por 8 estações vinculadas a RHN. Os valores obtidos para o oxigênio dissolvido apresentaram concentrações com saturação propícia para a manutenção da vida aquática em aerobiose, sendo que todos os valores médios foram superiores a 5,29±2,30 mg L^{-1}.

A variável pH apresentou tendências para um padrão de águas entre levemente ácido e levemente alcalina, demonstrando menor influência de compostos fúlvicos e húmicos. As variações detectadas foram da ordem de 6,35±0,46 até 7,46±0,53 (Tabela 4.20).

Na Bacia do Tocantins, uma estação de monitoramento possui dados referentes às variáveis DQO, DBO, TSS, STD, Nitrogênio Total e Nitritos (Rio Tocantins, no município de Carolina). Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio.

Tabela 4.20 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Tocantins

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	OD (%)	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	STD	NT	PT
23610000	27,60 ±1,34	7,46 ±0,53	21,03 ±21,45	7,46 ±0,53	-	138,60 ±35,55	104,62 ±37,86	-	-	-	-	-
23466000	27,18 ±1,14	6,97 ±0,70	19,08 ±31,73	7,36 ±1,45	-	-	34,94 ±16,94	-	-	-	-	-
23300000	28,34 ±1,26	6,61 ±0,75	10,44 ±8,46	5,29 ±2,30	-	-	26,18 ±13,34	-	-	-	-	-
23251000	25,97 ±1,10	6,36 ±0,62	22,50 ±31,43	6,78 ±0,89	-	-	7,54 ±10,98	-	-	-	-	-
23650000	26,85 ±0,99	7,33 ±0,44	33,38 ±48,75	6,75 ±1,09	-	163,19 ±77,94	139,94 ±84,21	-	-	-	-	-
23718000	27,40 ±0,36	7,36 ±0,22	14,24 ±14,51	7,02 ±1,65	-	-	-	1,97 ±2,40	1,97 ±2,40	22,00 ±3,61	4,90 ±4,25	0,91 ±1,17
23250000	26,68 ±0,87	6,35 ±0,46	31,88 ±31,64	6,75 ±1,21	-	-	8,38 ±8,70	-	-	-	-	-
23250001	27,45 ±1,20	6,73 ±0,36	23,04 ±23,44	7,62 ±0,45	94,62 ±5,16	11,68 ±2,68	-	-	-	-	-	-

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); STD – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1}); PT – Fósforo Total (mg L^{-1})

3.7.3.2 Caracterização da Bacia do Rio Tocantins

A coleta foi realizada em 4 pontos (Figuras 4.38 e 4.39), nos municípios de Imperatriz, Ribamar Fiquene e Carolina. Os pontos P24 e P26 foram coletados na área da sede, com intensa ocupação imobiliária, pequena quantidade de vegetação na margem esquerda e, menor ocupação e maior quantidade de vegetação na margem direita. No ponto P25, a coleta ocorreu nas proximidades da BR010 com pouco ocupação imobiliária e rio meândrico. No ponto P27, foi observada grande ocupação pelo agronegócio.

Figura 4.38 - Pontos de coleta do Rio Tocantins

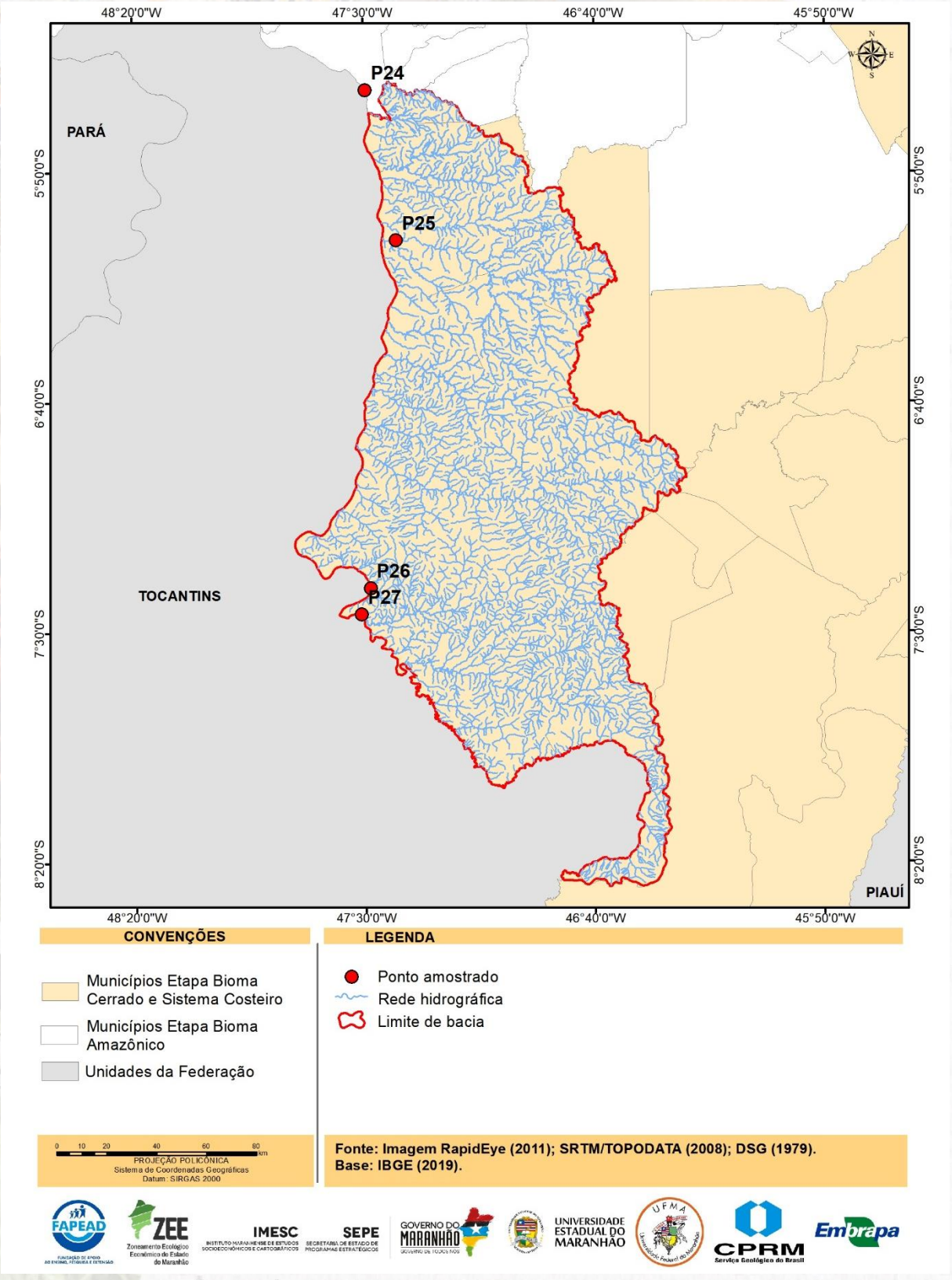
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

3.7.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Tocantins

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Tocantins se encontram na Tabela 4.21. No geral, esta bacia obteve resultados dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente. No entanto, alguns resultados merecem destaque, como o Rio Lajeado (P25), que registrou valores altos de CE e TDS, porém ainda dentro do limite aceito pela legislação brasileira, indicando contribuição dos elementos maiores nestas águas.

O fosfato mostrou valores acima do que determina a resolução CONAMA 357/2005, em todos os pontos de coleta, indicando que esta bacia possui um potencial para eutrofização, que também apresenta altas concentrações de silicato. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há maior contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios.

Figura 4.39 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais na Bacia do Rio Tocantins



Fonte: ZEE (2021)

Tabela 4.21 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Tocantins

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Tocantins			
Ponto de Coleta		P24	P25	P26	P27
Local de Coleta		Rio Tocantins - Imperatriz	Rio Lajeado - Lajeado	Rio Tocantins - Carolina	Rio Manuel Alves Grande - Carolina
Data da Coleta		18/04/2021	18/04/2021	18/04/2021	18/04/2021
Horário de Coleta		7:12	9:10	11:32	12:30
Temperatura	(°C)	29,31	29,91	29,76	28,11
Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,01	0,00	0,00
CE	(µS cm^{-1})	39,00	161,00	33,00	18,00
TDS	(mg L^{-1})	21	110	21	11
Turbidez	(NTU)	2,50	35,80	3,00	10,90
pH		7,26	7,6	7,46	7,67
ORP	(mV)	196	150	137	157
OD	(mg L^{-1})	7,09	5,46	7,21	4,55
OD	(%)	93,11	71,71	94,62	58,33
TSS	(mg L^{-1})	2,56	24,00	3,00	5,20
Fosfato	(mg L^{-1})	1,10	1,40	0,29	0,68
Silicato	(mg L^{-1})	41,40	96,50	37,50	42,40
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	< 0,001	< 0,001
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,30	< 0,001	< 0,001
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

3.8 Bacia do Rio Parnaíba

3.8.1 Hidrografia

A porção da Bacia do Rio Parnaíba que se insere no estado do Maranhão corresponde à porção da margem esquerda do rio principal que faz divisa com os estados do Tocantins e Piauí. Essa porção representa a maior área de bacia que abrange o BCSC. São cerca de 65.226,5 km^2 correspondendo à 34,6% da área total do bioma. Ao todo, possui 11.509 trechos de drenagem e 37.271,9 km de extensão de cursos d'água (Figura 4.40).

3.8.2 Regime Fluvial

As séries temporais das vazões médias mensais das 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba (isto é, estações Fazenda União, Alto Parnaíba, Medonho, Fazenda

Paracati II, Balsas, Maravilha BR-230, Neves BR-230, Sambaíba, São Félix de Balsas, Barão de Grajaú e Coelho Neto) e a vazão média da bacia são mostradas na Figura 4.41 e Tabela 4.22. Analisando-se as séries temporais isoladamente, é possível notar que as estações de Coelho Neto e Barão de Grajaú, localizadas na transição do baixo para o médio curso e no médio curso, respectivamente, apresentam as maiores amplitudes de vazão para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, atingindo um pico de 3.436m^3s^{-1} na estação de Coelho Neto em 2004 (Figura 4.41a). Os resultados mostram que a vazão média mensal para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba variou de 69,2 m^3s^{-1} a 724,4 m^3s^{-1}, com a vazão média máxima para o período ocorrendo no ano de 1985 (Figura 4.41b).

A distribuição espacial das vazões médias a partir dos dados medidos pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba é mostrada para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) e a estação seca (junho a dezembro) da região (Figuras 4.42 e 4.43). Os resultados mostraram que há uma clara distribuição zonal das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, com maiores vazões no setor norte e menores vazões no setor sul da bacia. As maiores amplitudes de vazão entre o período chuvoso e o seco ocorreram na região do médio curso. As distribuições espaciais médias das vazões para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.42) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.43) são mostradas a seguir. Os resultados constataram que as maiores amplitudes de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba ocorreram nos rios que compõem o médio curso da bacia, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

As distribuições espaciais médias das vazões para os meses que compõem o período chuvoso (Figura 4.42) e para os meses que compõem o período seco (Figura 4.43) são mostradas a seguir. Os resultados mostram maiores vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, seguida pela Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru e Rio Tocantins e menores vazões nas bacias do Rio Mearim, Munim e Preguiças. As maiores amplitudes de vazões ocorreram nos rios que compõem o baixo e médio curso das bacias hidrográficas, tanto no período chuvoso quanto no período seco da bacia.

De acordo com os dados hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, no alto curso do Rio Parnaíba, os dados monitorados na Fazenda União mostram que a vazão média anual foi de 84,3 m^3s^{-1} (Tabela 4.22). Na estação seguinte, Alto Parnaíba, a vazão média anual do Rio Parnaíba foi de 109,4 m^3/s. Ainda no alto curso da bacia do Parnaíba, o Rio Medonho, afluente do Rio Parnaíba nessa região, apresentou vazão média anual de 24,9 m^3s^{-1}. Na transição do alto para o médio curso da bacia do Parnaíba, no Rio Parnaíba, os dados monitorados na estação fazenda Pacarati II mostram que a vazão média anual foi de 175,1 m^3s^{-1}. No médio curso da bacia, o Rio das Balsas, possui três estações fluviométricas, localizadas entre seu médio e baixo curso, que apresentou vazão média anual variando de 100,7 m^3s^{-1} a 187,9 m^3s^{-1}. O Rio Maravilha e o Rio Neves, afluentes do Rio das Balsas, apresentaram

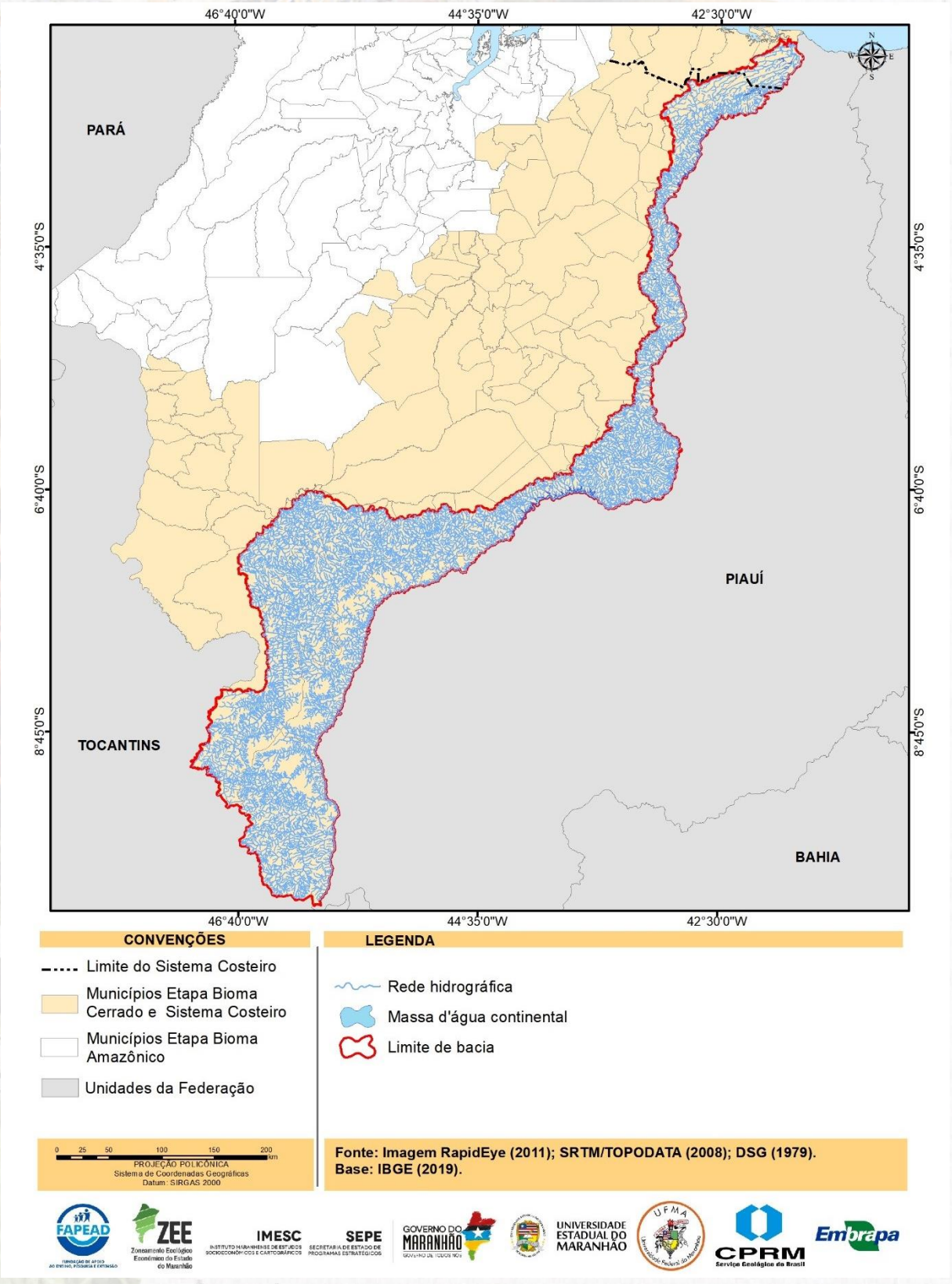
vazão média anual de 16m^3s^{-1} e 17,3m^3s^{-1}, respectivamente. No médio curso do Rio Parnaíba, os dados monitorados na estação Barão de Grajaú, mostram que a vazão média anual foi de 463,8m^3s^{-1}. Na transição do médio para o baixo curso da bacia, o Rio Parnaíba, com dados monitorados na estação Coelho Neto, apresentou vazão média anual de 590,6m^3s^{-1} (Tabela 4.22).

Tabela 4.22 - Vazões médias anuais das estações fluviométricas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba

Estação	Vazão Média Anual (m^3s^{-1})	Rio	Período
Fazenda União	84,3	Rio Parnaíba	2012 - 2020
Alto Parnaíba	109,4	Rio Parnaíba	1966 - 2020
Medonho	24,9	Rio Medonho	2000 - 2020
Pacarati II	175,1	Rio Parnaíba	1996 - 2020
Balsas	100,7	Rio das Balsas	1973 - 2020
Maravilha Br - 230	16	Rio Maravilha	1999 - 2020
Neves Br - 230	17,3	Rio Neves	2000 - 2020
Sambaíba	162,9	Rio das Balsas	2004 - 2020
São Felix De Balsas	187,9	Rio das Balsas	1973 - 2020
Barão De Grajaú	463,8	Rio Parnaíba	1983 - 2020
Coelho Neto	590,6	Rio Parnaíba	1999 - 2019

Fonte: ZEE (2021).

Figura 4.40 - Mapa da rede hidrográfica da Bacia do Rio Parnaíba



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.41 - a) Séries temporais históricas das vazões médias mensais (m^3s^{-1}) obtidas das 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba e b) Vazão média da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba

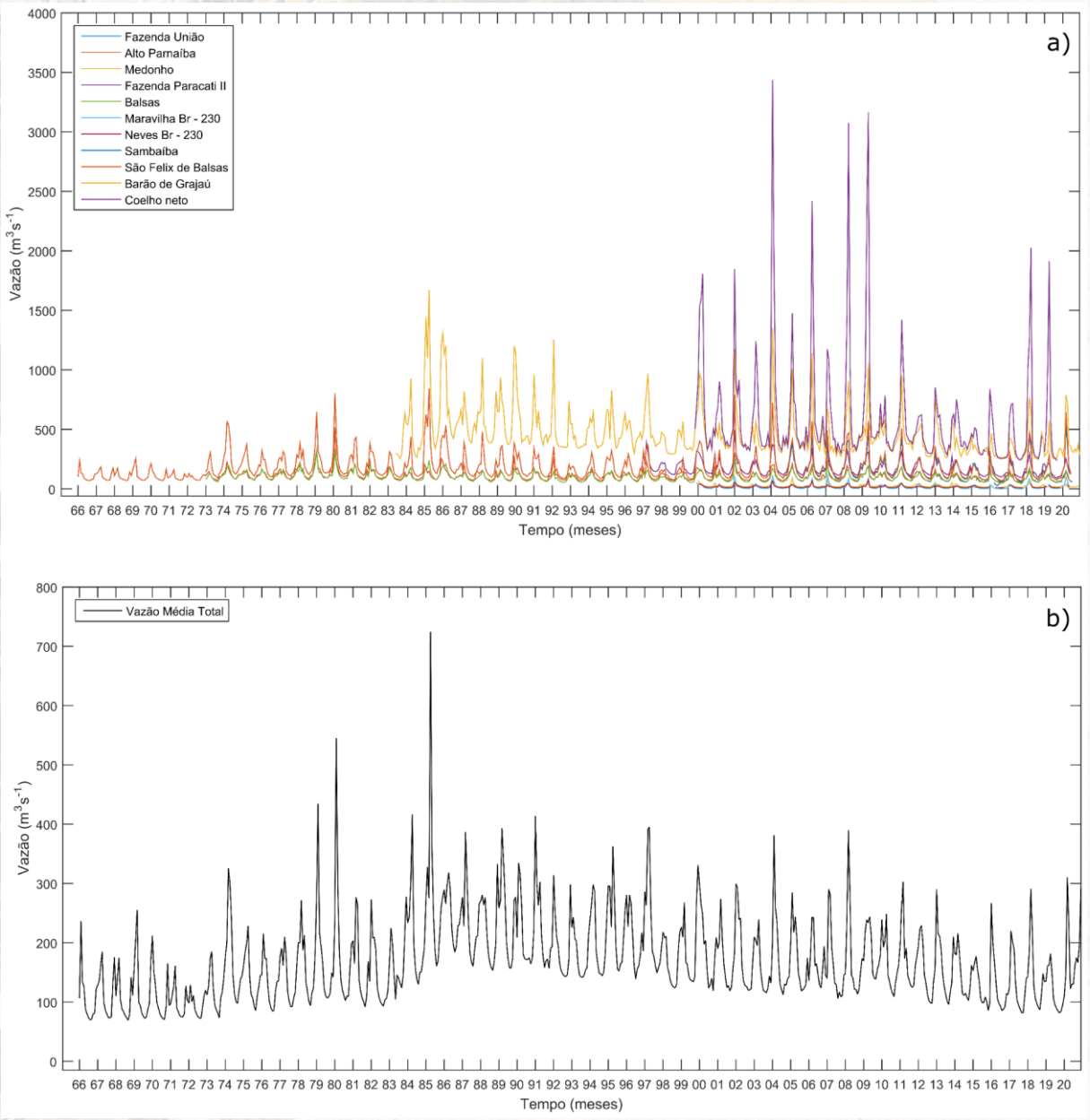
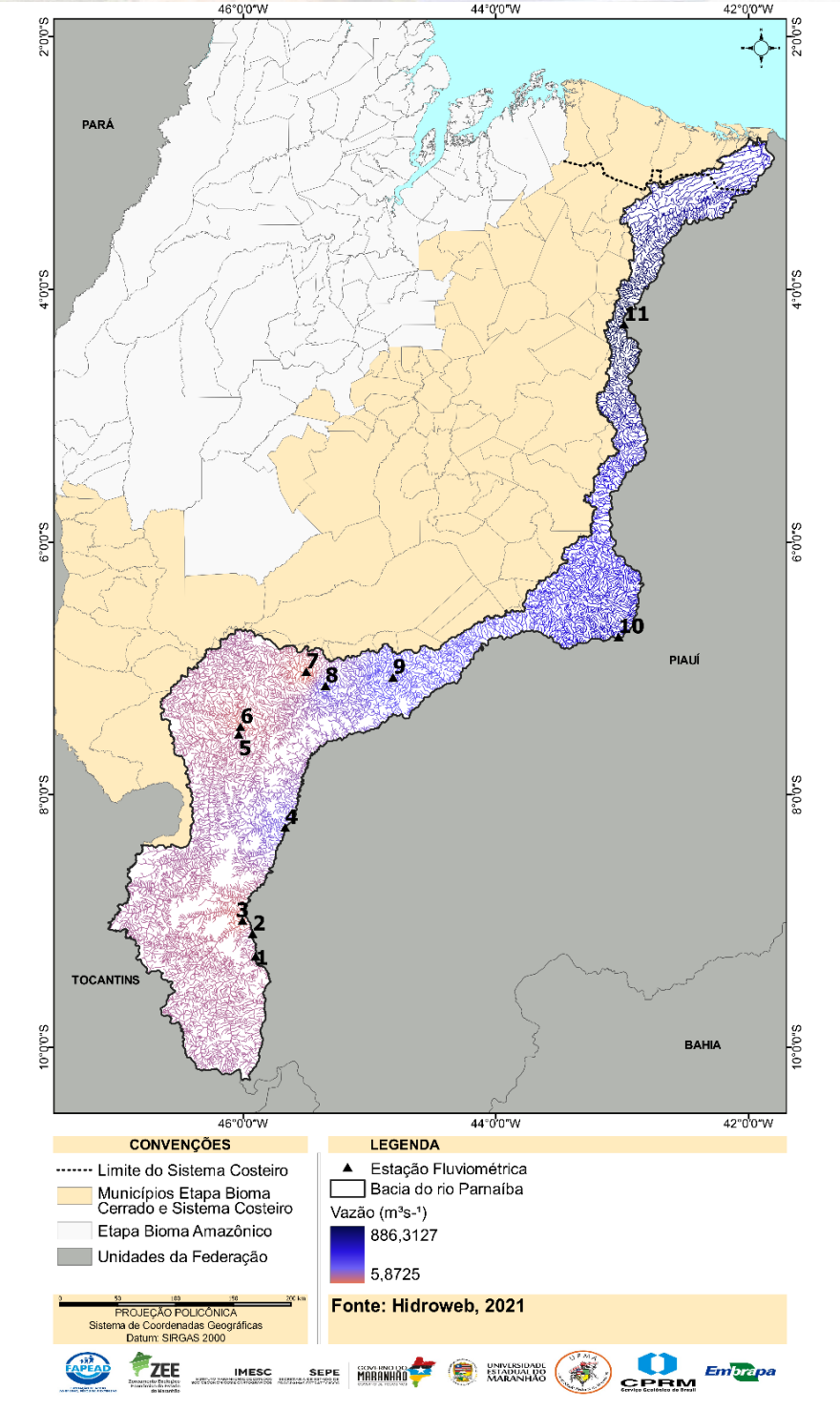
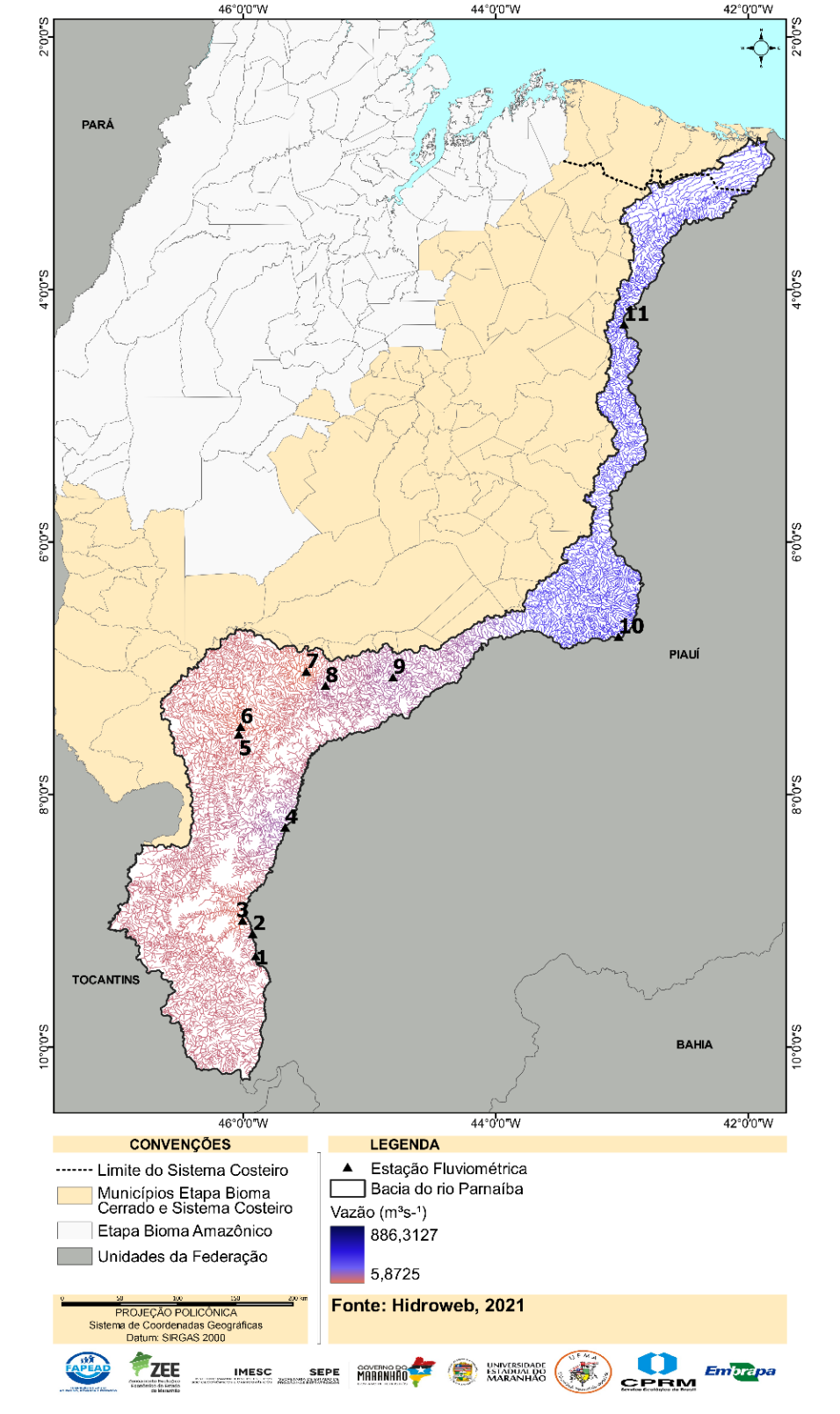


Figura 4.42 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para os meses que compõem a estação chuvosa (janeiro a maio) da região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Félix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto



Fonte: ZEE (2021)

Figura 4.43 - Distribuição espacial das vazões médias medidas pelas 11 estações fluviométricas da ANA localizadas na Bacia do Parnaíba para os meses que compõem a estação seca (junho a dezembro) da região. Os números no mapa representam a localização das 11 estações fluviométricas, a saber: 1 – Fazenda União; 2 – Alto Parnaíba; 3 - Medonho; 4 – Fazenda Paracati II; 5 – Balsas; 6 – Maravilha Br – 230; 7 – Neves Br – 230; 8 – Sambaíba; 9 – São Felix de Balsas; 10 – Barão de Grajaú e 11 – Coelho Neto



Fonte: ZEE (2021)

3.8.3 Qualidade de Águas

3.8.3.1 Dados Pretéritos da Bacia do Rio Parnaíba

A Bacia do Rio Parnaíba possui uma rede de monitoramento composta por 14 estações vinculadas a RHN. A variável temperatura da água oscilou entre 26,02±1,35 a 30,23±1,01ºC. A escala de pH apresentou águas de levemente ácida à levemente alcalina, com faixa variando entre 5,70±0,76 até 7,20±0,32. Os valores obtidos para o oxigênio dissolvido apresentaram concentrações com saturação propícia para a manutenção da vida aquática em aerobiose, sendo que todos os valores médios foram superiores a 6,36±1,55mg L-1 (Tabela 4.23).

A variável turbidez apresentou as maiores variações significativas em duas estações de monitoramento do Rio Parnaíba, ambas no alto curso. A primeira, com níveis equivalentes a 180,09±303,98 NTU (Rio Parnaíba, Alto Alegre) e, a segunda, com valores da ordem de 74,10±90,67 NTU (Rio Medonho, Alto Parnaíba), destacaram-se como ambientes que estão submetidos a forte influência de processos de carreamento de sólidos suspensos para coluna d'água.

Na Bacia do Parnaíba, duas estações apresentam dados referentes às variáveis STD, NA, NT. Também, para estação 34311000 (Rio Parnaíba, na cidade de Barão de Grajau), estão disponíveis os dados de BDO, DQO e Nitritos. Os resultados para essas variáveis não indicaram alterações significativas na qualidade de água do rio, no trecho monitorado.

Tabela 4.23 - Dados de qualidade de água das estações de monitoramento da RHN referente à Bacia do Rio Parnaíba

Estações	Temp. da água (°C)	pH	Turb. (NTU)	OD (mg L^{-1})	Cond. Espec.	CE (mS cm^{-1})	DQO	DBO	STD	NA	NT	Nitritos
34020000	27,32 ±1,33	6,89 ±0,85	180,09 ±303,98	6,95 ±1,78	21,68 ±25,07	15,96 ±11,91	-	-	-	-	-	-
34142000	26,02 ±1,35	7,06 ±1,12	22,02 ±21,81	7,25 ±1,43	30,67 ±7,53	29,58 ±4,63	-	-	-	-	-	-
34030000	26,85 ±1,60	6,50 ±1,11	74,10 ±90,67	7,06 ±1,75	7,64 ±1,49	8,19 ±4,07	-	-	-	-	-	-
34040500	27,80 ±1,23	6,66 ±1,08	66,06 ±107,60	7,21 ±1,57	13,94 ±9,01	13,63 ±7,79	-	-	-	-	-	-
34010000	27,38 ±1,62	6,38 ±0,71	42,83 ±55,96	6,92 ±1,72	8,15 ±3,83	9,15 ±6,25	-	-	-	-	-	-
34130000	27,02 ±1,34	6,44 ±1,21	18,66 ±29,53	6,86 ±1,63	8,88 ±7,51	8,89 ±6,64	-	-	-	-	-	-
34140000	27,05 ±1,40	6,72 ±0,98	20,60 ±11,81	6,66 ±1,51	29,23 ±16,56	26,25 ±10,38	-	-	-	-	-	-
34145000	26,96 ±1,59	6,98 ±0,94	28,15 ±26,11	7,02 ±1,54	23,47 ±10,94	24,14 ±7,62	-	-	-	-	-	-

34160000	27,73 ±1,32	6,99 ±0,92	27,35 ±29,38	6,73 ±1,50	24,74 ±11,21	22,89 ±7,59	-	-	-	-	-	-
34820000	30,22 ±1,17	7,15 ±0,70	50,84 ±44,57	6,80 ±1,66	62,40 ±19,94	45,83 ±15,79	-	-	-	-	-	-
34820001	30,23 ±1,01	7,20 ±0,32	28,20 ±16,99	7,67 ±0,80	58,28 ±11,96	-	-	-	-	-	-	-
34988000	29,49 ±1,29	5,70 ±0,76	25,65 ±9,41	6,36 ±1,55	69,42 ±8,02	78,06 ±26,92	-	-	-	-	-	-
34170000	28,01 ±1,68	6,62 ±0,84	42,64 ±64,99	6,56 ±1,63	29,71 ±12,62	29,17 ±13,13	-	-	8,73 ±1,15	0,33 ±0,08	0,23 ±0,31	-
34311000	28,42 ±2,07	6,74 ±0,97	27,72 ±21,14	6,49 ±1,14	33,58 ±9,38	34,06 ±11,20	20,90± 24,80	2,39 ±1,94	26,32 ±32,63	0,13 ±0,17	1,11 ±1,99	0,20 ±0,65

Siglas: Turb. – Turbidez; OD – Oxigênio dissolvido; Cond. Espec. – Condutividade especifica; CE – Condutividade Elétrica; DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}); DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}); STD – Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1}); NA – Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1}); NT – Nitrogênio Total (mg L^{-1})

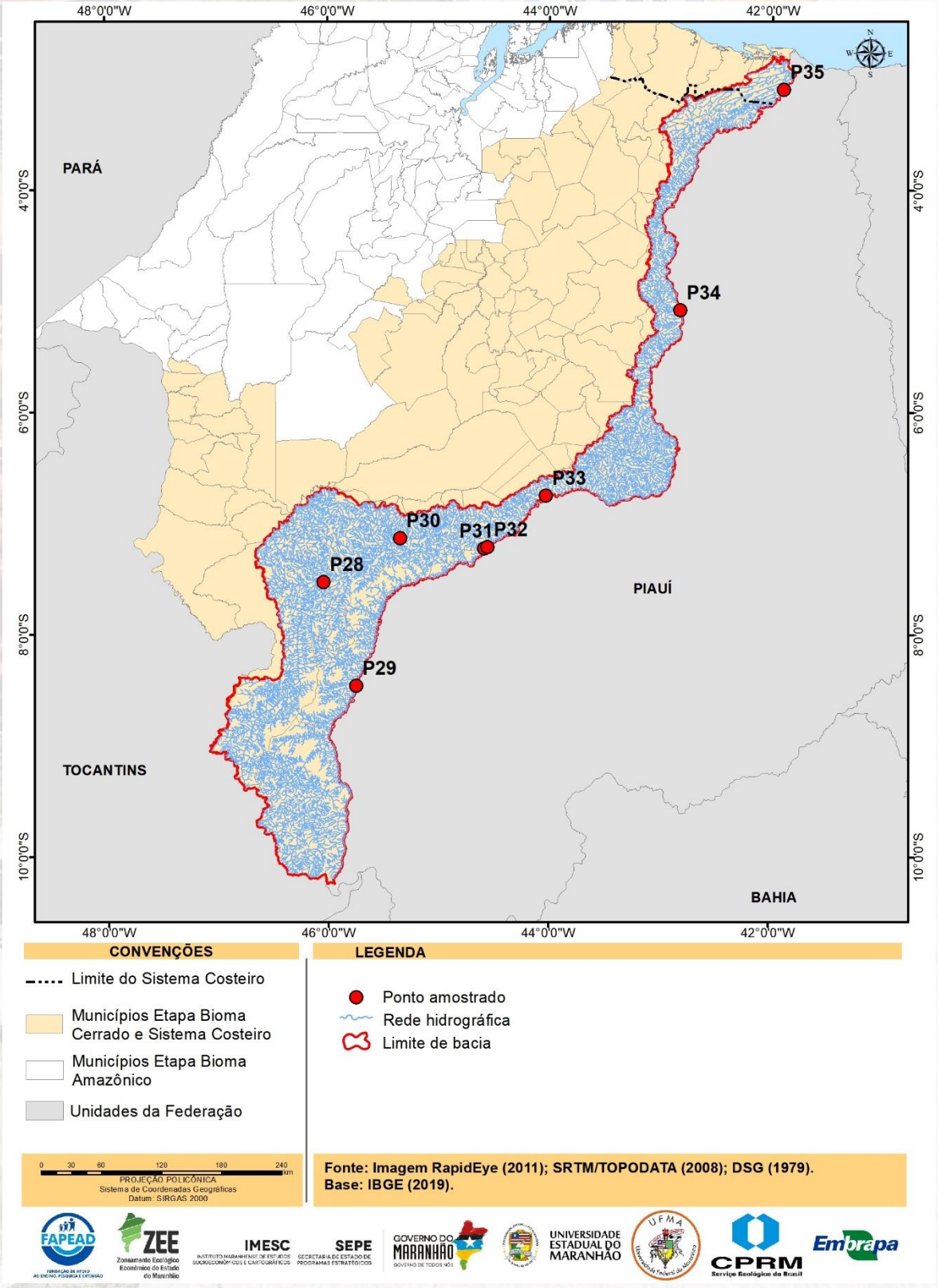
3.8.3.2. Caracterização da Bacia do Rio Parnaíba

A coleta foi realiza em 8 pontos (Figuras 4.44 e 4.45), nos municípios de Tasso Fragoso, Sambaíba, Benedito Leite, Araioses, Nova Iorque e Timon. Os pontos P28 a P33, foram coletados próximo à sede dos municípios com ocupação imobiliária em uma das margens e, a outra margem com aspecto preservado. O ponto P34 entre Timon e Teresina possui intensa ocupação imobiliária e baixa cobertura vegetal. A amostra do ponto P35 foi coletada em local distante da sede, com baixa ocupação imobiliária e vegetação preservada.

Figura 4.44 - Pontos de coleta do Rio Parnaíba

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Figura 4.45 - Mapa de pontos de amostragem de águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba



Fonte: ZEE (2021)

3.8.3.3 Dados Coletados na Bacia do Rio Parnaíba

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados na Bacia do Rio Parnaíba se encontram na Tabela 4.24. A turbidez mostrou valores elevados em quase todos os pontos de estudo dessa bacia, com concentrações bem acima de 40 NTU, exceto no Rio Balsas (P31) e no Rio Parnaíba (P33), que ficou dentro do limite. A alta turbidez dessas águas pode ser consequência das contribuições terrígenas lixiviadas nos canais de rios em maior volume, durante a estação chuvosa.

O OD apresentou concentrações abaixo do que é referendado pelo padrão CONAMA na bacia, exceto nos pontos P33 e P35. O OD é uma indicação direta de qualidade da água, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000). O TSS foi alto nos pontos P29, P31, P32 e P34, indicando grande capacidade de transporte de sedimentos por suas águas, que pode ser consequência ou das mudanças espaciais nas feições deposicionais ou em virtude das condições climáticas da região (seca ou chuva) ou dos diferentes tipos de uso das margens fluviais, que influenciam no maior ou menor aporte terrígeno nos rios.

O fosfato mostrou valores acima do que determina a resolução CONAMA 357/2005, em todos os pontos de coleta, indicando que esta bacia possui um potencial para eutrofização, com valores preocupantes nos pontos P34 e P35, que sugerem contribuição por fonte antrópica desse nutriente nessas áreas. O silicato também apresentou altas concentrações ao longo de toda a bacia. Altas concentrações desses nutrientes são aguardadas nesse período de coleta, quando há maior contribuição dos aportes de chuva e de lixiviação continental para os rios. Os demais valores obtidos nesta bacia estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente.

Tabela 4.24 - Resultados dos parâmetros físicos e químicos estudados nas águas superficiais da Bacia do Rio Parnaíba

Bacia Hidrográfica		Bacia do Rio Parnaíba							
Ponto de Coleta		P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35
Local de Coleta		Rio Balsas - Balsas	Rio Parnaíba - Tasso Fragoso	Rio Balsas-Sambaíba	Rio Balsas - Benedito Leite	Rio Parnaíba - Benedito Leite	Rio Parnaíba - Nova Iorque	Rio Parnaíba - Timon	Rio Parnaíba - Baixo Curso
Data da Coleta		18/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	19/04/2021	20/04/2021	04/05/2021	26/04/2021
Horário de Coleta		15:58	7:13	12:25	15:44	16:25	7:03	12:13	13:16
Temperatura	(°C)	26,89	26,28	26,63	27,00	27,61	29,27	28,91	30,00

Salinidade	(g kg^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CE	(µS cm^{-1})	10,00	19,00	36,00	38,00	28,00	32,00	384,00	30,00
TDS	(mg L^{-1})	7	12	23	25	18	20	55	18
Turbidez	(NTU)	51,40	182,00	23,40	281,00	322,00	6,10	114,00	129,00
pH		6,73	7,37	7,1	7,26	7,29	7,35	7,14	7,23
ORP	(mV)	165	137	186	139	155	101	31	137
OD	(mg L^{-1})	3,83	4,74	5,40	4,51	5,08	7,90	5,40	7,10
OD	(%)	47,37	58,62	67,99	56,78	64,54	102,03	69,23	95,76
TSS	(mg L^{-1})	44,14	173,60	22,44	222,17	219,00	224,17	24,63	81,38
Fosfato	(mg L^{-1})	1,27	1,69	0,16	2,50	2,44	0,84	5,40	3,39
Silicato	(mg L^{-1})	42,90	48,00	57,20	50,80	52,60	52,10	45,00	58,5
Nitrato	(mg L^{-1})	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,18	0,13	< 0,10	0,25	0,18
Nitrito	(mg L^{-1})	< 0,001	0,01	< 0,001	0,02	0,02	< 0,001	< 0,001	0,01
N-Amoniacal	(mg L^{-1})	< 0,001	0,50	0,70	0,10	1,10	< 0,001	1,20	1,50
Cl-α	(µg L^{-1})	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00	< 10,00

Fonte: ZEE (2021)

4 CONCLUSÃO

Do ponto de vista da rede hidrográfica, concluiu-se que a escala de 1:250.00 contribuiu para o melhor detalhamento e precisão dos cursos d'água e massas d'água das bacias hidrográficas do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. Porém, este estudo sugere que sejam previstos em projetos futuros o contínuo detalhamento da rede de drenagem bem como análises de avaliação do regime hídrico dos rios (perenes ou intermitentes) quanto à presença de água superficial.

Com base na análise dos dados históricos (1963-2020) de vazões (médias mensais) provenientes das estações fluviométricas da ANA localizadas no BCSC, este estudo concluiu que entre os meses de janeiro a maio e de junho a dezembro, ocorreram as maiores (menores) vazões médias no BCSC, respectivamente. Esse padrão semianual caracteriza o regime de chuvas na região, entre período chuvoso e seco. Entre os rios que compõem as bacias, os maiores valores de vazão foram encontrados no médio e baixo curso, especialmente próximo à foz dos rios principais. Entre as 44 estações fluviométricas analisadas, a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba apresentou as maiores vazões, enquanto a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças apresentou as menores vazões.

Este estudo mostrou também que desde a década de 70, é observado uma significativa redução na rede de monitoramento de vazões dos rios pertencentes ao BCSC. Em especial, destaca-se a escassez de dados fluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, o que impossibilitou a espacialização dos dados para essa bacia.

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos coletados nas águas superficiais das bacias

hidrográficas do BCSC, no geral, ficaram dentro do que preconiza a resolução CONAMA 357/2005, para a Água Doce, Classe 1. No entanto, alguns parâmetros sinalizaram inconformidade nos corpos hídricos, com altas concentrações e valores.

Um dos parâmetros que chamou a atenção na maioria das bacias estudadas foi a condutividade elétrica (CE) e os totais de sólidos dissolvidos (TDS), pelos altos valores observados. Ambos, na grande maioria, são influenciados diretamente pela concentração de elementos maiores dissolvidos (sais inorgânicos), que para a qualidade da água, sobretudo se esta for para abastecimento, altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas. Assim, altas concentrações de CE e TDS devem ser monitoradas e podem indicar impactos ambientais provocados por lançamento de resíduos industriais nos cursos d'água.

Também mereceram destaque, em algumas das bacias estudadas, pelas altas concentrações, os dados quanto à turbidez e aos totais de sólidos suspensos (TSS). Estes parâmetros estão associados à presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica finamente divididas, organismos microscópicos e algas. A origem desses materiais pode estar relacionada ao solo (quando não há mata ciliar); à mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); às indústrias; ou ao esgoto doméstico que é lançado no ambiente aquático sem tratamento adequado. Diante desse contexto, a alta turbidez, reduz a penetração de luz solar na coluna d'água, prejudicando a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas. O TSS pode carrear nutrientes e pesticidas, obstruindo as guelras dos peixes, e até interferir na habilidade do peixe em se alimentar e se defender dos seus predadores, além de poder absorver calor adicional da luz solar, aumentando a temperatura da camada superficial da água (COUTO, 2015).

Já o pH e o oxigênio dissolvido (OD), apresentaram valores abaixo do que determina a legislação vigente. O nível de oxigênio dissolvido em águas naturais é, com frequência, uma indicação direta de qualidade, uma vez que este gás é essencial para peixes e outras vidas aquáticas heterotróficas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (SANTOS, 2000). O excesso de demanda química por OD, para decomposição da matéria orgânica, também diminui o pH da água, e podem ser esperados para as bacias que recebem esgotos procedentes de várias fontes (doméstica, comercial e industrial) que potencialmente contribuem tanto com compostos biodegradáveis quanto com uma parcela de compostos orgânicos de difícil biodegradação. De acordo com Scavia e Bricker (2006), concentrações de OD entre 2,0 a 5,0 mg L^{-1} favorecem as condições de stress biológico, dados estes, que foi constatado neste estudo, em que vários pontos de coleta nas bacias apresentaram concentração nesse intervalo.

Com relação aos nutrientes dissolvidos, o fosfato e o silicato foram elevados em todas as bacias estudadas do BCSC. A principal fonte desses nutrientes é a dissolução de rochas do entorno das bacias

de drenagem. O silicato é um dos nutrientes mais abundantes na crosta terrestre e normalmente é conservativo nas águas costeiras, podendo ser transportado através dos rios até os oceanos (Braga et al., 2009). O fosfato normalmente apresenta baixas concentrações nos ambientes aquáticos não poluídos, estando em torno de 0,001mg L^{-1} (BAUMGARTEN et al., 1996). Os esgotos urbanos, sem tratamento, contêm ortofosfato e polifosfatos, presentes em produtos de limpeza, oriundos de dejetos humanos e efluentes domésticos (STRICKLAND; PARSONS, 1968), e também aqueles provenientes da drenagem agrícola. Estas altas concentrações dos nutrientes mostram o grande potencial de eutrofização no estuário do Rio Jaguaribe, mostrando altas concentrações de nutrientes nas bacias do Cerrado, indicando a ocorrência de importantes contribuições antrópicas nestas bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **HidroWeb:** sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 20 jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, Port City Press. p. 34-38. 2001.

BAUMGARTEN, M.G.Z; NIENCHESKI, L.F.H.; MARTINS, B.A.D. **Saco do Justino (RS-Brasil):** amônio e fosfato na coluna d'água e na água intersticial de uma enseada não contaminada. Atlântica, Rio Grande, n. 27, v. 2, p. 113-129. 2005.

BRAGA, E.S.; ESCHRIQUE, S.A.; BASTOS, A.T.C.C.; COELHO, L.H. Silicato dissolvido e seu papel traçador de aportes terrestres/sedimentares em sistemas estuarinos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Ouro Preto – MG. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos:** síntese executiva. Brasília, 2006. 135 p.

CALAZANS, D. **Estudos Oceanográficos:** do instrumental ao prático. 1. ed. Pelotas: Editora Textos, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução no 357.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 18 mar. 2005.

COUTO, J. L. V. **Limologia.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2015 Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm. Acesso em: 10 jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base espacial do Brasil em escala 1:250.000**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/ home/geociencias. Acesso em: 20 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual de Normas**, especificações e procedimentos técnicos para a carta do mundo ao milionésimo – CIM. 1:1.000.000. Rio de Janeiro, 1993. 63 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Topodata:** banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/. Acesso em: 12 fev. 2018.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

MARANHÃO. **Estimativa das demandas e da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas do estado do Maranhão.** Universidade Estadual do Maranhão/UEMA, Núcleo Geoambiental, Relatório Parcial n. 3, 2009.

MARANHÃO. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão**. Universidade Estadual do Maranhão/UEMA, Núcleo Geoambiental. São Luís, 2016. 166 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Geo Catálogo de imagens de satélite *Rapideye*.** Disponível em: http://geocatalogo.mma.gov.br/. Acesso em :01 fev. 2018.

MOURA, E. M. **Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na Baía do Guajará no trecho compreendido entre o bairro de val-de-cães e o distrito de Icoaraci**. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará. Belém – PA. 2007.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F. H; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Documentos 232. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf. Acesso em :01 fev. 2018.

SANTOS, M.L.S. **Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2000. 92 p.

SCAVIA, D.; BRICKER, S. B. **Coastal eutrophication assessment in the United Sates**. Biogeochemistry, n. 79, 2006. p.187-208.

SHEPARD D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: **Proceedings of the 1968**. 23rd ACM National Conference (ACM '68). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1968517–524. DOI:https://doi.org/10.1145/800186.810616.

SILVA, K. R.; PAIVA, Y. G.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis climáticas na bacia do rio Itapemirim-ES. In: **Anais do 13 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis, NPE, p. 3141-3146, 2007.

SISTEMA NACIONAL SOBRE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/. Acesso em: 10 fev. 2018.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. Bulletin

Fisheries Research Board of Canada. 2. ed. 1972.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. **A pratical handbook of seawater analysis**. Bull. Fish. Res. Bd Can. v.169, p. 1-311. 1968.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata:** Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography (Sevenoaks), v. 32, p. 300-309, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

5

SOLOS E APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

1. INTRODUÇÃO 257
2. ÁREA DE ESTUDO 257
3. METODOLOGIA 259
3.1. Confecção do Mapa de Solos 259
3.2. Confecção do Mapa de Aptidão Agrícola das Terras 261
4. RESULTADOS 261
4.1 Identificação e localização das amostragens de solos 261
4.2 Mapeamento das Classes de Solos Dominantes 271
4.3 Quantificação e representação gráfica das classes de solos dominantes 273
4.4 Conceituação das Classes de Solos Dominantes na Área Mapeada 274
4.4.1 Argissolos 274
4.4.2 Cambissolos 276
4.4.3 Gleissolos 277
4.4.4 Latossolos 278
4.4.5 Luvissolos 280
4.4.6 Neossolos 281
4.4.7 Nitossolos 282
4.4.8 Planossolos 283
4.4.9 Plintossolos 284
4.4.10 Vertissolos 286
4.5 Aptidão Agrícola das terras 286
4.5.1 Representação Cartográfica das Classes de Aptidão Agrícola das Terras 286
4.5.2 Quantificação e Representação Gráfica das Classes de Aptidão Agrícola das Terras 288
4.5.3 Conceituação das Classes de Aptidão Agrícola das Terras 289
4.5.3.1 Classe de aptidão BOA para agricultura (B/A) *289*
4.5.3.2 Classe de aptidão REGULAR para agricultura (R/A) *290*
4.5.3.3 Classe de aptidão BOA para pecuária (B/P) *290*
4.5.3.4 Classe de aptidão REGULAR para pecuária (R/P) *291*
4.5.3.5 Classe de aptidão NÃO RECOMENDADA para atividades agropecuárias (N/R) *291*
5. CONCLUSÃO 292
REFERÊNCIAS 293
APÊNDICE 295

5

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 - Mapa de localização da área de estudo 258
Figura 5.2 - Recorte da Imagem de Radar do Projeto TOPODATA da folha SB.23-Y-D 259
Figura 5.3 - Recorte da Imagem de Radar do Projeto TOPODATA da folha SB.23-X-B 260
Figura 5.4 - Mapa de localização das amostragens de solos 270
Figura 5.5 - Mapeamento das classes de solos dominantes do Bioma Cerrado, estado do Maranhão 272
Figura 5.6 - Representação gráfica das classes de solos dominantes (subordem) da área mapeada do bioma Cerrado, Estado do Maranhão 274
Figura 5.7 - Argissolo Acinzentado 275
Figura 5.8 - Argissolo Vermelho 276
Figura 5.9 - Argissolo Vermelho-Amarelo 276
Figura 5.10 - Cambissolo Háplico 277
Figura 5.11 - Latossolo Amarelo 279
Figura 5.12 - Latossolo Vermelho 279
Figura 5.13 - Latossolo Vermelho-Amarelo 279
Figura 5.14 - Luvissolo Crômico 280
Figura 5.15 - Luvissolo Háplico 280
Figura 5.16 - Neossolo Litólico 282
Figura 5.17 - Neossolo Quartzarênico 282
Figura 5.18 - Nitossolo Vermelho 283
Figura 5.19 - Plintossolo Argilúvico 285
Figura 5.20 - Plintossolo Háplico 285
Figura 5.21 - Plintossolo Pétrico 285
Figura 5.22 - Representação cartográfica das classes de aptidão agrícola das terras do Bioma Cerrado no estado do Maranhão 287
Figura 5.23 - Representação gráfica das classes de aptidão agrícola das terras mapeadas no Bioma Cerrado do estado do Maranhão 289

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto ZEE Cerrado - MA 264

Tabela 5.2 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto Zoneamento Agropecuário do estado do Maranhão 264

Tabela 5.3 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto +IDH 266

Tabela 5.4 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo do projeto Levantamento Exploratório - Reconhecimento do Estado do Maranhão 266

Tabela 5.5 - Relação das amostras extras (AE) coletadas durante o trabalho de campo do projeto Levantamento Exploratório – Reconhecimento do estado do Maranhão 267

Tabela 5.6 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - MA 269

Tabela 5.7 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo do Diagnóstico da Bacia do Itapecuru (2021) 269

Tabela 5.8 - Quantificação das classes de solos dominantes na área mapeada até o 2° nível categórico de classificação (Subordens) 273

Tabela 5.9 - Quantificação das classes de aptidão agrícola das terras da área mapeada no Bioma Cerrado no estado do Maranhão 288

1 INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado abrange aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados o que corresponde acerca de 24% do território brasileiro, distribuídos por 10 estados da Federação, além do Distrito Federal (IBGE, 2004). Este bioma se caracteriza pela rica biodiversidade com vegetação típica de troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas (RATTER et al., 1997). O Maranhão está localizado na região nordeste do país, 64,1% da sua área total, o que corresponde aproximadamente 191.229,38 km², ocupados pelo bioma Cerrado, distribuídos em 109 municípios (SPINELLI-ARAÚJO et al., 2016).

Grande parte desse importante bioma se encontra atualmente ocupado com atividade agropecuária. Assim, há uma grande demanda para identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades potenciais e emergentes, com a finalidade de subsidiar a gestão do uso sustentavel da terra, mediante a utilização de tecnologias modernas de manejo e conservação de solos.

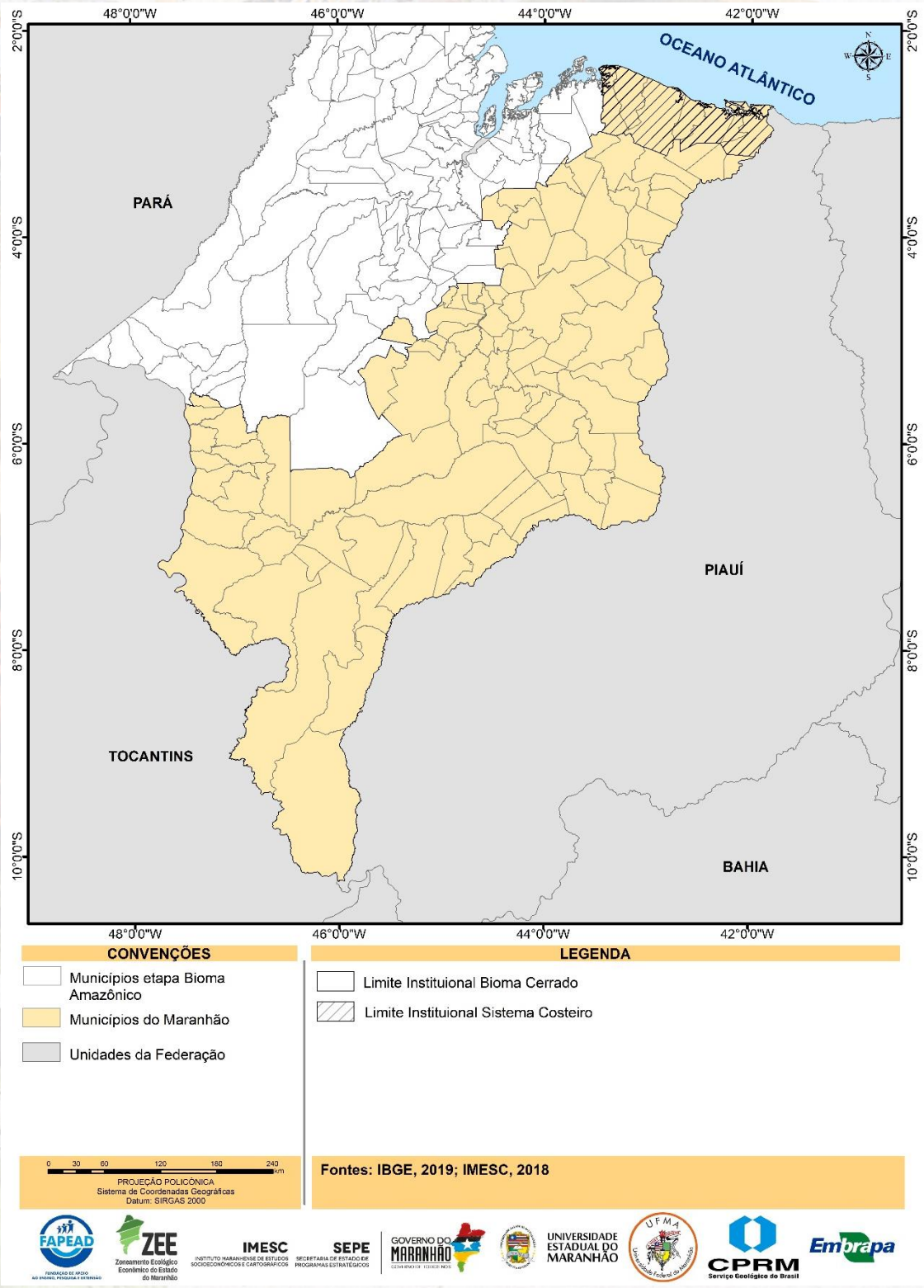
O **Zoneamento Ecológico-Econômico** dessa região é um importante instrumento que tem como objetivo atender essas demandas por meio da gestão de um processo de desenvolvimento sustentável. Esse estudo contém um amplo conjunto de resultados de pesquisa que servirão de indicadores para elaboração de ações estratégicas concretas por parte dos gestores estaduais e municipais, que visem solucionar os entraves identificados e assim promover de forma mais eficaz o desenvolvimento desejado.

Um dos temas importantes que servirão de subsídio à elaboração do referido zoneamento é o "Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras". Trata-se de um plano de ação, contemplado no projeto "Desenvolvimento de Estudos dos Recursos Naturais no Estado do Maranhão", que está sendo executado através do "Contrato de Cooperação Técnico-Científica" celebrado entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e a Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAPEAD) na condição de interveniente.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo contempla a porção oriental e centro sul do Estado do Maranhão, estando localizada entre as coordenadas 2º 20' 21" e 10º 16' 08" de latitude Sul e 41º 45' 03" e 47º 45' 56" de longitude Oeste. A área em análise corresponde ao Bioma Cerrado, que ocupa 64,1% do território maranhense, contemplando o território de 109 dos 217 municípios (SPINELLI-ARAÚJO et al., 2016) (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: ZEE (2021)

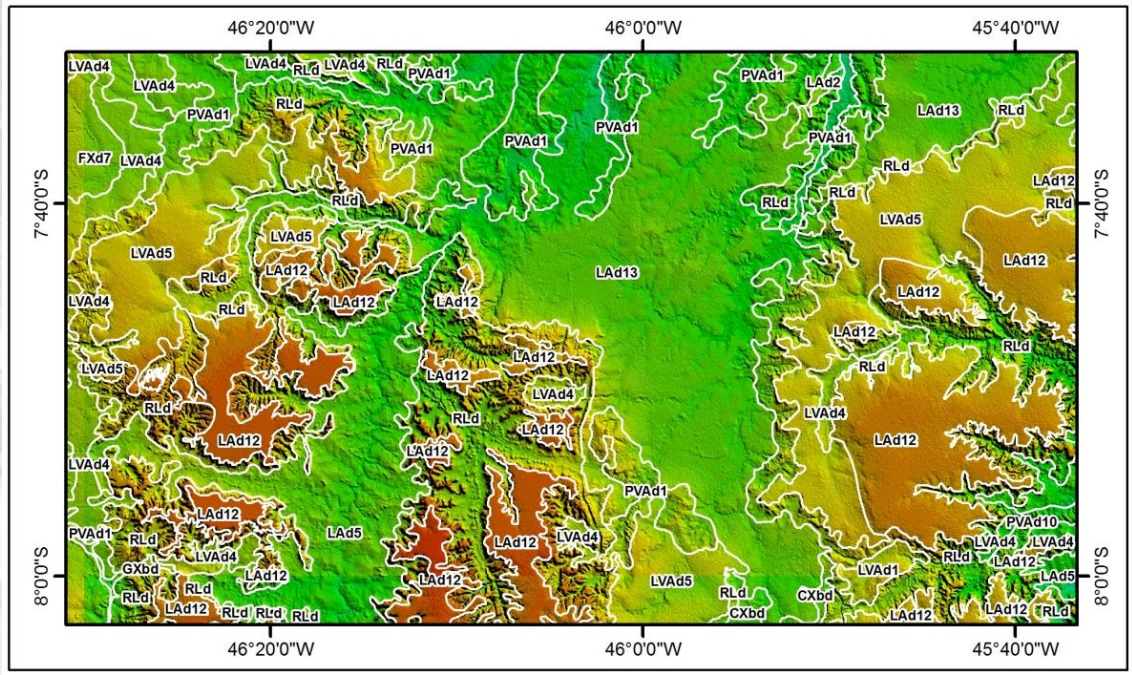
3 METODOLOGIA

3.1 Elaboração do mapa de solos

A execução do projeto constou de duas etapas principais: a) elaboração prévia do mapa de solos a partir de levantamento preexistente e pesquisa em campo para descrição de perfis e coleta de amostras de solos para análise laboratorial.

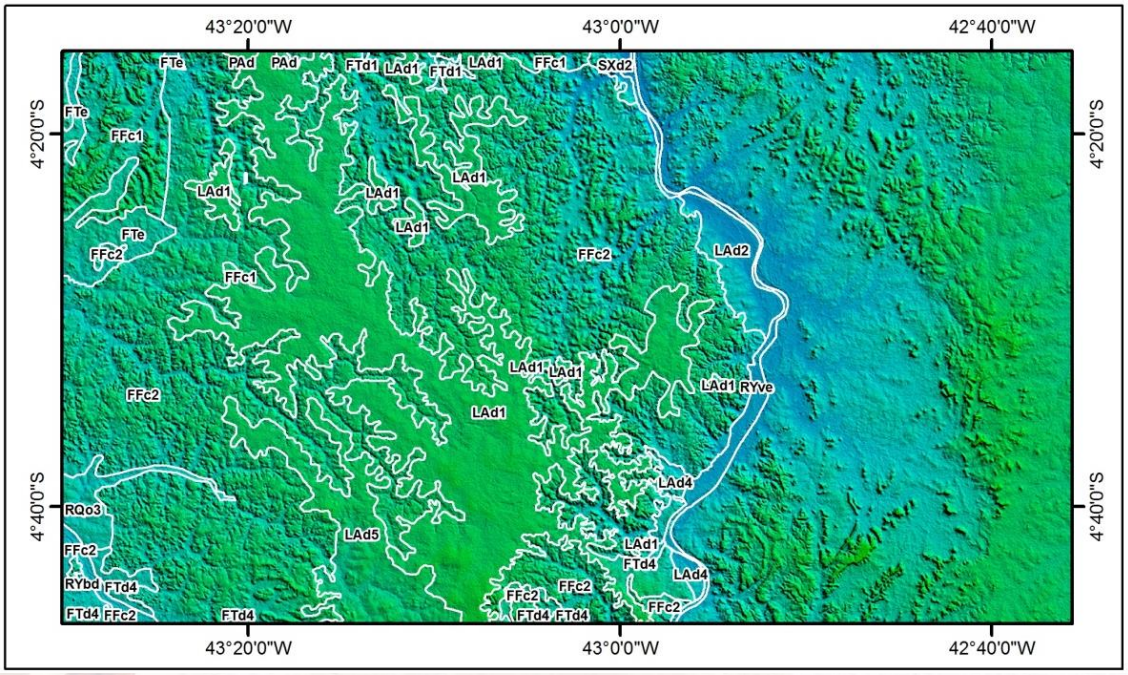
O mapa de solos foi elaborado com base nos resultados do banco de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para o detalhamento das unidades de mapeamento foram utilizadas as imagens de Radar do Projeto TOPODATA (INPE DSR, 2013), oriundas da interpolação por *Krigagem* de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), apresentando uma resolução de 30 metros, conforme demonstrado nos recortes das folhas SB.23-Y-D e SB.23-X-B (Figura 5.2 e 5.3). O referido mapa orientou a demarcação de pontos de coleta em campo, cujo levantamento permitiu a atualização das bases cartográficas já existentes e a elaboração do mapa final atualizado.

Figura 5.2 - Recorte da Imagem de Radar do Projeto TOPODATA da folha SB.23-Y-D



Fonte: INPE DSR (2013)

Figura 5.3 - Recorte da Imagem de Radar do Projeto TOPODATA da folha SB.23-X-B



Fonte: INPE DSR (2013)

Os trabalhos de campo foram realizados em áreas previamente selecionadas de acordo com os padrões geoambientais identificados nas imagens de radar. Nessas áreas foram feitas trincheiras (perfis e mini trincheiras) ou limpeza de cortes de estrada (barrancos) para descrição morfológica, classificação taxonômica preliminar e coleta de amostras de solos para análise em laboratório, de acordo com os procedimentos contidos no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015).

As análises físicas e químicas das amostras de solos foram realizadas no laboratório de análises de solos da Embrapa Amazônia Oriental de acordo com os métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solos (CLAESSEN, 1997).

A classificação taxonômica dos solos dominantes foi feita até o 4º nível categórico (subgrupo), com base nos atributos diagnósticos morfológicos (descrito em campo), físicos e químicos dos solos (determinados em laboratório) contidos no banco de dados do IBGE e nos resultados de trabalhos de campo realizados na área de estudo, de acordo com as normas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). Foram também incluídas na classificação taxonômica, as fases de relevo que qualificam as condições de declividade, importantes para análise dos graus de intensidade dos fatores limitantes de uso da terra como a suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização.

O mapa de solos foi elaborado na escala 1:250.000 enquadrando-se na modalidade de "Reconhecimento de Média Intensidade", utilizado para planejamento em grandes áreas, elaboração de projetos agrícolas ou definição de áreas para colonização, assim como, instalação de núcleos de estações experimentais (IBGE, 2015).

3.2 Elaboração do mapa de Aptidão Agrícola das Terras

A elaboração do mapa de aptidão agrícola das terras foi baseada na interpretação dos atributos diagnósticos dos solos conjuntamente com a análise do grau de intensidade dos fatores limitantes do uso da terra (deficiência de fertilidade; deficiência de água; excesso de água ou deficiência de oxigênio; suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização), de acordo com a metodologia proposta por Ramalho Filho & Beek (1995), em uso no Brasil. A interpretação dos resultados para definição do tipo de utilização preferencial das terras se baseia em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico com investimento de capital, utilização de resultados de pesquisa e uso de insumos modernos para manejo, melhoramento e conservação dos solos e das lavouras ou pastagens.

Para facilitar o entendimento por parte dos usuários, foi adotada a simbologia simplificada já em uso nos Estados do Pará e Amapá (VENTURIERI et al., 2010, 2016, 2017), como se descreve a seguir:

B/A – Terras que apresentam classe de aptidão BOA para agricultura.

R/A – Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para agricultura.

B/P – Terras que apresentam classe de aptidão BOA para pecuária.

R/P – Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para pecuária

N/R – Terras NÃO RECOMENDADAS para atividades agropecuárias.

4 RESULTADOS

4.1. Identificação e localização das amostragens de solos

Os resultados apresentados referem-se às atividades de escritório e de pesquisas de campo executadas no projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Cerrado no Estado do Maranhão-MA (ZEE Cerrado – MA, 2020 e 2021), Zoneamento Agropecuário do Maranhão (NUGEO/UEMA, 2020), “PROGRAMA + IDH” (NUGEO/UEMA, 2017) e diagnóstico da Bacia do Rio Itapecuru (CODEVASF, 2021), bem como em resultados de pesquisas publicados em estudos anteriores (EMBRAPA.SNLCS, 1986 e XIII RCC, 2019), totalizando 223 perfis e 95 Amostras Extras (Tabelas 5.1- 5.7), distribuídos dentro dos limites da área do bioma Cerrado (Figura 5.4).

Tabela 5.1 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto ZEE Cerrado – MA (2020 e 2021)

Identificação das Amostras	Local de coletas das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica Preliminar até o 2° nível categórico (Subordem)
Perfil - 1	Caxias	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 2	Caxias	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 3	Caxias	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 4	Caxias	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 5	Caxias	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 6	Caxias	ARGISSOLO AMARELO
Perfil - 7	Coelho Neto	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 8	Coelho Neto	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 9	Duque Bacelar	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil - 10	Buriti	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 11	Brejo	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil - 12	Brejo	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 13	Urbano Santos	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 14	São Benedito do Rio Preto	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 15	Jenipapo dos Vieiras	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 16	Jenipapo dos Vieiras	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 17	Barra do Corda	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 18	Barra do Corda	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 19	Tuntum	LATASSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 20	Tuntum	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 21	Lima Campos	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 22	Bernardo do Mearim	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 23	Trizidela do Vale	LUVISSOLO HÁPLICO
Perfil - 24	Trizidela do Vale	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil - 25	Santo Antônio dos Lopes	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 26	Capinzal do Norte	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil - 27	Codó	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 28	Codó	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 29	Codó	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil - 30	São João do Soter	ARGISSOLO ACINZENTADO
Perfil - 31	Peritoró	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 32	Peritoró	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil - 33	Coroatá	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 34	Alto Alegre do Maranhão	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil - 35	Cantanhede	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 36	Pirapemas	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 37	Tuntum	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 38	Governador Eugênio Barros	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 39	Fortuna	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 40	Fortuna	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 41	Buriti Bravo	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 42	Buriti Bravo	ARGISSOLO VERMELHO

Perfil - 43	Passagem Franca	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 44	Parnarama	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 45	São João do Soter	ARGILOSSOLO VERMELHO
Perfil - 46	São João do Soter	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 47	São João do Soter	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 48	Parnarama	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 49	Parnarama	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 50	Matões	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 51	Matões	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 52	Parnarama	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 53	Matões	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 54	Matões	NEOSSOLO LITÓLICO
Perfil - 55	Timon	CHERNOSSOLO RÊNDZICO
Perfil - 56	Timon	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 57	Timon	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 58	Caxias	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 59	Sucupira do Norte	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 60	Pastos Bons	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 61	Mirador	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 62	Sucupira do Norte	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 63	Pastos Bons	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 64	Sucupira do Norte	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil - 65	Mirador	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 66	São João dos Patos	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 67	São João dos Patos	CHERNOSSOLO HÁPLICO
Perfil - 68	São João dos Patos	LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO
Perfil - 69	São João dos Patos	CHERNOSSOLO HÁPLICO
Perfil - 70	São João dos Patos	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 71	Sucupira do Riachão	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil - 72	São João dos Patos	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 73	Paraibano	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 74	Paraibano	LATOSSOLO BRUNO
Perfil - 75	Paraibano	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 76	Passagem Franca	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil - 77	Barão de Grajaú	CAMBISSOLO FLÚVICO
Perfil - 78	Barão de Grajaú	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 79	Barão de Grajaú	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 80	São Francisco do Maranhão	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 81	São Félix de Balsas	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 82	São Félix de Balsas	NEOSSOLO LITÓLCO
Perfil - 83	São Félix de Balsas	LATOSSOLO AMARELO
Perfil - 84	Loreto	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 85	Loreto	LUVISSOLO PÁLICO
Perfil - 86	Loreto	CHERNOSSOLO EBÂNICO
Perfil - 87	Sambaíba	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 88	Sambaíba	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Perfil - 89	Formosa da Serra Negra	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 90	Fortaleza dos Nogueiras	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 91	Fortaleza dos Nogueiras	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 92	Fortaleza dos Nogueiras	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 93	Formosa da Serra Negra	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 94	Formosa da Serra Negra	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 95	Formosa da Serra Negra	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 96	Formosa da Serra Negra	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 97	Balsas	ARGISSOLO AMARELO
Perfil - 98	Sambaíba	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 99	Balsas	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 100	Balsas	LATOSSOLO BRUNO
Perfil - 101	Alto Parnaíba	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 102	Tasso Fragoso	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 103	Tasso Fragoso	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil - 104	Tasso Fragoso	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 105	Tasso Fragoso	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 106	Balsas	LATOSSÓLO VERMELHO-AMARELO
Perfil - 107	Carolina	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 108	Feira Nova do Maranhão	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 109	Carolina	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil - 110	Carolina	ARGILOSSOLO ACINZENTADO
Perfil - 111	Estreito	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil - 112	São João do Paraíso	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 113	São João do Paraíso	CHERNOSSOLO EBÂNICO
Perfil - 114	São João do Paraíso	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil - 115	Sítio Novo	ARGISSOLO AMARELO
Perfil - 116	Lajeado Novo	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil - 117	Sítio Novo	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil - 118	Montes Altos	ARGISSSOLO VERMELHO
Perfil - 119	Ribamar Fiquene	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil - 120	Davinópolis	ARGISSSOLO VERMELHO

Fonte: Registro de Pesquisa (2020 e 2021)

Tabela 5.2 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto Zoneamento Agropecuário do estado do Maranhão

Identificação das Amostras	Local de coletas das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica Preliminar até o 2° nível categórico (Subordem)
Perfil 1	Alto Parnaíba	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 2	Tasso Fragoso	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 3	Balsas	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 4	Balsas	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 5	Balsas	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 6	Balsas	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 7	Riachão	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 8	Carolina	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil 9	Carolina	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Perfil 10	Carolina	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 11	Carolina	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil 12	Barreirinhas	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 13	Sto. Amaro do Maranhão	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 14	Urbano Santos	NEOSSOLO QUARTAZRÊNICO
Perfil 15	Urbano Santos	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 16	Belágua	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 17	Anapurus	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 18	Chapadinha	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 19	Afonso Cunha	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 20	Coelho Neto	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil 21	Duque Bacelar	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil 22	Buriti	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 23	Milagres do Maranhão	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil 24	Santa Quitéria do Maranhão	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 25	Magalhães de Almeida	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 26	São Bernardo	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 28	Santana do Maranhão	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 29	Araioses	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 30	Araioses	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 31	Água Doce do Maranhão	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 32	Tutóia	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 33	Barra do Corda	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 34	Barra do Corda	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 35	Barra do Corda	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 36	Barra do Corda	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 37	São Roberto	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 38	São Raimundo do Doca Bezerra	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 39	São José dos Basílios	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 40	São José dos Basílios	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil 41	Joselândia	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 42	Esperantinópolis	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 43	Poção de Pedras	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 44	Lago dos Rodrigues	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 45	Paulo Ramos	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 46	Lago do Junco	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 47	Bom Lugar	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil 48	Lago da Pedra	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 49	Lago da Pedra	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO

Fonte: NUGEO/UEMA (2020)

Tabela 5.3 - Relação dos perfis coletados durante os trabalhos de campo do projeto +IDH

Identificação das Amostras	Local de coleta das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica de Campo até o 2° nível categórico
Perfil 09	Jenipapo dos Vieiras	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 12	Jenipapo dos Vieiras	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 17	Lagoa Grande do Maranhão	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 18	São Raimundo do Doca Bezerra	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 19	São Raimundo do Doca Bezerra	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 20	São Raimundo do Doca Bezerra	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 21	São Roberto	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
Perfil 22	São Roberto	ARGISSOLO AMARELO
Perfil 31	Santa Filomena do Maranhão	ARGISSOLO AMARELO

Fonte: NUGEO/UEMA (2017)

Tabela 5.4 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo do projeto Levantamento Exploratório – Reconhecimento do estado do Maranhão

Identificação das Amostras	Local de coletas das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica Preliminar até o 2° nível categórico (Subordem)
Perfil 2	Timon	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 4	Colinas	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 6	Barão de Grajáu	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 7	Brejo	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 8	Benedito Leite	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 10	Barra do Corda	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 36	Fortaleza dos Nogueiras	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil 49	Dom Pedro	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
Perfil 56	Timon	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
Perfil 57	São Francisco do Maranhão	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
Perfil 61	Dom Pedro	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
Perfil 70	Aldeias Altas	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
Perfil 78	Tuntum	ARGISSOLO VERMELHO
Perfil 81	Caxias	ARGISSOLO ACINZENTADO
Perfil 82	Caxias	ARGISSOLO ACINZENTADO
Perfil 83	Caxias	ARGISSOLO ACINZENTADO
Perfil 85	Balsas	ARGISSOLO ACINZENTADO
Perfil 86	Presidente Dutra	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 87	Chapadinha	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 92	Codó	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 99	Duque Bacelar	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 105	Colinas	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 122	Loreto	CHERNOSSOLO HÁPLICO
Perfil 125	São Francisco do Maranhão	CAMBISSOLO HÁPLICO
Perfil 127	São Raimundo das Mangabeiras	CAMBISSOLO HÁPLICO

Fonte: EMBRAPA.SNLCS (1986)

Tabela 5.5 - Relação das amostras extras (AE) coletadas durante o trabalho de campo do projeto Levantamento Exploratório – Reconhecimento do estado do Maranhão

Identificação das Amostras	Local de coles das amostras (Municípios)	Classificação taxonômica de Campo até o 2° nível categórico (Subordem)
AE – 05	Barra do Corda	LATOSSOLO AMARELO
AE – 09	São Domingos do Maranhão	LATOSSOLO AMARELO
AE – 11	São João dos Patos	LATOSSOLO AMARELO
AE – 12	Pastos Bons	LATOSSOLO AMARELO
AE – 14	Barra do Corda	LATOSSOLO AMARELO
AE – 15	Sucupira do Norte	LATOSSOLO AMARELO
AE – 16	Alto Parnaíba	LATOSSOLO AMARELO
AE – 17	Alto Parnaíba	LATOSSOLO AMARELO
AE – 18	Caxias	LATOSSOLO AMARELO
AE – 19	Pastos Bons	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 20	Balsas	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 21	Pastos Bons	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 22	Balsas	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 23	Joselândia	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 24	Riachão	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
AE – 25	Pastos Bons	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 26	Pastos Bons	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 27	Colinas	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 28	Barra do Corda	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 29	Mirador	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 30	Colinas	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 31	Balsas	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 32	Balsas	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 33	Estreito	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 34	Carolina	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 35	Alto Parnaíba	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 37	Porto Franco	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 38	Carolina	LATOSSOLO VERMELHO
AE – 41	Codó	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 42	Balsas	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 43	Balsas	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 46	Chapadinha	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 47	Brejo	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 50	Colinas	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 52	Timon	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 53	Timbiras	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 54	Codó	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 58	Caxias	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 59	Dom Pedro	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 60	Presidente Dutra	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 62	Coelho Neto	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO

AE – 63	São Domingos do Maranhão	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 64	Codó	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 69	Pedreiras	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 71	Pastos Bons	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 72	Buriti	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 73	Graça Aranha	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
AE – 75	Mirador	ARGISSOLO VERMELHO
AE – 76	São Francisco do Maranhão	ARGISSOLO VERMELHO
AE – 77	Governador Archer	ARGISSOLO VERMELHO
AE – 80	São Domingos do Maranhão	ARGISSOLO ACINZENDO
AE – 84	Caxias	ARGISSOLO ACINZENDO
AE – 88	Balsas	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 91	Carolina	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 93	Carolina	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 95	Timon	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 96	Buriti	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 97	Codó	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 100	Caxias	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 101	Presidente Dutra	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 103	Coroatá	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 104	Coelho Neto	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 106	Coroatá	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 111	Codó	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 113	Gonçalves Dias	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 119	Caxias	PLINTOSSOLO HÁPLICO
AE – 123	São Francisco do Maranhão	PLANOSSOLO HÁPLICO
AE – 124	Buriti	PLANOSSOLO HÁPLICO
AE – 126	Brejo	CAMBISSOLO HÁPLICO
AE – 128	Timon	CAMBISSOLO HÁPLICO
AE – 129	Dom Pedro	CAMBISSOLO HÁPLICO
AE – 130	Codó	CAMBISSOLO HÁPLICO
AE – 131	Codó	CAMBISSOLO HÁPLICO
AE – 133	Araioses	PLANOSSOLO HÁPLICO
AE – 134	Barreirinhas	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 135	Aldeias Altas	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 137	Timon	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 138	Pastos Bons	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 142	Coelho Neto	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 144	São Bernardo	GLEISSOLO HÁPLICO
AE – 148	Benedito Leite	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 149	Araioses	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 150	São Bernardo	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 151	Araioses	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 153	Santa Quitéria	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 154	Araioses	NEOSSOLO FLÚVICO
AE – 155	Codó	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

AE – 156	Codó	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 157	Balsas	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 158	Carolina	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 159	São Bernardo	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 160	Carolina	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 161	Timon	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 162	Barreirinhas	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO
AE – 163	Barreirinhas	NEOSSOLO HIDROMÓRFICO

Fonte: EMBRAPA.SNLCS (1986)

Tabela 5.6 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - MA

Identificação das Amostras	Local de coletas das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica Preliminar até o 2° nível categórico (Subordem)
Perfil 5	Paraibano	LUVISSOLO CRÔMICO
Perfil 6	Carolina	LATOSSOLO VERMELHO
Perfil 7	Campestre do Maranhão	NITOSSOLO VERMELHO
Perfil 8	Dom Pedro	LUVISSOLO HÁPLICO
Perfil 9	Presidente Dutra	VERTISSOLO HÁPLICO
Perfil 10	Balsas	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 11	São Raimundo das Mangabeiras	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 15	Brejo	ARGISSOLO AMARELO

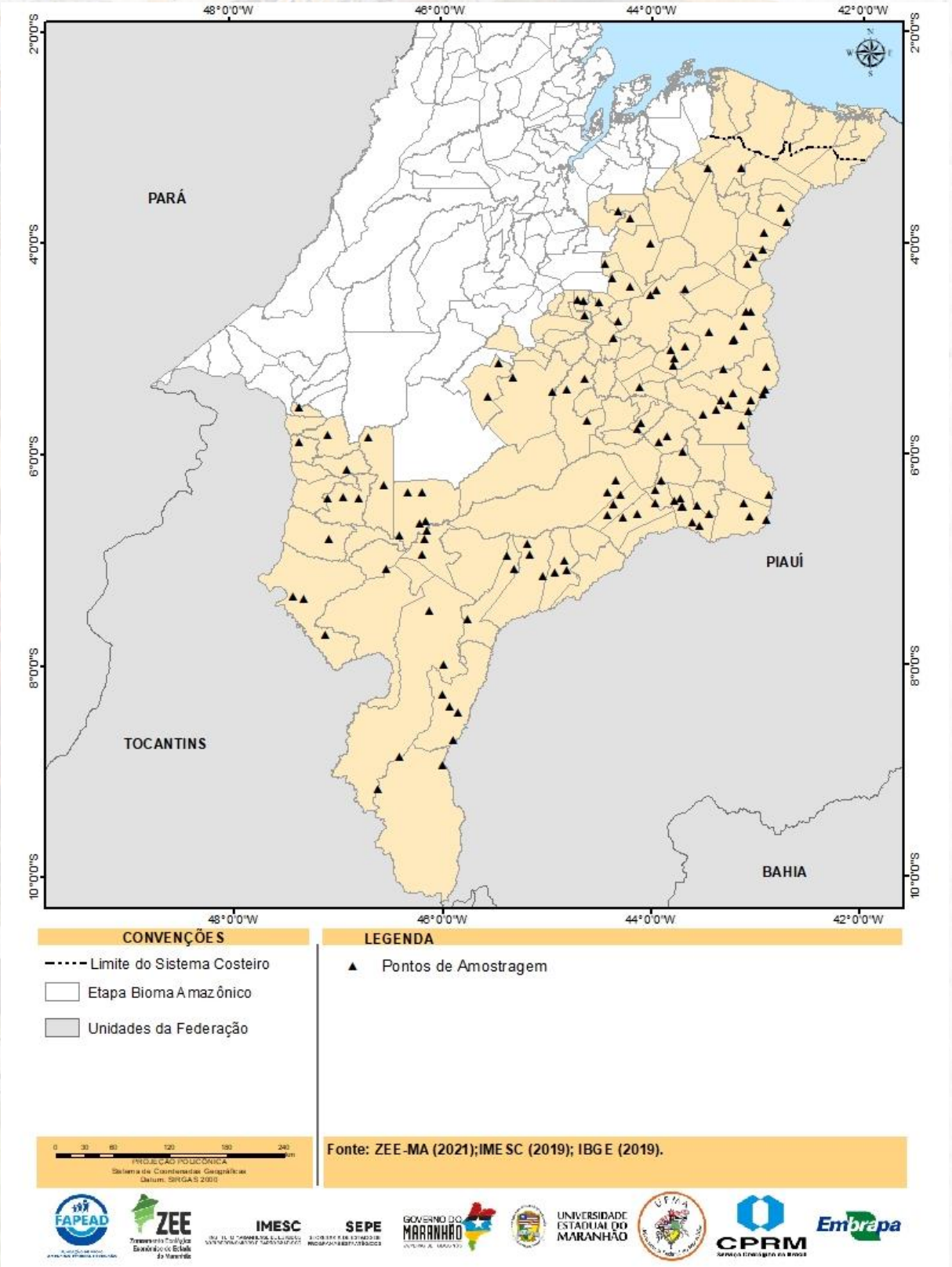
Fonte: XIII RCC (2019)

Tabela 5.7 - Relação dos perfis coletados durante o trabalho de campo do Diagnóstico da Bacia do Itapecuru (2021)

Identificação das Amostras	Local de coletas das amostras (Municípios)	Classificação Taxonômica Preliminar até o 2° nível categórico (Subordem)
Perfil 1	Buriti Bravo	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 2	Lagoa do Mato	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 3	Buriti Bravo	LATOSSOLO BRUNO
Perfil 4	Buriti Bravo	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
Perfil 5	Governador Eugênio Barros	PLINTOSSOLO HÁPLICO
Perfil 6	Gonçalves Dias	PLINTOSSOLO PÉTRICO
Perfil 7	Matões	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 8	São João do Soter	LATOSSOLO AMARELO
Perfil 9	Caxias	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO
Perfil 10	Caxias	PLINTOSSOLO PÉTRICO

Fonte: NUGEO/UEMA (2021)

Figura 5.4 - Mapa de localização das amostragens de solos

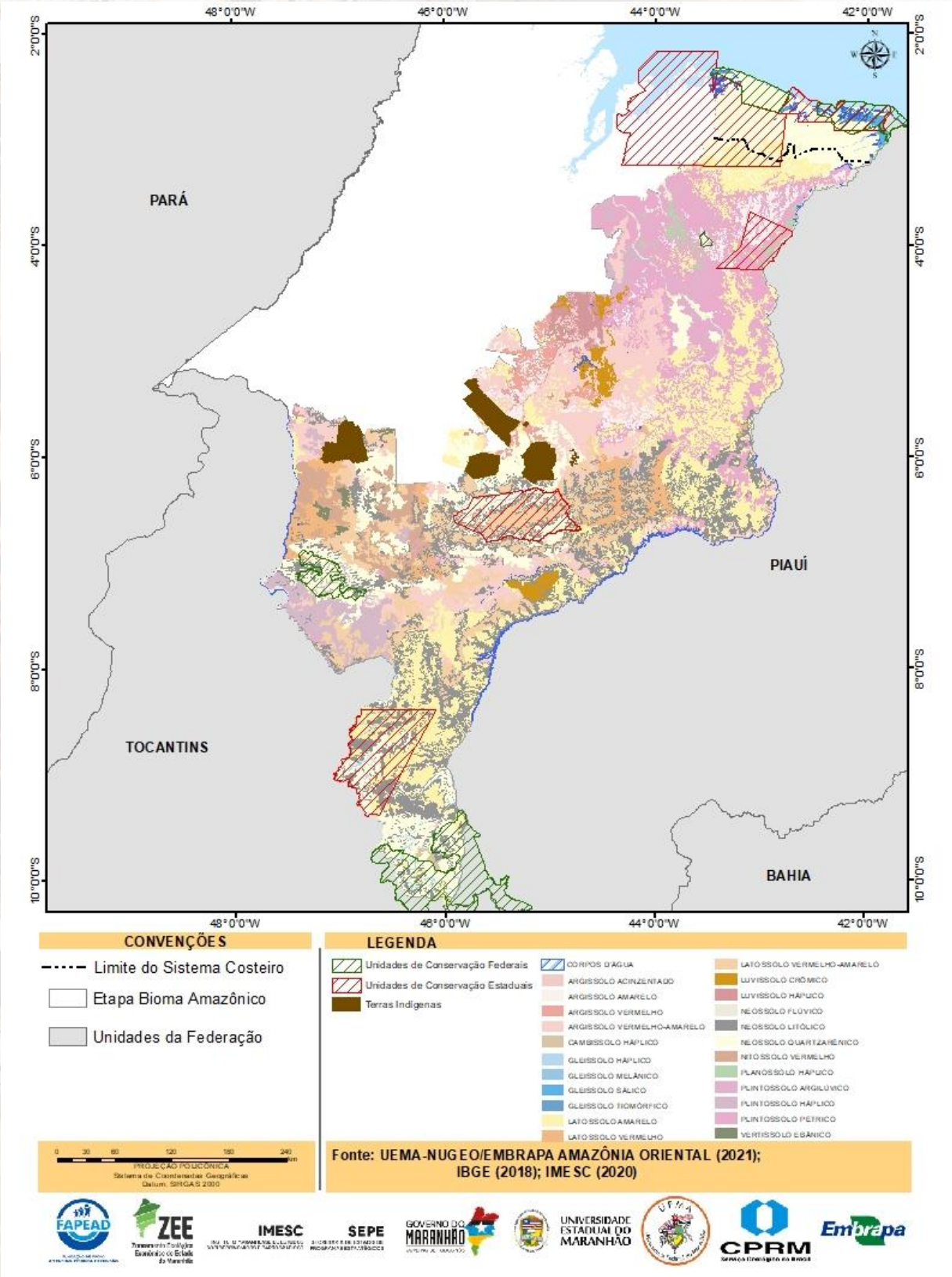


Fonte: FUNAI,2020

4.2. Mapeamento das Classes de Solos Dominantes

O mapeamento das classes de solos dominantes abrange uma área de 174.510,36 km² do Bioma Cerrado no estado do Maranhão, contendo 2.561 polígonos distribuídos em 112 unidades de mapeamento (Figura 5.1 e Apêndice 1). De acordo com as normas técnicas (SANTOS et al., 2018), as classes dos solos dominantes estão representadas por convenção de cores nos sistemas RGB, CMYK ou HSV, até o segundo nível categórico de classificação taxonômica (Figura 5.5).

Figura 5.5 - Mapeamento das classes de solos dominantes do Bioma Cerrado, estado do Maranhão



Fonte: FUNAI,2020

4.3 Quantificação e representação gráfica das classes de solos dominantes

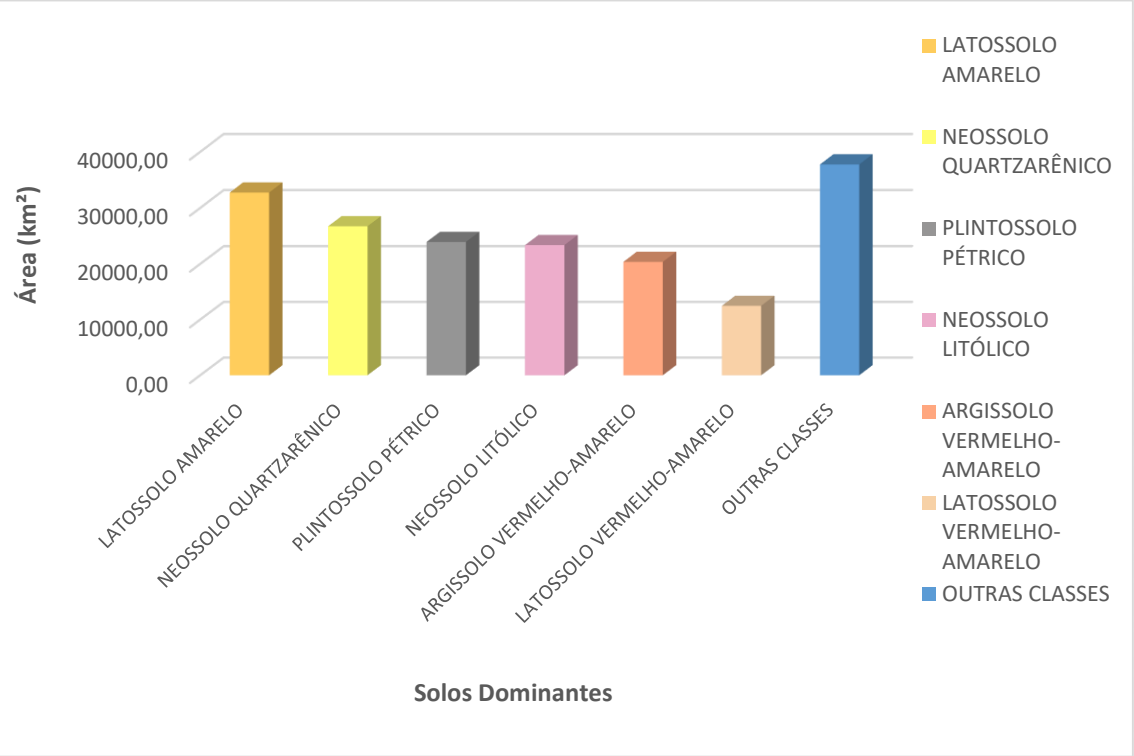
Os solos dominantes na área mapeada estão distribuídos em 112 unidades de mapeamento (Apêndice 1). As principais classes de solos dominantes são: LATOSSOLO AMARELO, NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, PLINTOSSOLO PÉTRICO, NEOSSOLO LITÓLICO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO que somam 134.923,3km². As demais classes mapeadas (NITOSSOLO VERMELHO, PLINTOSSOLO HÁPLICO, ARGISSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, LUVISSOLO CRÔMICO, PLINTOSSOLO ARGILÚVICO, LUVISSOLO HÁPLICO, ARGISSOLO VERMELHO, NEOSSOLO FLÚVICO, PLANOSSOLO HÁPLICO, VERTISSOLO EBÂNICO, GLEISSOLO HÁPLICO, GLEISSOLO TIOMÓRFICO, GLEISSOLO SÁLICO, CAMBISSOLO HÁPLICO, ARGISSOLO ACINZENTADO e GLEISSOLO MELÂNICO) somam 39.587,01 km², áreas que representam 77,32% e 22,68% da área total mapeada, respectivamente (Tabela 5.8 e Figura 5.6).

Tabela 5.8 - Quantificação das classes de solos dominantes na área mapeada até o 2° nível categórico de classificação (Subordens)

Símbolo das Unidades de Mapeamento	Classificação taxonômica dos solos (Subordens)	Área Mapeada (km²)
PAC	ARGISSOLO ACINZENTADO	163,461
PA	ARGISSOLO AMARELO	5.425,53
PV	ARGISSOLO VERMELHO	2.211,80
PVA	**ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**	**18.508,69**
CX	CAMBISSOLO HÁPLICO	175,60
GX	GLEISSOLO HÁPLICO	549,94
GM	GLEISSOLO MELÂNICO	21,66
GZ	GLEISSOLO SÁLICO	398,52
GJ	GLEISSOLO TIOMÓRFICO	527,75
LA	**LATOSSOLO AMARELO**	**33.235,88**
LV	LATOSSOLO VERMELHO	4.224,46
LVA	**LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO**	**11.772,12**
TC	LUVISSOLO CRÔMICO	3.764,34
TX	LUVISSOLO HÁPLICO	2.431,45
RY	NEOSSOLO FLÚVICO	1.621,18
RL	**NEOSSOLO LITÓLICO**	**22.778,14**
RQ	**NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**	**24.737,75**
NV	NITOSSOLO VERMELHO	6.632,95
SX	PLANOSSOLO HÁPLICO	972,95
FT	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO	3.520,72
FX	PLINTOSSOLO HÁPLICO	6.351,92
FF	**PLINTOSSOLO PÉTRICO**	**23.890,77**
VE	VERTISSOLO EBÂNICO	592,78
TOTAL		**174.267,39**

Fonte: Registro de pesquisa (2021)

Figura 5.6 - Representação gráfica das classes de solos dominantes (subordem) da área mapeada do Bioma Cerrado, estado do Maranhão



Fonte: Registro de pesquisa (2021)

4.4 Conceituação das Classes de Solos Dominantes

4.4.1 Argissolos

São grupamentos de solos minerais, profundos, bem drenados, tendo como principal característica um acentuado aumento do conteúdo de argila do horizonte superficial “A” para o subsuperficial “B”, evidenciando o horizonte diagnóstico B textural (Bt), podendo ou não apresentar cerosidade.

A nomenclatura das classes de textura desses solos é sempre do tipo binária, arenosa/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa. Quando a diferença do conteúdo de argila do horizonte “A” para o “B” é muito acentuada (abrupta) a nomenclatura das classes de textura é arenosa/argilosa ou média/muito argilosa. Comumente apresentam adensamento de partículas na profundidade de 30 a 70 cm da superfície do solo, o que é verificado pela resistência à penetração da faca pedológica, caracterizando o caráter coeso (SANTOS et al., 2018).

Os argissolos apresentam horizontes genéticos dispostos na sequência A, Bt (B textural) e C. Normalmente, estes solos possuem muito baixo nível de fertilidade química natural. No entanto, ocorrem também, em menor proporção solos com elevada fertilidade química natural, apresentando saturação

por bases trocáveis acima de 50%, o que caracteriza solos eutróficos. Os solos pertencentes a este grupamento, de modo geral, podem ser encontrados em áreas com relevo plano, suavemente ondulado, ondulado ou até fortemente ondulado, o que interfere grandemente na definição da sua classe de aptidão agrícola.

Na área estudada, estão identificadas as CLASSES ARGISSOLO ACINZENTADO, ARGISSOLO AMARELO, ARGISSOLO VERMELHO E ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. Estão representadas no mapa de solos pelos símbolos PAC (Figura 5.7), PA, PV (Figura 5.8) e PVA (Figura 5.9). Diferenciam-se morfologicamente uma das outras, basicamente, pela cor dominante definida no perfil do solo.

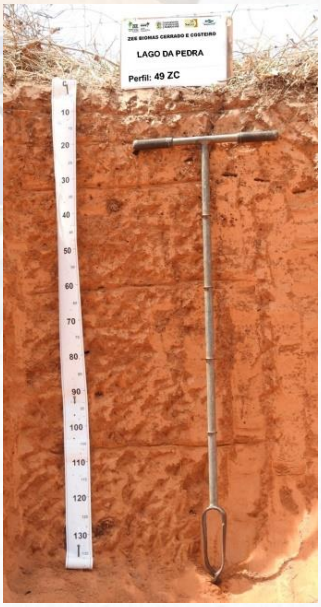
Figura 5.7 - Argissolo Acinzentado

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.8 - Argissolo Vermelho

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.9 - Argissolo Vermelho-amarelo



Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.2. Cambissolos

Os Cambissolos são solos minerais que devido à grande heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo onde ocorrem e das condições climáticas, apresentam características muito variáveis de um local para outro. Todavia, uma condição necessária para a classificação taxonômica dos Cambissolo é a presença do horizonte subsuperficial diagnóstico “B” incipiente (Bi).

O horizonte B incipiente (Bi) caracteriza-se pelo grau de alteração física e química não muito avançado, porém, suficiente para desenvolvimento de cor e estrutura, e no qual mais da metade do seu volume não deve consistir em estrutura da rocha original. Na área estudada, foi identificada a classe Cambissolo Háplico (Figura 5.10).

Figura 5.10 - Cambissolo Háplico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.3. Gleissolos

São solos minerais hidromórficos, mal drenados, desenvolvidos de sedimentos recentes, sob forte influência do lençol freático. Apresentam forte gleização, evidenciada por cores acinzentadas e azuladas, com muitos mosqueados decorrentes do processo de oxirredução. Apresentam-se pouco desenvolvidos, mediamente profundos, com horizontes dispostos na sequência A e Cg, ou A, Bg e Cg - Gleissolo Háplico.

Nesses solos, a textura é predominantemente argilo-siltosa com valores altos de silte e argila, devido à constante sedimentação de materiais finos que são conduzidos em suspensão pelos rios. Eles são encontrados em planícies aluviais sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea e estão sujeitos a regimes de inundação frequente. Estes solos apresentam grande variação em decorrência da natureza do material de que são originados, podendo, por conseguinte, serem eutróficos

ou distróficos e com elevada ou baixa saturação de alumínio (SANTOS et al., 2018). Normalmente, encontram-se associados aos Neossolos Flúvicos que apresentam níveis de fertilidade semelhante.

Na área mapeada estão identificadas as classes Gleissolo Tiomórfico, Gleissolo Háplico e Gleissolo Sálico, representadas no mapa de solos pelos símbolos GJ, GX e GZ. Os Gleissolos Tiomórficos são formados por materiais organo-minerais e apresentam propriedades físico-químicas ainda mais diferentes dos outros Gleissolos. São solos com horizontes sulfúrico e/ou sulfídrico que se formam sob forte influência das águas salinas (VALENTE et al., 1999). São encontrados na região costeira do Estado nas áreas conhecidas regionalmente como manguezais. Ferreira (1989), citado por Mello et al. (1995), descreve o manguezal como um importante ecossistema, cuja estrutura oferece grande número de nichos ecológicos para espécies de importância econômica como: peixes, crustáceos e moluscos que encontram nesse ambiente um local de alimentação, reprodução, desova, crescimento e proteção contra inúmeros predadores.

4.4.4 Latossolos

São solos minerais profundos e muito profundos, bem drenados que apresentam como principal característica o horizonte diagnóstico subsuperficial “B” latossólico (Bw). O horizonte B latossólico apresenta avançado estágio de intemperização com alteração completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo. Em geral, é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila 1:1 (caulinita), quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo com predominância de qualquer um deles.

Os latossolos apresentam horizontes genéticos dispostos na sequência A, Bw (B latossólico) e C. De modo geral, apresentam baixo nível de fertilidade química natural com pH fortemente ácido, elevados teores de alumínio trocável, elevada saturação com alumínio, baixa saturação por bases trocáveis, baixa capacidade de troca de cátions e baixíssimos teores de fósforo assimilável. Os solos pertencentes a este grupamento podem ser encontrados em áreas com relevo plano e suavemente ondulado, o que interfere na definição da sua classe de aptidão agrícola.

Na área estudada estão identificadas as classes Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo representadas no mapa de solos pelos símbolos LA (Figura 5.11), LV (Figura 5.12) e LVA (Figura 5.13). No campo estas classes são identificadas por apresentar cor dominante no perfil nos matizes 10YR e 7,5YR, para os Latossolos Amarelos, 2,5YR e 10R, para os Latossolos Vermelhos e 7,5YR e 5YR, para os Latossolos Vermelhos-Amarelos.

Figura 5.11 - Latossolo Amarelo

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.12 - Latossolo Vermelho

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.13 - Latossolo Vermelho-amarelo

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.5 Luvissolos

São solos minerais, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou E. Estes solos variam de bem a imperfeitamente drenados sendo, normalmente, pouco profundos, com sequência de horizontes genéticos do tipo A, Bt e C, e nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt, devido ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles.

A transição para o horizonte B textural é clara ou abrupta e grande parte dos solos desta classe, possuem mudanças textural abrupta. Estes solos podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e caráter solódico ou sódico na parte subsuperficial (SANTOS et al., 2018). São moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com teores de alumínio extraível baixo ou nulo e com valores elevados para a relação molecular Ki no horizonte Bt, normalmente entre 2,4 e 4,0, denotando presença em quantidade variável, mas expressiva, de argilominerais do tipo 2:1 (SANTOS et al., 2018). Na área de estudo estão identificadas as classes Luvissolo Crômico e Luvissolo Háplico representadas no mapa preliminar pelos símbolos TC (Figura 5.14) e TX (Figura 5.15).

Figura 5.14 - Luvissolo Crômico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.15 - Luvissolo Háplico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.6 Neossolos

Os neossolos são solos pouco desenvolvidos, rasos ou pouco profundos, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Neste grupamento ocorrem solos com características físico-químicas extremamente diferentes, em decorrência da natureza do material de que são originados. Na área estudada estão identificadas as classes NEOSSOLO FLÚVICO, NEOSSOLO LITÓLICO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, representadas no mapa preliminar pelos símbolos RY, RL e RQ, respectivamente.

Os NEOSSOLOS FLÚVICOS são desenvolvidos sob forte influência do lençol freático próximo à superfície, sendo oriundos da deposição de sedimentos aluviais de natureza muito variável, constituindo camadas sem relação pedogenética entre si. Estes solos são hidromórficos, rasos ou pouco profundos, com textura variável, normalmente, com dominância da fração silte, com nível de fertilidade natural baixo ou alto, ocorrendo em relevo plano, margeando os cursos d'água com vegetação de floresta de várzea, normalmente associados aos GLEISSOLOS.

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS (Figura 5.16) apresentam horizonte A com menos de 40cm de espessura diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm, que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo (SANTOS et al., 2018).

Os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (Figura 5.17) são solos minerais, profundos, hidromórficos ou não hidromórficos, que apresentam classe de textura arenosa, essencialmente quartzosos, com sequência de horizontes A e C.

Figura 5.16 - Neossolo Litólico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.17 - Neossolo Quartzarênico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.7 Nitossolos

São solos minerais, profundos, bem drenados, com pequena diferenciação entre os horizontes, desenvolvidos a partir da intemperização de rochas eruptivas básicas (basaltos e diabásios), nos quais predominam as cores nos matizes 2,5YR ou 10R (OLIVEIRA et al., 1992; SANTOS et al., 2018; VIEIRA, 1993) e são bem estruturados, de textura argilosa e muito argilosa. Uma das características para reconhecimento deste grupamento no campo vai, além da cor, os blocos arredondados de diabásio, a estrutura fortemente desenvolvida com cerosidade e a forte atração das partículas do solo pelo ímã.

Quimicamente são solos muito ricos em termos de fertilidade química natural, identificados como solos eutróficos, com saturação por bases trocáveis (V%) muito alta (superior a 50%) e baixa acidez com pH normalmente próximo de 6,5. No entanto, podem ocorrer também solos com baixa fertilidade química natural, identificados como solos distróficos. Ocorrem mais frequentemente em relevo ondulado, sendo também encontrados em relevo forte ondulado. Na área estudada está identificada a classe NITOSSOLO VERMELHO (Figura 5.18), representada no mapa de solos pelo símbolo NV.

Figura 5.18 - Nitossolo Vermelho

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.8. Planossolos

São grupamentos de solos minerais com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (Álbico ou não). Apresentam desargilização vigorosa da parte mais superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial. Essa desargilização intensa é evidenciada pela nítida diferenciação entre o horizonte B Plânico e os horizontes precedentes A ou E, com mudança textural abrupta ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do horizonte A ou E para o B (SANTOS et al., 2018).

Compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura arenosa, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte Pã responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspenso), de existência periódica e presença variada durante o ano. O horizonte B desta classe possui estrutura forte, grande em blocos angulares, frequentemente com aspecto cúbico ou estrutura prismática ou colunar, pelo menos na parte superior do referido horizonte (SANTOS et al., 2018).

Os solos dessa classe ocorrem com frequência em área de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem excesso de água periodicamente, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada e até mesmo sob condições de clima semiárido. Na área estudada está identificada a classe PLANOSSOLO HÁPLICO representado no mapa preliminar pelo símbolo SX.

4.4.9 Plintossolos

São solos minerais que se caracterizam, principalmente, por possuírem o horizonte diagnóstico subsuperficial “B” plintossólico (Bf). O horizonte plintossólico é reconhecido pela presença de plintita em quantidades que ocupe no mínimo 15% do volume do horizonte, e que tenha15 centímetros de espessura com arranjamento de cores vermelhas e acinzentadas, ou brancas com muitos mosqueados. A plintita é constituída por uma mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro, ou ferro e alumínio com quartzo e outros materiais. No solo úmido a plintita apresenta-se macia, suportando amassamento moderado entre os dedos polegar e indicador, podendo ser facilmente cortada com a faca pedológica (SANTOS et al., 2018). Na área mapeada, estão identificadas as classes PLINTOSSOLO ARGILÚVICO (Figura 5.19), PLINTOSSOLO HÁPLICO (Figura 5.20) e PLINTOSSOLO PÉTRICO (Figura 5.21), representadas no mapa de solos pelos símbolos FT, FX e FF, respectivamente.

O PLINTOSSOLO PÉTRICO caracteriza-se por apresentar material grosseiro (com predominância de petroplintita) do tipo nódulos ou concreções de ferro ou de ferro e alumínio com sequência de horizontes genéticos do tipo Ac, Ec, Bc ou Cc.

O PLINTOSSOLO ARGILÚVICO caracteriza-se por apresentar o caráter argilúvico, que é usado para distinguir solos que têm concentração expressiva de argila no horizonte B, com relação textural (B/A) igual ou maior que 1,4 (SANTOS et al., 2018).

O PLINTOSSOLO HÁPLICO diferencia-se por não apresentar nenhuma das características identificadas nas classes anteriores.

Figura 5.19 - Plintossolo Argilúvico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.20 - Plintossolo Háplico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

Figura 5.21 - Plintossolo Pétrico

Fonte: Registro de Pesquisa (2021)

4.4.10 Vertissolos

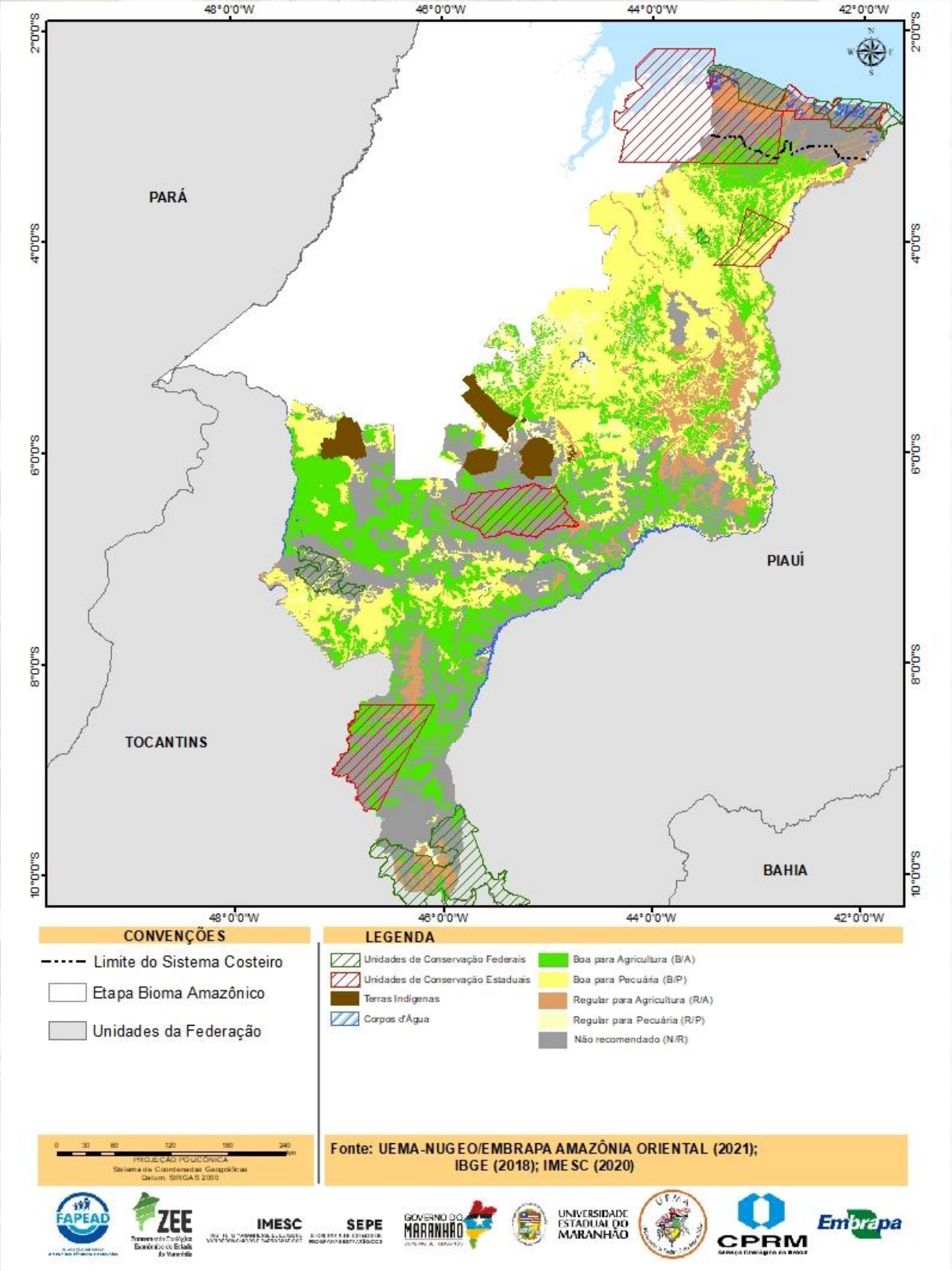
Compreendem solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, insuficiente para caracterizar um horizonte B textural apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca e evidências de movimentação da massa do solo sob a forma de superfícies de fricção (*slickensides*) (CURI et al., 1993). Essas características resultam da grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha quando seca e se expande quando úmida. São de consistência muito plástica e muito pegajosa devido à presença comum de argilas expansíveis ou mistura destas com outros argilominerais (SANTOS et al., 2018).

4.5 Aptidão Agrícola das terras

4.5.1 Representação Cartográfica das Classes de Aptidão Agrícola das Terras

De acordo com as normas técnicas em uso no Brasil, segundo Ramalho Filho e Beek (1995), as classes de aptidão agrícola são representadas por convenção de cores (Figura 5.22).

Figura 5.22 - Representação cartográfica das classes de aptidão agrícola das terras do Bioma Cerrado no estado do Maranhão



Fonte: ZEE (2021)

4.5.2 Quantificação e Representação Gráfica das Classes de Aptidão Agrícola das Terras

Os resultados contidos na Tabela 5.9 e representados na Figura 5.23 mostram que 50.201,78 km² (28,77%) da área mapeada do Bioma Cerrado apresentam classe de aptidão B/A (Terras que apresentam classe de aptidão BOA para agricultura), 16.255,84 km² (9,32%) apresentam classe de aptidão R/A (Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para agricultura), 55.446,08 km² (31,77%) apresentam classe de aptidão B/P (Terras que apresentam classe de aptidão BOA para pecuária), 12.903,19 km² (7,39%) apresentam classe de aptidão R/P (Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para pecuária) e 39.703,47 km² (22,75%) apresentam classe de aptidão N/R (Terras NÃO RECOMENDADAS para uso agropecuário).

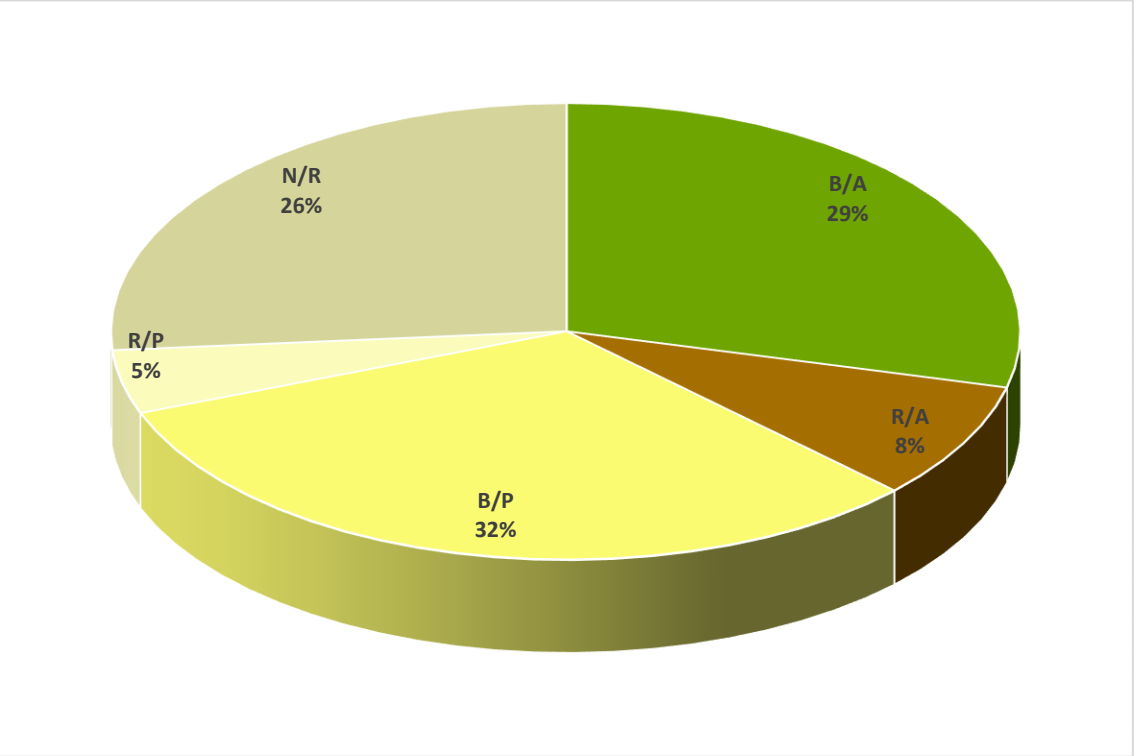
Tabela 5.9 -Quantificação das classes de aptidão agrícola das terras da área mapeada no Bioma Cerrado no estado do Maranhão

Símbolo das classes de aptidão agrícola	Classes de aptidão agrícola das terras (Indicação de uso preferencial)	Área mapeada (km²)	%
B/A	Terras que apresentam classe de aptidão BOA para agricultura	50.201,78	28,77
R/A	Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para agricultura	16.255,84	9,32
B/P	Terras que apresentam classe de aptidão BOA para pecuária	55.446,08	31,77
R/P	Terras que apresentam classe de aptidão REGULAR para pecuária	12.903,19	7,39
N/R	Terras NÃO RECOMENDADAS para uso agropecuário*	39.703,47	22,75
TOTAL		174.510,36	100,00

* Terras que apresentam fortes restrições para utilização. Devem ser destinadas, preferencialmente, à preservação ambiental

Fonte: Registro de pesquisa (2021)

Figura 5.23 - Representação gráfica das classes de aptidão agrícola das terras mapeadas no Bioma Cerrado do estado do Maranhão



Fonte: Registro de pesquisa (2021)

4.5.3 Conceituação das Classes de Aptidão Agrícola das Terras

4.5.3.1 Classe de aptidão BOA para agricultura (B/A)

Incluem-se nesta classe as áreas de terra firme que apresentam relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado, solos profundos, bem drenados e textura média, argilosa ou muito argilosa. Os solos que apresentam essas características estão incluídos nas classes dos ARGISSOLOS AMARELOS DISTROCOESOS, ARGISSOLOS AMARELOS DISTRÓFICOS, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS EUTRÓFICOS, LATOSSOLOS AMARELOS DISTRÓFICOS E LATOSSOLOS VERMELHOS DISTRÓFICOS.

Na avaliação do grau de intensidade dos fatores limitantes do uso da terra, constata-se que apesar do baixo nível de fertilidade química natural, esses solos apresentam boas propriedades físicas, o que possibilita sua utilização em atividades agrícolas. Apresentam poucas limitações ao uso de máquinas e implementos agrícolas e pouca suscetibilidade à erosão, com potencialidade de produção econômica com culturas de ciclo curto ou longo adaptadas às condições climáticas da região onde ocorrem. O uso sustentável dessas áreas requer a utilização de insumos agrícolas e emprego de

tecnologias adequadas para manejo e conservação, bem como, sistemas de produção capazes de melhorar as condições do solo e aumentar a produtividades das culturas.

4.5.3.2 Classe de aptidão REGULAR para agricultura (R/A)

Incluem-se nesta classe as áreas de terra firme que apresentam, predominantemente, relevo suavemente ondulado, solos profundos, bem drenados, com textura arenosa/média ou somente média, mas com outras características como caráter plíntico, textura cascalhenta e estejam associados a outros solos, mesmo que ocorram em relevo plano, mas que apresentam características físicas indesejáveis. Os solos que apresentam essas características estão incluídos nas classes dos solos LATOSSOLO AMARELO, ARGISSOLO AMARELO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

Na avaliação do grau de intensidade dos fatores limitantes do uso da terra, constata-se que, além das propriedades químicas, os solos apresentam outras limitações de caráter físico que os excluem da classe BOA. Mesmo assim, ainda podem ser utilizados na agricultura. Apresentam limitações moderadas ao uso de máquina e implementos agrícolas, como também, moderados riscos de suscetibilidade à erosão. O uso sustentável dessas áreas com cultura de ciclo curto ou longo, requer cuidados mais intensos para conservação dos ecossistemas que são, via de regra, um pouco mais frágeis.

4.5.3.3 Classe de aptidão BOA para pecuária (B/P)

Incluem-se nesta classe de aptidão as áreas que apresentam restrições à utilização com lavouras, principalmente com culturas de ciclo curto nas quais o uso de máquinas e implementos agrícolas está presente em praticamente todas as fases do processo produtivo.

Os solos que apresentam aptidão BOA para pecuária estão incluídos, principalmente, nas classes ARGISSOLO ACINZENTADO, ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO, LUVISSOLO CRÔMICO, LUVISSOLO PÁLICO E PLINTOSSOLO PÉTRICO. Esses solos podem ocorrer em áreas com relevo, predominantemente, suave ondulado e ondulado, com textura muito variável, com ou sem cascalho e, em sua maioria, de baixa fertilidade química.

Na avaliação da aptidão agrícola, constata-se que os fatores limitantes do uso da terra apresentam grau de intensidade moderado ou forte que estão presentes nas classes de solos de forma conjunta, de tal modo que a indicação dessas áreas para utilização com lavoura está praticamente excluída, devendo ser, preferencialmente, destinadas à atividade pecuária.

4.5.3.4 Classe de aptidão REGULAR para pecuária (R/P)

Incluem-se nesta classe de aptidão as áreas que apresentam grau moderado a forte de restrições à utilização com lavoura. Apresentam ainda, algumas limitações para utilização na pecuária.

Os solos que apresentam aptidão regular para a pecuária estão incluídos nas classes dos ARGISSOLOS VERMELHO EUTRÓFICO, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO, LUVISSOLO CRÔMICO, LUVISSOLO HÁPLICO, NEOSSOLO FLÚVICO TA EUTRÓFICO E PLANOSSOLO HÁPLICO DISTRÓFICO. Esses solos apresentam limitações à utilização da terra com agricultura, de tal maneira, que a única atividade para essas áreas, mesmo com restrições, é a pecuária.

Apesar da indicação como aptidão REGULAR para pecuária, grande parte dos solos nessa classe apresenta potencial ao desenvolvimento da agricultura familiar, uma vez que as culturas dominantes nas áreas de produção são a mandioca e o feijão (que são adaptadas às áreas com baixos teores de nutrientes e podem ser cultivados em solos com pedregosidade moderada), o milho (que pode ser cultivado em áreas com teores médios de nutrientes, ainda que haja limitações físicas e irregularidades no relevo) e o arroz (que pode ser cultivado em áreas com drenagem imperfeita).

4.5.3.5 Classe de aptidão NÃO RECOMENDADA para atividades agropecuárias (N/R)

Incluem-se, nesta classe, as áreas que apresentam ecossistemas muito frágeis e com fortes restrições ao uso agropecuário. Devem ser destinadas preferencialmente à preservação ambiental. Essas áreas devem ser indicadas para proteção da flora e da fauna e estudos científicos da biodiversidade. As áreas com esta classe de aptidão correspondem aos solos muito arenosos, com cobertura vegetal de cerrado e solos hidromórficos com vegetação de mangue, formados por sedimentos recentes, não consolidados, classificados como GLEISSOLOS TIOMÓRFICOS.

As áreas de relevo fortemente ondulado com graus de limitação muito forte para os fatores de suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização, onde normalmente estão concentradas as cabeceiras de drenagens, devem ser destinadas à preservação ambiental.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados nos mapas de solos e aptidão agrícola das terras, excluindo-se todas as restrições de natureza jurídica e/ou ambiental, pode-se concluir que:

a) Os solos de maior extensão e de maior importância agropecuária dentro dos limites da área mapeada do Bioma Cerrado do estado do Maranhão pertencem às seguintes classes (subordens): Latossolo Amarelo (33.235,88 km²), Neossolo Quartzarênico (24.737,75 km²), Plintossolo Pétrico (23.890,77 km²), Neossolo Litólico (22.778,14 km²), Argissolo Vermelho-Amarelo (18.508,69 km²) e Latossolo Vermelho-Amarelo (11.772,12 km²).

b) Na área mapeada, independentemente de sua fertilidade química, 50.201,78 km² (28,77%) apresentam classe de aptidão BOA para agricultura e 55.446,08 km² (31,77%) apresentam aptidão BOA para pecuária;

c) 16.225,84 km² (9,32%) apresentam classe de aptidão REGULAR para agricultura e 12.903,19 km² (7,39%) apresentam classe de aptidão REGULAR para pecuária;

d) 39.703,47 km² (22,75%) apresentam classe de aptidão NÃO RECOMENDADA para uso agropecuário. Devem ser destinadas preferencialmente à preservação ambiental.

e) As classes de aptidão BOA e REGULAR para a pecuária são potenciais ao desenvolvimento da agricultura familiar, desde que sejam utilizadas técnicas e culturas adaptadas às limitações agrícolas das áreas assim mapeadas.

REFERÊNCIAS

CLAESSEN, M.E.C. (Org). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

CURI et al. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Campinas, SP: 1993. 90 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Diretoria de Geociências**. Coordenação de Recursos Naturais e Ambientais. Manual Técnico de Pedologia. 3.ed. Rio de Janeiro, 2015. 430 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 29 out. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Portal de mapas do IBGE. 2018. Disponível em: https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa220925. Acesso em: 29 out 2020.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Divisão de Sensoriamento Remoto (INPE/DSR). 2013. **Topodata**: **banco de dados morfométricos do Brasil**. Disponível em://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php. Acesso em: 10 abr. 2017.

LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 3.ed. Campinas: SBCS. Rio de janeiro: Embrapa-CNPS, 1986. 84p.

MELO, C.F. BRITO da SILVA, A.; PERES, A. da C. Contribuição ao Conhecimento da Fauna dos Manguezais Paraenses. In: **WORKSHOP ECOLAB,** 3., 1995, Belém. Livro de resumos expandidos. Belém: UFPA/MPEG/SUDAM, 1995 p. 35-37.

RATTER, J.; RIBEIRO, J.; BRIDGEWATER, S. **The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity.** Annals of Botany, p. 223–230, 1997.

RAMALHO FILHO, A.: BEEK, K.J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3 ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 65 p.

SANTOS, H.V. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRELAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**: 5 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SILVA et al. XIII **Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos:** guia de campo. São Luís, MA, 2019.

SPINELLI-ARAÚJO, L et al. **Conservação da biodiversidade do Estado do Maranhão:** cenário atual em dados geoespaciais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016. 28 p. il. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente). ISSN 1516-4691. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159940/1/Serie-Documentos-108-Luciana.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

STELLA, A. **Plano de prevenção e controle do desmatamento e queimadas do Maranhão**. São Luís: SEMA, 2011. 120 p.

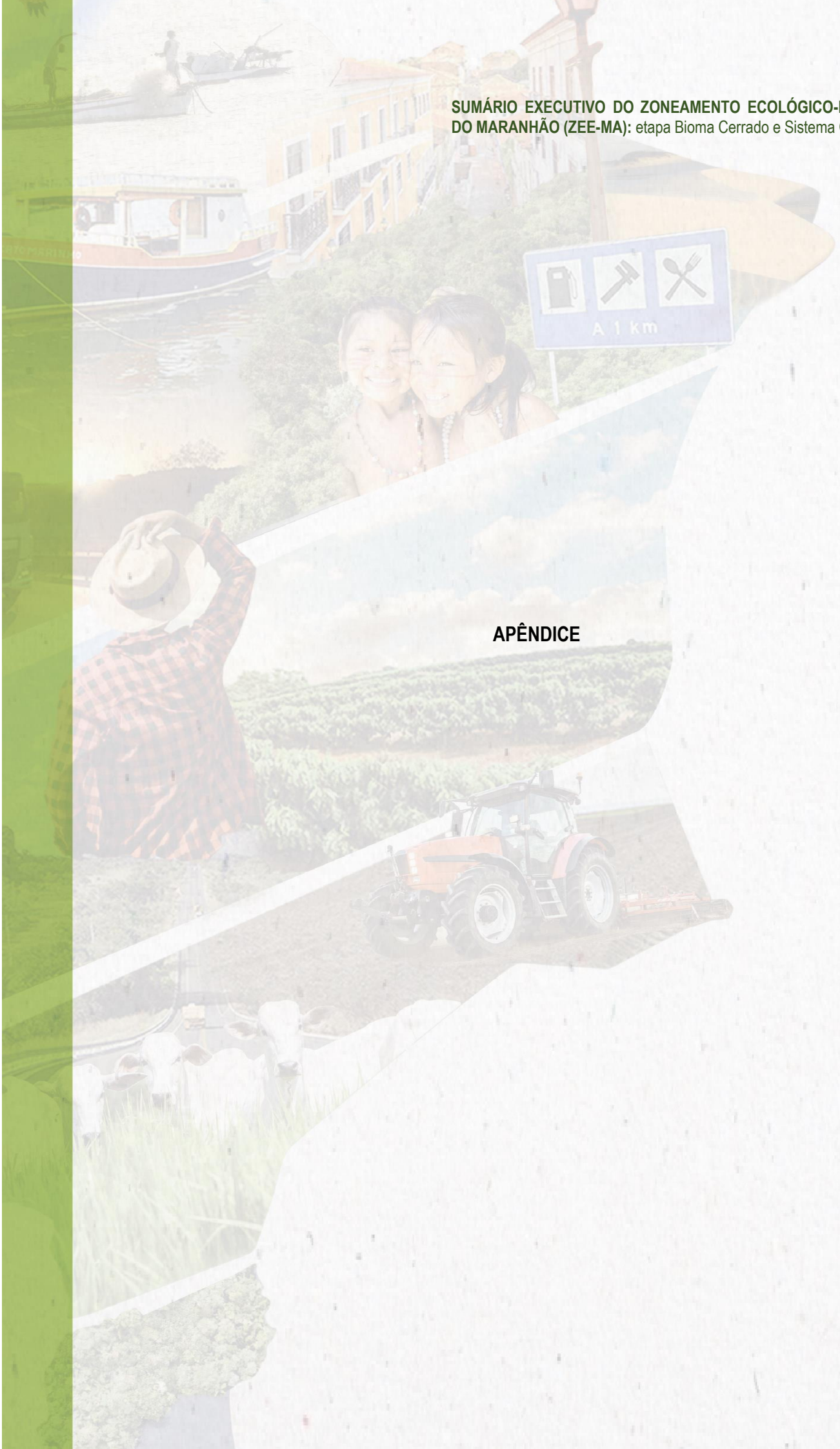
VALENTE, M.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. de; SILVA, J.M.L. da; SANTOS, P.L. dos; RODRIGUES, T.E.; SILVA, P.R.O da; SILVA NETO, P.B. da. **Solos da ilha de Algodoal-Maiandeua, município de Maracanã Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 21 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 22).

VENTURIERI, A.; CAMPOS, A. G. S.; CARVALHO FILHO, A.; SILVA, L. G. T.; SAMPAIO, S. M. N.; SILVA, E. F. da; BACA, J. F. M.; MOTA, P. E. F.; RAMALHO FILHO, A.; GUSMAO, L. H. A.; VALENTE M.A.; SILVA, R. N. P; IGAWA, T. K.; XAVIER, P. A. M. **Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do Estado do Pará**. 2016. (Atlas).

VENTURIERI, A.; HOMMA, A. K. O; MENEZES, A. J. E. A. de; ARAUJO, E. C. E.; NUNES, G. M. V. C.; NASCIMENTO JUNIOR, J de; D. B. do; FRAZAO, J. M. F.; SILVA, L. G. T.; TOLEDO, M. M.; VALENTE, M. A.; BUOSI, T. **Potencialidade Agrícola de Municípios ao Longo da Ferrovia Carajás-Itaqui, entre Santa Inês e São Luis, MA.** Belém, PA. Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 129 p. *(Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 433).*

VENTURIERI, A; VALENTE, M. A; SILVA, L. G. T; RAMALHO FILHO, A; SAMPAIO, S.M. N.; SILVA, B.N. R; SILVA, J.M. L da; SILVA, E.F. da; CLEMENTE, E.P; JUNIOR, M.M. **Relatório do Mapeamento de Solos e Aptidão Agrosilvipastoril das Terras da Calha Norte do Estado do Pará.** In: MONTEIRO, M. de A.; ME

NEZES, C.R.C.; GALVÃO, I.M.F. (Ed.). **ZEE: Zoneamento Ecológico Econômico da Zona Leste e Calha Norte do Estado do Pará**. Belém, PA: Secretaria de Estado de Projetos Estratégicos, Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, 2010. v.2, p. 123-183.



APÊNDICE

Apêndice A - Legenda de Classificação Taxonômica dos Solos Dominantes (até o 4° nível categórico)

Símbolo das Unidades de Mapeamento	Classificação Taxonômica dos Solos	Quantificação	
		Área (km²)	%
PACd - ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico			
PACd	ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico plintossólico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, arenosa/média + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta, todos A moderado, plano e suave ondulado	168,21	0,10
PAdx - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso			
PAdx1	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso plintossólico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média, todos A moderado, plano	100,37	0,06
PAdx2	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	193,14	0,11
PAd - ARGISSOLO AMARELO Distrófico			
PAd	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média, todos A moderado, plano	4.856,48	2,79
PVe - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico			
PVe1	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrúptico plintossólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + LUVISSOLO CRÔMICO Pálico plintossólico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	307,18	0,18
PVe2	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrúptico plintossólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DIstrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico média cascalhenta, todos A moderado, ondulado	361,17	0,21
PVe3	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrúptico plintossólico, média m cascalhenta/argilosa muito cascalhenta + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/ argilosa muito cascalhenta, todos A moderado, ondulado	1.525,45	0,88
PVAd - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico			
PVAd1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa +ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta +PLINTOSSOLO	9.427,70	5,41

	PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/ argilosa muito cascalhenta, todos A moderado e proeminente, suave ondulado		
PVAd2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa muito cascalhenta, todos A moderado e proeminente, suave ondulado	1.747,81	1,00
PVAd3	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média cascalhenta + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	662,06	0,38
PVAd4	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, ondulado e forte ondulado	174,45	0,10
PVAd5	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/ argilosa cascalhenta + LATOSSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	273,48	0,16
PVAd6	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, ondulado	115,54	0,07
PVAd7	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/ argilosa muito cascalhenta + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/ argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	425,88	0,24
PVAd8	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/ argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	594,61	0,34
PVAd9	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, argilosa cascalhenta/muito argilosa cascalhenta + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	949,73	0,54
PVAd10	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média cascalhenta/ argilosa muito cascalhenta	638,41	0,37

	+ NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, média cascalhenta, todos A moderado, ondulado e forte ondulado		
PVAe - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico			
PVAe1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, média casc/arg casc + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico, argilosa/muito arg + LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média casc/argilosa casc, todos A moderado, plano e suave ond	1.515,87	0,87
PVAe2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, média/argilosa cascalhenta + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, argilosa/muito argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	306,02	0,18
PVAe3	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, média casc/argilosa casc + LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/arg + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média casc, todos A moderado, suave ond, ond e forte ondulado	2.462,73	1,41
PVAe4	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, média/arg + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, média/arg + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito casc/argilosa muito casc, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	64,46	0,04
PVAe5	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, méd m casc/ arg m casc + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, méd m casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, méd casc/arg casc, todos A moderado, ondulado e forte ondulado	974,88	0,56
CXve - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico			
CXve1	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, média + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, média casc +NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico e Hidromórfico, média, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	183,35	0,11
CXve2	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, média + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico vertissólico, média/argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico, argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	23,81	0,01
CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico			
CXbd	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, média + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, média casc + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplíntico, média/argilosa casc, todos A moderado, suave ondulado	60,00	0,03
GXbd - GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico			
GXbd	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, argilosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa, todos A moderado, plano	551,31	0,32

GMbd - GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico			
GMbd	GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico típico, méd, A húmico + PLANOSSOLO HÁPLICO Dist gleissólico, aren/méd, A mod + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidrom típico, aren, A fraco, todos plano	39,53	0,02
GZn - GLEISSOLO SÁLICO Sódico			
GZn	GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico, indiscriminada + GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico sálico solódico, indiscriminada + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico salino, arenosa/média, todos A moderado, plano	390,95	0,22
Gjo - GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico			
GJo	GLEISSOLO TIOMÓRFICO Órtico sálico solódico, indiscriminada + GLEISSOLO sálico Sódico típico, indiscriminada + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico, indiscriminada, todos A moderado, plano	506,98	0,29
LAd - LATOSSOLO AMARELO Distrófico			
LAd1	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média, todos A moderado, plano e suave ondulado	1.107,12	0,64
LAd2	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/ argilosa cascalhenta, todos A moderado, plano e suave ondulado	7.390,87	4,24
LAd3	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado	284,43	0,16
LAd4	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrúptico, arenosa/média + LUVISSOLO CRÔMICO Órtico fragmentário, argilosa muito cascalhenta/muito argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	628,71	0,36
LAd5	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico e latossólico, arenosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média, todos A moderado, suave ondulado	8.304,33	4,77
LAd6	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, arenosa/média + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, méda cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado	600,71	0,34
LAd7	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média casc/argilosa casc, todos A moderado, plano e suave ondulado	89,02	0,05
LAd8	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO	32,35	0,02

	HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado		
LAd9	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico e latossólico, arenosa + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, arenosa/média, todos A fraco e A moderado, plano e suave ondulado	4.454,32	2,56
LAd10	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VEMRLEHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	287,86	0,17
LAd11	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, média/argiosa, todos A moderado, plano	7.570,77	4,34
LAd12	LATOSSOLO AMARELO DIstrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico, arenosa, todos A moderado e A proeminente, plano e suave ondulado	1.705,04	0,98
LAd13	LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, argilosa, todos A moderado e A proeminente, plano e suave ondulado	288,88	0,17
LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico			
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média + LATOSSOLO AMARELO DIstrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico tipico, média/argilosa, todos A proeminentes, plano e suave ondulado	65,81	0,04
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico alumínico abrúptico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado	73,03	0,04
LVd3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média e argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média casc/arg casc + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média, todos A moderado e A proeminente, ondulado e suave ondulado	1.391,47	0,80
LVd4	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado e A proeminente, plano e suave ondulado	1.551,06	0,89
LVd5	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média + NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa, todos A moderado e A proeminente, plano e suave ondulado	2.143,37	1,23

LVAd - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico			
LVAd1	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrofíco típico, média, todos A moderado, plano	3.572,70	2,05
LVAd2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico e típico, média casc e média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média casc/ arg casc, todos A moderado, ondulado e suave ondulado	103,42	0,06
LVAd3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico, arenosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	3.685,45	2,11
LVAd4	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média+ NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média, todos A moderado, plano e suave ondulado	3.604,49	2,07
LVAd5	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média e argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, argilosa/muito argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, média e argilosa, todos A moderado, plano	1511,92	0,87
TCo - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico			
TCo1	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, argilosa/ muito argilosa + CHERNOSSOLO EBÂNICO Carbonático vertissólico, muito argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, argilosa/muito argilosa, todos A chernozêmico e A moderado, suave ondulado	496,10	0,28
TCo2	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, argilosa/ muito argilosa + CHERNOSSOLO EBÂNICO Carbonático vertissólico, muito argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Carbonático fragmentário, argilosa casc, todos A chernozêmico e A moderado, ondulado e forte ondulado	287,14	0,16
TCp - LUVISSOLO CRÔMICO Pálico			
TCp1	LUVISSOLO CRÔMICO Pálico abrúptico plintossólico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrúptico plintosssólico, média/argilosa + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	435,65	0,25
TCp2	LUVISSOLO CRÔMICO Pálico típico, média/argilosa + VERTISSOLO HÁPLICO Órtico hipocarbonático, argilosa + LUVISSOLO HÁPLICO Pálico típico, média cascalhenta/ argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	967,76	0,56
TCp3	LUVISSOLO CRÔMICO Pálico abrúptico plintossólico, média/arg + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média muito	239,11	0,14

	casc/arg muito casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico, média casc/arg casc, todos A moderado, ond e forte ondulado		
TXo - LUVISSOLO HÁPLICO Órtico			
TXo1	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	140,52	0,08
TXo2	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/arg + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, média/arg + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média casc/arg casc, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	326,25	0,19
TXo3	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, média/argilosa, todos A moderado, plano	274,36	0,16
TXo4	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/arg + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico petroplíntico, média muito casc/arg muito casc + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/arg, todos A moderado, suave ondulado, ondulado e forte ondulado	372,62	0,21
TXo5	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/arg + LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico, argilosa/muito argilosa + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico, média/argilosa cascalhenta, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	566,53	0,33
TXo6	LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico, média/arg + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico petroplíntico, média muito casc/argi muito casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito casc/arg muito casc, todos A moderado, ondulado e forte ondulado	765,97	0,44
RYve - NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico			
RYve	NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico e solódico, indiscriminada + NEOSSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico e solódico, indiscriminada + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, argilosa, todos A moderado, plano	973,79	0,56
RYbd - NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico			
RYbd	NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, indiscriminada + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, arenosa/média, todos A moderado, plano	533,59	0,31
RLd - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico			
RLd	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, média casc + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, média casc, ambos A fraco + AFLORAMENTO DE ROCHAS, todos ondulado e forte ondulado	22.659,51	13,00

RLe - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico			
RLe1	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, média casc + LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, média/arg casc + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa, todos A fraco e A moderado, suave ondulado e ondulado	22,43	0,01
RLe2	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, média casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico, arenosa casc + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa casc, todos A fraco e A moderado, ondulado	39,40	0,02
RLe3	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico e fragmentário, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa, ambos A fraco + AFLORAMENTO DE ROCHAS, todos ondulado e forte ondulado	301,35	0,17
RQg - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico			
RQg1	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico plintossólico, arenosa + ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidro-hiperespesso típico, arenosa + NEOSSOLO FLÚVICO Tb distrófico típico, siltosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	195,33	0,11
RQg2	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico plintossólico, arenosa, todos A fraco, plano e suave ondulado	1.200,81	0,69
RQg3	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espodossólico, arenosa + NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico, arenosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	55,51	0,03
RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico			
RQo1	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + PLIINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico, arenosa + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico e fragmentário, arenosa, todos A fraco e A moderado, suave ondulado	15,97	0,01
RQo2	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico plintossólico, arenosa, todos A fraco e A moderado, suave ondulado	2.812,21	1,61
RQo3	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário típico, arenosa casc/média casc + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa, todos A moderado e A fraco, plano e suave ondulado	282,94	0,16
RQo4	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espessarênico fase paleodunas, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espessarênico fase dunas, arenosa, ambos A fraco, suave ondulado e ondulado	532,40	0,31

RQo5	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espessarênico fase dunas, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa, ambos A fraco, suave ondulado e ondulado	4.265,71	2,45
RQo6	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico argissólico, arenosa + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, média cascalhenta, média, todos A fraco, suave ondulado	12.397,71	7,11
RQo7	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, arenosa casc + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média, todos A fraco e A moderado, plano e suave ondulado	2.505,55	1,44
NVd - NITOSSOLO VERMELHO Distrófico			
NVd1	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico, média casc/arg casc, todos A moderado, plano e suave ondulado	491,97	0,28
NVd2	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argilosa casc + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico, média casc/arg casc + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, média, todos A moderado, suave ondulado	1.314,89	0,75
NVe - NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico			
NVe1	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, arg casc + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico, média casc + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, argilosa casc, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	2.551,78	1,46
NVe2	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, arg casc + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico leptofragmentário, média casc + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico, média casc/arg casc, todos A moderado, suave ondulado	161,88	0,09
NVe3	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico leptofragmentário, arg casc + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico, argilosa muito casc + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, argilosa casc, todos A moderado, ondulado	339,02	0,19
SXd - PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico			
SXd1	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico e solódico, arenosa/média + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, média/argilosa + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico e solódico, arenosa/média, todos A moderado, plano	553,18	0,32
SXd2	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico solódico, arenosa/média + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico, arenosa/média + NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico e solódico, indiscriminada, todos A moderado, plano	326,72	0,19

SXe - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico			
SXe1	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, siltosa/argilosa + PLANOSSOLO NÁTRICO sálico típico, siltosa/argilosa + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico solódico, média/siltosa, todos A moderado, plano	71,64	0,04
SXe2	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, arenosa/argilosa + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico, arenosa/argilosa + NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico, indiscrimnada, todos A fraco, plano	29,41	0,02
FTa - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico			
FTa	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico abrúptico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, arenosa/média, todos A moderado, plano	179,59	0,10
FTd - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico			
FTd1	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, arenosa/média + ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico, arenosa/média + NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, indiscriminada, todos A moderado, plano e suave ondulado	1.073,31	0,62
FTd2	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, arenosa/média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, média/argilosa + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico, média/argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	338,19	0,19
FTd3	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, arenosa/média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média, todos A moderado, plano e suave ondulado	155,84	0,09
FTd4	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico, média/argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	1.191,92	0,68
FTd5	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, média/arg + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média muito casc/ argilosa muito casc + PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico solódico, média/arg, todos A moderado, plano e suave ondulado	83,92	0,05
FTe - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico			
FTe	PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico e solódico, arenosa/média + PLANOSSOLO HÁPLICO Distófico solódico, média/argilosa + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, arenosa/média, todos A moderado, plano e suave ondulado	615,29	0,35
FXd - PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico			
FXd1	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico típico, média/argilosa +	666,51	0,38

	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico, média/argilosa cascalhenta, todos A fraco e A moderado, plano		
FXd2	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, arenosa/média + GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, argilosa, todos A moderado, plano e suave ondulado	76,06	0,04
FXd3	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, média/argilosa + NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico, indiscriminada, todos A moderado e A proeminente, plano e suave ondulado	164,40	0,09
FXd4	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico fragmentário, média + PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média casc/arg casc, todos A moderado, suave ondulado	1.316,75	0,76
FXd5	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico fragmentário, média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, arenosa, todos A moderado, suave ondulado	2.242,12	1,29
FXd6	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, média casc/ arg casc + ARGISSOLO AMARELO Distrófico petroplíntico, média/arg casc, todos A moderado, plano e suave ondulado	1.553,74	0,89
FXd7	PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, arenosa, todos A moderado, plano	222,01	0,13
FXe - PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico			
FXe	PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, arenosa/média + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrúptico plintossólico, média/argilosa cascalhenta, todos A moderado, plano e suave ondulado	311,65	0,18
FFc - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário			
FFc1	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, méd muito casc./arg. muito casc.+ ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, méd. casc./argi. casc. + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, méd. e arg. casc, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	12.375,35	7,10
FFc2	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, média casc/argilosa casc + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico, média/argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico plintossólico, média, todos A moderado, suave ondulado e ondulado	6.964,97	4,00
FFc3	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, méd m casc/arg m casc + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, méd m casc/arg m casc + PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico petroplíntico, arg casc, todos A mod, ond	2.877,26	1,65

FFc4	PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário argissólico, méd m casc/argilosa m casc + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, méd e arg casc+ ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, méd casc/arg casc, todos A mod, ondulado e forte ondulado	1.713,26	0,98
VEo - VERTISSOLO EBÂNICO Órtico			
VEo1	VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico, argilosa e muito argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico petroplíntico, média casc/arg casc + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, argilosa casc, todos A proeminente, ondulado e forte ondulado	128,78	0,07
VEo2	VERTISSOLO EBÂNICO Órtico típico, argilosa e muito argilosa + NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, muito argilosa + CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico típico, argilosa, todos A proeminente e A chernozêmico, suave ondulado e ondulado	174,11	0,10
VEo3	VERTISSOLO EBÂNICO Órtico chernossólico, muito argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, argilosa casc + NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, muito argilosa, todos A chernozêmico e A proeminente, suave ondulado e ondulado	286,97	0,16
Total		174.267,39	100,00

Fonte: Registro de pesquisa (2021).

6

BIODIVERSIDADE DOS SOLOS DO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO DO MARANHÃO

1 INTRODUÇÃO 310
2 OBJETIVOS 310
2.1 Objetivo geral 310
2.2 Objetivos específicos 310
3 MATERIAL E MÉTODOS 311
3.1 Caracterização da área experimental 311
3.2 Amostragem da fauna invertebrada do solo 313
3.3 Amostragem dos atributos químicos do solo 314
3.4 Modelagem do relevo 315
3.5 Análise estatística 316
3.6 Análise geoestatística 316
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 318
5 CONCLUSÃO 337
REFERÊNCIAS 338

6

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1 - Mapa de localização dos 294 pontos de amostragem localizados em áreas com vegetação natural no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão (Brasil) 312
Figura 6.2 - Amostragem da fauna do solo por meio de armadilha do tipo pitfall traps 313
Figura 6.3 - Coleta de amostra de solo realizada durante as campanhas de campo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (MA) 315
Figura 6.4 - Mapa de variabilidade espacial da altimetria no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão (Brasil) 317
Figura 6.5 - Mapa de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco nos Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão (Brasil) 320
Figura 6.6 - Mapa de variabilidade espacial da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco nos Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão (Brasil) 321
Figura 6.7 - Grupos taxonômicos identificados nas 164 amostras de fauna invertebrada no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 323
Figura 6.8 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 325
Figura 6.9 - Mapa de variabilidade espacial do pH ($CaCl_2$) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 327
Figura 6.10 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 329
Figura 6.11 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 330
Figura 6.12 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de magnésio (Mg^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 331
Figura 6.13 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de potássio (K^{+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 332
Figura 6.14 - Mapa de variabilidade espacial da capacidade de trocas de cátions (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 334
Figura 6.15 - Mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 335
Figura 6.16 - Mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V%) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil) 336

1 INTRODUÇÃO

O termo biodiversidade do solo envolve os atributos biológicos, físicos e químicos do solo que possuem variabilidade na paisagem e em profundidade, e são reflexos dos diferentes fatores de formação dos solos, que juntos fazem do solo um sistema dinâmico. O presente trabalho tem como enfoque prioritário o conhecimento da fauna invertebrada do solo, que são organismos com múltiplas funções ambientais e relacionados a diferentes atributos físicos e químicos do solo, sobretudo o conteúdo de carbono orgânico, e são considerados indicadores de qualidade ambiental.

A fauna invertebrada do solo engloba uma grande variedade de organismos edáficos (BARETTA, 2007), responsáveis por homogeneizar os solos, realizar abertura de galerias e suas excretas modificam os espaços porosos (PRIMAVESI, 1999), aumentando a penetração de raízes, fluxo interno de ar e água (OLIVEIRA, 2008). O estudo das comunidades da macrofauna do solo em cada fração do habitat contribui para a compreensão do papel dos organismos no solo. É importante destacar que a fauna invertebrada do solo pode ser utilizada como indicadora de qualidade ambiental, uma vez que responde rapidamente às mínimas mudanças no ambiente, e a sua compreensão permite o delineamento de ações de planejamento que considerem o solo com um sistema dinâmico e vivo, e não somente como suporte para a agropecuária, cidades e demais intervenções humanas sobre o meio ambiente.

Nesse sentido, o estudo da abundância de organismos e da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo permite a compreensão da sua dinâmica, e o desenvolvimento de indicadores de biodiversidade/qualidade e, portanto, permite o planejamento sobre o uso e ocupação do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a variabilidade espacial da fauna invertebrada e do conteúdo de carbono orgânico do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil).

2.2 Objetivos específicos

a) Mapear a diversidade da fauna invertebrada do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil).
b) Mapear o conteúdo de carbono orgânico do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil).

c) Mapear o conteúdo de macronutrientes do solo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil).

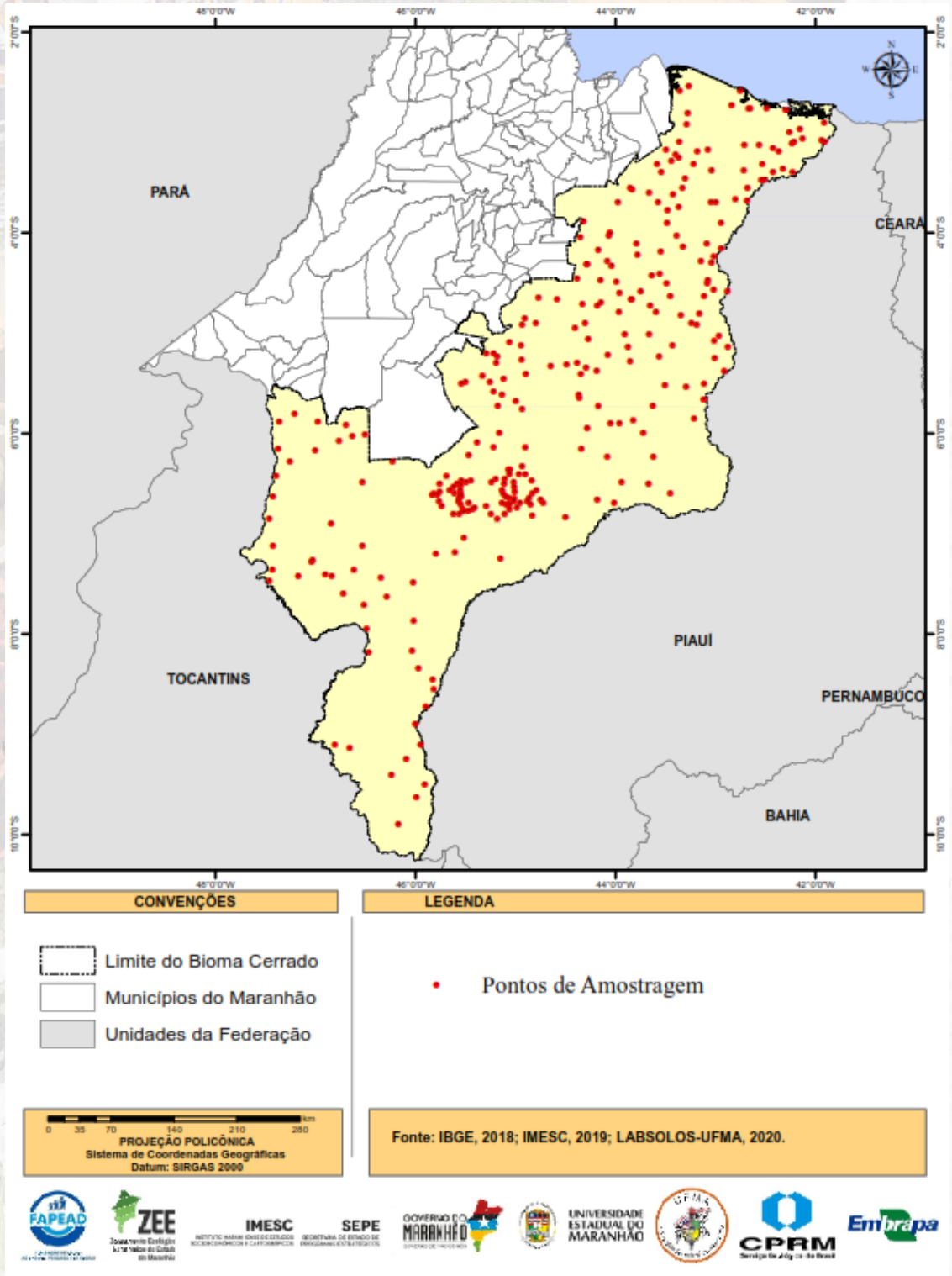
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O presente projeto foi desenvolvido no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão (Brasil) que ocupam uma área de aproximadamente 181.000,00 km², englobando 109 municípios das regiões Norte, Leste, Centro e Sul Maranhense.

Na área de estudo foram alocados 294 pontos de amostragem distribuídos ao acaso para coleta da fauna invertebrada e de amostras deformadas de solo na camada de 0.0-0.3m de profundidade (Figura 6.1), sendo as amostragens realizadas em locais com vegetação natural e foram realizadas por meio de acordo de cooperação entre o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED) e Agência Estadual de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Maranhão (AGERP) que permitiu a amostragem de 79 pontos, e os demais pontos foram amostrados por meio de campanhas de campo realizadas pela equipe técnica deste projeto, sendo 58 pontos na primeira campanha (16/11/2020 a 01/12/2020), 52 pontos amostrados na segunda campanha de campo (03/12/2020 a 18/12/2020) e 44 pontos amostrados na terceira campanha de campo realizada no mesmo período da campanha 2, porém por equipes distintas; também foram incluídos neste trabalho 61 pontos de amostragem no Parque Estadual do Mirador, coletados com apoio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA).

Figura 6.1 - Mapa de localização dos 294 pontos de amostragem localizados em áreas com vegetação natural no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do estado do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021)

3.2 Amostragem da fauna invertebrada do solo

As amostragens foram realizadas no final do período seco nos meses de novembro e dezembro. Do total de 294 amostras, apenas 164 foram consideradas úteis para a avaliação da fauna invertebrada do solo. A diminuição no número de amostras ocorreu devido ao revolvimento do local de amostragem por animais de grande porte que destruíram a armadilha ou por ação antrópica.

Os organismos da fauna invertebrada do solo foram coletados com armadilha do tipo "pitfall traps" (CORREIA; OLIVEIRA, 2000 – Figura 6.2), que consiste em um pote plástico com aproximadamente 9cm de altura e 8cm de diâmetro alocados em campo ao nível do solo. Nesse tipo de armadilha, esses organismos caem acidentalmente nela conforme se movimentam sobre a superfície (AQUINO, 2001; SIQUEIRA et al., 2014).

Figura 6.2 - Amostragem da fauna do solo por meio de armadilha do tipo pitfall traps

Fonte: Registro da Pesquisa (2020)

Cada armadilha permaneceu no campo por um período de sete dias, contendo em seu interior 200ml de formol a 4% para preservação dos organismos coletados (AQUINO et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2014). Ao final do período de sete dias, as armadilhas foram retiradas do campo e o seu conteúdo armazenado em recipientes contendo álcool a 70%, e devidamente identificados com o respectivo número de ponto. Em laboratório, o conteúdo de cada recipiente foi transferido para placa de petri para identificação, utilizando lupa binocular e chave dicotômica à nível de (classe, ordem ou família) ou estágio de desenvolvimento (larva ou adulto, em alguns casos).

3.3 Amostragem dos atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo foram coletados em 294 pontos de amostragem no período de novembro a dezembro de 2020 que compreende o final da estação seca no Estado do Maranhão. A Figura 6.3 apresenta o processo de coletas de amostras de solo por técnico da AGED.

As amostras deformadas de solo coletadas nas camadas de 0-0.05m, 0.05-0.15m e 0.15-0.3m de profundidade foram secas em estufa a 60ºC durante 24h e peneiradas em malha de 2mm, para a determinação das propriedades químicas do solo. Para confecção dos mapas de variabilidade espacial foi utilizada a média dos valores dos atributos químicos do solo, presente nas três camadas de amostragem.

Foram determinados os seguintes atributos químicos: conteúdo de matéria orgânica (MO, g dm^3), pH em solução de CaCl2, fósforo (P, mg dm^{-3}), potássio (K, $mmol_c$ dm^{-3}), cálcio (Ca, $mmol_c$ dm^{-3}), magnésio (Mg, $mmol_c$ dm^{-3}), determinados seguindo metodologia proposta por RAIJ et al. (2001), e, após a realização da análise química, foram calculados os seguintes atributos de fertilidade do solo: capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).

Figura 6.3 - Coleta de amostra de solo realizada durante as campanhas de campo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (MA)

Fonte: Registro da Pesquisa (2020)

3.4 Modelagem do relevo

A altimetria para a área de estudo é apresentada na Figura 6.4, cujos dados foram obtidos do sistema SRTMA - Shuttle Radar Topography Mission, projeto entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration), NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria.

A missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ocorrida em 2000, possibilitou a coleta de dados altimétricos para praticamente toda a superfície terrestre. Para a geração da altimetria e geração do tema de declividade nas áreas de estudos foi utilizado o arquivo denominado SRTM 28_14 (http://seamless.usgs.gov).

3.5 Análise Estatística

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS científica, versão 8.0 (SAS, 1999). Os parâmetros estatísticos descritivos (média, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria, curtose e o teste de Kolmogorov-Smirnov) foram calculados para verificar a dispersão e as medidas de tendência central dos dados.

3.6 Análise geoestatística

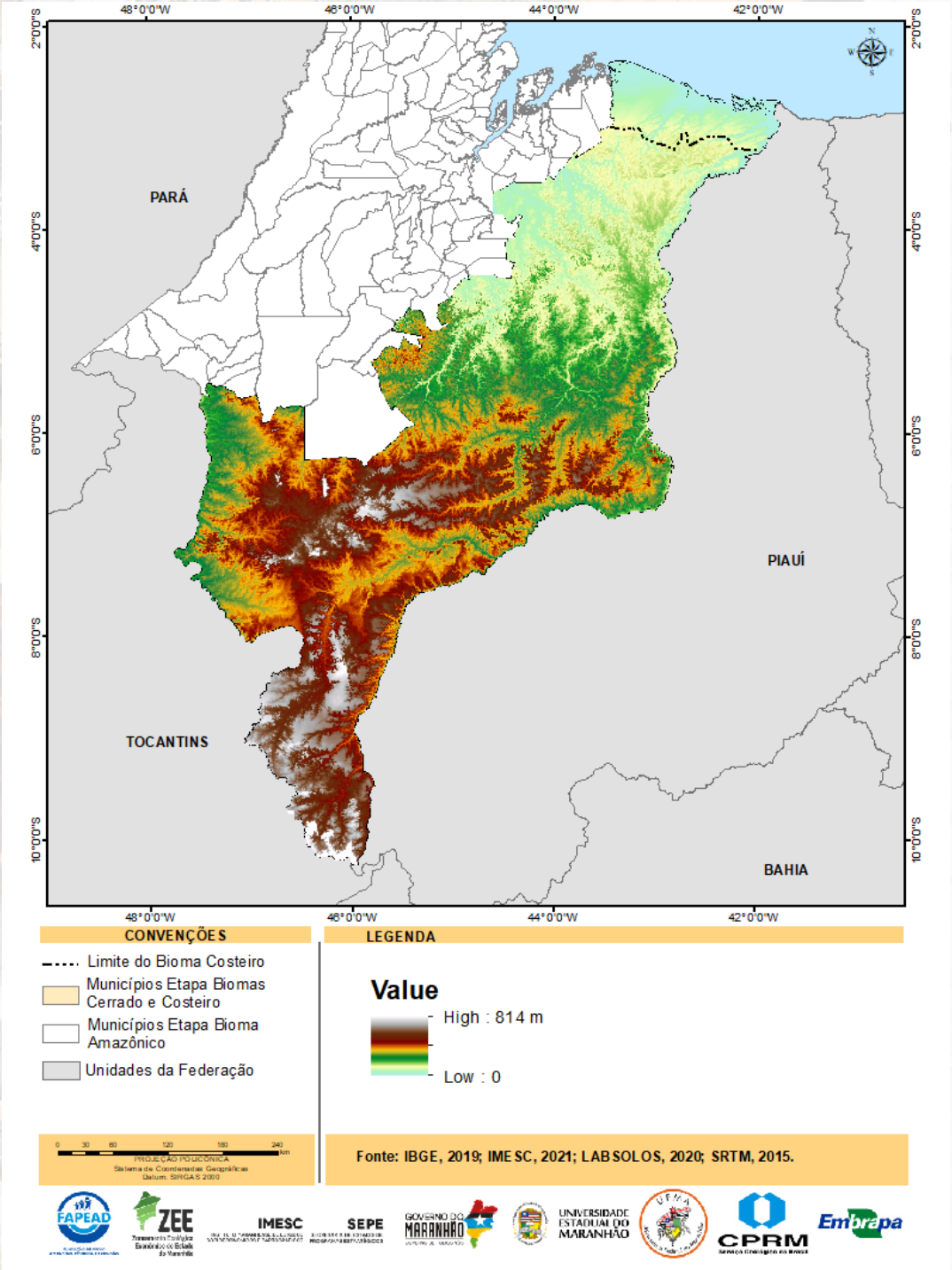
O semivariograma experimental foi utilizado para determinar a variabilidade e a dependência espacial entre as amostras, representando quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado, sendo então expresso por meio da Equação 1:

$$\gamma^{*}(h) = \frac{1}{2\,N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \qquad (1)$$

Onde, a semivariância é estimada a partir de $\gamma^{*}(h)$ e $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separadas por um vetor (h). Dessa forma, a dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta e desaparece completamente, quando a distância entre os pontos é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000).

Dessa maneira, o gráfico do semivariograma é composto por uma série de valores (efeito pepita, variância estrutural e alcance), aos quais é preciso adequar um modelo matemático. O efeito pepita (C_0) indica a descontinuidade entre as amostras, ou seja, a variabilidade espacial não detectada durante o processo de amostragem do solo.

Figura 6.4 - Mapa de variabilidade espacial da altimetria no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021)

A variância estrutural (C_1) apresenta-se como um componente do semivariograma que indica o ponto onde a correlação entre as amostras é estabilizada. O alcance (a) representa o tamanho das manchas de variabilidade espacial para um determinado atributo e, a partir deste ponto, não existe mais correlação entre as amostras.

Todos os atributos físicos do solo envolvidos neste estudo se ajustaram ao modelo esférico. De acordo com a Equação 2, o modelo esférico é descrito inicialmente como linear (aproximadamente 1/3 do alcance – $0<h<a$) e em seguida apresentando uma parte pendente (2/3 do alcance - $h>a$).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\left[\frac{3}{2}\left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right] \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a \tag{2}$$

Uma vez ajustado um modelo matemático ao semivariograma, foi utilizada a técnica de krigagem para fazer a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; GREGO et al., 2010). A utilização da técnica de krigagem (Equação 3) utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma para estimar valores em qualquer posição dentro do campo (VIEIRA, 2000).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_1 Z(xi) \tag{3}$$

O software SURFER 11.6 (GOLDEN SOFTWARE, 2014) foi, então, utilizado para construção de mapas de isolinhas para os diferentes atributos envolvidos neste estudo, utilizando os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados (VIEIRA; PAZ GONZÁLEZ, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos são apresentados nas Figuras 6.5 e 6.6. Os parâmetros estatísticos para a abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos demonstram que a abundância possui elevada variabilidade com valor de coeficiente de variação de 111,413%, indicando que as medidas são espacialmente heterogêneas, e que sua distribuição é dependente de outros fatores como clima, solo, vegetação.

Também, a riqueza de grupos taxonômicos apresentou valores medianos, indicando que esta variável é mais estável no sistema, porém, com heterogeneidade de escala suficiente para que haja diferenças estatística entre as amostras. As diferenças nas escalas de variabilidade para a abundância de organismos da fauna invertebrada e da riqueza de grupos taxonômicos são confirmadas pelo teste

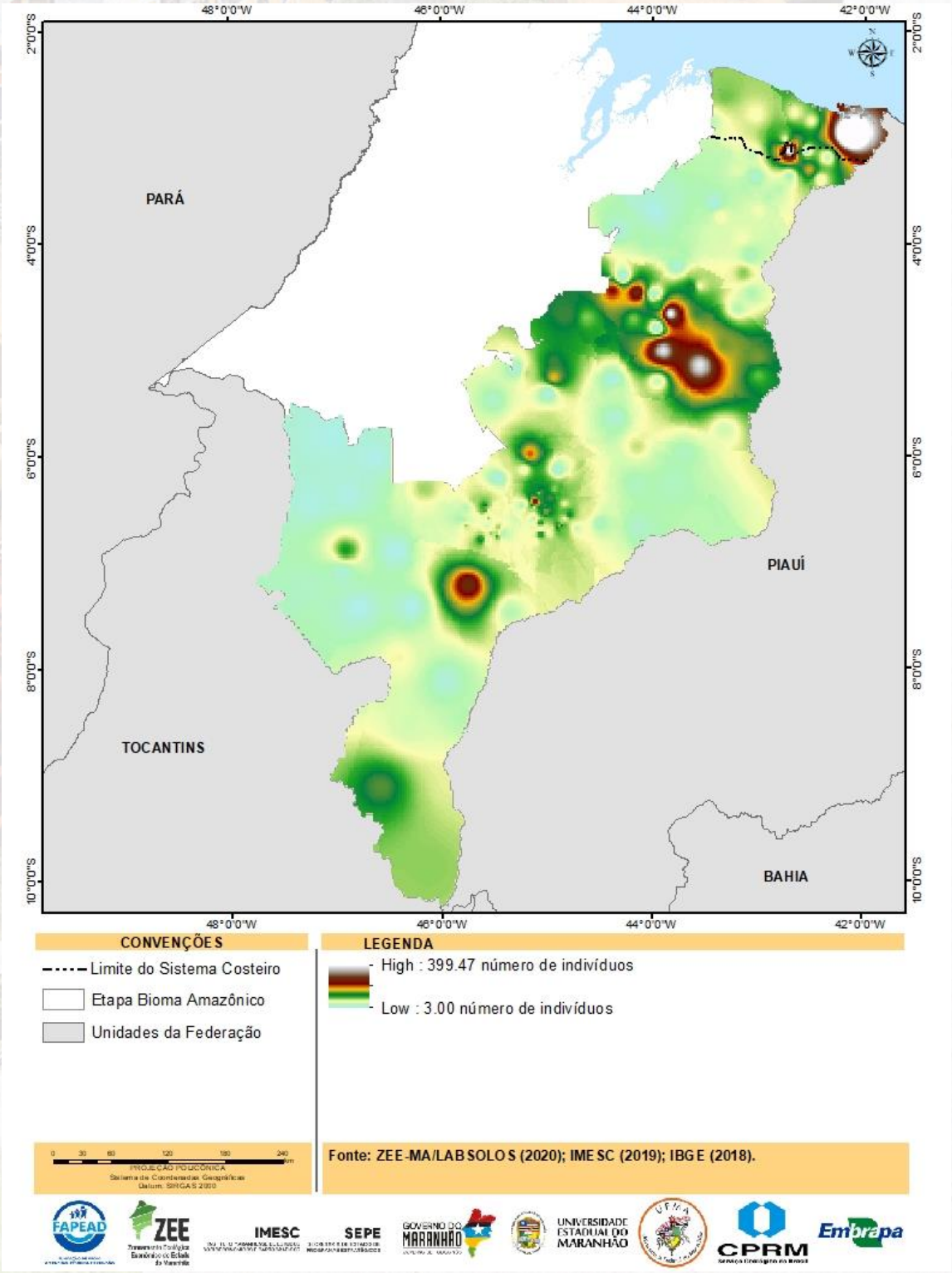
de Kolmogorov-Smirnov (D) o qual descreve que a distribuição da abundância é lognormal, enquanto a riqueza possui distribuição de frequência normal.

Tabela 6.1 - Parâmetros estatísticos para a abundância de organismos da fauna invertebrada e riqueza de grupos taxonômicos no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Estado do Maranhão (Brasil)

	Média	Desvio padrão	CV (%)	Assimetria	Curtose	D
Abundância	46.35	51.65	111.41	3.546	17.027	0.228Ln
Riqueza	5.02	2.41	47.99	0.742	0.339	0.128n

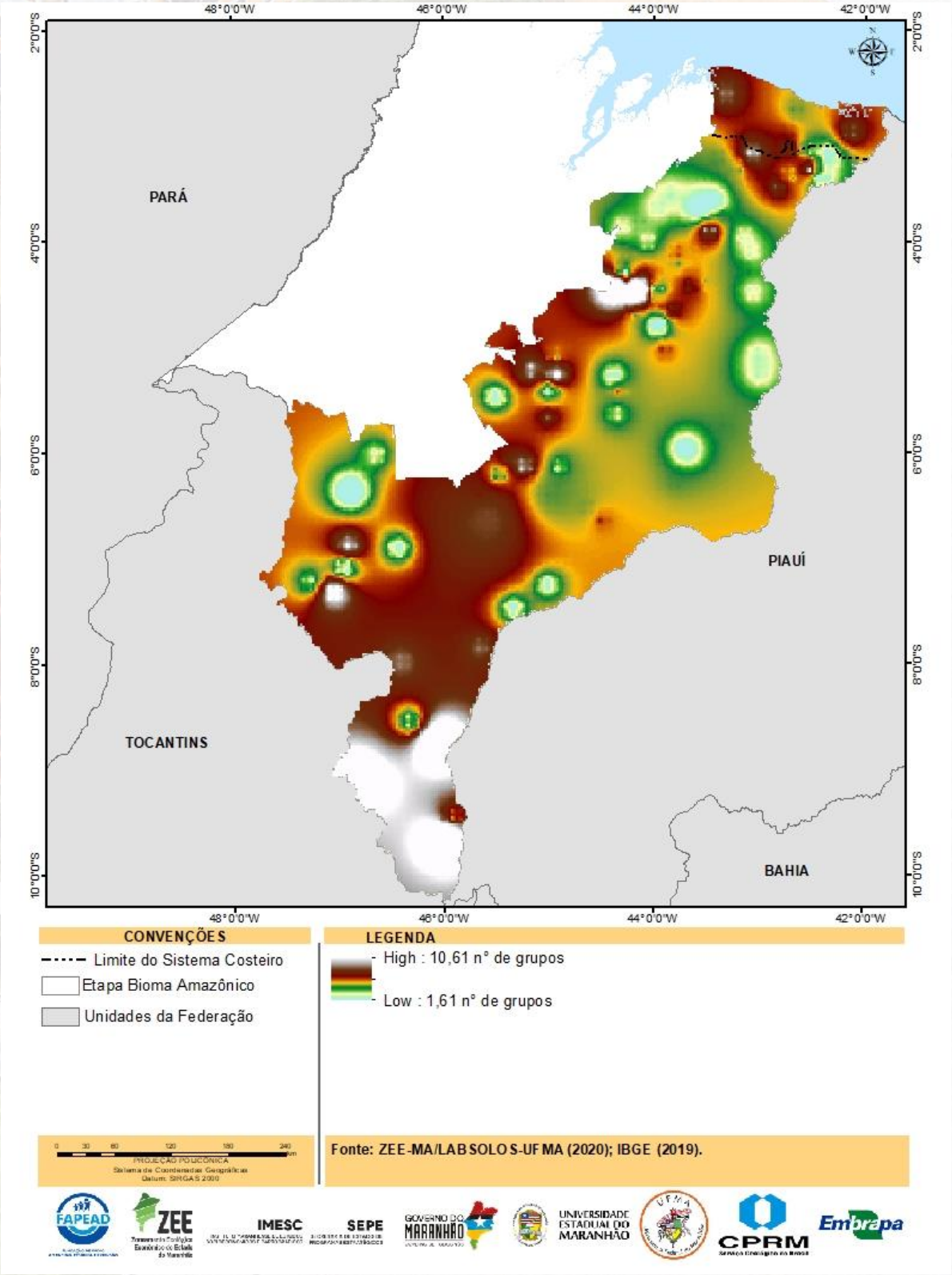
CV – Coeficiente de variação, %; D – teste de normalidade de Kolmogorov Smirnov à 1% de probabilidade

Figura 6.5 - Mapa de variabilidade espacial da abundância de organismos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021).

Figura 6.6 - Mapa de variabilidade espacial da riqueza de grupos taxonômicos da fauna invertebrada do solo amostrada no período seco no Bioma Cerrado e Costeiro do Maranhão (Brasil)

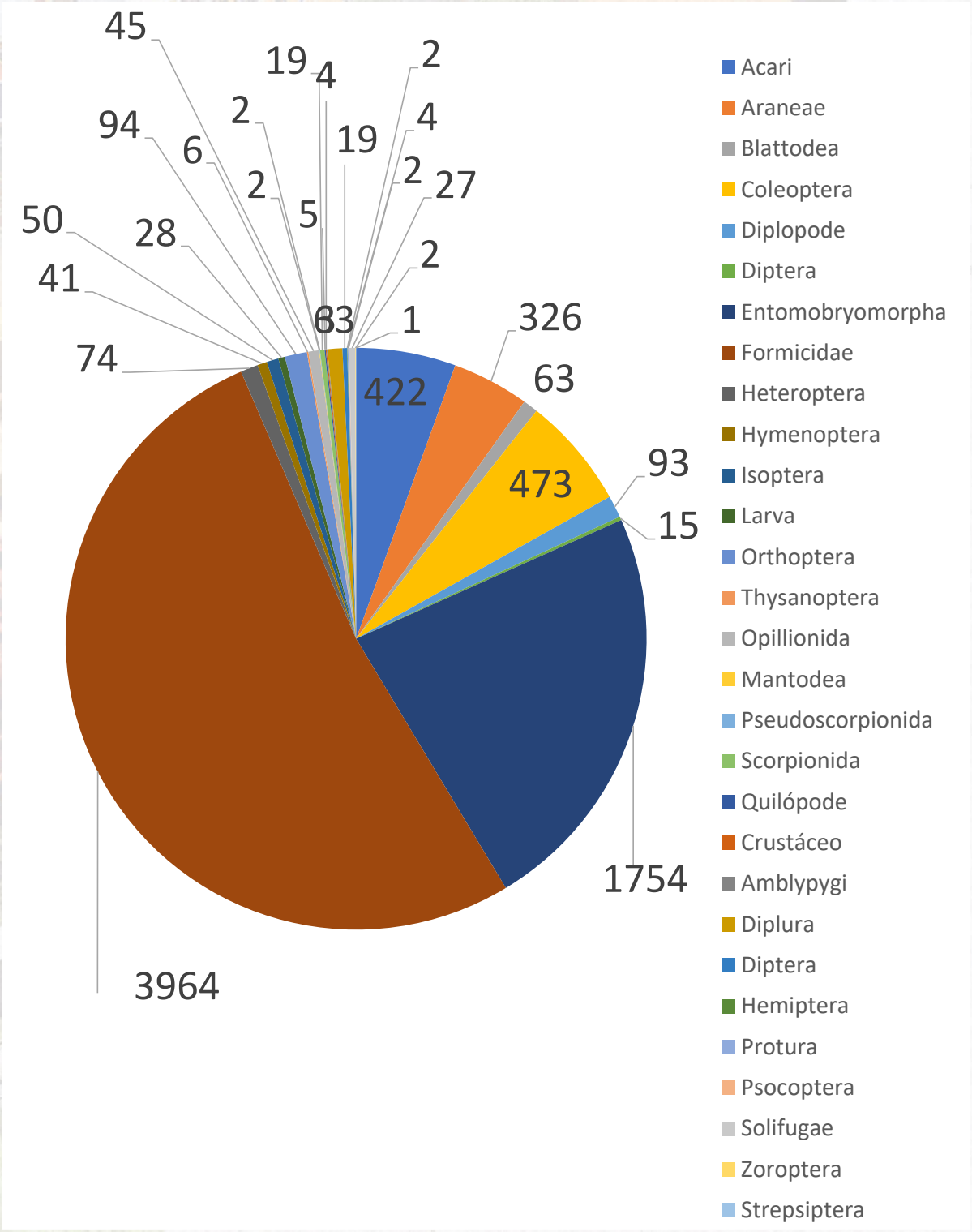


Fonte: ZEE (2021).

As amostras de fauna invertebrada do solo demonstram que a abundância média foi de 46,35 indivíduos por amostra, e a riqueza apresentou média de 5,02 grupos. Estes valores são importantes para se entender a dinâmica da fauna invertebrada do solo, e a identificação de valores de referência que possam ser utilizados como indicadores mínimos para se avaliar a diversidade biológica. Nesse sentido, é importante salientar que neste estudo as amostras foram coletadas no período seco, que representa o período de menor atividade dos organismos da fauna do solo, e é de se esperar que no período chuvoso haja um aumento na dinâmica da fauna invertebrada devido as melhores condições ambientais, e desta maneira demonstrando a importância de se conhecer a dinâmica nas duas estações, porém, o período seco é o momento que melhor oferece indicadores de referência para a definição de limites de referência para o desenvolvimento humano, conciliando a conservação ambiental.

A Figura 6.7 apresenta a riqueza de grupos taxonômicos para os 164 pontos de amostragem, indicando a proporção e a representatividade de cada grupo para o presente estudo. A predominância de Formicidae corrobora com os resultados de Pasqualin et al. (2012) e Portilho et al. (2011) quando avaliaram a diversidade da fauna do solo em sistema manejo do solo. Foram identificados 29 grupos taxonômicos: Acari, Araneae, Blattodea, Coleoptera, Diplopode, Diptera, Entomobryomorpha, Formicidae, Heteroptera, Hymenoptera, Isoptera, Orthoptera, Thysanoptera, Opillionida, Mantodea, Pseudoscorpionida, Scorpionida, Quilópode, Crustáceo, Amblypygi, Diplura, Diptera, Hemiptera, Protura, Psocoptera, Solifugae, Zoroptera e Strepsiptera.

Figura 6.7 - Grupos taxonômicos identificados nas 164 amostras de fauna invertebrada no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



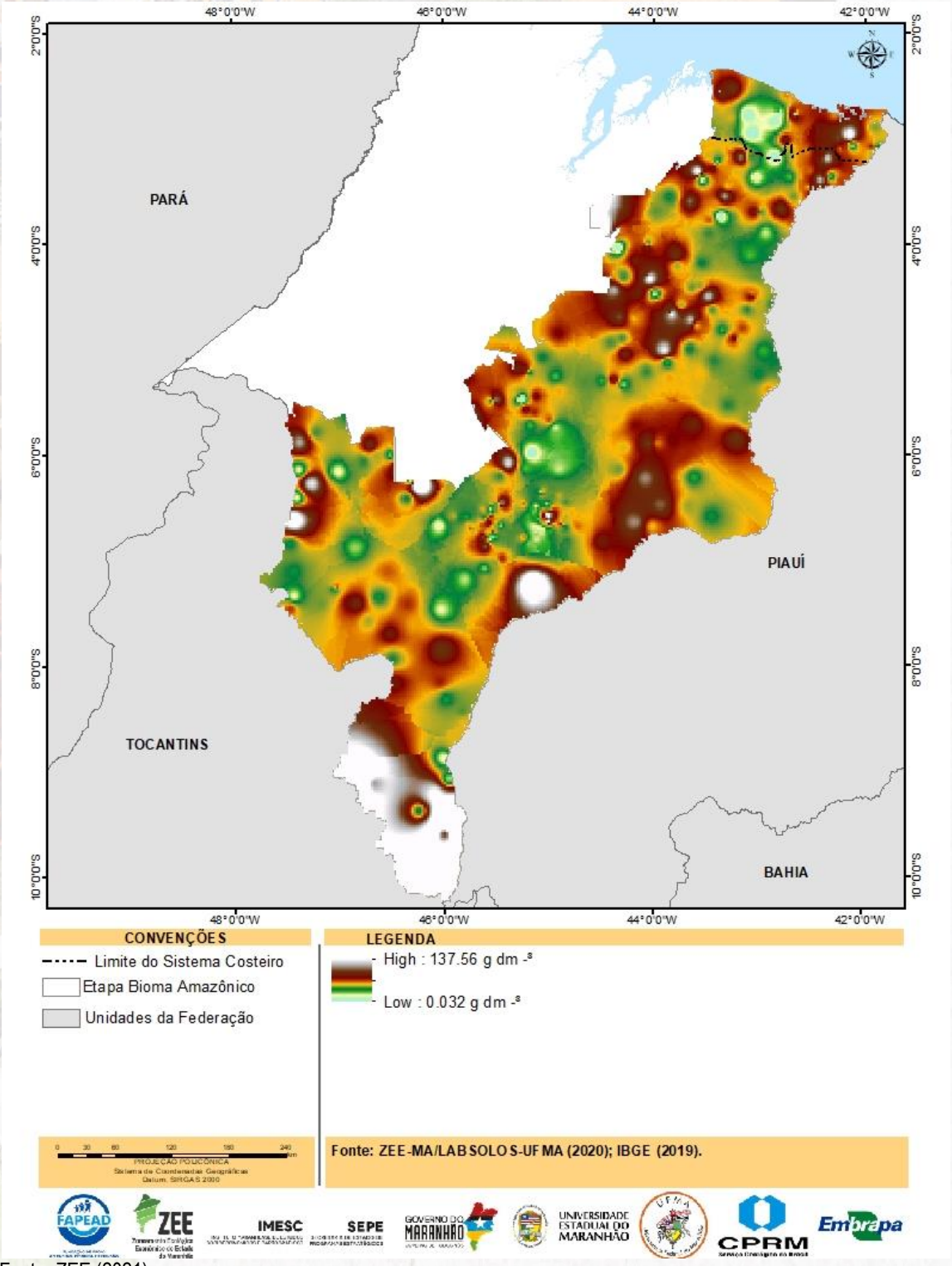
Fonte: ZEE (2021).

A elevada abundância de formigas pode estar associada à sua marcante interação no ambiente por meio da herbivoria, predatismo, mutualismo e, também, na grande capacidade de localização do alimento mesmo distante de suas áreas usuais de forrageamento (HOFFMAN et al., 2010; SANABRIA et al., 2014). Além disso, as formigas e outros artrópodes afetam profundamente os fluxos de gases e água no solo, pela criação de canais e interferência na estrutura dele, podendo assim modificar os microhábitats de outros organismos do solo, implicando na presença e na ausência de grupos taxonômicos (SIQUEIRA et al., 2014).

Os grupos mais abundantes foram Formicidae (3.964 organismos), Entomobryomorpha (1.754 indivíduos), Coleoptera (473 organismos) e Acari (422 espécimes), e são grupos importantes para a biota do solo, atuam na dinâmica estrutural do solo, por meio da formação de estruturas biogênicas e galerias, abertura de poros e rompimento de horizontes (AYUKE et al., 2011; CARRILLO et al., 2011; BERNARD et al., 2012; CABRERA, 2012), além de serem organismos que atuam ativamente na fragmentação de matéria orgânica.

A Figura 6.8 apresenta o mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico do solo (SOC). Verifica-se que os maiores valores de carbono orgânico estão alocados no extremo Sul do Estado do Maranhão, havendo machas de variabilidade espacial de carbono orgânico disposta na linha de transição entre o Bioma Cerrado e Amazônia, destacando a importância da conservação destes ecótonos. De todo o conteúdo de carbono orgânico do solo, cerca de 58% encontram-se estocados na forma de carbono orgânico do solo, havendo maior conteúdo de SOC nas camadas superficiais, diminuindo em profundidade (NELSON; SOMMER, 1996). DIXON et al. (1994) descrevem que nos ecossistemas florestais cerca de 40% do carbono estão armazenados no solo, representando uma quantidade de carbono estocada superior à presente na atmosfera (LAL, 2004).

Figura 6.8 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de carbono orgânico no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)

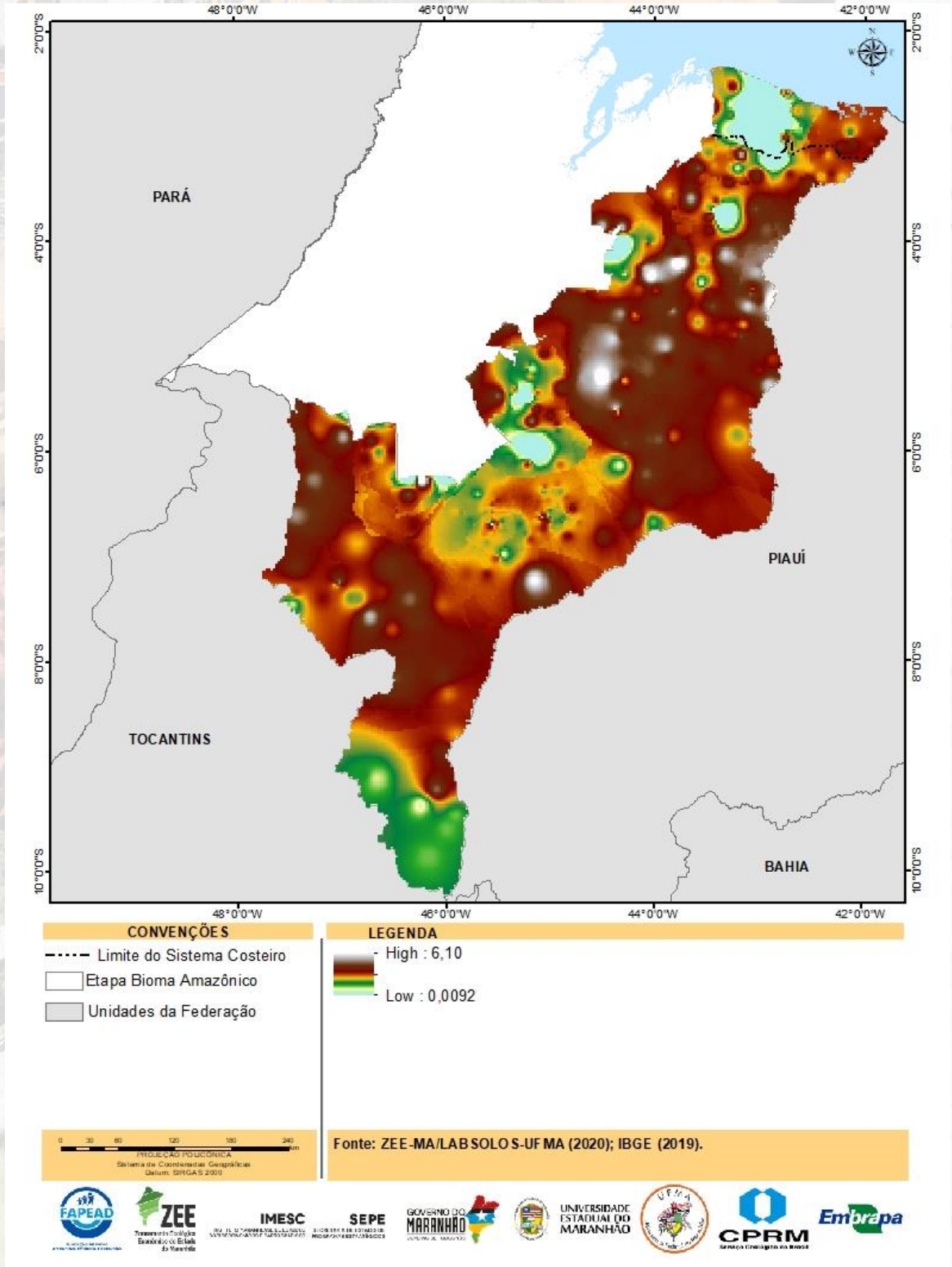


Fonte: ZEE (2021)

Dessa maneira, na perspectiva das mudanças climáticas, a manutenção de valores ótimos de carbono orgânico do solo, são fundamentais a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. É importante destacar que os menores valores do conteúdo de carbono orgânico do solo estão alocados na porção central e no Bioma Costeiro do Estado do Maranhão, indicando que nestas regiões deve haver maior cuidado e atenção com o uso e ocupação do solo, pois de maneira geral, representam as regiões com maior fragilidade ambiental em relação ao conteúdo de carbono orgânico do solo.

A Figura 6.9 apresenta o mapa de variabilidade espacial para o pH, indicando que a região extremo Sul do Maranhão, a região Centro Maranhense e uma parte do Bioma Costeiro apresentam os menores valores de pH, indicando que estas áreas possuem os maiores problemas em relação à acidez do solo, e que a supressão vegetal no processo de uso e ocupação do solo deve ser realizada com cuidado, sobretudo para os sistemas de produção agrícola e pecuária, pois são solos que necessitam de mais atenção agronômica e que o seu uso indevido pode levar a sérios problemas de degradação ambiental.

Figura 6.9 - Mapa de variabilidade espacial do pH ($CaCl_2$) no Biomas Cerrado e Costeiro do Maranhão (Brasil)

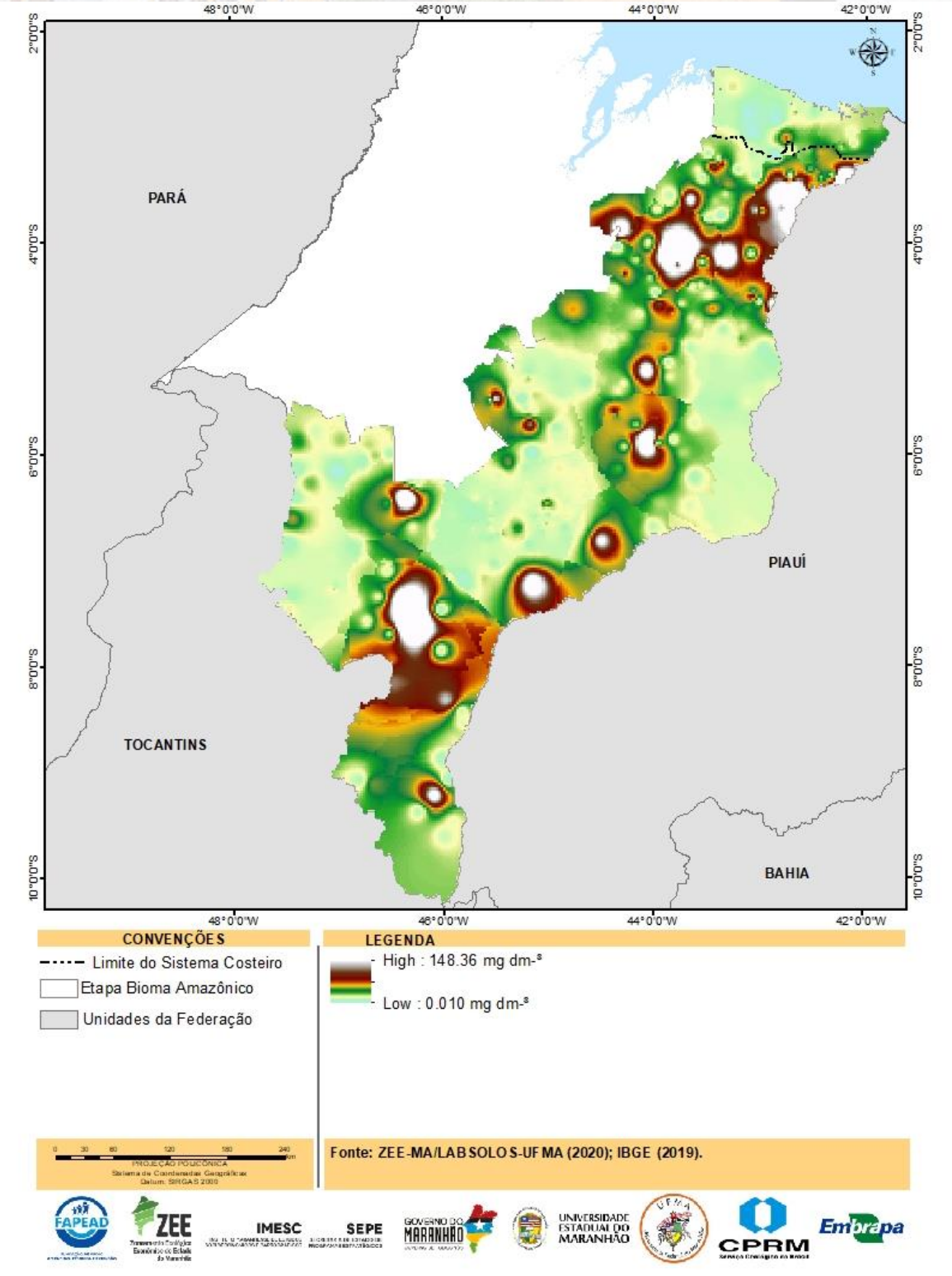


Fonte: ZEE (2021)

A Figura 6.10 apresenta o mapa de variabilidade espacial para o conteúdo de fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil). O fósforo naturalmente é bastante escasso na natureza e representa um macronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, e, por isso, a ocupação pela agricultura e pecuária no Estado do Maranhão devem considerar as potencialidades locais do ambiente com relação a este nutriente. Destaca-se que as regiões com maior conteúdo de fósforo estão associadas à divisa com Estado do Piauí, e, por conseguinte, com a bacia do Rio Parnaíba.

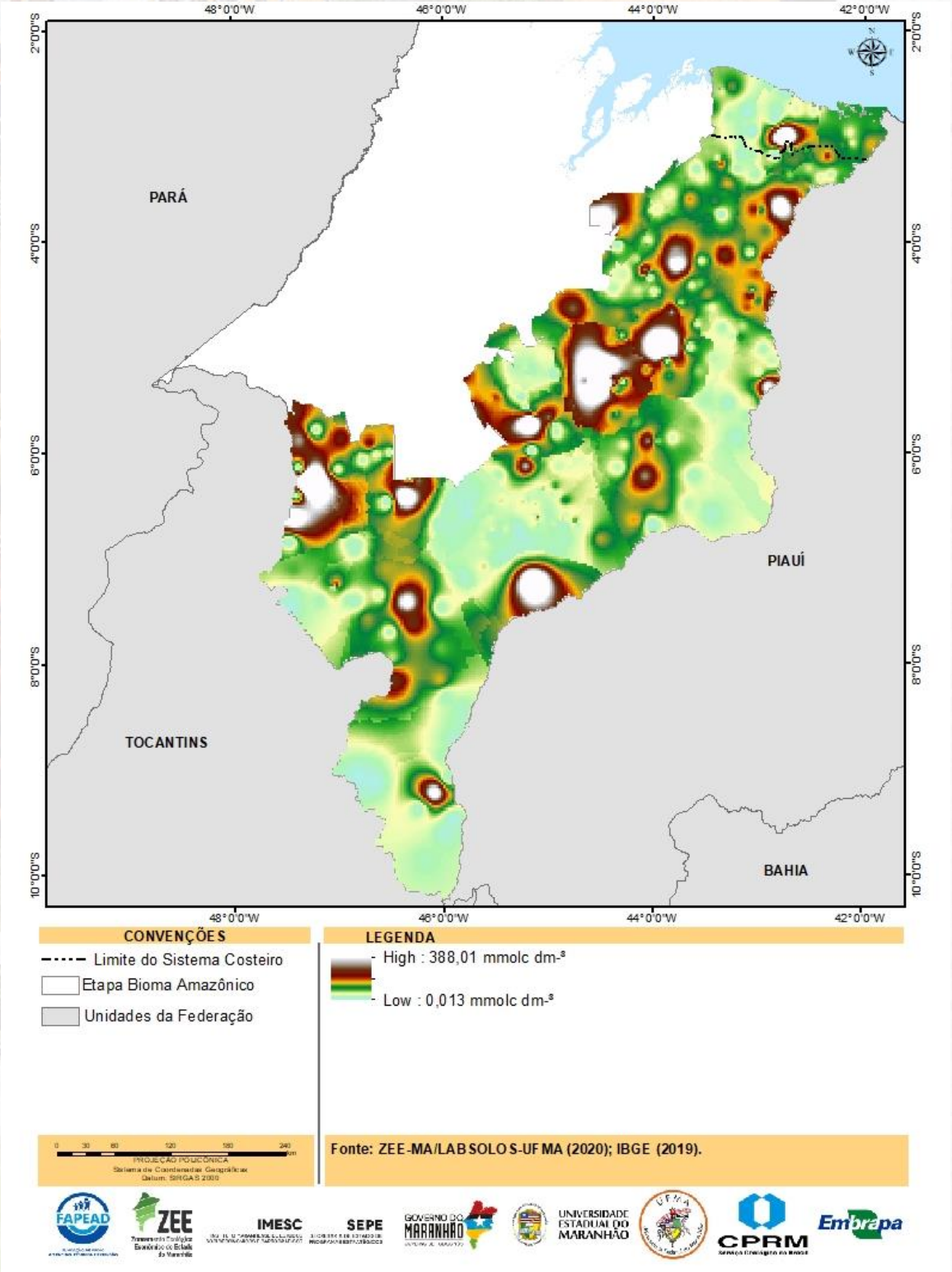
As Figuras 6.11, 6.12 e 6.13 apresentam respectivamente os mapas de variabilidade espacial para o conteúdo de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}. Os mapas de variabilidade espacial dos cátions do solo (Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}) demonstram que existe relação na distribuição das linhas de contorno em agrupamentos: o agrupamento 1 refere-se ao conteúdo de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+} que apresenta distribuição comum, com maiores valores margeando a porção superior da Região Sul Maranhense, partindo de Campestre do Maranhão até São Felix de Balsas; o segundo agrupamento (Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}) demonstra que os maiores conteúdos destes cátions está associado à região Centro Maranhense e Leste Maranhense.

Figura 6.10 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de fósforo (P) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



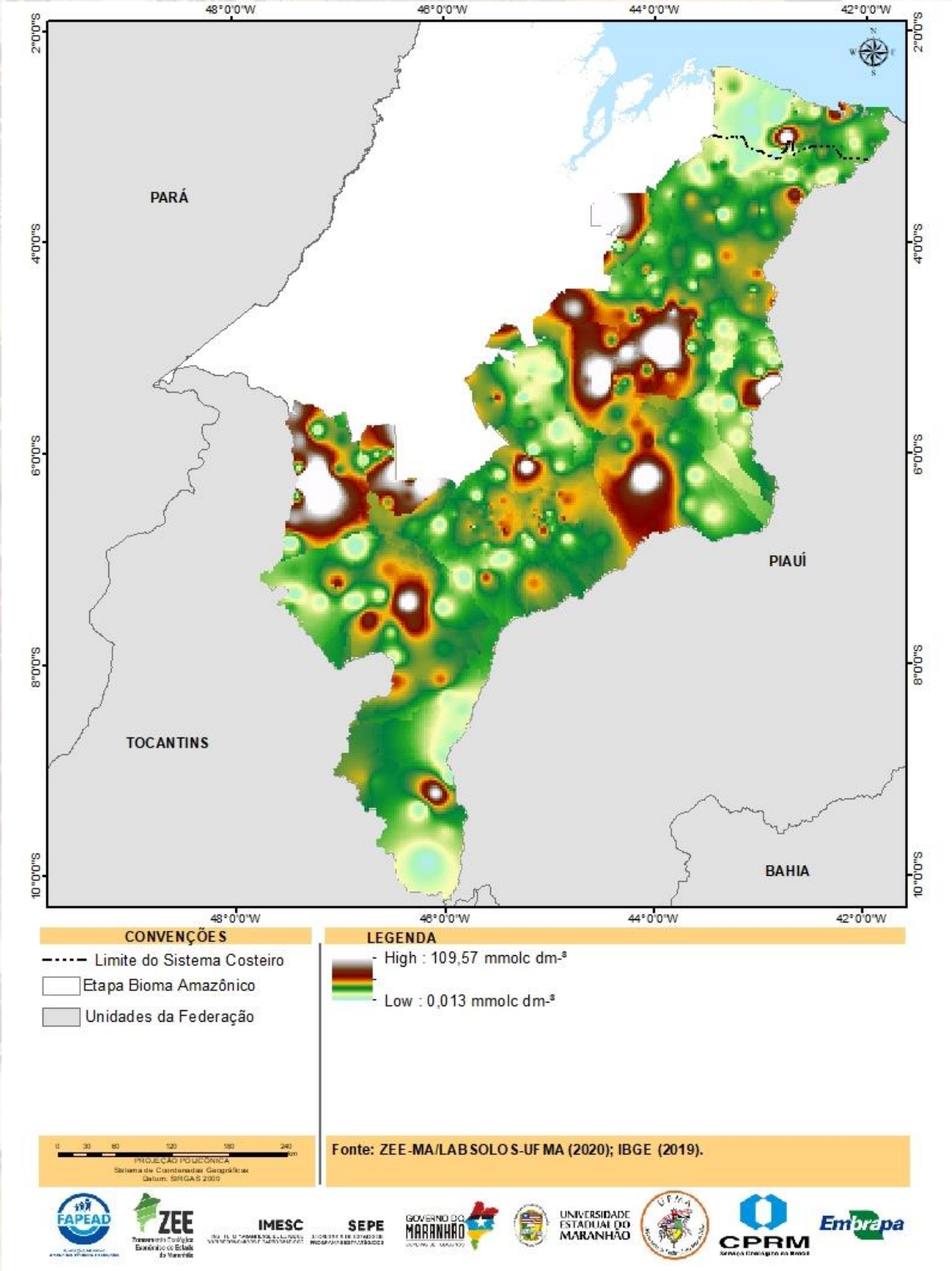
Fonte: ZEE (2021)

Figura 6.11 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de cálcio (Ca^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



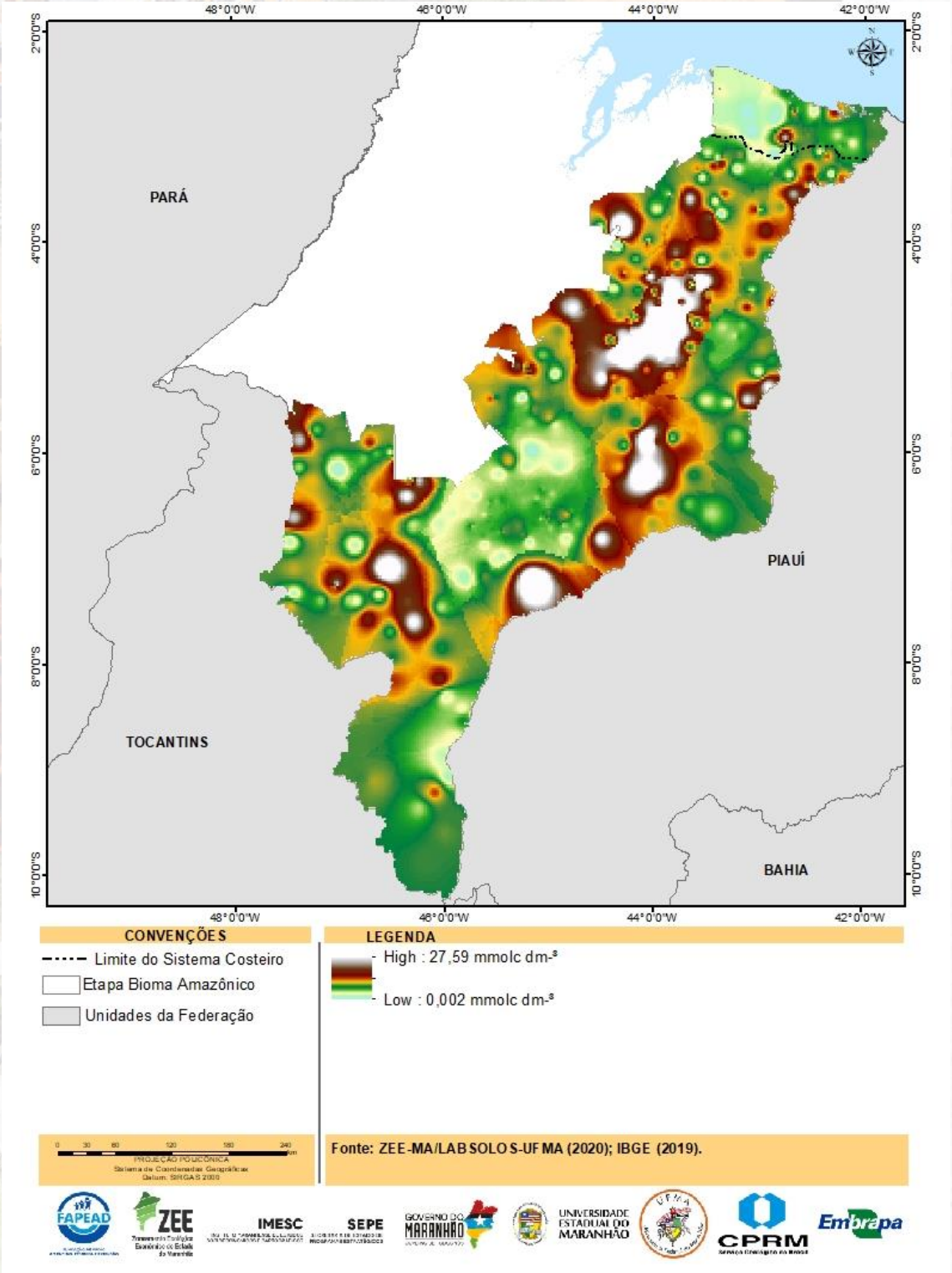
Fonte: ZEE (2021)

Figura 6.12 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de magnésio (Mg^{2+}) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021)

Figura 6.13 - Mapa de variabilidade espacial do conteúdo de potássio (K^+) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



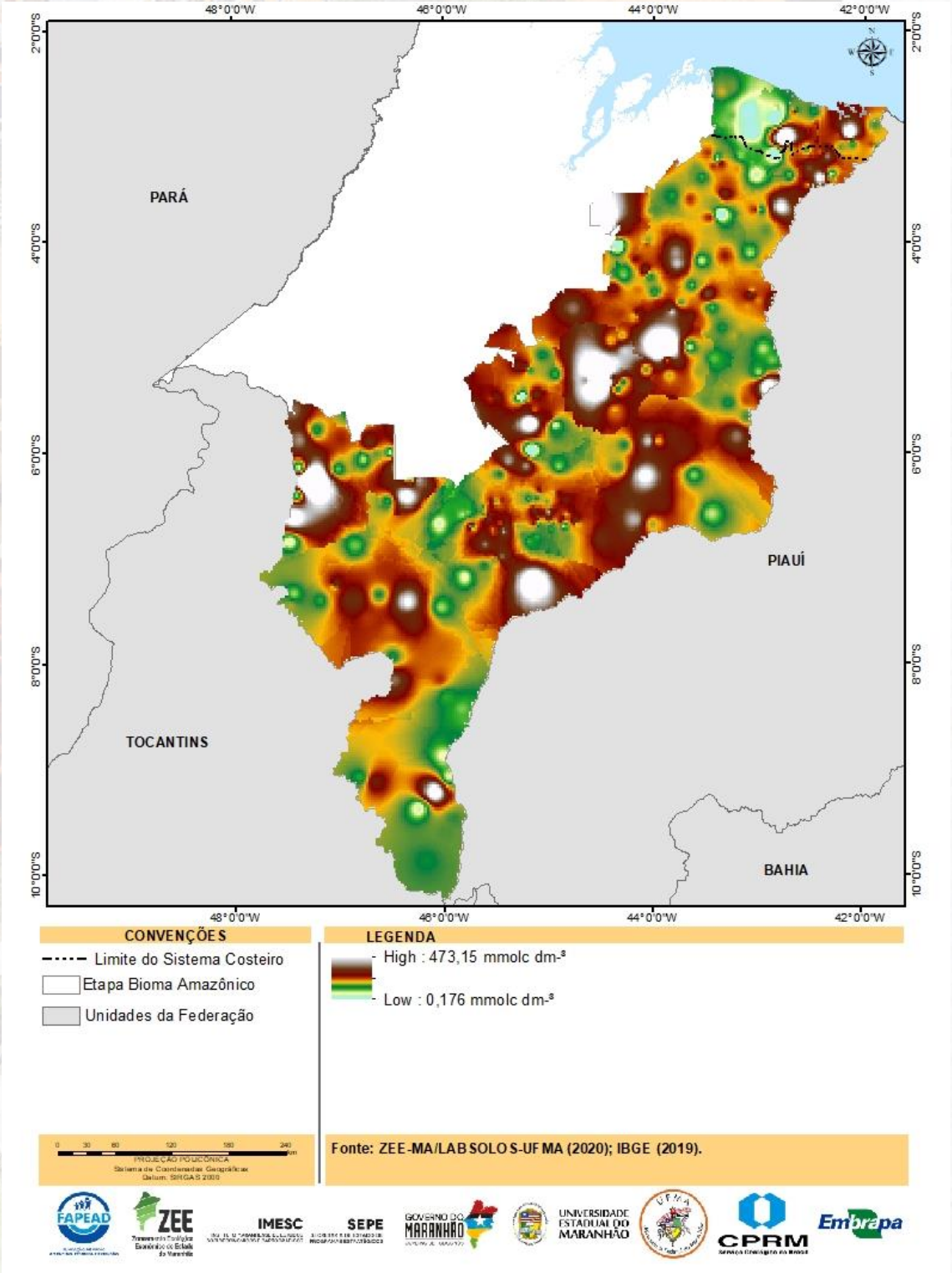
Fonte: ZEE (2021)

As Figuras 6.14, 6.15 e 6.16 apresentam respectivamente os mapas de variabilidade espacial para a CTC (capacidade de troca de cátions), SB (soma das bases) e V% (saturação por bases) nos Biomas Cerrado e Caatinga do Maranhão (Brasil) e descrevem a fertilidade natural do solo. A CTC representa a quantidade total de cátions retidos e permutáveis na fração mineral do solo (argilas coloidais, substâncias húmicas e os sesquióxidos de ferro e alumínio), desta maneira indicando a fertilidade natural de um solo. Nesse sentido, verifica-se na Figura 6.14 que as regiões com maior fertilidade natural estão alunadas na divisa entre as regiões Sul Maranhense e Centro Maranhense, indicando ainda regiões com maior capacidade de liberação de nutrientes ao longo do tempo ou ainda pode ser interpretada como valores de referência para reposição de nutrientes, evitando-se ainda os efeitos tóxicos de aplicação de fertilizantes.

O mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB- Figura 6.15) indica as regiões com maior capacidade de permutação de cátions trocáveis exceto H^+ e Al^{3+}. Nesse sentido, verifica-se que as regiões com maior concentração de cátions trocáveis estão diretamente relacionadas a CTC na zona de contato entre as Sul Maranhense e Centro Maranhense.

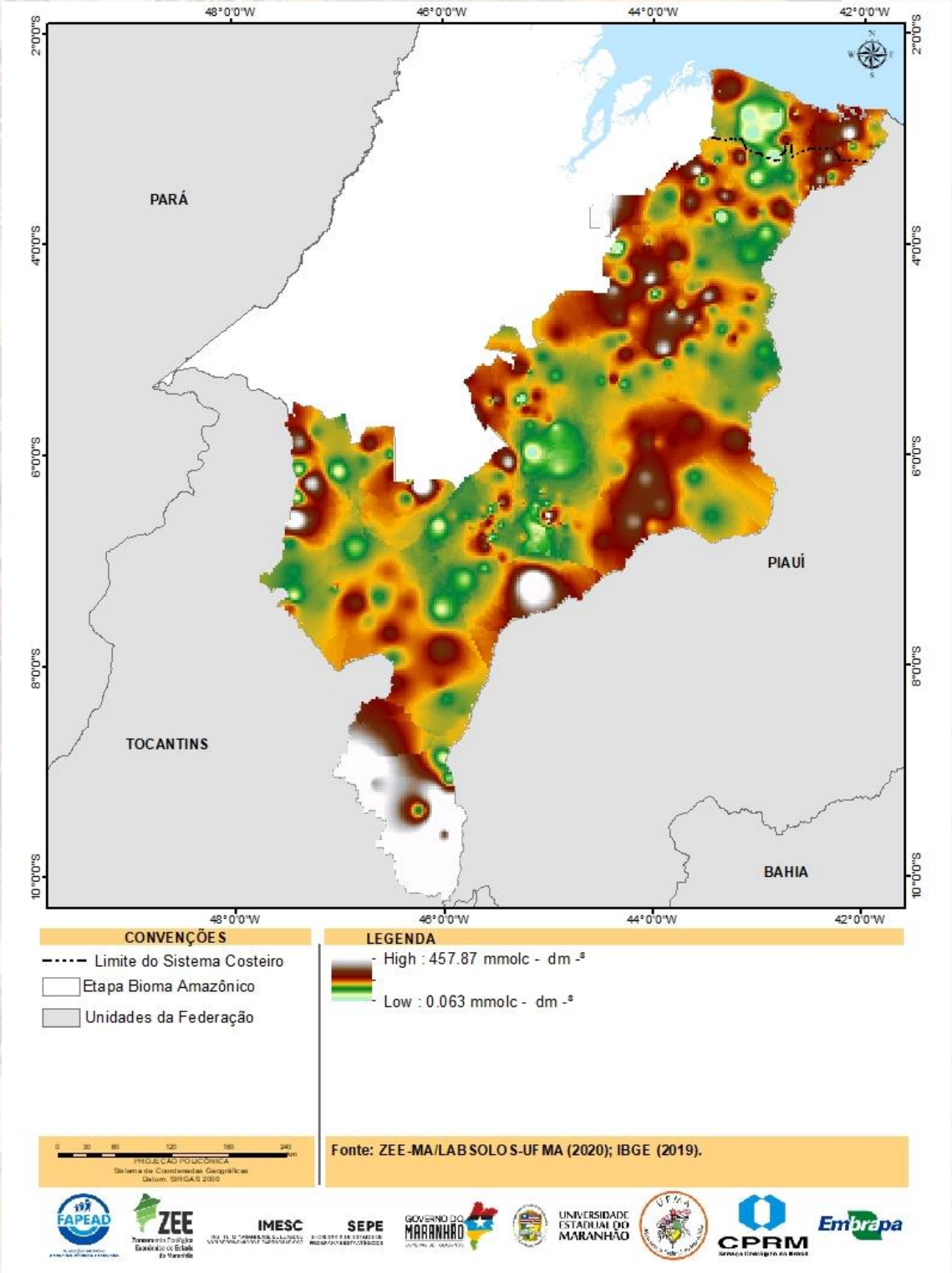
O mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V% – Figura 6.16) descreve que a porção superior da região Sul Maranhense e as regiões Centro Maranhense e Leste Maranhense apresentam condições gerais de fertilidade, demonstrando o grande potencial do Estado do Maranhão, uma vez que apenas a região extremo Sul do Estado do Maranhão e manchas pontuais alocadas na região Centro Maranhense e o Bioma Costeiro do Maranhão apresentam as maiores deficiência no que diz respeito à fertilidade natural.

Figura 6.14 - Mapa de variabilidade espacial da capacidade de trocas de cátions (CTC) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



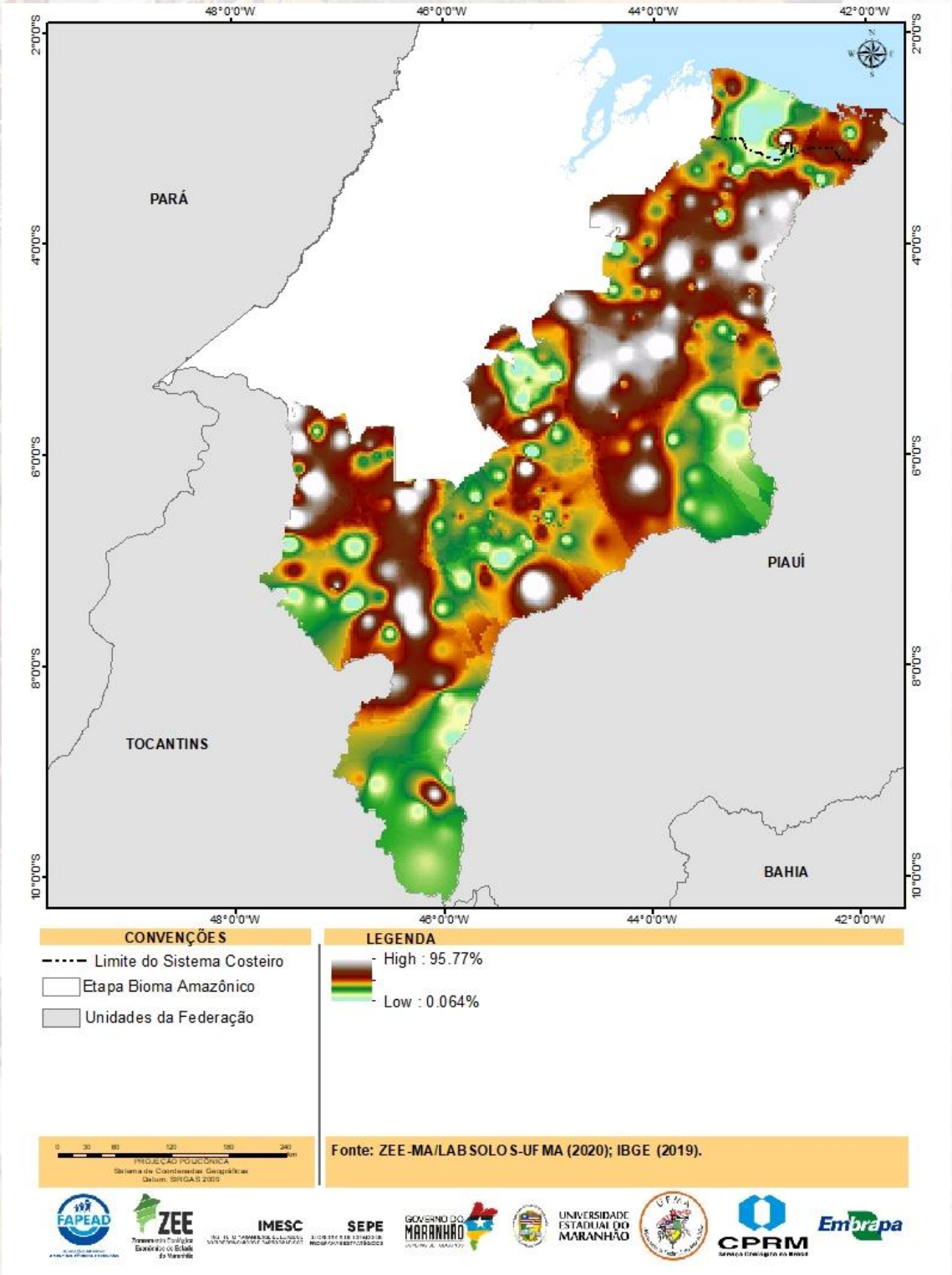
Fonte: ZEE (2021)

Figura 6.15 - Mapa de variabilidade espacial da soma das bases (SB) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021)

Figura 6.16 - Mapa de variabilidade espacial da saturação por bases (V%) no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão (Brasil)



Fonte: ZEE (2021)

De maneira geral, os mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, demonstram que a região extremo Sul do Maranhão e o Sistema Costeiro apresentam as maiores deficiências, seja no que se refere à acidez (pH) e às condições naturais de fertilidade (CTC, SB e V%). No Sistema Costeiro há alocado o parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, o que permite que essa extensa região seja preservada, apesar de grande especulação imobiliária impulsionada, principalmente pelas potencialidades turísticas da região.

Já na Região extremo Sul do Maranhão há apenas o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba na divisa com Piauí e Tocantins, porém, nesta região a expansão da agricultura e pecuária ameaçam uma região com elevada biodiversidade de artrópodes do solo e baixa fertilidade natural, indicando que se os solos não forem manejados adequadamente existe a possibilidade de haver sérios problemas ambientais relacionados ao depauperamento da riqueza de organismos, conteúdo de carbono orgânico do solo e perda de nutrientes, além do risco potencial sobre as nascentes do Rio Parnaíba.

5 CONCLUSÃO

O solo é um sistema dinâmico e vivo, e as suas complexidades locais e/ou regionais devem ser consideradas no processo de planejamento sobre o uso e ocupação da paisagem, sobretudo no que diz respeito à geração de cenários a curto, médio e longo prazo. Ele possui papel primordial para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, pois o estoque de carbono no solo é maior que o da atmosfera.

Além disso, o desenvolvimento acelerado, impulsionado por pressões econômicas em diferentes espectros, aumenta a demanda por áreas de produção, e nos últimos anos o Estado do Maranhão sofreu crescente pressão imobiliária, fazendo com que a cobertura vegetal seja suprimida, gerando sérias consequências para a manutenção da biodiversidade do solo e condições naturais de fertilidade. Nessa perspectiva, este trabalho apresenta uma visão holística sobre as características intrínsecas do solo até então desconsideradas pelo processo de gestão e desenvolvimento de políticas públicas. Diante do exposto, as principais considerações sobre este trabalho são:

- O estado do Maranhão possui elevada variabilidade para a abundância de organismos da fauna invertebrada do solo e para a riqueza de grupos taxonômicos, indicando que a região extremo Sul do Maranhão próximo ao Parque Nacional das nascentes do Rio Parnaíba e parte da região Leste Maranhense apresentam a menor diversidade de organismos da fauna do solo, e que o uso e a ocupação desordenados podem causar sérios problemas de ordem ambiental, devido à perda de biodiversidade;
- O conteúdo de carbono orgânico do solo por sua vez é maior na região extremo Sul do Estado e nas franjas de transição dos Biomas Cerrado e Amazônia, indicando a importância para a

conservação desses ecótonos, que possuem características próprias no que diz respeito à biodiversidade e à conservação, uma vez que a cobertura vegetal tem diminuído nos últimos anos. Destaca-se também o papel destes *clusters* com maior conteúdo de carbono orgânico para a mitigação das mudanças climáticas. No entanto, entende-se que mesmo as regiões com menor conteúdo de carbono orgânico do solo possuem papel fundamental para o equilíbrio ambiental, e que perdas de carbono para a atmosfera constituem um dos grandes desafios para os sistemas produtivos do Maranhão, pois são necessários mais estudos de como aumentar o conteúdo de carbono do solo nas condições tropicais;

- Em relação à fertilidade natural dos solos maranhenses, existe grande potencialidade de produção em quase todas as áreas dos Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, com exceção dos extremos Sul do Estado do Maranhão e do Sistema Costeiro, que possuem limitações com relação à fertilidade natural dos solos. Nesse caso, o uso e a ocupação desordenados e sem o respeito às características intrínsecas dos solos destas regiões podem acarretar sérios problemas de ordem ambiental, pois se estes solos forem degradados, o custo para recuperação seria elevado. Entretanto, a conservação, sobretudo na região limítrofe com o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, pode agregar à sociedade valores e ganhos incalculáveis. É importante destacar que as regiões com menor fertilidade natural também têm os maiores problemas em relação à acidez do solo, por isso são solos que necessitam de manejo diferenciado.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. M. **Manual para coleta de macrofauna do Solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 21 p.

AYUKE, F. O.; BRUSSAARDA, L.; VANLAUWE, B.; SIX, J.; LELEI, D. K.; KIBUNJA, C. N.; PULLE, M. M. 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. **Applied Soil Ecology**, v.48, p.53-62.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucária angustifólia no estado de São Paulo**. 2007. 158p. (Doutorado Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

BERNARD, L., CHAPUIS-LAEDY, L., RAZAFIMBELO, T. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. **ISME** J. 6, 222–231, 2012.

CABRERA-DÁVILA, Grisel. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. **Pastos y Forrajes**. 35 (4):349-364, 2012

CARRILLO, T.; BALL, B.A.; BRADFORD, M.A., JORDAN, C.F., MOLINA, M., 2011. **Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil**. Soil Biological.

CARVALHO, JRP.; SILVEIRA, PM.; VIEIRA, SR. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de característica químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec. Bras**. 37:1151-1159, 2002.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Fauna do solo:** aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 46p.

DIXON, R.A.; HARRISON, M.J.; LAMB, C.J. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review of Phytopathology**, v.32, p.479-501, 1994.

GOLDEN SOFTWARE. **Software designed to display your data:** developed to exceed your expectations. 2014. Disponível em: Disponível em: http://downloads.goldensoftware.com/guides/GSIWebBrochure.pdf Acesso em: 10 mar. 2020.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. **Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (Variety iacsp93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes**. Bragantia, 69, 107-119, 2010.

HOFFMANN, B.D. 2010. Ecological restoration following the local eradication of an invasive ant in Northern Australia. **Biol. Invasions,** 12:959-969. http://dx.doi.org/10.1007/s10530-009-9516-2

LAL, R. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science**, 304, 2004. Disponível em: http://www.science.org . Acesso em: 6 de fev. 2007.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGA, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. **Methods of soil analysis:** Chemical methods. Part 3. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.961-1010.

OLIVEIRA, J.B**. Pedologia Aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p

PASQUALIN, L.A.; DIONÍSIO, J.A.; APARECIDA, M.; ZAWADNEAK, C.; MARÇAL, C.T., n.d. **Edaphic macrofauna in sugar cane crops and forest in northwestern Paraná – Brazil** Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná – Brasil 7–18. DOI:10.5433/1679-0359.2012v33n1p7.

PORTILHO, I. I. R. et al. Resíduos da cultura da cana-de-açúcar e seus efeitos sobre a fauna invertebrada epigéica. **Seminário Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 959–970, 2011.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1999. 549p.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284 p.

SANABRIA, C.; LAVELLE, P.; FONTE, S.J. Ants as indicators of soil-based ecosystem services in agroecosystems of the Colombia Llanos. **Applied Soil Ecology**, v.84, p.24-30, 2014. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.07.001.

SAS. **SAS Software**. Version 9.1. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1999.

SIQUEIRA, G. M.; SILVA, E. F. F.; PAZ-FERREIRO, J. **Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State**, Brazil, v.2014, p. 7, 2014.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, v.1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S.R.; PAZ GONZÁLEZ, A. **Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots**. Bragantia, Campinas, v.62, n.1, p.127-138, 2003.

7

DIVERSIDADE FAUNÍSTICA DO MARANHÃO: avaliação da composição, áreas prioritárias, ameaças e recomendações de ações para sua conservação

1 **INTRODUÇÃO** 344
2 **METODOLOGIA** 346
2.1 **Inventários** 347
2.2 **Mapeamento e classificação de áreas prioritárias à conservação da biodiversidade no estado do Maranhão** 349
2.3 **Estabelecimento das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade** 349
2.4 **Integração entre o ZEE Amazônia e ZEE Cerrado** 350
3 **MACRO-CARACTERIZAÇÃO E AMEAÇAS À FAUNA** 351
3.1 **Mamíferos** 353
3.1.2 Ameaças, os Mamíferos Ameaçados, Endêmicos, Raros e de Especial Interesse 355
3.2 **Aves** 360
3.2.1 Macroavaliação das ameaças à avifauna maranhense 362
3.3 **Herpetofauna (grupo dos répteis e anfíbios):** caracterização nos gradientes ambientais do Maranhão 366
3.4 **Peixes** 370
3.4.1 Macro-caracterização e Ameaças à Ictiofauna 370
3.5 **Abelhas Euglossini** 380
3.6 **Macroavaliação das ameaças à fauna maranhense** 382
4 **AÇÕES RECOMENDADAS** 390
REFERÊNCIAS 393

LISTA DE FIGURAS

Figura 7.1 - Indivíduo da nova espécie do gênero *Makalata* (rato-de-espinho) registrado para o Maranhão, ocorrendo na grande São Luís e em regiões bastante impactadas 346

Figura 7.2 - Registros amostrais para os diversos grupos taxonômicos avaliados.....348

Figura 7.3 - Modelo de mapas plotados para estabelecimento de áreas prioritárias 350

Figura 7.4 - Número de espécies registradas por categorias de ameaça em nível nacional e internacional 352

Figura 7.5 - Quadro síntese dos mamíferos do estado do Maranhão.....354

Figura 7.6 - Mamíferos maranhenses ameaçados de extinção em nível nacional (MMA) e mundial (IUCN) por categoria de ameaça.....357

Figura 7.7 - As espécies de primatas mais ameaçadas do Maranhão, *Chiropotes satanas, Cebus kaapori, Alouatta belzebul e Alouatta ululata 357*

Figura 7.8 - *Leopardus tigrinus* (pintadinho) e *Leopardus colocola* (gato-preto) são duas espécies de felinos que apresentam suas populações mais importantes no país dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador.....358

Figura 7.9 - Mapa de ponto com localização das espécies de mamíferos prioritários 359

Figura 7.10 - Quadro síntese das aves do estado do Maranhão 361

Figura 7.11 - Números de espécies registradas por categorias de ameaça em nível nacional e global.....361

Figura 7.12 - Distribuição das espécies ameaçadas de extinção em nível nacional e global por região biogeográfica no Maranhão.....362

Figura 7.13 - O mutum-pinima (esquerda) e o jacamim-da-costa-preta (direita) são espécies criticamente ameaçadas de extinção fotografadas no seu mais importante reduto, a região do Gurupi 363

Figura 7.14 - O arara-azul-grande (esquerda) e paredões utilizados para nidificação da arara-azul-grande (direita) fotografada na APA das Nascentes do Rio Balsas 364

Figura 7.15- Pontos de amostragem das aves ameaçadas utilizados para a modelagem de nicho.....365

Figura 7.16 - Distribuição de pontos da herpetofauna 369

Figura 7.17 - Padrões de distribuição para a ictiofauna do Estado do Maranhão. A) Maranhão Central; B) Cerrado maranhense; C) Oeste maranhense; D) Amazônia maranhense; E) Planalto maranhense; F) Marinho-estuarino 372

Figura 7.18 - Pontos de ocorrência de abelhas Euglossini no Maranhão 382

Figura 7.19 -O jacamim-da-costa-preta (esquerda) e o mutum-pinima (direita) são espécies criticamente ameaçadas de extinção, fotografadas no seu mais importante reduto, a região do Gurupi 384

Figura 7.20 - A ameaça invisível da transmissão de doenças por animais domésticos nas áreas naturais e Unidades de Conservação: cães são fotografados nas mesmas câmeras que os felinos silvestres e cegam a potencialmente impactar > 60% do hábitat utilizado pelo felino ameaçado. Várias doenças, como a cinomose, são muito incidentes nas populações de cães dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador 385

Figura 7.21 - O raro e ameaçado cachorro-do-mato (*Speothos venaticus*), registrado na Reserva Biológica do Gurupi (foto à direita), apresenta total perda de pelos, ocasionada provavelmente por sarna. À esquerda indivíduo sadio para efeito comparativo 385

Figura 7.22 - *Harpia harpyja* adulta e juvenil de *Morphnus guianensis,* duas espécies no limiar da extinção no Maranhão 387

Figura 7.23 - Os grandes predadores: onça-vermelha e onça-pintada no Parque Estadual do Mirador e na Reserva Biológica do Gurupi 387

Figura 7.24 - As duas espécies de ungulados ameaçadas de extinção: o queixada (porcão) e a anta têm seus maiores redutos no Maranhão, na Região Amazônica do Gurupi, ambas já desapareceram do cerrado do Parque Estadual do Mirador 388

Figura 7.25 - Os 7 de Mirador: o Parque Estadual do Mirador e entorno é uma das áreas protegidas com a maior diversidade de felinos do Brasil, seis destes majestosos animais estão ameaçados de extinção e dois deles têm no parque sua mais importante área protegida no país 389

Figura 7.26 - As 12 espécies da fauna maranhense que estão no limiar da extinção no estado: *Harpia harpyja, Crax pinima, Psophia obscura, Epinephelus itajara, Trichechus manatus, Pteronura brasiliensis, Blastocerus dichotumos, Cebus kaapori, Chiropotes satanas, Pridontes maximus, Morphnus guianensis, Tolypeutes tricinctus*.....390

1 INTRODUÇÃO

A composição de espécies da fauna de uma região está diretamente relacionada à sua cobertura vegetal, assim como, a uma série de fatores de natureza biótica e abiótica relacionadas à sua história evolutiva. Desempenhando uma série de funções no ambiente, a diversidade animal não deve ser tratada unicamente como uma listagem de espécies, mas de uma maneira integrada, haja vista a complexidade das interações bióticas. A fauna local deve ser considerada como várias peças de uma máquina, cuja remoção de uma, pode seriamente afetar o seu funcionamento. Isso sugere que a perda da biodiversidade pode ocasionar um desequilíbrio de consequências imprevisíveis.

Os mamíferos e as aves são os dois grupos com maior variedade de espécies ameaçadas no país, por desempenharem várias funções estratégicas, como a polinização e a dispersão de muitas espécies de importância econômica, além da manutenção da diversidade biológica (EMMONS; FEER, 1998). Por exemplo, os mamíferos e aves predadoras, por estarem no topo da pirâmide ecológica, desempenham um importante papel na manutenção da diversidade de uma série de espécies da comunidade, em níveis tróficos inferiores (CROOKS; SOULÉ, 1999). Este componente, serve ainda, como excelente medidor da saúde do ecossistema e das funções ecológicas desempenhadas por ele.

Em decorrência de fortes pressões antrópicas sobre os recursos naturais no Maranhão, particularmente nas últimas décadas, grandes áreas da cobertura vegetal vêm sendo transformadas pelas atividades agropecuárias e pelo uso madeireiro, além da pesca predatória. Dessa forma, os ecossistemas locais vêm sofrendo profundas mudanças na sua fisionomia, na sua estrutura e na diversidade das espécies da fauna e da flora, representando uma constante e crescente ameaça para a manutenção e preservação dos ecossistemas, impondo sérios riscos aos princípios da sustentabilidade socioeconômica e ambiental do território maranhense.

Na Amazônia Maranhense houve perda de uma área de 464,96km² de floresta em 2013, contra 98,8km² em 2014. De 1984 a 2009, a taxa de desmatamento da área de floresta amazônica no estado teve média de 1,62% ao ano. Até 2010, 71,05% da área amazônica do estado já havia sido desmatada. Sendo assim, restariam até então, na Amazônia Maranhense, menos de 25% de sua cobertura vegetal, isto é, >75% da área já foi completamente desmatada (INPE, 2016).

Na porção do Cerrado Maranhense a perda da cobertura natural foi menor, de cerca de 36%. Entretanto, o Cerrado norte ou MATOPIBA é a área com os mais elevados índices de perda da cobertura vegetal do país, estando os municípios maranhenses à frente no ranking. Dentre os 50 municípios com maior desmatamento do país em 2020, o Maranhão tem cinco, dentre os quais Balsas ocupa a quinta posição do ranking. As taxas de aumento do desmatamento mais recentes (2019 – 2020) encontradas em municípios maranhenses atingem níveis estratosféricos, Balsas 202,1%, Mirador 301,4%, Bendito

Leite 2.877,5% e Parnarama 182% (MapBiomas, 2021). O alto índice de desmatamento registrado no Maranhão está relacionado à pouca atenção do poder público estadual e ao fato de o Maranhão, entre todos os estados da Amazônia Legal, ser o que possui o menor grau de ocupação do espaço com áreas protegidas.

A perda e a fragmentação dos habitats naturais têm acarretado uma série de impactos sob a biodiversidade. Isto compromete, significativamente, a sobrevivência de diversas espécies da fauna e flora, expondo-as precocemente ao risco de extinção. A carência de informações científicas relevantes sobre o *status* de conservação das espécies dificulta a implementação de medidas conservacionistas adequadas, planos de ação prioritários e políticas públicas visando, a longo prazo, à sobrevivência das espécies.

Nesse contexto estão os programas de levantamento e inventário da biodiversidade e a análise do *status* de conservação das espécies, voltados ao estabelecimento de listas vermelhas, planos de ação das espécies ameaçadas de extinção e áreas prioritárias à conservação da biodiversidade. Estes são de extrema importância para permear a adoção de medidas conservacionistas, assegurando resguardar o patrimônio natural em escalas regional e nacional.

É fato que existe um baixo índice de informações levantadas sobre a riqueza biológica e dos recursos naturais maranhenses, mais ainda, se forem consideradas sob o aspecto do conhecimento obtido de forma sistematizada. Portanto, conhecer os componentes dessa biodiversidade, sistematizá-los e pô-los à disposição das ações de conservação e desenvolvimento sustentável é essencial, para a realização de planos e programas no âmbito da gestão dos recursos naturais no estado do Maranhão.

As coletas já realizadas em todo o estado do Maranhão indicam a existência de novas espécies, de praticamente todos os grupos taxonômicos e a continuidade dos inventários na região, provavelmente, ampliará a lista das espécies (Figura 7.1).

Figura 7.1 - Indivíduo da nova espécie do gênero *Makalata* (rato-de-espinho) registrado para o Maranhão, ocorrendo na grande São Luís e em regiões bastante impactadas

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Um dos principais fatores de êxito, para a necessária gestão dessa inestimável riqueza biológica é o conhecimento profundo desses recursos abrigados em território maranhense. A partir desse conhecimento, é possível estabelecer diretrizes de gestão mais precisas, que permitam conservar esses estoques e as paisagens que os abrigam, para que possam ser mantidos de forma permanente, considerando a especificidade de cada uma das áreas.

Para realização dos estudos e compilação de dados relativos à biodiversidade da fauna maranhense, voltados para a elaboração do Zoneamento Ecológico e Econômico do Maranhão, este trabalho objetivou: inventariar e caracterizar a fauna do Estado; determinar as áreas nas quais são encontradas as espécies ameaçadas de extinção e/ou aquelas de especial interesse à conservação; utilizar espécies ou grupos de espécies mais suscetíveis à extinção e aos impactos impostos pelas atividades humanas, como ferramenta para avaliar as áreas prioritárias à conservação e estabelecer as áreas prioritárias à conservação da biodiversidade faunística maranhense.

2 METODOLOGIA

A notória carência de informações básicas sobre a fauna maranhense fez com que fosse imprescindível a realização de inventários para supri-lá. A estes foram adicionadas informações prévias existentes, publicadas ou não. A junção destes dois fatores resultou em um nível de conhecimento bastante elevado sobre a biodiversidade do Maranhão.

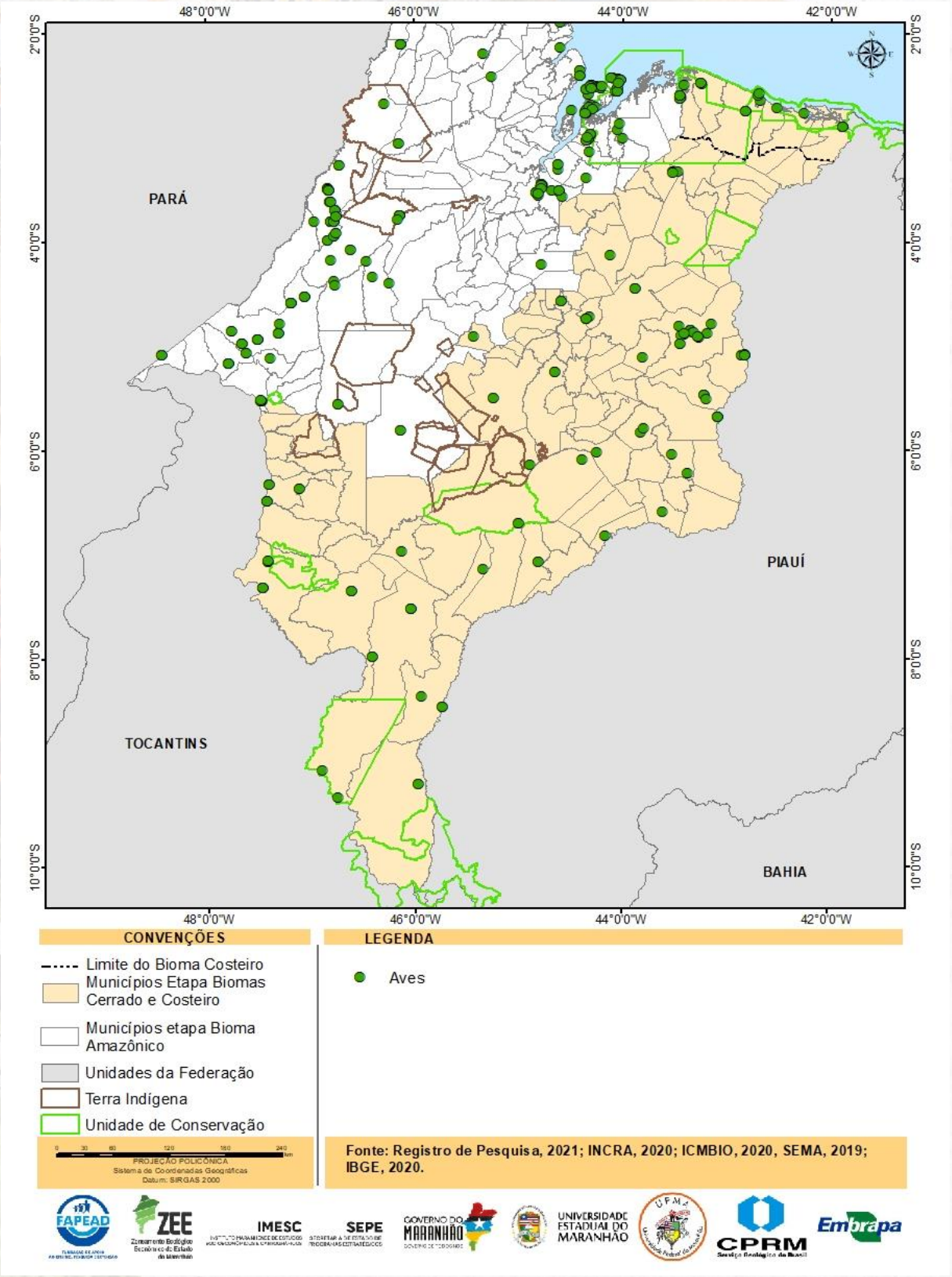
2.1 Inventários

Toda a metodologia utilizada em campo esteve em consonância com o explicitado na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), em seus artigos 1º, que trata da conservação da diversidade biológica e a utilização sustentável de seus componentes, artigo 6º, alínea *a)* e *b)*, relacionadas, respectivamente, ao desenvolvimento de estratégias, planos e programas para a conservação sustentável da diversidade biológica e a integração do propósito da conservação e da utilização sustentável dos recursos, bem como, no art. 7º, em relação à identificação e monitoramento de componentes da diversidade biológica, importantes para a conservação e sua utilização sustentável.

Foram escolhidos os grupos tradicionalmente abordados em estudos da biodiversidade, sendo estes os mamíferos, as aves, o grupo dos répteis, os anfíbios e os peixes. Estes são os grupos que detêm a maior parte das espécies de especial interesse e as ameaçadas de extinção. A estes foi incluído um grupo de invertebrados, ótimo indicador biológico, o das abelhas euglossinas. Os métodos utilizados para todos os grupos foram aqueles, reconhecidamente, mais adequados e de melhor retorno na obtenção das informações desejadas. Toda a metodologia apresentada esteve voltada à obtenção de dados aplicáveis aos objetivos (para detalhamento dos procedimentos de campo ver relatório final).

Os registros obtidos para todos os grupos foram georreferenciados, tendo todas as informações pertinentes preenchidas em planilha padronizadas, que compuseram o banco de dados utilizados para as análises pertinentes. O trabalho fez uso dos escassos registros de literatura e de dados de bancos de dados, assim como de inventários não publicados obtidos pela equipe de execução, ao longo dos anos de pesquisa no Maranhão. A estes foram incluídos dados de campo obtidos especificamente para este trabalho (Figura 7.2). Estes intentaram suprir algumas das lacunas existentes, para, assim, poder prover uma correta análise e caracterização.

Figura 7.2 - Registros amostrais para os diversos grupos taxonômicos avaliados



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

2.2 Mapeamento e classificação de áreas prioritárias à conservação da biodiversidade no estado do Maranhão

Com a geração das bases cartográficas e dos mapas temáticos produzidos por todos os outros temas, foi necessário compatibilizar todos os Planos de Informações para os mesmos formatos e extensões de arquivos, padronizando-se tecnicamente a tipologia dos arquivos cartográficos, facilitando a linguagem de comunicação e de manipulação dos dados entre os diversos pesquisadores do projeto.

Foi estruturado um Modelo de Banco de Dados Geográfico (MBDG), com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para processamento dos dados levantados pela equipe técnica do projeto. O MBDG foi organizado para comportar e processar o conjunto de imagens e de mapas temáticos, proporcionando realizar cruzamentos multitemáticos e ofertar, a partir desses cruzamentos, mapas-síntese, contendo maior potencial de análise dos resultados obtidos.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) realiza o tratamento computacional de dados geográficos e recupera informações, baseado em suas características alfanuméricas e, por meio de tal caracterização espacial, possibilita a visualização gráfica, em multimídia, dos planos de informação na forma de mapas. Trata-se de trabalho contínuo até à conclusão do produto. O banco de dados foi construído utilizando-se os softwares SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) e Quantum Gis, os quais proporcionam visualizar dados gráficos, com recurso de consultas e pesquisa dos dados.

2.3 Estabelecimento das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade

Todos os registros que integraram o Banco de Dados foram tratados como únicos em cada ponto de amostragem, independentemente da abundância dessas espécies.

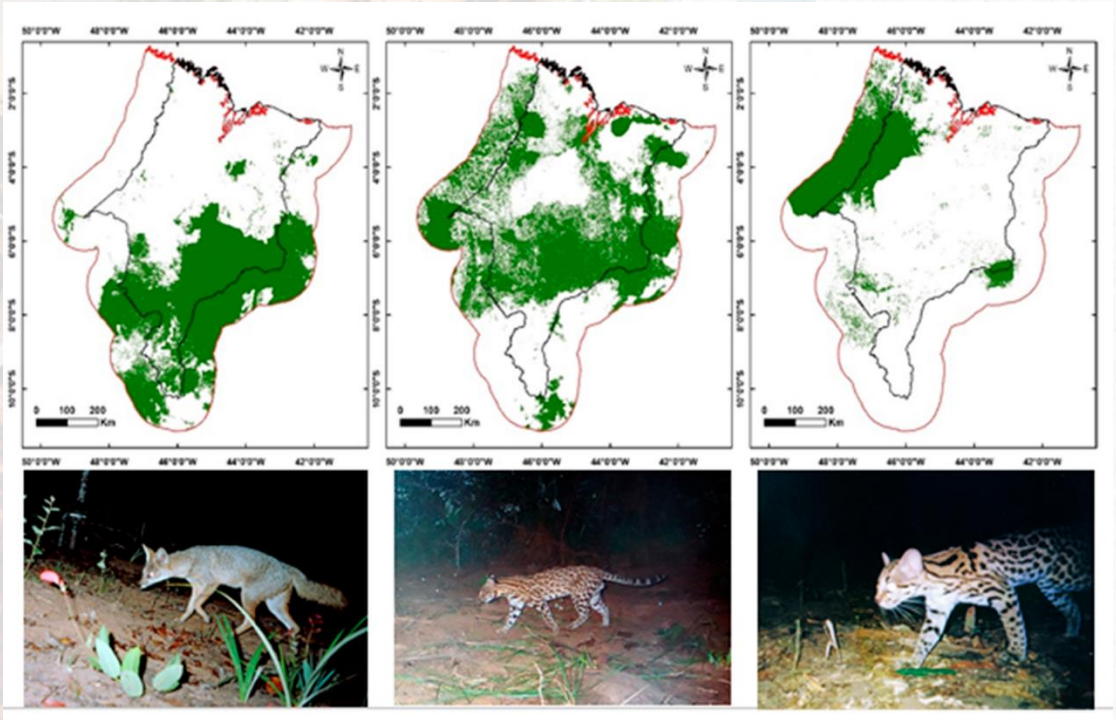
Para a escolha das áreas prioritárias foram criados mapas temáticos construídos utilizando a modelagem de nicho através do software MaxEnt v.3.3.3 para as espécies com dados suficientes presentes na listagem nacional de espécies ameaçadas de extinção (Portarias MMA 444 e 445 de 18 de dezembro de 2014), além daquelas mundialmente reconhecidas pela IUCN (www.iucnredlist.org) e as consideradas endêmicas, raras ou de especial interesse à conservação, como por exemplo, as superexplotadas. Os modelos finais de cada espécie representando as áreas preditas para a ocorrência de cada espécie no Maranhão foram sobrepostos entre si, sendo avaliadas então as áreas de maior probabilidade de ocorrência das espécies ameaçadas usadas no estudo (Figura 7.3).

O mapa resultante da sobreposição dos mapas de presença de todas as espécies foi sobreposto ao mapa de Áreas Protegidas do *World Database on Protected Areas* (UNEP-WCMC; IUCN, 2021). Com

isso, foram avaliadas as áreas de maior presença predita para as espécies ameaçadas no Maranhão sem nenhuma proteção ambiental, sendo então estas áreas definidas como as Áreas Prioritárias para Conservação.

As ações e recomendações de manejo propostas resultaram da correlação dos resultados obtidos com todos os grupos faunísticos analisados com os impactos e ameaças sobre eles incidentes.

Figura 7.3 - Modelo de mapas plotados para estabelecimento de áreas prioritárias



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.4 Integração entre o ZEE Amazônia e ZEE Cerrado

Fazer as análises das áreas mais importantes por grupos taxonômicos ou espécies isoladamente por biomas poderia levar a distorções para espécies/grupos de distribuição ampla. Isso só não seria aplicável para as espécies exclusivamente amazônicas ou do Cerrado. Assim, as análises, isoladamente, seriam consideravelmente alteradas quando comparadas com análises que considerem os dois biomas, simultaneamente.

Por essa razão, quando da realização das análises do ZEE Cerrado será feita uma análise integrada e geral para todo o Maranhão. Do ponto de vista biológico, as análises da componente fauna não apresentariam resultados iguais para as análises realizadas separadamente (ZEE Amazônia + ZEE Cerrado), nem tampouco representariam a situação ideal, quando comparadas com uma análise integrada (ZEE Maranhão). Isto seria notório, principalmente, para a determinação das áreas prioritárias

e para aquelas envolvendo modelagem de nicho. As análises comparativas que foram feitas para algumas espécies de ocorrência ampla demonstraram isso. Desta forma, os resultados das análises apresentadas para a porção amazônica do Maranhão poderão sofrer alterações na corrente análise integrativa.

3 MACRO-CARACTERIZAÇÃO E AMEAÇAS À FAUNA

O número total de registros utilizados para as análises dos grupos alvos foi superior a 110.000. Considera-se os resultados obtidos bastante expressivos e satisfatórios. Destes, sobressaem-se os das aves, seguidos pelos dos répteis e anfíbios, peixes e mamíferos. Já os grupos das abelhas euglossinas apresentaram uma quantidade bem mais limitada, refletindo maior carência de informações disponíveis deste grupo (Tabela 7.1).

O número de registros de aves se destaca dos demais pela facilidade de obtenção de registros, pois estes não são realizados apenas por pesquisadores, mas também incluem os "ornitólogos amadores", que depositam suas observações em bancos de dados específicos (Wikiaves). Já no extremo oposto, no caso das abelhas, tratou-se de apenas uma única família, mas de relevância para conservação (SILVA; REBELO, 1999).

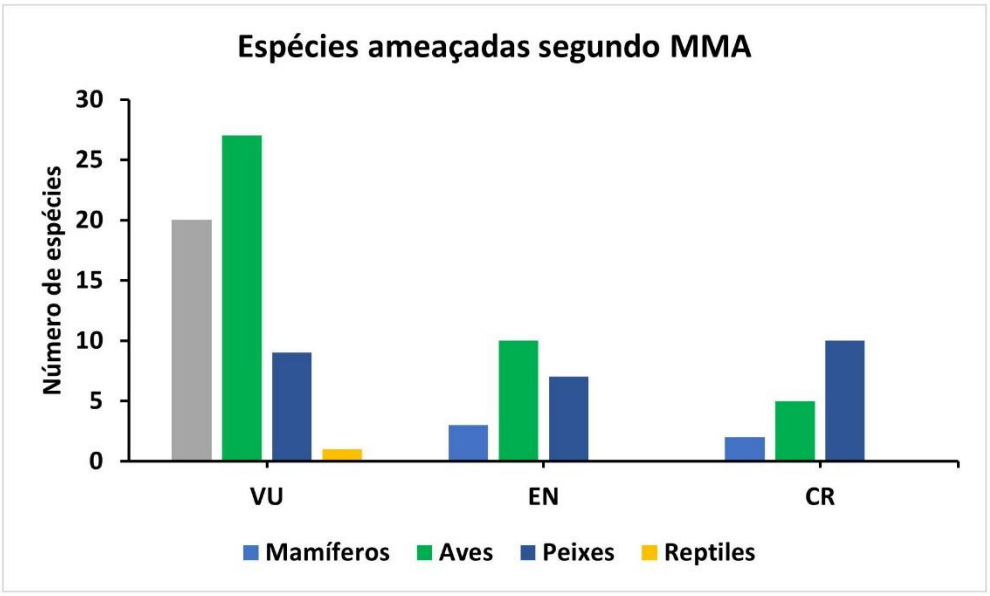
Tabela 7.1 - Registros das espécies e grupos avaliados que compõem o banco de dados utilizados para as análises do ZEE Maranhão

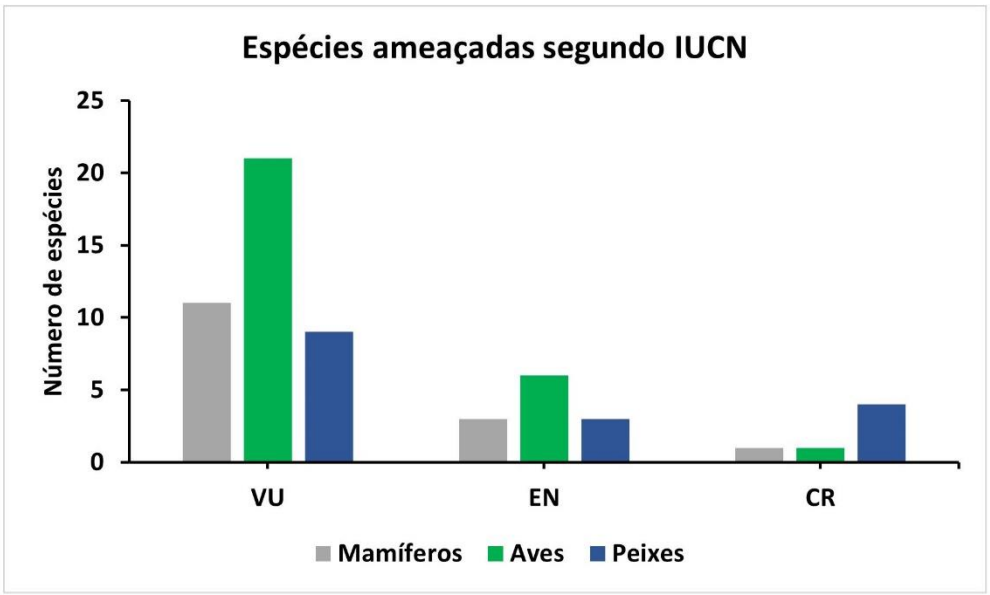
Grupos	Espécies	Ordens	Famílias	Registros
Mamíferos	157	13	46	1.855
Aves	750	30	89	94.681
Herpetofauna	198	7	37	> 10.000
Peixes	413	30	92	3.401
Abelhas Euglossini	52	1	1	104

Fonte: Elaboração própria (2021).

O número total de espécies ameaçadas de extinção que fazem parte da listagem nacional (MMA ,2014) é de 55 espécies, sendo 16 de mamíferos, 27 de aves e 12 de peixes. Quanto ao status de ameaça há 9 Criticamente em Perigo (CR), 10 em Perigo (EN) e 36 Vulnerável (VU) (Figura 7.4). Desta forma, na porção amazônica do Maranhão, estariam presentes 6,3% das espécies brasileiras ameaçadas de extinção. Quatro destas são exclusivas da Amazônia Tocantina e Centro de Endemismo Belém, estando todas em situação crítica de risco (maiores detalhes na caracterização dos grupos).

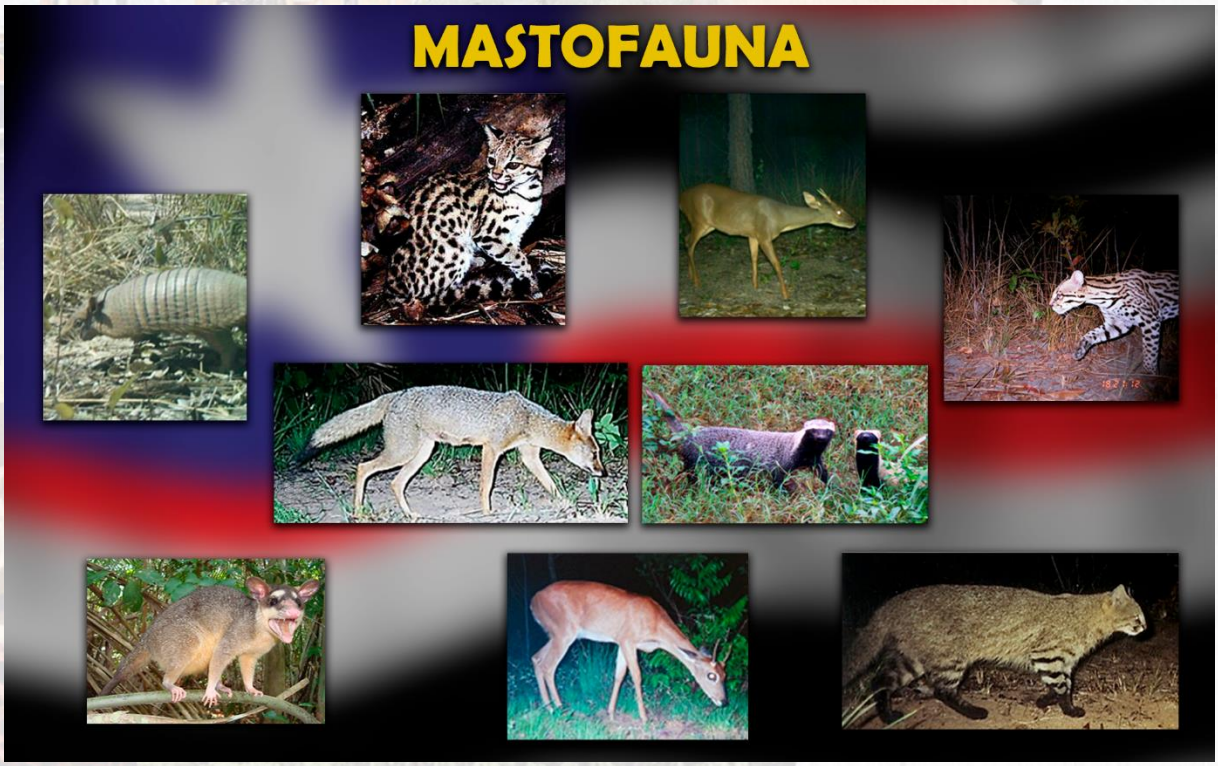
Figura 7.4 - Número de espécies registradas por categorias de ameaça em nível nacional e internacional





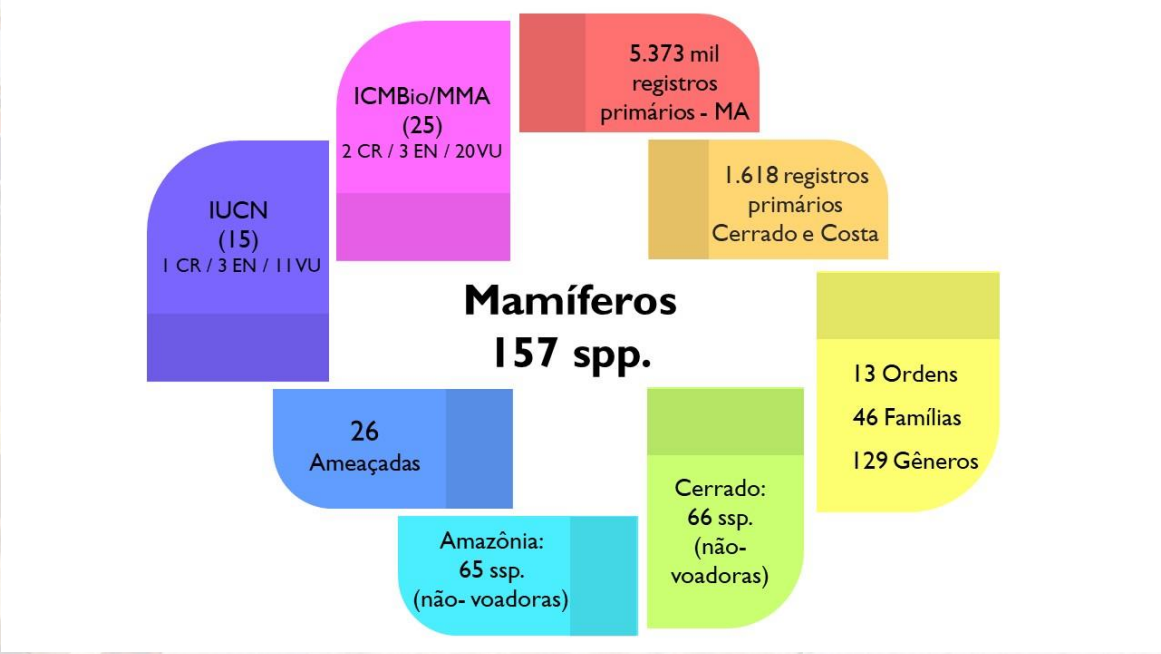
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.1 Mamíferos



Segundo Vieira e Oliveira (2020) são 89 as espécies de mamíferos silvestres não-voadores que ocorrem dentro dos limites do estado do Maranhão. A riqueza de mamíferos não-voadores representa 12,70% da riqueza total proposta por Paglia et al. (2012) e 11,2% do proposto por Quintanela et al. (2020). Um total de 23 espécies (25,84%) estão incluídas na Lista Vermelha Brasileira de animais ameaçados e em perigo de extinção (ICMBio, 2018) – Figura 7.5. Destas, a ordem Carnivora é a mais representativa (10 espécies), seguida por primatas (5 espécies) e Cetartiodactyla (3 espécies). Com a inclusão das 68 espécies de quirópteros, há um total parcial de 157 espécies de mamíferos em todo o Maranhão.

Figura 7.5 - Quadro síntese dos mamíferos do estado do Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A fauna do Maranhão apresenta números bem próximos de espécies associadas aos dois principais biomas do estado, Amazônia e Cerrado, com 65 e 66 espécies respectivamente. Apesar das lacunas de conhecimento, alguns trabalhos já demonstraram que a fauna tende obedecer a um padrão de distribuição excludente entre os biomas como por exemplo entre os primatas *Alouatta belzebul* e *Alouatta caraya* ou *Sapajus apella* e *Sapajus libidinosus* (SILVA JUNIOR, 2002; GREGORIN, 2006). Por outro lado, alguns padrões ainda continuam pouco definidos ou abstratos, dificultando a delimitação de suas áreas de distribuição tal como observado entre os marsupiais *Didelphis marsupialis* e *Didelphis albiventris* (GARDNER, 2008) ou entre os carnívoros *Galictis cuja* e *Galictis vittata* (OLIVEIRA, 2009).

As espécies inventariadas em pontos dentro do bioma Amazônico são comumente associadas a este bioma, mesmo que não seja exclusiva deste. O mesmo se aplica as espécies levantadas dentro de pontos do Cerrado. Poucas espécies respeitaram seus limites endêmicos de ocorrência segundo a literatura, tais como *Marmosops (Sciophanes)* cf. *parvidens*, *Dasypus kappleri*, *Cebus kaapori*, *Chiropotes satanas* e *Mazama nemorivaga*, para ambientes amazônicos. Entretanto, outras espécies classificadas como exclusivas para este bioma, tais como *Didelphis marsupialis, Aotus azarae infulatus, Sapajus apella, Sciurus aestuans, Rhipidomys emiliae, Echimys chrysurus, Makalata* cf. *didelphoides*, foram registrados fora dos limites propostos da Amazônia para o estado, alcançando o extremo leste, no bioma Cerrado, no Rio Parnaíba, divisa com o Piauí.

Espécies que deveriam ocorrer no Cerrado e demais biomas exceto a Amazônia, também apresentam distribuição por todo o estado, desconsiderando os limites propostos, tais como *Gracilinanus agilis* e *Monodelphis doméstica*. Já para os mamíferos de médio-grande porte, esses padrões de

ocorrências não usuais são pouco observados, haja vista estes possuírem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em praticamente todo o território maranhense. Entretanto cabe ressaltar que são poucos os refúgios para muitas espécies, notadamente Reserva Biológica do Gurupi para alguns primatas restritos e ameaçados, assim como Parque Estadual do Mirador e a extremidade sul às margens do Rio Parnaíba, regiões estas que concentram uma enorme diversidade biológica fruto da grande variedade de ambientes. Cabe destacar que a distribuição de espécies entre ambientes florestais e savânicos pelo estado é um testemunho de movimentos de expansão e retração das formações florestais durante um passado recente no continente sulamericano.

3.1.2. Ameaças, os Mamíferos Ameaçados, Endêmicos, Raros e de Especial Interesse

De maneira geral, entre as maiores ameaças por que passam os mamíferos do estado estão a perda e fragmentação dos habitats, além de suas degradações (IUCN, 2020). A perda está em maior ou menor escala associada à formação de pastos para criação de gado ou para plantio, enquanto a degradação das matas está associada à exploração irracional da madeira e mineração.

Para espécies restritas, caso de alguns primatas, a principal ameaça é a perda de habitat, principalmente das florestas do estado, considerando-se o histórico de destruição nos últimos 30 anos, o aumento da densidade populacional humana e o mais alto nível de desmatamento e degradação de habitat em toda a Amazônia brasileira. A expansão de rodovias, da agropecuária e a implantação de hidrelétricas completam o quadro de devastação generalizada das áreas florestais do estado (VEIGA, 2008; BUSS et al. 2014; ICMBio, 2016).

Já no Cerrado a perda de habitat deve-se ao desenvolvimento agrícola de soja e pecuária, provocando isolamento de populações e aumentando a pressão de caça. O fogo, elemento natural do Cerrado, também representa uma grande ameaça, uma vez que muitas espécies são suscetíveis a incêndios por frequentarem áreas de pastagem ou de plantio (KLINK & MACHADO, 2005; MACHADO, 2016). As caças excessivas, tanto para aproveitamento da carne quanto para controle de predadores, assim como as doenças transmitidas por animais domésticos, numa menor escala, também representam ameaças a algumas espécies (FEIJÓ; LANGGUTH, 2013; SUPERINA et al., 2014).

A caça é, na maioria das áreas, amplamente difundida e altamente impactante no estado de conservação de uma grande parcela das espécies (MARINHO-FILHO; REIS, 2008). Esta atividade é uma das principais causadoras de declínios populacionais de porcos-do-mato, veados, pacas, tatus, dentre outras espécies. A presença de animais domésticos é um outro fator antropogênico negativo, devido à possibilidade de transmissão de doenças às populações naturais. Em muitas áreas, uma combinação destas ameaças está presente ao mesmo tempo (OLIVEIRA, 2014).

Um total de 26 espécies (16,6%) são consideradas nacionalmente e/ou globalmente ameaçadas de extinção (Figura 7.6). Destas, 10 (38,5%) são da Ordem Carnívora, das quais 6 (23,1% do total ameaçado) são felinos. De extrema relevância à conservação, em nível global, está o fato de a Amazônia Maranhense ser a área mais importante para sobrevivência de duas espécies de primatas, ambas extremamente ameaçadas e endêmicas da Amazônia oriental, o cairara Ka'apor (*Cebus kaapori*) e o cuxiú-preto (*Chiropotes satanas*) – Figura 7.7.

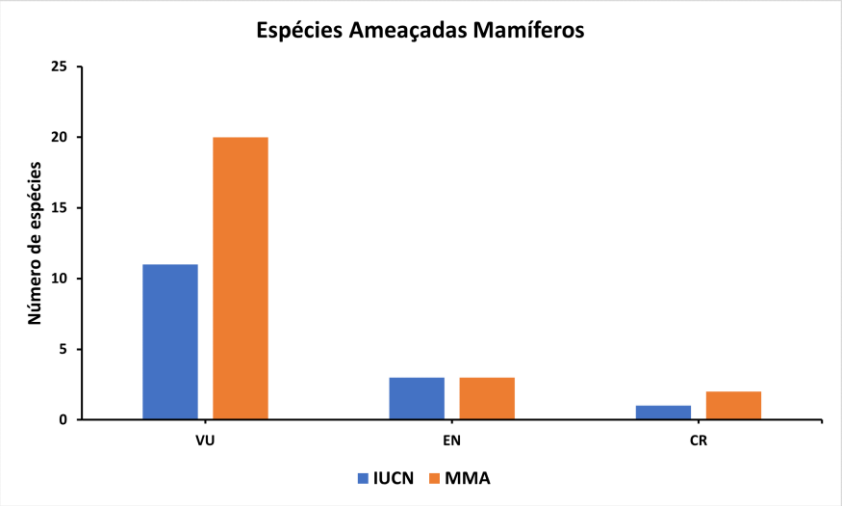
Também de extrema relevância está no fato de o Maranhão ter sido apontado e confirmado como a área prioritária mais importante para a conservação mundial do globalmente ameaçado de extinção *Leopardus tigrinus* (gato-do-mato, pintadinho), o Parque Estadual do Mirador (OLIVEIRA 2016; OLIVEIRA et al., 2020). Esta é correntemente a única espécie de carnívoro considerada ameaçada de extinção na categoria: em perigo no Brasil (OLIVEIRA et al., 2018). Este parque também aparenta ser área chave para a conservação de outro felino, *Leopardus colocola* (gato-preto) – Figura 7.8.

O Maranhão também detém a área mais importante para a conservação de *Trichechus matacus* (peixe-boi-marinho), pois cerca da metade da população brasileira desta espécie estaria na área da baía de São José. Outra espécie aquática da zona costeira, *Sotalia guianensis* (boto-cinza), estaria em situação mais segura na categoria Vulnerável. Dentre os edentados ameaçados, tanto *Myrmecophaga tridactyla* (tamanduá-bandeira) quanto *Priodontes maximus* (tatu-canastra) aparentam ser bastante raros e estão em situação precária no Estado.

Já *Tolypeutes tricinctus* (tau-bola), característico do Cerrado e Caatinga, pode estar extinto no Maranhão, não havendo nenhum registro devidamente confirmado há muito tempo. Já nos carnívoros, a situação mais crítica é a de *Pteronura brasiliensis* (ariranha), a qual chegou a ser considerada como possivelmente extinta no Estado (OLIVEIRA, 1997). Sua ocorrência atual no Maranhão parece estar restrita, principalmente, à região do Gurupi (OLIVEIRA, 2007). Entretanto, Silva Júnior (com. pess. 2011) observou a presença de alguns indivíduos em cinco localidades situadas no interflúvio Mearim-Grajaú.

Ainda dentre os carnívoros, o *Chrysocyon brachyurus* (lobo-guará) tem seu limite de distribuição geográfica mais ao norte do Maranhão, onde está restrito às áreas de Cerrado mais ao sul e sudoeste do Estado. Dos ungulados a situação mais precária aparenta ser a de *Blastocerus dichotomus* (suçuapara, cervo-do-pantanal), a qual aparenta ter números bem exíguos e em áreas restritas do Cerrado, nas porções mais do extremo sul, na área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Todas essas áreas mencionadas são de grande importância para a conservação de mamíferos prioritários no Estado (Figura 7.9).

Figura 7.6 - Mamíferos maranhenses ameaçados de extinção em nível nacional (MMA) e mundial (IUCN) por categoria de ameaça



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

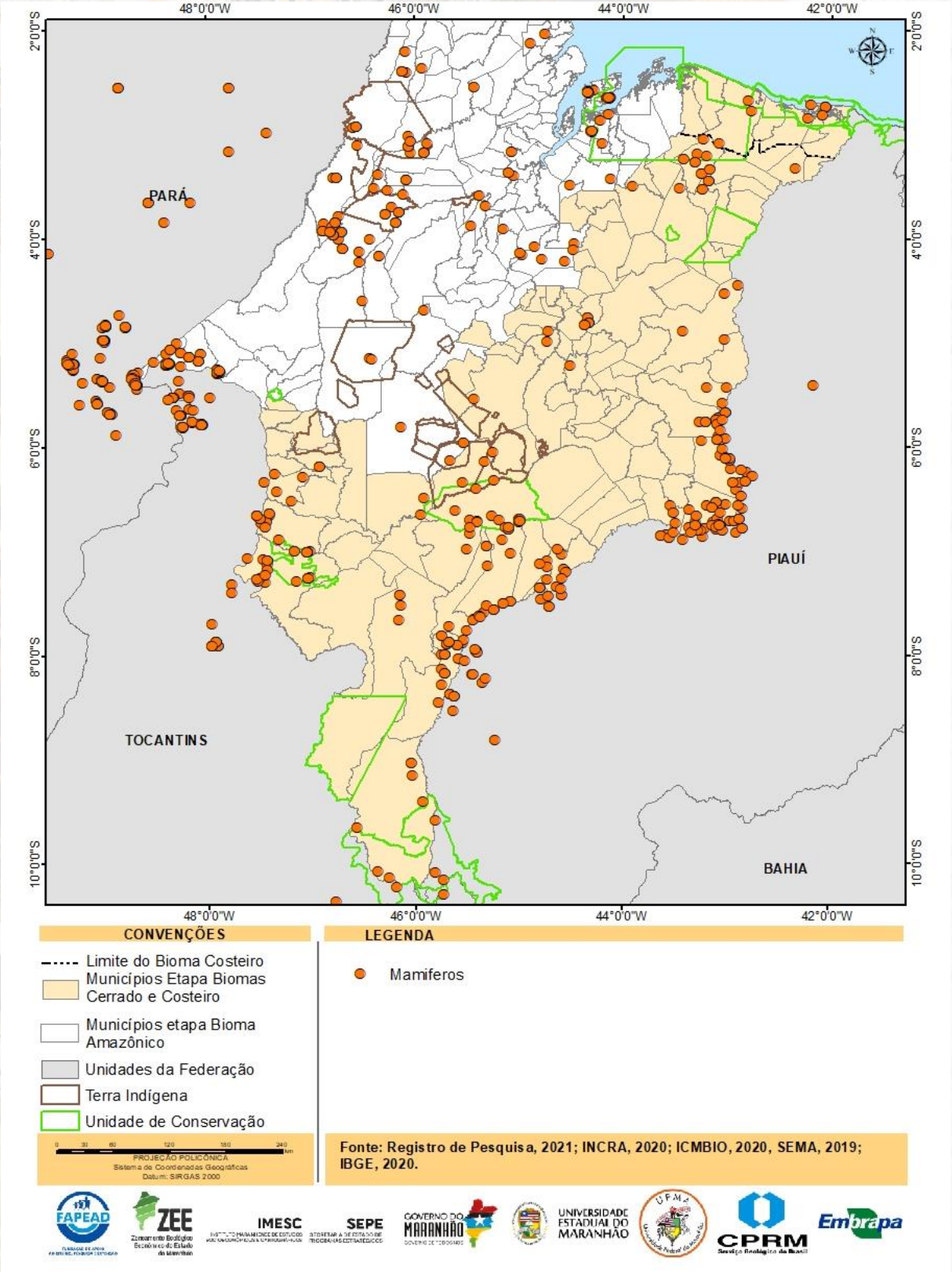
Figura 7.7 - As espécies de primatas mais ameaçadas do Maranhão, *Chiropotes satanas, Cebus kaapori, Alouatta belzebul* e *Alouatta ululata*

Fonte: Elaborado pelos autores (2021) Gonzaga (2021) (inferior direita)

Figura 7.8 - *Leopardus tigrinus* (pintadinho) e *Leopardus colocola* (gato-preto) são duas espécies de felinos que apresentam suas populações mais importantes no país dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador

Fonte: Programa de Conservação Gatos do Mato – Brasil

Figura 7.9 - Mapa de ponto com localização das espécies de mamíferos prioritários



Fonte: ZEE (2021)

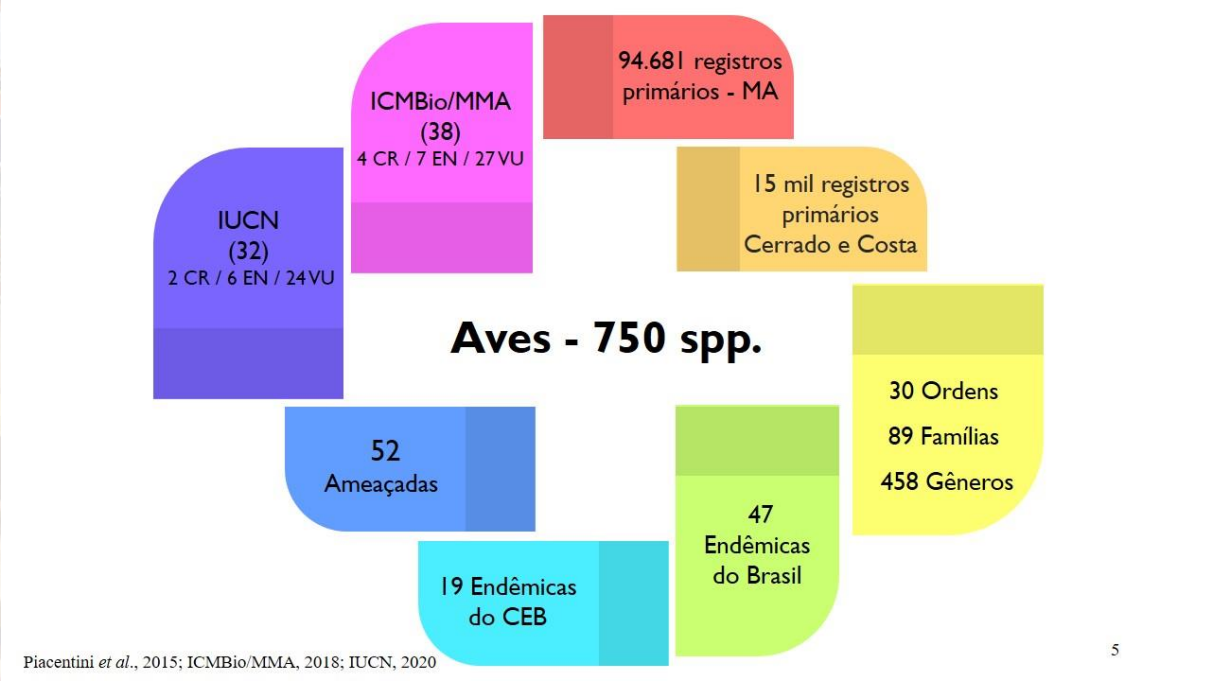
3.2 Aves

O número total de registros utilizados para as análises dos grupos das aves foi de 94.680. Na Figura 7.11 estão algumas dessas espécies. Esse número de registros extremamente superior aos outros grupos deve-se aos dados de décadas de amostragem dos pesquisadores participantes, mas também dados da "Ciência-cidadã" quando observadores de aves amadores depositam suas observações documentadas em plataformas digitais como Wikiaves (WIKIAVES, 2021) e e-Bird (E-BIRD, 2021). Entre as 735 espécies com ocorrência no Maranhão (ALTEFF et al., 2019; CARVALHO et al., 2020; GONSIOROSKI et al., 2020; DA SILVA; DE MELO; UBAID, 2021; PINHEIRO et al., 2021), 52 estão nas listas nacional e/ou global de espécies ameaçadas de extinção – Figura 7.10.

Estes registros evidenciam um elevado número de espécies de aves ameaçadas de extinção. Na lista nacional há 38 spp., sendo: quatro Criticamente ameaçadas (CR), sete Em perigo (EN) e 27 Vulnerável (VU) (ICMBIO/MMA, 2018). Na lista vermelha mundial há 32 ameaçadas, sendo: duas CR, seis EN e 22 VU (Figura 7.11). Além de 22 espécies, na lista mundial, sobre o critério - Quase ameaçado (IUCN, 2020).

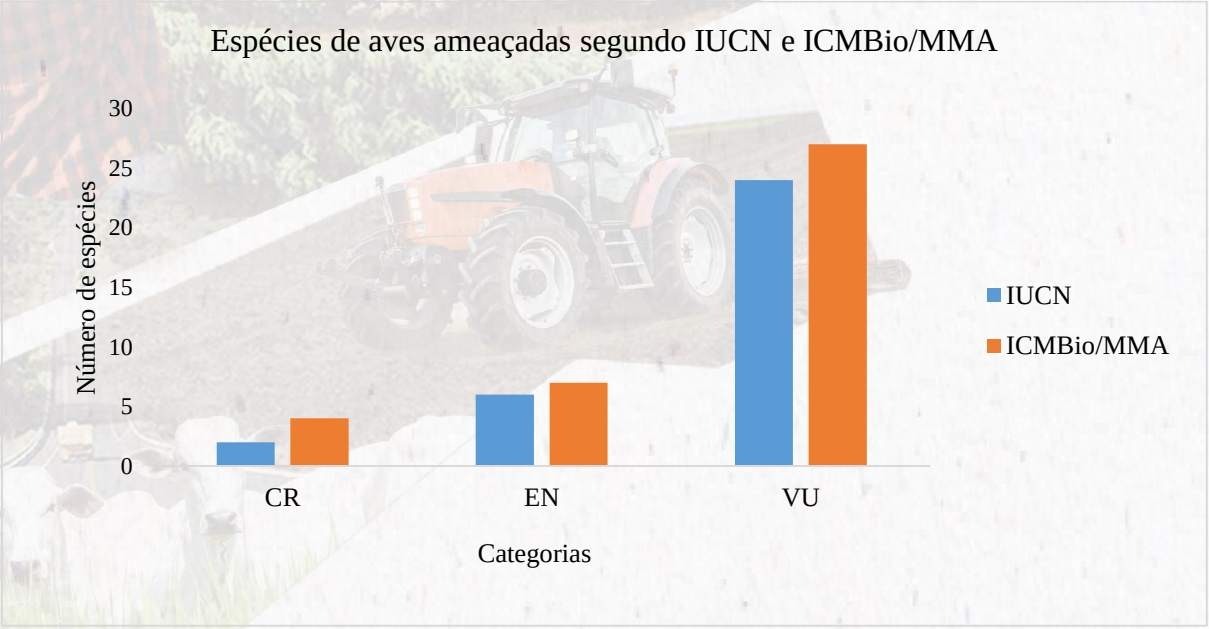
Outras espécies que possuem elevado interesse conservacionistas são as endêmicas. Os resultados demonstram que o Maranhão possui 47 spp. endêmicas do Brasil (PIACENTINI *et al*., 2015). Enquanto outros 19 spp. possuem nível de endemismo ainda mais restrito, pois sua distribuição está restrita ao Centro de Endemismo Belém (GONSIOROSKI *et al*., 2020).

Figura 7.10 - Quadro síntese das aves do estado do Maranhão



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

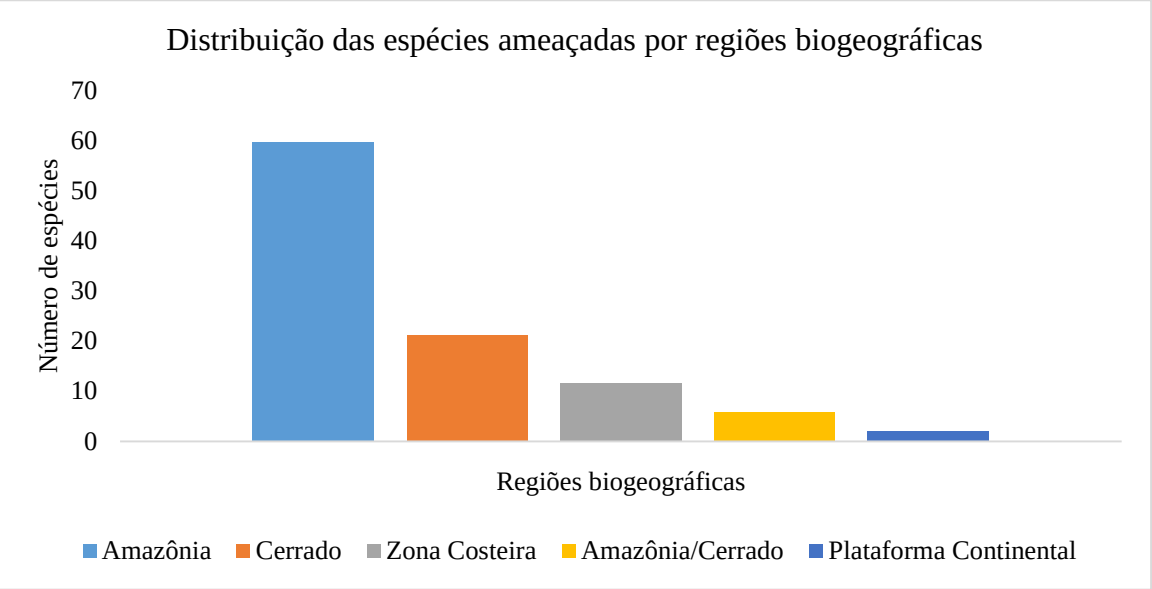
Figura 7.11 - Números de espécies registradas por categorias de ameaça em nível nacional e global



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A distribuição biogeográfica das 52 espécies ameaçadas de extinção no Maranhão tem a Região Amazônica com maior número 59,2% (n=31), seguido pelo Cerrado com 21,15% (n=11), Zona costeira com 11,54% (6), espécies que estão presentes na Amazônia e Cerrado são 5,77 (n=3) e as oceânicas 1,92% (n=1) (Figura 7.12).

Figura 7.12 - Distribuição das espécies ameaçadas de extinção em nível nacional e global por região biogeográfica no Maranhão



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

3.2.1 Macroavaliação das ameaças à avifauna maranhense

O Maranhão detém cerca de 40% de toda avifauna brasileira (1.919 espécies). Grande parte dessa riqueza está dentro dos biomas de maior representatividade no estado, Amazônia e Cerrado (PIACENTINI *et al*., 2015; DE CARVALHO *et al*., 2020). No entanto, as regiões onde estão esses biomas pertencem a extensas áreas de desmatamento. A Amazônia maranhense faz parte do arco do desmatamento, enquanto o Cerrado maranhense está inserido no mosaico agrícola conhecido MATOPIBA (BOLFE *et al*., 2016). Embora haja Unidades de Conservação e Terras Indígenas responsáveis pela manutenção de grandes áreas de vegetação primária em ambos os biomas, as áreas adjacentes convertem em ritmo acelerado suas paisagens naturais em monoculturas, pastagem, urbanização, entre outras atividades antrópicas (CELENTANO *et al*., 2018).

A Amazônia maranhense possui uma extensão que vai da parte central até o extremo oeste do estado, na divisa com o Pará. Todavia, apenas uma fração é de vegetação primária, dividida em fragmentos (IBGE, 2004; CELENTANO *et al*., 2018). Essa fração está dentro do Centro de Endemismo de Belém e possui cinco Terras Indígenas (Alto Rio Turiaçu, Awá, Caru, Rio Pindaré e Araribóia), uma Unidade de Conservação (Reserva Biológica do Gurupi) e Reservas legais de relevância (Fazendo Itabaiana e Fazenda Boa Esperança). Juntas, essas áreas formam o mosaico Gurupi (CELENTANO *et al*., 2018). Essa é considerada a área mais ameaçada da Amazônia Legal, tendo perdido cerca de 75% de sua área total em 50 anos (ALMEIDA; VIEIRA, 2010; CELENTANO *et al*., 2017).

A perda, fragmentação e degradação dos habitats na Região Amazônica são as principais ameaças para muitos táxons ameaçados encontrados na região, que vêm sofrendo declínio populacional acentuado como consequência da perda de habitat (LIMA *et al*., 2014; ICMBIO/MMA, 2018; CARVALHO *et al*., 2020). No entanto, para dois táxons avaliados como Criticamente em Perigo *Crax pinima* e *Psophia obscura* (Figura 7.13) ainda sofrem com a forte pressão da caça que intensifica o grau de ameaça (SILVEIRA, 2018; ALTEFF *et al*., 2019).

A Amazônia maranhense ainda abriga aves de grande relevância ecológica devido a diversidade de serviços prestados. Grandes e médios frugívoros como os das famílias Cracidae, Ramphastidae, Psittacidae, Cotingidae que são fundamentais na dispersão de sementes, contribuindo para a manutenção da floresta (WHELAN; WENNY; MARQUIS, 2008). Além de táxons de topo de cadeia e indicadores de qualidade ambiental, como *Morphnus guianensis, Harpia harpyja* e *Spizaetus ornatus*, todos associados a grandes áreas com alto grau de conservação, são extremamente sensíveis a degradação e fragmentação de habitat. (LIMA; MARTINEZ; RAÍCES *et al*., 2014; LAS-CASAS, 2019; GONSIOROSKI *et al*., 2020).

Figura 7.13 - O mutum-pinima (esquerda) e o jacamim-da-costa-preta (direita) são espécies criticamente ameaçadas de extinção fotografadas no seu mais importante reduto, a região do Gurupi

Fonte: Gonsioroski (2021)

No que concerne ao Cerrado maranhense, maior bioma do estado, não difere muito da parte amazônica. Abrange toda a região leste e sul do estado (IBGE, 2004). Sua geomorfologia é composta por longas formações de planaltos, depressões, tabuleiro e patamar (BROWN; LOMOLINO, 2006; ASSIS, 2020). Em virtude, principalmente, das formações de planaltos, a região começou a chamar atenção do setor agrícola. Apesar de possuir quatro Unidades de Conservação (PE Mirador, PARNA Chapada das Mesas, PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba e APA das Nascentes do Rio Balsas) e 11 Terras Indígenas (QUARTAROLI *et al*., 2008), todo o Cerrado do Maranhão está dentro do MATOPIBA, com exceção das UC's de proteção integral (BOLFE *et al*., 2016; ASSIS, 2020). Entre 2019

e 2020 a região sul do estado, conhecida como Gerais de Balsas, apresentou elevados índices de desmatamento em prol do agronegócio (MAPBIOMAS, 2021).

A fragmentação e desmatamento no Cerrado maranhense são consideradas as principais ameaças à avifauna desse bioma (ICMBIO/MMA, 2018). Apesar do número de espécies ameaçadas nas avaliações nacionais e internacionais ser inferior ao da Amazônia maranhense, o contexto de degradação atual deste bioma apresenta números alarmantes, somente o município de Balsas desmatou 28.752 ha em 2020 (MAPBIOMAS, 2021).

Ressalta-se que essa região que abriga a maior população da ameaçada arara-azul-grande (*Anodorhynchus hyacinthinus*) no Maranhão, devido aos sítios de alimentação e nidificação da espécie na área das nascentes dos rios Balsas e Medonho (Figura 7.14). A região, também, abriga táxons das famílias Cracidae e Ramphastidae, que estão entre os principais agentes dispersores de sementes nas matas de galeria, matas mesófilas e cerradões. Além disso, a presença de rapinantes topo de cadeia, como por exemplo*, Urubitinga coronata, Geranoaetus melanoleucus* e *Spizaetus melanoleucus* serve como parâmetro de qualidade ambiental, visto que a sua permanência dependerá da saúde dos estratos tróficos inferiores.

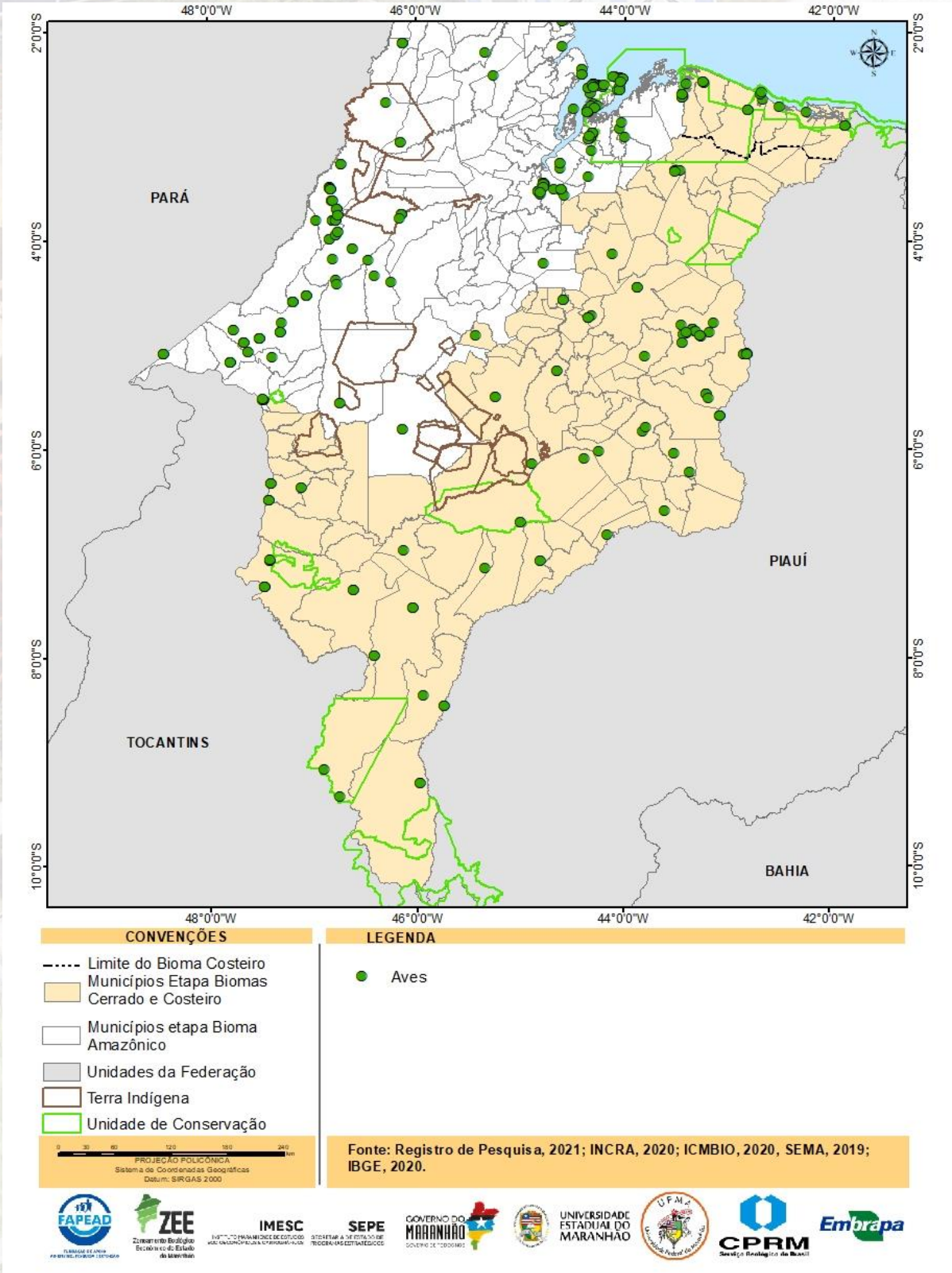
Figura 7.14 - O arara-azul-grande (esquerda) e paredões utilizados para nidificação da arara-azul-grande (direita) fotografada na APA das Nascentes do Rio Balsas

Fonte: Gonsioroski (2021).

Todavia, após anos de desmatamento desenfreado os táxons ameaçados de extinção e mais sensíveis a alterações de habitat começam a entrar em declínio populacional acentuado e, consequentemente, ficam mais raros, como é o caso de *Anodorhynchus hyacinthinus, Culicivora caudacuta* e *Urubitinga coronata* no Cerrado e *Crax fasciolata pinima* e *Psophia obscura* na Amazônia. Nota-se a necessidade de medidas de caráter efetivo, como criação de mais Unidades de Conservação de proteção integral, criação de corredores ecológicos, intensificação na fiscalização e punições mais

severas para quem praticar desmatamento ilegal. Os pontos de amostragem de espécies ameaçadas de aves estão na Figura 7.15.

Figura 7.15- Pontos de amostragem das aves ameaçadas utilizados para a modelagem de nicho



Fonte: ZEE (2021)

3.3 Herpetofauna (grupo dos répteis e anfíbios): caracterização nos gradientes ambientais do Maranhão

Atualmente, estão registradas para o Maranhão 80 espécies de anfíbios e 118 do grupo dos répteis, perfazendo assim, 198 espécies da herpetofauna. Os locais amostrados para herpetofauna atingem várias áreas do estado (Figura 7.16). Como observado em outros grupos animais, a fauna de lagartos apresenta uma composição de áreas de ecótonos, resultado da transicionalidade do Maranhão, com pelo menos 5 espécies que fazem limite com a Amazônia do Maranhão, Cerrado e Caatinga. Exemplos disso são as espécies *Coleodactylus meridionalis*, *Colobosaura modesta*, *Micrablepharus maximiliani*, *Phyllopezus pollicaris*, *Salvator merianae* e *Tropidurus oreadicus*.

A única espécie considerada endêmica para o Centro de Endemismo Belém é *Stenocercus dumerilii* (PRUDENTE et al., 2018), contudo, esta espécie também é registrada nos municípios de Santa Quitéria do Maranhão, Sucupira do Norte (RIBEIRO-JÚNIOR, 2015) e Urbano Santos (ANDRADE et al., 2003) que estão fora da área de endemismo e dentro dos biomas limítrofes.

No Cerrado há uma grande variação da fauna nas diferentes regiões, apesar do cerrado ser tradicionalmente associado a certa uniformidade ambiental, como vegetação aberta de savana nos interflúvios com florestas de galeria associadas a cursos de água perenes em clima quente com sazonalidade marcada na pluviosidade. Assim, a heterogeneidade climática dentro desta paisagem junto com a influência das paisagens vizinhas é de grande importância para explicar as mudanças da herpetofauna do Cerrado.

A paisagem típica de cerrado do sul do Maranhão, Piauí e Norte do Tocantins apresenta características próprias de clima, relevo, fauna e flora, determinadas, em grande parte, pelos terrenos sedimentares predominantemente areníticos característicos da região. Os cursos de água escavam profundamente cânions e vales estreitos nestes terrenos pouco resistentes à erosão, criando nos interflúvios as altas chapadas de topos planos, onde raramente há cursos de água ou qualquer tipo de ambiente aquático perene.

Nas cabeceiras da drenagem, os vales mais encaixados são ocupados por florestas de galeria nos trechos mais inclinados e longos buritizais estreitos nos trechos mais planos, onde geralmente o curso de água corre lentamente na faixa mais larga de área alagada. À medida que os rios se avolumam à jusante, os vales se ampliam lateralmente e se fundem uns aos outros, criando um patamar plano, também coberto por cerrados baixos, aumentando o espaço entre as chapadas até se tornar uma grande depressão, onde há apenas alguns morros relictuais testemunhando as chapadas que foram lentamente destruídas pela erosão.

Estes cerrados da porção setentrional são mais quentes, com sazonalidade térmica muito menor, porém maior altitude gera condições climáticas mais amenas, menor temperatura e maior pluviosidade em relação às depressões e baixos planaltos que predominam no entorno e em boa parte dos estados do Piauí e Maranhão, onde a erosão já extinguiu totalmente as chapadas. Estas condições mais úmidas e amenas propiciam a presença de espécies de linhagens amazônicas no fundo de vale e espécies de cerrado, como *Physalaemus centralis*, *Leptodactylus pertesi*, linhagens meridionais *Rhinella rufa*, *Botrops iglesiasi*. Apesar disto, muitas espécies de caatinga já estão presentes (*Tropidurus semitaeatus*, *Physalaemus albifrons*, *Phyllopezus policaris*, *Hemidactylus brazilianus*, *Leptodactylus troglodytes, etc*).

Outra característica muito importante são os solos arenosos devido à predominância das rochas areníticas, produzindo em alguns locais solos de areia quartzosa, com vegetação e fauna típica, vegetação menos densa, solo exposto e solto favorecendo espécies heliotérmicas como *Ameivula* e fossoriais como serpentes (*Apostolepis longicaudatus, Parapostolepis polylepis*) e anfisbenas (*Amph*isbaen*a maranhensis, A. ibijara*) endêmicas.

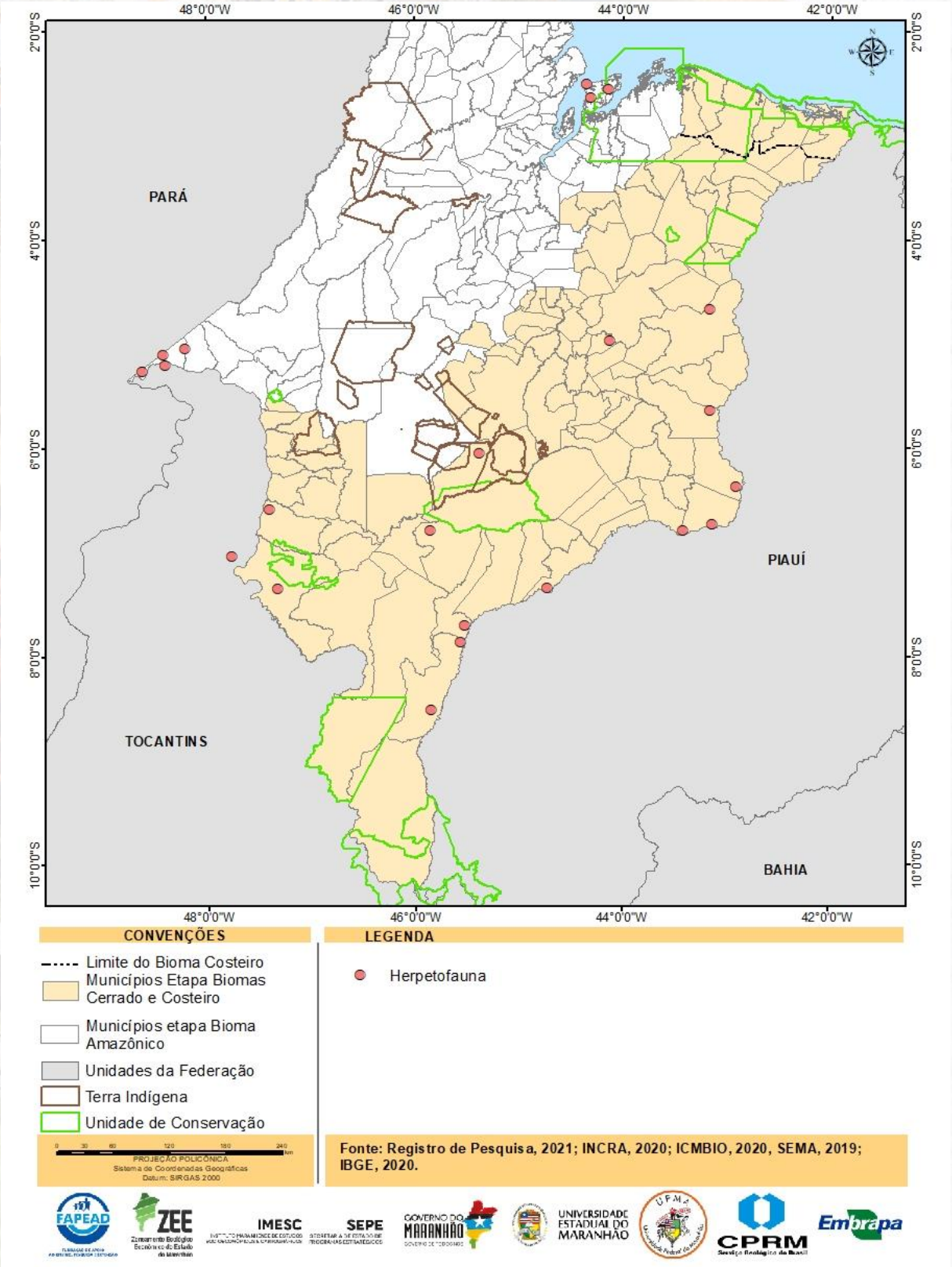
À medida que as depressões se expandem ao norte do Maranhão muitas espécies de cerrado tornam-se raras ou desaparecem ou até mesmo são substituídas por outras. As depressões e baixos platôs lateríticos são em grande parte ocupados por florestas dominadas por babaçu, principalmente nas margens dos rios de grande porte. A nordeste, os cerrados das depressões são empobrecidos, cursos de água tornam-se intermitentes, sem butirizais ou florestas de galeria úmidas, havendo grande influência de espécies de caatinga, inclusive substituições de espécies do mesmo gênero do Cerrado por outras espécies de Caatinga, como: os lagartos *Tropirus oreadicus* por *T. hispidus*, o anuro *Proceratophrys concavitympanum* por *P. Cristiceps* e os lagartos *Ameivula mumbuca* por *A. ocellifer*. A noroeste, à

medida que a umidade aumenta, a cobertura florestal torna-se mais significativa, os fundos de vale são cada vez mais ocupados por florestas densas, extensos buritizais e açaizais e os babaçuais tornam-se cada vez mais restritos aos solos bem drenados dos interflúvios, onde as fisionomias abertas naturais estão cada vez mais escassas. A presença de espécies da herpetofauna tipicamente amazônica aumenta até atingir as margens do rio Tocantins, onde ocorre uma fauna tipicamente amazônica, em que foi observada uma diferenciação da herpetofauna entre as margens do rio Tocantins, como é característico dos grandes rios da Amazônia.

Atingindo o litoral, encontra-se a paisagem das rinhas, dunas e pântanos. As rinhas, compreendem grandes extensões de vales alagados periodicamente pelas altas marés, gerando uma floresta ciliar de manguezais com baixa disponibilidade de água doce e baixa diversidade de espécies, especialmente de anuros de reprodução aquática, gerando uma comunidade caracterizada pela altíssima dominância, agravado na ilha de São Luís pela insularização e pela intensa degradação dos ambientes

Enquanto foram realizadas as pesquisas que permitiram delinear este esboço geral da herpetofauna do Maranhão, foi observada uma intensa perda de habitat. Grandes desmatamentos na porção amazônica, uma grande expansão áreas de produção de grãos nas chapadas do sul e a degradação dos mangues, açaizais e do estuário da baia de São Marcos na Ilha de São Luís. Muitas áreas ainda devem ser amostradas para descrever adequadamente a herpetofauna do Maranhão, mas houve uma enorme redução das áreas naturais neste lapso de tempo, tornando cada vez mais urgente e difícil obter este conhecimento e efetivamente aplicá-lo para reduzir os impactos negativos do desenvolvimento na conservação desta herpetofauna.

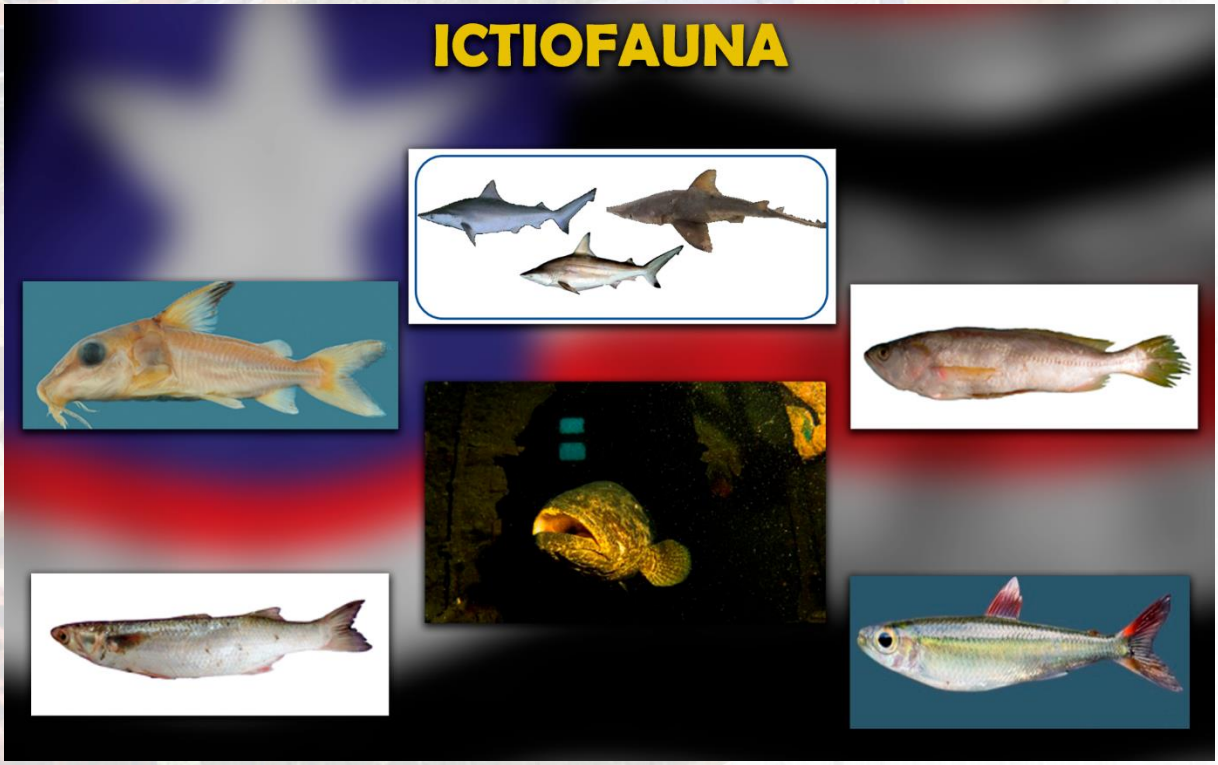
Figura 7.16 - Distribuição de pontos da herpetofauna



Fonte: ZEE (2021)

3.4 Peixes

3.4.1 Macro-caracterização e Ameaças à Ictiofauna



Os dados disponíveis possibilitaram o levantamento de 452 espécies de peixes entre marinhas, de água doce e estuarinas, registradas para o estado do Maranhão. Destas, 412 espécies foram utilizadas para gerar os padrões de distribuição descritos a seguir, considerando-se apenas aquelas com coordenadas geográficas registradas. No entanto, é necessário salientar que o aumento substancial do número de espécies do estado em relação a listas anteriores, se deve a dois motivos. Primeiro, a lista resultante é oriunda de registros em ambientes de água doce e marinho-estuarinos. Segundo, pela inclusão de espécies listadas para a porção da bacia do Tocantins inserida no estado do Maranhão.

A análise da distribuição das espécies possibilitou a identificação de seis padrões de distribuição para o estado: 1) Maranhão central; 2) Cerrado maranhense; 3) Oeste maranhense; 4) Amazônia maranhense; 5) Planalto maranhense; e 6) Marinho-Estuarino (Figura 7.17).

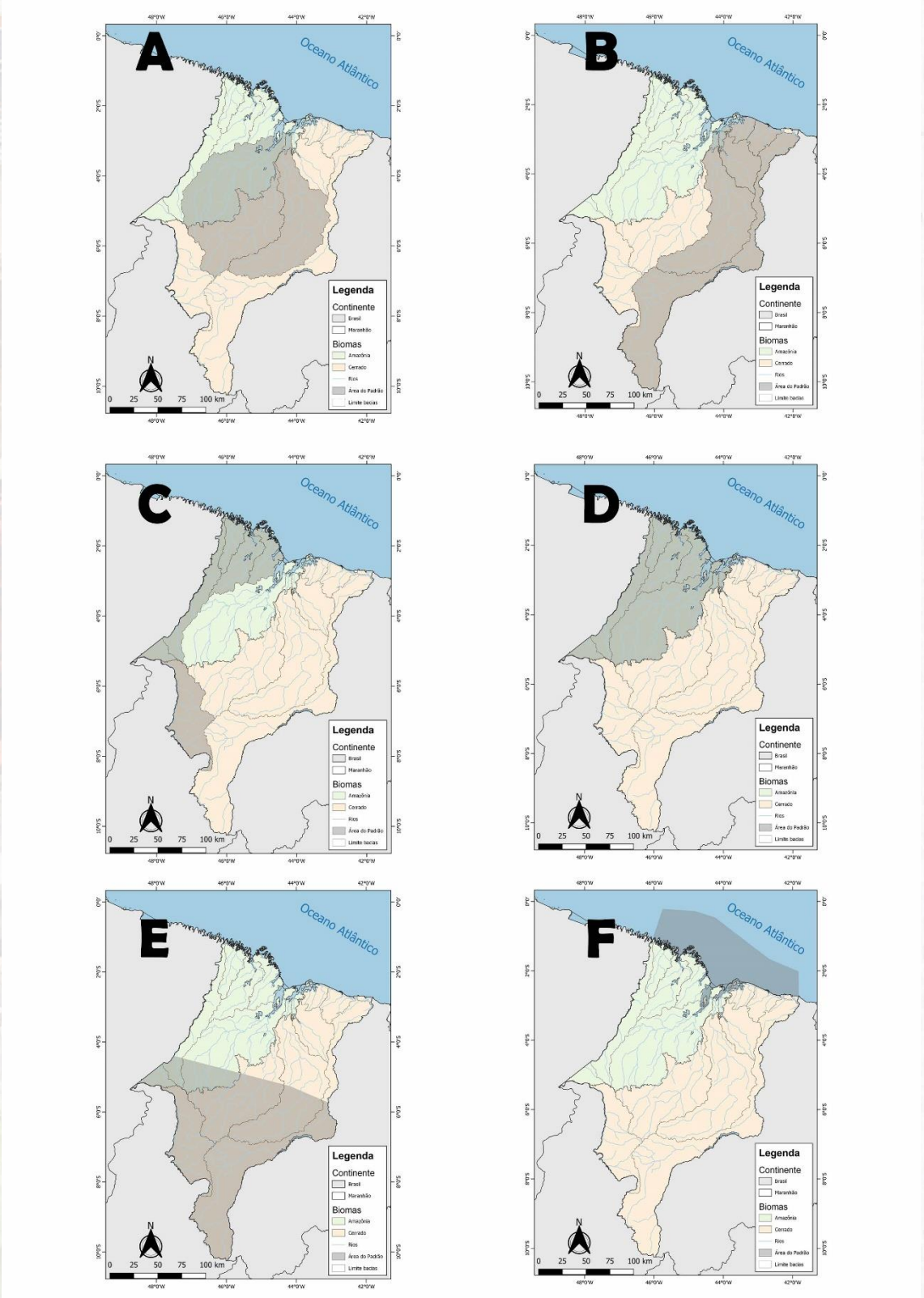
O padrão “Maranhão central” é formado por aquelas espécies com distribuição apenas para as bacias do Itapecuru e Mearim, esse padrão é composto por sete espécies pertencentes a sete famílias. O padrão “Cerrado maranhense” é caracterizado por espécies que possuem distribuição para as bacias que estão presentes no bioma Cerrado dentro do estado, Parnaíba, Preguiça, Periá, Munim e Itapecuru, e é composto por três espécies. A distribuição de espécies comuns às bacias na região oeste do estado

(Tocantins, Gurupi, Maracaçumé, Turiaçu e Litoral Ocidental) compõem o padrão "Oeste maranhense", sendo representado por apenas dois táxons.

Na "Amazônia maranhense", o padrão é definido pela ocorrência de 16 espécies compartilhadas e com distribuição restrita aos rios desse bioma (Gurupi, Maracaçumé, Turiaçu e Litoral Ocidental, além de parte da bacia do Mearim). O "Planalto maranhense", por sua vez, é um padrão gerado pelas espécies que se distribuem, principalmente, pelas porções altas dos rios do Estado do Maranhão. Por fim, o padrão "Marinho-estuarino" corresponde às espécies com distribuição restrita aos estuários e áreas costeiras do litoral maranhense.

A ictiofauna dos rios do Estado do Maranhão ainda é relativamente pouco conhecida. Essa deficiência é, em parte, principalmente, à ausência de estudos taxonômicos e ecológicos apesar de alguns trabalhos desenvolvidos nos últimos dez anos (PIORSKI *et al*., 2007, 2017; BARROS *et al.*, 2011; RAMOS *et al.*, 2014).

Figura 7.17 - Padrões de distribuição para a ictiofauna do Estado do Maranhão. A) Maranhão Central; B) Cerrado maranhense; C) Oeste maranhense; D) Amazônia maranhense; E) Planalto maranhense; F) Marinho-estuarino



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A ocorrência de espécies endêmicas nas bacias maranhenses, tais como, *Platydoras brachylecis*, *Charax awa*, *Hyphessorbrycon piorskii*, *Hyphessobrycon caru, Cichlasoma zarskei*, *Rhamphichthys atlanticus*, *Auchenipterus menezesi*, *Roeboides sazimai* e *Loricaria turi* sugerem que a distribuição dessas espécies deve ser considerada na definição de áreas prioritárias para a conservação. Nesse aspecto, os padrões identificados para a distribuição da ictiofauna no Estado indicam que algumas espécies podem apresentar distribuições restritas a bacias ou conjunto de bacias hidrográficas. Assim, é importante considerar os padrões propostos durante o estabelecimento de áreas prioritárias, a fim de evitar perdas faunísticas.

As áreas de abrangência dos padrões identificados incluem, em sua maioria, áreas protegidas já definidas em Lei. Dessa forma, a combinação das informações de Áreas Protegidas com os padrões de distribuições pode ser uma ferramenta adicional para o reconhecimento de áreas prioritárias. Por exemplo, em análise sobre a importância do Parque Estadual do Mirador para a proteção da ictiofauna no cerrado maranhense, Rocha (2020) observou que esta UC é efetiva na proteção de espécies de peixe de água doce e possui maior quantidade de espécies raras, além de conter boa representatividade da ictiofauna do Cerrado e das Bacias Hidrográficas do Maranhão. Assim, essa área poderia ser considerada prioritária, uma vez que já é uma UC e está incluída dentro da área de dois padrões de distribuição identificados: Cerrado maranhense e Planalto maranhense.

A presença de espécies de pequeno porte, capturadas em riachos da Aldeia Maracaçumé, tais como, *Corydoras* spp, *Farlowella* sp e indvíduos da família Bunocephalidae sugerem a ocorrência de espécies novas na região. Dentre os táxons registrados para as drenagens maranhenses, nenhum faz parte da *Portaria Nº445/2014 do Ministério do Meio Ambiente* que lista as espécies de invertebrados aquáticos e peixes reconhecidos como ameaçados de extinção. Nesta Portaria apenas quatro espécies de água doce são listadas com provável ocorrência no Estado do Maranhão: *Sartor tucuruiense*, *Aguarunichthys tocantinsensis*, *Crenicichla jegui* e *Teleocichla cinderella*.

Estas são citadas para a bacia do Rio Tocantins, podendo ocorrer também na parte maranhense desta. Dentre as espécies identificadas, observa-se que a maioria é classificada como de baixa vulnerabilidade. Por outro lado, 35% das espécies são consideradas de vulnerabilidade moderada a alta, correspondendo àquelas de maior valor comercial, tais como, *Sorubim lima* bico-de-pato, *Pellona flavipinnis* arenga, *Pseudoplatystoma fasciatum* surubim e *Hemisorubim platyrhynchos* mandubé.

A análise da lista de espécies sugere a ocorrência de grupos sem nenhum registro para o Maranhão, tais como *Gymnocorymbus*, *Microglanis* e *Batrochoglanis*, podendo representar novos táxons para a região. *Gymnocorymbus* é um gênero com poucas espécies, ocorrendo desde a bacia do Rio Paraguai até Trinidad e Tobago. *Microglanis*, por outro lado, compreende várias espécies e possui a distribuição mais ampla dentre os Pseudopimelodídeos (SHIBATTA, 2003). *Batrochoglanis*, apesar de

apresentar distribuição mais restrita do que *Microglanis*, ocorre em várias drenagens do norte da América do Sul.

A identificação dessas espécies ressalta a importância do Rio Gurupi como área de transição entre a bacia do Amazonas e as demais drenagens a leste desta. Do mesmo modo, a confirmação de novos táxons sustenta a importância da região como área de endemismo para peixes de água doce. A introdução de espécies exóticas nos ambientes aquáticos continentais é uma das principais ameaças à diversidade ictiofaunística. Piorski *et al.* (2003) observaram que nas áreas próximas ao rio Pindaré é comum a construção de açudes visando a criação de peixes. De modo geral, são confinadas espécies como o tucunaré (*Cichla ocellaris*), curimatá (*Prochilodus nigricans*), tilápia (*Oreochromis* spp), tambaqui (*Colossoma macropomum*) e carpa (*Cyprinus carpio*). Destas espécies apenas o tucunaré foi observado com maior frequência no rio Pindaré, havendo relatos orais da sua ocorrência no Igarapé Bandeira, dentro da área indígena Tiracambu.

A introdução do tucunaré nesta região pode ter ocorrido acidentalmente no período das chuvas, quando os açudes aumentam de nível e transbordam, entrando em contato com o canal do rio Pindaré. A presença do tucunaré pode contribuir para o aumento da produtividade pesqueira, uma vez que é uma espécie de grande porte e de valor comercial. Entretanto, esta espécie é predadora e o seu desenvolvimento pode trazer graves consequências às comunidades de peixes endêmicos (BARBIERI *et al.,* 2000). De acordo com estes autores, dependendo da espécie introduzida, pode haver redução ou extinção local dos estoques nativos, decorrente da alteração de habitat, pressões de competição, predação, nanismo, degradação genética de espécies nativas, disseminação de patógenos e parasitas.

O avanço do agronegócio com a derrubada indiscriminada da mata ciliar é um fator negativo para a diversidade de peixes de água doce na Amazônia Maranhense. A retirada dessa vegetação incide em mudanças das características limnológicas dos rios que, por sua vez, alteram as características dos habitats ocupados pelas diferentes espécies. O efeito tende a ser maior sobre espécies com distribuição restrita, como é o caso de *Hyphessobrycon caru* relatada apenas para a região do rio Pindaré, nas proximidades de Buriticupu-MA.

Na região da Baixada Maranhense, os principais fatores que podem interferir na diversidade nativa são a pesca predatória, a introdução de espécies exóticas e a construção de barragens. A pesca predatória é caracterizada principalmente pelo uso de tapagens e arrastões em que são utilizadas redes com malhas pequenas. A introdução de espécies exóticas ocorre, na maioria das vezes, de forma acidental a partir dos criadouros no entorno dos lagos. A construção de barragens, por sua vez, produz vários impactos negativos. O mais visível e de consequência imediata é a transformação de um ambiente lótico em lêntico. Mesmo em áreas inundáveis, onde o fluxo do rio é caracterizado por fraca correnteza, a exemplo da Baixada Maranhense, a alteração do regime fluvial é rapidamente sentida pelas

comunidades aquáticas. Na região de Penalva, por exemplo, a inundação artificial do lago Cajari durante o período de seca induziu a substituição do capim de marreca *Paratheria prostrata* pelo junco *Eleocharis* sp, além da mortandade de grande número de espécies vegetais semiaquáticas e terrestres, a perda de habitats e a fuga de espécies animais. Alterações na composição florística da vegetação aquática e da mata ciliar podem, assim, comprometer a dinâmica da ictiofauna. Várias espécies, tais como, *Hoplias malabaricus*, *Hoplerythrinus unitaeniatus* e *Trachelyopterus galeatus* são encontrados, frequentemente, em áreas de igapó, utilizando-a para alimentação, desova e abrigo.

As características ambientais predominantes no Litoral Amazônico Brasileiro influenciam diretamente a composição da ictiofauna do estado do Maranhão, visto que os peixes utilizam o ambiente de forma diferente a fim de obter recursos indispensáveis ao longo do seu ciclo de vida, como por exemplo, de alimento, refúgio, sítio de reprodução (CARVALHO-NETA, 2004; NUNES *et al.*, 2011a). Apesar de algumas espécies terem a capacidade de mudar de ambientes ao longo do ciclo de vida, promovendo a conectividade entre estes diferentes ambientes - entre estuário-recifes, vice-versa -, a ictiofauna costeira do estado do Maranhão é caracterizada em sua maioria por espécies marinho-estuarinas (PALMEIRA-NUNES; NUNES, 2020).

O somatório dos fatores ambientais do Litoral Amazônico Brasileiro com a sua ictiofauna resulta em importante conjunto ecológico-evolutivo negligenciado, pois ambos são componentes fundamentais na transição entre as províncias biogeográficas do Caribe e do Brasil (ROCHA; BOWEN, 2008). Estudos recentes tratam a região como um importante *hotspot* da diversidade global e com elevado grau de endemismo de espécies de peixes, além disso consideram que as atuais ameaças têm elevado o seu grau de insubstituibilidade (WOSNICK *et al.*, 2019a).

A última compilação de dados sobre a composição da ictiofauna marinho-estuarina do estado do Maranhão, realizada em 2011, registrou 302 espécies pertencentes a 23 ordens e 95 famílias (NUNES *et al.*, 2011b). Contudo, nos anos seguintes houve novos registros de espécies pertencentes às classes Actinopteri e Elasmobranchii, possivelmente alcançando cerca de 315 espécies. As famílias mais especiosas da ictiofauna marinho-estuarino do estado do Maranhão são Carangidae (~22), Sciaenidae (~21), Carcharhinidae (~12) e Ariidae (~11). Grande parte dessas espécies possuem ampla exploração pesqueira devido ao valor comercial que alcança graças à ótima aceitação pela população local. Contudo, o litoral maranhense ainda é considerado grande incógnita quanto à composição da ictiofauna em águas profundas (CARRILLO-BRICEÑO *et al.*, 2018), nos recifes mesofóticos (MOURA *et al.*, 2016; FRANCINI-FILHO *et al.*, 2018) e águas oceânicas.

É esperado que o setor pesqueiro exerça grande impacto na região, pois a complexidade ambiental do Litoral Amazônico Brasileiro sustenta elevada biomassa de peixes que é a mesma a atrair a exploração dos seus recursos (MARCENIUK *et al.*, 2013). Apesar da pesca na região ser dominada

pela frota artesanal, a pescaria praticada pela frota industrial é bastante impactante, principalmente aquelas que usam redes de arrasto de fundo. O número de embarcações e artes de pesca que exploram os recursos pesqueiros na modalidade artesanal têm grande impacto aos estoques e/ou populações de várias espécies de peixes, mesmo aquelas pescarias nas quais os peixes não são as espécies alvo (OLIVER *et al.*, 2015) e geram níveis insustentáveis para várias espécies (RODRIGUES-FILHO *et al.*, 2020).

Outro fator agravante sobre a ictiofauna do Litoral Amazônico Brasileiro tem sido a falta da implementação de métodos de avaliação eficientes para conservação e para os recursos pesqueiros da região, pois os dados de estatística pesqueira quando estão disponíveis são genéricos e não fornecem informações detalhadas sobre os estoques e/ou populações (ALMEIDA *et al.*, 2011; MARCENIUK *et al.*, 2019). Consoante a este problema, os planos de manejo quando são elaborados já apresentam grande defasagem e deixam de cumprir com a sua finalidade de conservação (WOSNICK *et al.*, 2019b). Assim, muitas espécies endêmicas e/ou com algum tipo de ameaça continuam sendo capturadas e desembarcadas, descaracterizadas a fim de dificultar a identificação e aplicação de medidas punitivas previstas pelas legislações (FEITOSA *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2018; MARCENIUK *et al.*, 2019; RODRIGUES-FILHO *et al.*, 2020; DUAILIBE *et al.*, 2021).

Por outro lado, os riscos ambientais são iminentes e proporcionais aos serviços ecossistêmicos encontrados nos ambientes (CHAN; RUCKELSHAUS, 2010; VILLASANTE *et al.*, 2016), principalmente aqueles presentes na região costeira do estado do Maranhão. Dentre os principais tipos de ameaça à ictiofauna é a descaracterização de habitat, normalmente, fomentada pelo crescimento urbano que polui, contamina e transforma a paisagem (SILVA *et al.*, 2009; TRINDADE *et al.*, 2011). Outras fontes de impacto sobre a ictiofauna que podem ser encontradas no estado são mineração (ANDRADES *et al.*, 2020a), extração de calcáreo, atividades sísmicas, prospecção de combustíveis fósseis (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020) sobrepesca (MARTINS *et al.*, 2018) e bioinvasão (LASSO *et al.*, 2011; MENDES *et al.*, 2017).

A expansão imobiliária acompanha o crescimento populacional, suprime os manguezais e coloca em risco não apenas a ictiofauna, mas todos os organismos deste ambiente (OTTONI *et al.*, 2021). Após a transformação da paisagem o ambiente deixa de oferecer a mesma quantidade de recursos que outrora, assim, reduz drasticamente sua diversidade biológica (WHITE *et al.*, 1996). No entanto, ocorre o aumento na produção de resíduos sólidos, como plástico e microplástico; e líquidos, como língua negra, despejo de esgoto sem tratamento, que também impactam o ambiente e promovem o suprimento de compostos químicos e/ou macroscópicos, influenciadores nas trocas energéticas e de matéria (BRAUKO *et al.*, 2020).

Os últimos anos têm sido marcados por estudos em ecotoxicologia no Maranhão e revelaram inúmeros tipos de impactos à ictiofauna. Por exemplo, foi verificada a contaminação de tubarões

costeiros por elevadas concentrações de metais em diferentes tipos de tecido, os níveis de concentrações variaram entre o tamanho, sexos e estágio de vida (WOSNICK *et al.*, 2021). Baseado nestes dados, fica flagrante a amplitude das áreas contaminadas, visto que coincide com as áreas usadas pelas espécies de tubarões estudadas. As raias costeiras também são alvo dos efeitos dos resíduos sólidos, recentemente vários tipos de microplásticos foram registrados no conteúdo estomacal da raia-bicuda *Hypanus guttatus*, dentre os polímeros encontrados estavam presentes Acrilonitrito Butadieno Estireno (ABS), Poliamida (PA), Polietileno (PE), Polietileno Tereftalato (PET), Polipropileno (PP) e Borracha de Butadieno Estireno (SBR) (Pegado *et al.*, 2021).

Estudos desta natureza também são realizados entre os Actinopteri costeiros do Maranhão, principalmente em espécies amplamente consumidas pela população. A pescada amarela *Cynoscion acoupa* (LACÉPEDE, 1802), uma das espécies mais consumidas no Maranhão, apresentou elevadas concentrações de mercúrio, ultrapassando o valor estabelecido pela Agência de Vigilância Sanitária (OLIVEIRA, 2018). Outros estudos também revelam vários efeitos deletérios aos peixes como microlesões nas brânquias resultantes de ambientes contaminados, como a tilápia Oreochromis niloticus (PESTANA *et al.,* 2014), o robalo *Centropomus undecimalis* (CANTANHEDE *et al*., 2016) e o bagre guribu *Sciades herzbergii* (DA SILVA *et al*., 2019).

A mortandade de peixes na Raposa e na Lagoa da Jansen pode ser classificado como um evento anual em função de impactos constantes. Apesar disso, ainda não existem estudos científicos aprofundados neste problema recorrente. Pois a mortandade de peixes na Raposa consiste na morte em massa da sardinha verdadeira *Centrengaulis edentulus*, que durante a sua migração encontra muitas redes de zangaria como obstáculos e ao tentarem outros caminhos se dirigem aos canais mais rasos, estreitos, assoreados e poluídos. Desta forma, os milhares de indivíduos se amontoam em espaços reduzidos e sucumbem pelo estresse causado pelo aumento de temperatura e apóxia. Enquanto na Lagoa da Jansen a mortandade ocorre em várias espécies devido à descarga de esgoto sem tratamento, que ao longo do tempo precipita grande parte da matéria orgânica no fundo da lagoa e ressurge no período de ventos mais intensos. Assim, há um tipo de ressurgência da matéria orgânica depositada no fundo para superfície, que reage com o oxigênio dissolvido na água, gera apóxia e culmina com morte dos peixes.

Dentre as ameaças de escala global emergentes, a bioinvasão recebeu atenção mundial notória a partir dos anos 90 por meio de ações gerenciadoras da água de lastro coordenado pela Organização Marítima Internacional. Pois a intensidade do tráfego marítimo transoceânico tem auxiliado na disseminação de várias espécies pelo mundo, resultando na introdução de espécies invasoras. Assim, os termos como bioinvasão ou invasão biológica têm sido utilizados para designar o ato ou efeito de um ou mais organismos se estabelecerem em ambientes além da sua distribuição geográfica natural

(PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

No estado do Maranhão, é possível considerar o estabelecimento de várias espécies não nativas nos ambientes costeiros, tais como o camarão tigre asiático *Penaeus monodon*; o caranguejo bidu *Charybdis hellerii*; as espécies de craca *Amphibalanus reticulatus* e *Striatobalanus amaryllis*; e duas espécies de peixes *Butis koilomatodon* e *Omobranchus punctatus* (FERES *et al*., 2007; SANTOS & COELHO, 2007; LASSO-ALCALÁ *et al*., 2011; SILVA *et al*., 2016; MENDES *et al*., 2017). Contudo, as informações disponíveis sobre as espécies invasoras no estado do Maranhão apenas remetem aos seus registros e não exploram a ecologia da interação com a comunidade e/ou com ambiente. Dados não publicados mostram o domínio das poças de maré pela espécie *O. punctatus*, e apontam a redução da diversidade local devido à competição com espécies nativas.

As avaliações de risco desenvolvida pela International Union for Conservation of Nature -IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) são utilizadas em vários países como estratégia de conservação em diferentes escalas geográficas. Essa avaliação auxilia a construção da lista vermelha de espécies ameaçadas que podem direcionar as políticas ambientais, pois categoriza as espécies em status de conservação para definir o nível de risco de extinção, baseadas em seus critérios específicos que dependem de informações básicas como: A- Redução da população (passada, presente e/ou projetada); B - Distribuição geográfica restrita e apresentando fragmentação, declínio ou flutuações; C - População pequena e com fragmentação, declínio ou flutuações; D - População muito pequena ou distribuição muito restrita; E - Análise quantitativa de risco de extinção.

Algumas espécies de peixes que compõem a ictiofauna marinha-estuarina do estado do Maranhão estão classificadas em categorias de risco de acordo com a lista vermelha nacional das espécies ameaçadas, coordenada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). O mero *Epinephelus itajara* é uma espécie ameaçada, atualmente, classificada como Criticamente em Perigo (CR) na lista nacional devido a grande vulnerabilidade pela exploração pesqueira, bem como fatores da sua biologia que limitam a sua recuperação (DUAILIBE *et al*., 2021). Os mesmos autores apontam a pesca ilegal do mero no Estado e destacam vários pontos de desembarque no litoral.

Considerando violações das legislações que protegem as espécies ameaçadas, estudos realizados recentemente denunciaram o comércio ilegal de Elasmobrânquios no Litoral Amazônico Brasileiro por meio de identificação molecular (FEITOSA *et al.,* 2019; RODRIGUES-FILHO *et al.,* 2020) e descreveu a sua cadeia produtiva (MARTINS *et al.,* 2019). Algumas dessas espécies parecem apresentar declínio populacional, como é caso das espécies categorizadas como Em Perigo (*Rhinoptera bonasus*, *Sphyrna lewini* e *S. mokarram*) e Criticamente em Perigo (*Isogomphodon oxyrhynchus*, *Pristis pectinata* e *P. pristis*).

Isogomphodon oxyrhynchus é uma espécie de tubarão endêmica do norte da América do Sul, que apresentou uma vertiginosa redução populacional nas últimas décadas (LESSA *et al.*, 2016). A maioria dos estudos realizados em águas brasileiras, abordam a avaliação de status de conservação (POLLOM *et al*., 2020), biologia (LESSA *et al.*, 1999; ALMEIDA *et al.*, 2011), dinâmica populacional (LESSA *et al.*, 2000; POLLOM *et al*., 2020) e genética da conservação (RODRIGUES-FILHO *et al.*, 2009; NACHTIGALL *et al.*, 2017). As duas espécies de Pristidae estão entre as espécies mais ameaçadas de extinção do planeta. Embora a Região Amazônica seja considerada local de populações remanescentes (WOSNICK *et al.*, 2019b), estas espécies têm sido comumente encontradas nos desembarques e mercados (FEITOSA *et al.*, 2017; RODRIGUES-FILHO *et al.*, 2020).

O espadarte *Pristis pritis* também tem demonstrado características de declínio populacional em todo o planeta (ALMEIDA *et al*., 2011; REIS-FILHO *et al*., 2016). Além disso, nos últimos 30 anos foram registrados apenas 12 espécimes de *P. pristis* para todo o estado do Maranhão (FEITOSA *et al*., 2017), trazendo preocupação para outra espécie de espadarte que era registrada no Maranhão.

Algumas espécies que eram abundantes há alguns anos parecem ter acompanhado a tendência mundial, pois atualmente demonstram claros sinais de declínio populacional. As espécies *Carcharhinus porosus* e *Rhizoprionodon porosus* que lideravam as listas de abundância nos anos 80 e 90 no estado do Maranhão, hoje, mostram que a pressão da pesca está comprometendo suas populações (WOSNICK *et al.*, 2019a) devido a maioria das artes de pesca utilizadas na região capturarem tubarões (NUNES *et al.*, 2019).

Além disso, estudos recentes têm se preocupado em compreender como os efeitos da pesca estão influenciando as populações de *C. porosus*, ainda mais por que o Litoral Amazônico Brasileiro tem sido considerado fundamental para todas as fases do ciclo de vida dessa especie (FEITOSA *et al.*, 2020 a,b). A última avaliação de risco da IUCN a classificou como Criticamente em Perigo (POLLOM *et al*., 2020)

Nos últimos dois anos de acompanhamento nos desembarques de Elasmobrânquios no estado do Maranhão a espécie *Ginglymostoma cirratum* esteve presente em frequência muito elevada nas capturas ao longo de todo o ano, sempre provenientes da pescaria de espinhel. No entanto, apesar de *G. cirratum* estar categorizada como espécie Vulnerável no Brasil e, atualmente apresentar frequências extremante baixas em vários estados, a Região Amazônica parece ser um importante refúgio para populações remanescentes (MARTINS *et al.*, 2018; WOSNICK *et al.*, 2019a). *Hypanus guttatus* é outra espécie muito frequente ao longo do ano nos desembarques, correspondendo em recurso pesqueiro muito explorado na região e recentemente a sua venda tem sido comum em vários supermercados. Historicamente é a espécie mais capturada na região e nos estudos a sua abundância sempre é maior que outras raias, apesar de ser categorizada como Pouco Preocupante é possível que suas populações

estejam discretamente em declínio e realmente necessitando de estudos direcionados (WOSNICK *et al.*, 2019a).

3.5 Abelhas Euglossini

Com referência às abelhas Euglossini os dados obtidos até o momento testemunham a existência de uma fauna rica e bastante heterogênea, representada por, pelo menos, 51 espécies distribuídas nos seguintes gêneros: *Aglae* (1 espécie), *Eufriesea* (13), *Euglossa* (29), *Eulaema* (6) e *Exaerete* (2).

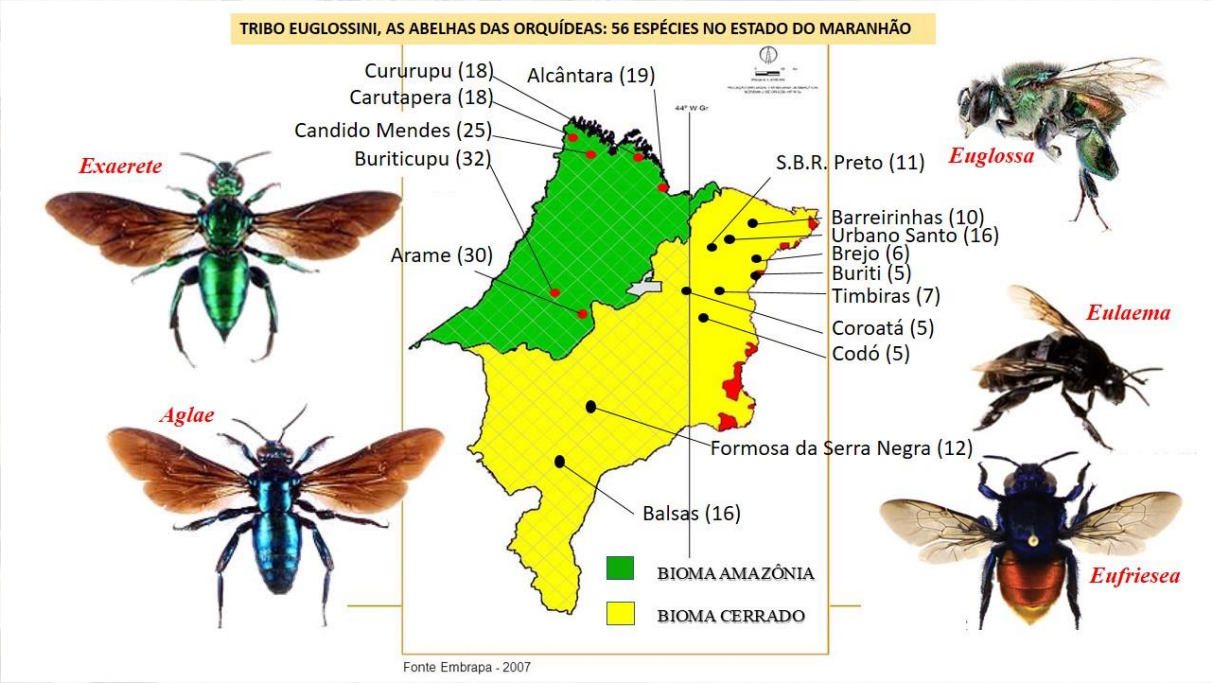
No território maranhense, muitos grupos de insetos apresentam maior diversidade nas áreas amazônicas e as abelhas euglossinas não são exceção desse padrão, pois 80% das espécies (45) ocorrem nas áreas de florestas ombrófilas de Buriticupu, Itinga, Godofredo Viana, Cândido Mendes, Cururupu e Carutapera. Nessas áreas predominam as abelhas de médio e grande porte, distribuídas a oeste do rio Mearim e não ultrapassam os limites do clima quente e úmido e das florestas que caracterizam essa região. Entre as espécies essencialmente amazônicas ou que ocorrem em região de semelhante clima e vegetação estão as *Euglossa (Eg. piliventris, Eg. intersecta, Eg. imperialis);* as *Eufriesea (Ef. elegans, Ef. fallax, Ef. macroglossa* e *Ef. superba)* e *Eulaema mocsaryi.* Essas abelhas tendem a nidificar e forragear dentro da floresta, motivos pelos quais são raramente vistas em áreas submetidas à forte ação antrópica.

Apesar da maior diversidade das abelhas euglossinas nas áreas quentes e úmidas amazônicas, o bioma cerrado também abriga uma grande diversidade faunística, constituindo um dos ambientes mais ricos (e ameaçados) do Brasil em termos de diversidade e endemismo de espécies (MYERS *et al*. 2000). Tanto que nesse estudo foram encontradas 36 espécies dessas abelhas, ou seja, 70% da fauna conhecida no Maranhão. Destas, pelo menos 5 espécies do gênero *Eufriesea* foram encontradas exclusivamente no bioma cerrado, a saber: *Ef. auriceps, Ef. laniventris, Ef. mussitans, Ef. nordestina* e *Ef. cf. vidua*. Essa enorme diversidade de espécies de abelhas de uma única tribo se justifica pela grande variedade de ecossistemas dentro do cerrado, que se caracteriza, no Maranhão, como um complexo mosaico (Figura 7.18). Nele pode-se encontrar desde matas ciliares, manifestadas como vegetação florestal que acompanha os rios de médio e grande porte e, por isso, pode ocorrer em associação com outros biomas (MOURA; SCHLINDWEIN, 2009), como matas estacionais semidecíduais, cocais e as diversas fisionomias típicas do próprio cerrado, como campo sujo, cerrado *sensu stricto* até o cerradão (COUTINHO, 1978; RATTER *et al.,* 1997).

Um número representativo de espécies que ocorrem na floresta amazônica entra na região dos cerrados, sendo encontradas em matas ciliares e de galerias, incluindo várias espécies de *Euglossa* de porte pequeno, as *Eulaema* (*El. bombiformes, El. cingulata, El. meriana, El. mocsaryi, El. nigrita, El. pseudocingulata*) e as *Eufriesea* (*Ef. surinamensis, Ef. nigrescens, Ef. ornata* e *Ef. pulchra*), além de *Exaerete smaragdina* e *Ex. frontalis*. Algumas dessas espécies podem ser encontradas em capoeiras e até mesmo em áreas abertas, descampadas, é o caso de *El. nigrita, Ex. smaragdina, Eg. cordata, Eg. securigera* e *Eg. fimbriata* que apresentam grande distribuição geográfica no Maranhão. Essas espécies estão entre as mais resistentes à degradação ambiental decorrente das atividades antropogênicas. A maioria, no entanto, predomina em formações vegetais conservadas, sendo extremamente sensíveis e desaparecem na mesma medida da retirada da cobertura vegetal pelo desmatamento.

Em síntese, as abelhas euglossinas são relativamente bem conhecidas no Estado do Maranhão, com registros de ocorrências em muitas unidades municipais, desde o município de Formosa da Serra Negra, no sul do estado, até o município de Barreirinhas, ao norte, e do município de Itinga, no extremo oeste ao município de Codó, ao leste (Figura 7.18). Dentro dessa grande área, essas abelhas estão presentes em muitos ecossistemas, devido a formação de vastas zonas de contato entre as diversas fisionomias vegetais que se estendem no território maranhense, aliados aos fatores topográficos, edáficos e hidrográficos que também contribuem para esta complexidade. Dessa forma, a fauna de euglossinas encontrada no Maranhão constitui uma complexa mistura entre grupos que, de certa forma, reflete as condições de transição vegetacional do estado, entre o clima superúmido amazônico e o clima semi-árido nordestino.

Figura 7.18 - Pontos de ocorrência de abelhas Euglossini no Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

3.6 Macroavaliação das ameaças à fauna Maranhense

Dentre as maiores ameaças à fauna Maranhense estão a perda, a fragmentação e degradação dos habitats. Em maior ou menor escala, esta perda está associada à formação de pastos para criação de gado ou para plantio. Já a degradação das matas remanescentes está associada à exploração irracional e, na maioria das vezes, ilegal da madeira, além da mineração. A existência, a presença e a ocorrência das espécies estão condicionadas à preservação dos seus ambientes naturais.

Os grandes gaviões, assim como uma parcela das espécies frugívoras, como *Selenidera gouldii*, *Cotinga cotinga, Cotinga cayana, Xipholena lamellipennis, Lodopleura isabellae, Haematoderus militaris*, e *Aburria cujubi* tendem a ser sensíveis à fragmentação do habitat (LIMA et al., 2014). Registros dos gaviões *Harpia harpyja*, *Spizaetus tyrannus*, e *Leucopternis albicollis*, os quais dependem de vastas áreas não degradadas para sobreviver, poderão ter sua sobrevivência comprometida com a continuidade do processo de degradação e perda de área da região (OREM; ROMA, 2011, LIMA et al., 2014).

A harpia é uma das primeiras aves a desaparecer quando o desmatamento aumenta, por ser mais sensível aos distúrbios antropogênicos (TRINCA et al., 2008). De fato, análises genéticas da população de harpias indicam que, as populações do impactado arco do desmatamento têm variabilidade genética mais reduzida que as das demais populações (ICMBio, 2008). Da mesma forma, as abelhas Euglossini, mais sensíveis às alterações ambientais, também tenderiam a desaparecer e com isto levar a déficits na polinização (ZAYED, 2009, MAUÉS e OLIVEIRA, 2010).

A caça excessiva, associada à perda e fragmentação de habitats, é responsável pela situação de extrema ameaça de extinção de várias espécies, como o jacamim-da-costa-preta (*Psophia obscura*), do mutum-pinima (*Crax pinima*) (Figura 7.19), cairara Ka'apor (*Cebus kaapori*) e cuxiú-preto (*Chiropotes satanas*). Todas estas espécies são restritas à Amazônia Tocantina e Centro de Endemismo Belém, onde está inserida a totalidade da Amazônia Maranhense. Todas são consideradas tanto em nível nacional (MMA, 2016) quanto mundial (IUCN), como Criticamente em Perigo (CR).

A caça é, na maioria das áreas, amplamente difundida e altamente impactante no estado de conservação e tamanhos populacionais de uma grande parcela das espécies, mesmo daquelas que tendem a ser mais abundantes. Isto acontece mesmo em áreas protegidas, conforme detectado tanto nas reservas do complexo do Gurupi na Amazônia, quanto no cerrado do Parque Estadual do Mirador. Esta atividade é uma das principais causadoras de declínios populacionais de porcos-do-mato (*Tayassu/Pecari* spp.), veados (*Mazama* spp.), pacas (*Cuniculus paca*), tatus (*Dasypus* spp., *Cabassous* spp., *Priodontes maximus*), jabutis (*Geochelone* spp.), jurarás (*Kinosternon scorpioides*), jaçanãs (*Porphyrio martinica*), dentre outras espécies (BODMER et al., 1997; CULLEN et al., 2000; FRAGOSO et al., 2000).

A área da Baixada Maranhense apresenta-se extremamente empobrecida, quanto à presença de espécies de mamíferos de médio e grande porte, já tendo perdida uma grande parcela destas

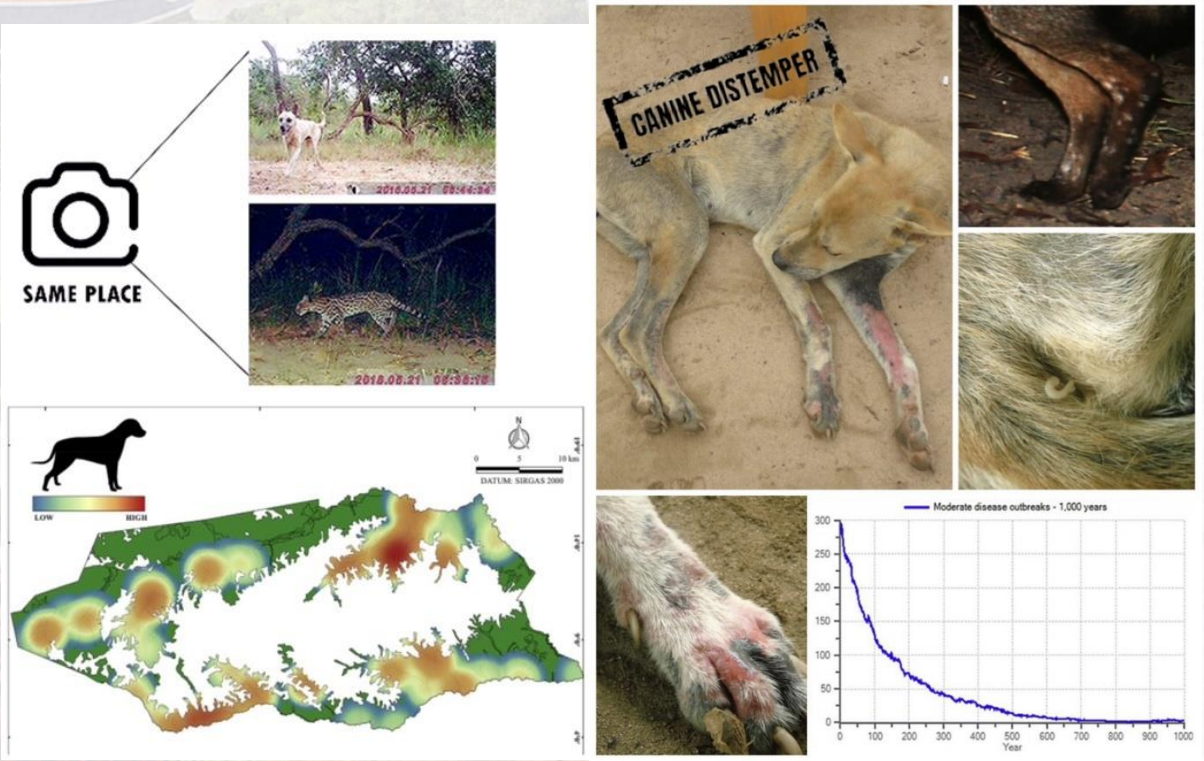
espécies em razão de caça. Esta já foi responsável também pela extinção local de várias espécies de mamíferos no Parque Estadual do Mirador, tais como anta, porcão, suçuapara, tatu-canastra.

Figura 7.19 - O jacamim-da-costa-preta (esquerda) e o mutum-pinima (direita) são espécies criticamente ameaçadas de extinção, fotografadas no seu mais importante reduto, a região do Gurupi

Fonte: Carlos Martinez (2017); Emanuel Barreto (2017)

A presença de animais domésticos é um outro fator antropogênico negativo, devido à possibilidade de transmissão de doenças às populações naturais (Figura 7.20). Doenças virais como cinomose, parvovirose, imunodeficiência felina e aftosa, transmitidas por cães, gatos e gado, são fatais às populações de carnívoros e ungulados (FUNK et al., 2001; CLEVELAND et al., 2006). Esta seria uma espécie de ameaça invisível que pode ter consequências devastadoras (Figura 7.21). Doenças transmitidas por cães domésticos foram apontadas como a maior ameaça à viabilidade da população mais importante de *Leopardus tigrinus* em área protegida em todo o planeta, a do Parque Estadual do Mirador. Nesta área, mesmo em incidência apenas moderada, a incidência de doenças levaria à extinção dessa população que, de outra forma, teria viabilidade a longo prazo (1.000 anos) (DE OLIVEIRA et al., 2020). Em muitas áreas, uma combinação de vários destes fatores de ameaça incide simultaneamente.

Figura 7.20 - A ameaça invisível da transmissão de doenças por animais domésticos nas áreas naturais e Unidades de Conservação: cães são fotografados nas mesmas câmeras que os felinos silvestres e cegam a potencialmente impactar > 60% do hábitat utilizado pelo felino ameaçado. Várias doenças, como a cinomose, são muito incidentes nas populações de cães dentro dos limites do Parque Estadual do Mirador



Fonte: Programa de Conservação Gatos do Mato – Brasil

Figura 7.21 - O raro e ameaçado cachorro-do-mato (*Speothos venaticus*), registrado na Reserva Biológica do Gurupi (foto à direita), apresenta total perda de pelos, ocasionada provavelmente por sarna. À esquerda indivíduo sadio para efeito comparativo

Fonte: Tadeu de Oliveira; CENAP/ICMBIO

Em maior ou menor escala, em quase todo o Maranhão, à exceção de algumas raras áreas (como partes da região do Gurupi), observaram-se traços de interferência humana. Populações de táxons

sensíveis às alterações ambientais de quaisquer espécies se apresentam enfraquecidas, perante a intensa ocupação humana. Este cenário resulta em dois aspectos cruciais relacionados à conservação.

O primeiro seria o estado precário das espécies com maior sensibilidade ambiental a exemplo de grande quantidade de espécies de aves, das espécies com maiores requerimentos de habitats, como harpia/gavião-real, onças, anta e queixada/porcão (Figura 7.22, 7.23 e 7.24) e dos grandes predadores, grandes gaviões/águias e onças. O segundo seria a substituição destas espécies por aquelas adaptadas a áreas degradas e impactadas. Estas, por sinal, tendem a se tornar mais abundantes.

Desta forma, verifica-se um processo de "simplificação faunística" nas áreas mais impactadas tanto da porção amazônica quanto do Cerrado no Maranhão, com a diminuição da riqueza das espécies e a consequente homogeneização por aquelas comuns e adaptadas a ambientes degradados. Como este último grupo de espécies costuma ser comum e facilmente observável, ele propicia uma falsa ideia de "abundância faunística", o que estaria bem longe de ser verdadeiro. Exemplos dessa substituição de espécies, de áreas florestais por aquelas com preferências por áreas abertas, são encontradas para abelhas (*Eg. melanotricha, Eg. cordata, El. nigrita, El. cingulata* e *Ex. smaragdina*), assim como para as aves (*Bubo virginianus*, *Ara severus*, *Brotogeris chiriri*, *Columbina minuta* e *Polioptila plúmbea*), e mamíferos como a raposa (*Cerdocyon thous*) e o gambá (*Conepatus semistriatus*), este último característico de áreas de Cerrado e não pertencente, nem mesmo marginalmente, à fauna amazônica (REBÊLO; SILVA, 1999, OLIVEIRA et al., 2007, LIMA et al., 2014). Estas espécies passariam a ocorrer e tornar-se abundantes, ocupando as áreas recém-abertas pelo processo do desmatamento (SICK, 1997; PERUQUETTI et al., 1999; REBÊLO; SILVA, 1999; OLIVEIRA et al., 2007; DEVELEY, 2009; LIMA et al., 2014).

Figura 7.22 - *Harpia harpyja* adulta e juvenil de *Morphnus guianensis*, duas espécies no limiar da extinção no Maranhão

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Figura 7.23 - Os grandes predadores: onça-vermelha e onça-pintada no Parque Estadual do Mirador e na Reserva Biológica do Gurupi

Fonte: Gatos do Mato – Brasil (2019); ICMBIO (2020)

Figura 7.24 - As duas espécies de ungulados ameaçadas de extinção: o queixada (porcão) e a anta têm seus maiores redutos no Maranhão, na Região Amazônica do Gurupi, ambas já desapareceram do cerrado do Parque Estadual do Mirador

Fonte: CENAP/ICMBIO (2015)

Apesar do aspecto de preliminaridade acerca dos estudos faunísticos na Amazônia e Cerrado do Maranhão, é notória sua relevância, primordialmente na região do Gurupi e demais UCs no Cerrado (PE Mirador, PN Chapada das Mesas, PN Nascentes do Parnaíba). Esta relevância não está restrita apenas à conservação da diversidade biológica local, mas também da biodiversidade nacional (Figura 7.25).

A falta de ações concretas e integradas das esferas federal e estadual, associada às agravantes ameaças, coloca em risco extremo todo um patrimônio biológico, muitas vezes único. No Maranhão, há pelo menos 12 espécies no limiar da extinção, algumas talvez até já extintas, majoritariamente pela perda de hábitat associados à caça predatória: as aves *Harpia harpyja*, *Morphnus guianensis, Crax pinima* e *Psophia obscurae,* o *peixe Epinephelus itajara,* e os mamíferos *Trichechus manatus, Pteronura brasiliensis, Blastocerus dichotumos, Cebus kaapori, Chiropotes satanas, Pridontes maximus* e *Tolypeutes tricinctus* (Figura 7.26).

Figura 7.25 - Os 7 de Mirador: o Parque Estadual do Mirador e entorno é uma das áreas protegidas com a maior diversidade de felinos do Brasil, seis destes majestosos animais estão ameaçados de extinção e dois deles têm no parque sua mais importante área protegida no país

Fonte: Programa de Conservação Gatos do Mato – Brasil (2021)

Figura 7.26 - As 12 espécies da fauna maranhense que estão no limiar da extinção no estado: *Harpia harpyja, Crax pinima, Psophia obscura, Epinephelus itajara, Trichechus manatus, Pteronura brasiliensis, Blastocerus dichotumos, Cebus kaapori, Chiropotes satanas, Pridontes maximus, Morphnus guianensis, Tolypeutes tricinctus*

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

4 AÇÕES RECOMENDADAS

A despeito da sua grande variedade de ambientes resultante da singularidade de estar situado numa área de convergência de três grandes biomas (Amazônia, Cerrado e Caatinga), o estado de conservação geral das áreas naturais remanescentes do Maranhão variaria entre preocupante e deplorável. Não levando em consideração as urgentes ações de preservação das áreas protegidas por leis em UCs, notoriamente as Reservas Indígenas, a Reserva Biológica do Gurupi, o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, o Parque Nacional da Chapada das Mesas e o Parque Estadual do Mirador, para citar as unidades chaves, existem três pontos principais para as áreas não protegidas por lei, isto é, fora das UCs: conectividade, recuperação de áreas degradadas e recuperação das reservas legais.

Conectividade

Conectividade é basicamente a palavra-chave para maximizar as chances de sobrevivência a longo prazo das espécies, a fim de evitar os problemas ligados às variações populacionais e genéticas,

às quais as populações pequenas tendem a ser bastante suscetíveis (GROOM et al. 2006). Populações pequenas ou isoladas, invariavelmente irão apresentar problemas de consanguinidade ocasionada pela perda da variabilidade genética.

No ZEE-Amazônia foi claramente demonstrado os efeitos negativos do que pode acontecer em populações de espécies ameaçadas em caso de isolamento populacional do bloco de vegetação da área Gurupi-Arame, onde estão os maiores remanescentes da vegetação amazônica no Maranhão. Sendo assim, faz-se necessário e imprescindível a manutenção e o restabelecimento da conectividade entre as áreas remanescentes dos grandes blocos de vegetação no Estado, notadamente na porção Amazônica Maranhense.

As matas ciliares, que compõem por lei áreas de proteção permanente (APP), são ideias para serem mantidas/recuperadas e serem usadas como corredores ecológicos. Nas áreas de Cerrado faz-se necessário implementar políticas de gestão que facilitem a conectividade entre as reservas legais obrigatórias de serem mantidas por lei, para que, conjuntamente, possam vir a funcionar como corredores ecológicos para manutenção do fluxo gênico. Os atores envolvidos nesta ação de manutenção/restabelecimento da conectividade seriam o governo estadual, empresas com dívidas ambientais e os proprietários rurais.

Recuperação das áreas degradadas

É notório o grau de degradação de todo o Estado do Maranhão, apesar das áreas de Cerrado estarem em melhor estado de conservação do que as da Amazônia, o Maranhão integra o Cerrado MATOPIBA, ou seja, aquele onde está a nova fronteira agrícola nacional e, consequentemente, as áreas de Cerrado com maiores índices de desmatamento do país, e o Estado tende sempre a liderar com as taxas mais elevadas (MMA, 2015). Na Amazônia maranhense, o cenário revela que as últimas estimativas consideram que restariam apenas cerca de 30% da cobertura florestal (ou seja, > 70% da área total já estaria perdida para o desmatamento – Prodes, 2016, CELENTANO, 2017). De maneira individual, as taxas de desmatamento chegaram a assustadores 36% na TI Awá e 29% na REBIO Gurupi (desmatamento acumulado até o ano de 2016) (PRODES, 2017). A recuperação das áreas degradadas, mas ainda com vegetação remanescente deveria ser feita focando nas áreas que possam funcionar como corredores ecológicos. Esta ação estaria ligada tanto à questão da conectividade, quanto da recuperação das reservas legais. Os atores envolvidos seriam os mesmos da ação anterior.

Recuperação das reservas legais

A legislação brasileira determina a manutenção de 80% da cobertura vegetal de qualquer propriedade dentro dos limites da Amazônia. Entretanto, o para o conhecimento da real situação em

relação a isso, é necessária a realização do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Em linhas gerais, é esperado que praticamente nenhuma das propriedades da região tenha cumprido o que requer a legislação. Portanto, para agir em conformidade com as leis do país seria necessária a recuperação e o estabelecimento das reservas legais. Atores envolvidos: proprietários rurais e órgãos ambientais fiscalizatórios, além do governo estadual (realização do CAR).

Recomendações de Conservação e Manejo

1. Incentivar, promover e apoiar estudos para o conhecimento da biodiversidade maranhense;
2. Apoiar projetos de integração entre Unidades de Conservação estabelecidas para o estado do Maranhão;
3. Adicionar as áreas indicadas como prioritárias à conservação da biodiversidade fora das áreas protegidas (correspondendo a uma área de 67.916km^2) sobre um regime rígido de proteção;
4. Realizar programas de educação ambiental visando sensibilização dos atores na manutenção da biodiversidade maranhense;
5. Implementar um programa de recomposição de áreas degradadas pertencentes à "Região do Gurupi";
6. Promover o reflorestamento de taludes, áreas de proteção permanente e reservas legais, com espécies nativas;
7. Estabelecer, através de instrumentos legais, os corredores da biodiversidade maranhense;
8. Implementar a recuperação dos corredores ecológicos propostos, com espécies nativas;
9. Observar a legislação pertinente que define a distância mínima para desmatamento a partir dos corpos d'água;
10. Implementar o Cadastro Ambiental Rural – CAR;
11. Incentivar a recuperação das reservas legais com espécies nativas, assim como o seu estabelecimento, segundo legislação pertinente;
12. Desenvolver programa para conservação de toda vegetação pristina remanescente;
13. Controlar a erosão e a instabilidade das encostas nas margens de reservatórios;
14. Efetivar programas contínuos de vacinação de animais domésticos, notadamente cães e gatos para outras doenças além da raiva, especialmente nas áreas das Unidades de Conservação existentes;
15. Controlar o uso de agrotóxicos, especialmente na proximidade dos corpos d'água;
16. Promover a fiscalização da pesca e do uso dos corpos d'água do Estado;

17. Instituir o desenvolvimento do setor produtivo pesqueiro com amplo envolvimento das comunidades, órgãos governamentais e não-governamentais nas tomadas de decisões que promovam a sustentabilidade do recurso;
18. Investir em infraestrutura adequada nos portos de desembarque visando melhorias dos sistemas de produção, beneficiamento e comercialização do pescado dentro do estado;
19. Estimular a implantação de cooperativas de pesca, associações e viabilizar a garantia dos direitos trabalhistas pelo pescador;
20. Implantar um sistema de ordenamento da pesca, visando obter informações sobre controle de desembarque, amostragem biológica e administração da pesca.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Amazônia: do discurso à práxis**. São Paulo: Edusp, 1996.

ALEIXO, A.; VIELLIARD, J. M. E. Composição e dinâmica da avifauna da mata de Santa Genebra, Campinas, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 12, n. 3, p. 493-511, set. 1995.

ALHO, C. J. R. Valor da biodiversidade. **Brazilian Journal of Biology**, v.68, n. 4, p.1115-1118, 2008.

ALMEIDA, A. S. D.; VIEIRA, I. C. G. Centro de Endemismo Belém: status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. **Revista de Estudos Universitários – REU**, v. 36, n. 3, 2010.

ALTEFF, E. F.; GONSIOROSKI, G.; BARREIROS, M.; TORRES, L. G. C. O.; CAMILO, A. R.; MOZERLE, H. B.; SOUSA, A. E. B. A.; MEDOLADO, C. A. B.; MARTÍNEZ, C.; LIMA, D. M.; UBAID, F. K.; MENDONÇA, E. N.; TOMOTANI, B. M.; SILVEIRA, L. F. The rarest of the rare: rediscovery and status of the critically endangered Belem Curassow, Crax fasciolata pinima (Pelzeln, 1870). **Papéis Avulsos de Zoologia,** v. 59, 2019.

ANDRADE, G.; LIMA, J. D.; MACIEL, A. O. Geographic Distribution, Stenocercus dumerilii. **Herpetological Review**, v. 34, n. 4, p. 385-386, 2003.

ANDRADES, R.; GUABIROBA, H. C.; HORA, M. S. C.; MARTINS, R. F.; RODRIGUES, V. L. A.; VILAR, C. C.; JOYEUX, J.-C. Early evidences of niche shifts in estuarine fishes following one of the world's largest mining dam disasters. Marine Pollution Bulletin, v. 154, p. 111073, 2020.

ANJOS, L. dos. O ciclo anual de Cyanocorax caeruleus em floresta de araucária (Passeriformes: Corvidae). Ararajuba, v. 2, n. 1, p. 19-23, 1991.

ASSIS, T. D. **Dinâmica espaço-temporal da cultura de soja no cerrado, analisada por meio de estatística espacial e dados físicos, socioeconômicos e ambientais**. 2020. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Universidade de Brasília/Instituto de Geociências, Brasília, 2020.

BARBIERI, G. CAMPOS, E. C.; TEIXEIRA FILHO, A. R.; VERMULM JUNIOR, H.; GIAMAS, M. T. D. Avaliação qualitativa da comunidade de peixes da represa de Guarapiranga, São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto de Pesca**, n. 30, p. 1-30, 2000.

BARBIERI, G.; CAMPOS, E. C.; TEIXEIRA FILHO, A. R.; VERMULUM JR., H.; GIAMAS, M. T. D. Avaliação qualitativa da comunidade de peixes da represa de Guarapiranga, São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto de Pesca**, 30, 21p. 2000.

BARROS, M. C.; FRAGA, E. C.; BIRINDELLI, J. L. O. Fishes from Itapecuru River basin, State of Maranhão, northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 2, p. 375-80, 2011.

BARROS, M.; FRAGA, E.; BIRINDELLI, J. Fishes from the Itapecuru River basin, State of. **Brazilian journal of biology**, v. 71, n. 2, p. 3–7, 2011.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia:** de indivíduos a ecossistemas. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BLONDEL, J.; FERRY, C.; B, F. **La méthode des indices ponctuels d'abondance (I.P.A.) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute**. Paris: 1970.

BODMER, R. E.; EISENBERG, J. F.; REDFORD, K. H. Hunting and the likelihood of extinction of Amazonian mammals. **Conservation Biology**, Massachusetts, v. 11, p. 460-466, 1997.

BOLFE, É. L.; VICTÓRIA, D. D. C.; CONTINI, E.; BAYMA-SILVA, G.; SPINELLI-ARAUJO, L.; GOMES, D. MATOPIBA em crescimento agrícola: Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, v, 25, n.4, p. 38-62, 2016.

BRAUKO, K.; CABRAL, A.; COSTA, N. V.; HAYDEN, J.; DIAS, C. E. P.; LEITE, E. S.; WESTPHAL, R. D.; MUELLER, C. M.; HALL-SPENCER, J. M.; RODRIGUES, R. R.; RORIG, L. R.; PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A. L.; ALARCON, O. E; HORTA, P. A. Marine Heatwaves, Sewage and Eutrophication Combine to Trigger Deoxygenation and Biodiversity Loss: A SW Atlantic Case Study. **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 590258, 2020.

BRITO, T. F.; PHIFER, C. C.; KNOWLTON, J. L.; FISER, C. M.; BECKER, N. M.; BARROS, F. C.; CONTRERA, F. A. L.; MAUÉS, M. M.; JUEN, L.; MONTAG, L. F. A.; WEBSTER, C. R.; FLASPOHLER, D. J.; SANTOS, M. P. D.; SILVA, D. P. Forest reserves and riparian corridors help maintain orchid bee (Hymenoptera: Euglossini) communities in oil palm plantations in Brazil. **Apidologie**, v. 48, n. 5, p. 575–587, 2017.

BRITO, T. F.; PHIFER, C. C.; KNOWLTON, J. L.; FISER, C. M.; BECKER, N. M.; BARROS, F. C.; CONTRERA, F. A. L.; MAUÉS, M. M.; JUEN, L.; MONTAG, L. F. A.; WEBSTER, C. R.; FLASPOHLER, D. J.; SANTOS, M. P. D.; SILVA, D. P. Forest reserves and riparian corridors help maintain orchid bee (Hymenoptera: Euglossini) communities in oil palm plantations in Brazil. **Apidologie**, v. 48, n. 5, p. 575–587, 2017.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. Biogeografia. In: Biogeografia, p. 691-691, 2006.
CALENGE, C. The package "adehabitat" for the R software: tool for the analysis of space and habitat use by animals. **Ecological Modelling**, v. 197, n. 3-4, p. 516-519, 2006.

CANTANHÊDE, S. M.; CASTRO, G. S.; PEREIRA, N. J.; CAMPOS, J. S. P.; SILVA, J.; TCHAICKA, L.;

CARVALHO NETA, R. N. F.; TORRES JR, J. R. S.; SANTOS, D. M. S. Evaluation of environmental quality of two estuaries in Ilha do Maranhão, Brazil, using histological and genotoxic biomarkers in Centropomus undecimalis (Pisces, Centropomidae). **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, p. 1–12, 2016.

CARRILLO-BRICENO, J. D. et al. Shark and ray diversity in the Tropical America (Neotropics)—an examination of environmental and historical factors affecting diversity. **Peer J.**, 2018.

CARVALHO, D. L.; SILVA, S. M.; NEVES, T. S.; SILVA, D. P. An updated documented inventory and new records of bird species for the Brazilian state of Maranhão. **Ornithology Research**, v, 28, n. 2, p. 77-85, 2020.

CARVALHO, D. L.; SOUSA-NEVES, T.; CERQUEIRA, P. V.; Gonsioroski, G.; SILVA, S. M.; SILVA, D. P.; SANTOS, M. P. D. Delimiting priority areas for the conservation of endemic and threatened Neotropical birds using a niche-based gap analysis. **PlosOne**, v.12, n.2, 2017.

CARVALHO-NETA, R. N. F. C. **Fauna de peixes estuarinos da ilha dos Caranguejos-MA:** aspectos ecológicos e relações com a pesca artesanal. [s.l.] Universidade Federal do Maranhão, 2004.

CASTELO, T. B. Legislação florestal brasileira e políticas do governo de combate ao desmatamento na Amazônia Legal**. Ambiente e Sociedade**, v. 18, n. 4, 221-242, 2015.

CASTRO, J. S.; FRANÇA, C. L.; CARDOSO, R. L.; DA SILVA, W. M. M. L.; DE SANTANA, T. C.; SANTOS, D. M. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; TEIXEIRA, E. G. Histological Changes in the Kidney of *Sciades herzbergii* (Siluriformes, Ariidae) for Environmental Monitoring of a Neotropical Estuarine Area (São Marcos Bay, Northeastern Brazil). **Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, p. 1-9, 2019.

CELENTANO, D.; MIRANDA, M. V. C.; MENDONÇA, E. N.; ROUSSEOU, G. X.; MUNIZ, F. H.; LOCH, V. C.; VARGA, I. D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P.; NARVAES, I. S.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; RODRIGUES, R. C.; KAWAGE, C.; PINHEIRO, M.; MARTINS, M. B. Desmatamento, degradação e violência no" Mosaico Gurupi" – A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315-339, 2018.

CELENTANO, D.; MIRANDA, M. V.; MENDONÇA, E. N.; ROUSSEAU, G. X.; MUNIZ, F. H.; LOCH, V. D. C.; MARTINS, M. B. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315-339, 2018.

CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. X.; MUNIZ, F. H.; VAN DEURSEN VARGA, I.; MARTINEZ, C.; CARNEIRO, M. S.; MARTINS, M. B. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land use policy**, v, 68, p. 692-698, 2017.

CELENTANO, D.; ROUSSEOU, G. X.; VARGA, I. D.; MARTINEZ, C.; CARNEIRO, M. S.; MIRANDA, M. V. C.; BARROS, M. N. R.; FREITAS, L.; NARVAES, I. S.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; RODRIGUES, J. C.; MUNIZ, F. H.;. C.; MARTINS, M. B. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land use policy**, v. 68, p. 692-698, 2017.

CHAN, K. M. A.; RUCKELSHAUS, M. Characterizing changes in marine ecosystem services. **F1000 Biology Reports**, v.2, 2010.

CLEAVELAND, S.; LAURENSON, K.; FUNK, S.; PACKER, C. Impact of viral infections in wild carnivore populations. In: MORATO, R.G. et al. (Ed.). **Manejo e conservação de carnívoros neotropicais.** São Paulo: IBAMA, p. 325-349, 2006.

CLEMENT, C. R.; HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, v, 58, n. 3, p. 44-49, 2006.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. D. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. D. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v, 59, n. 3, p. 36-39, 2007.

COSTA, M. R. P.; ALCANTÂRA E. H.; AMORIM, J. E. A.; MOCHEL, F. R. Avaliação das potencialidades e fragilidades das áreas de manguezal para a implementação do ecoturismo usando ferramentas de sensoriamento remoto em Cururupu – MA, Brasil. **Caminhos de Geografia,** v. 22, n. 17, p. 237-243, 2006.

COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, p. 17–23, 1978.
CROOKS, K. R.; SOULÉ, M. E. Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. **Nature**, v. 400, p. 563-566, 1999.

CULLEN JUNIOR, L.; BODMER, R. E.; PÁDUA, C. V. Effects of hunting in habitat fragments of the Atlantic Forest, Brazil. Biological Conservation, Inglaterra, v. 95, n. 1, p. 49-56, 2000.

DE LUCA, A. C.; DEVELEY, P. F.; BENCKE, G. A.; GOERCK, J. M. **Áreas Importantes para a Conservação das Aves do Brasil. Parte II – Amazônia, Cerrado e Pantanal**. São Paulo: Birdlife International e SAVE Brasil, 2009.

DE OLIVEIRA, O. M. C.; DE S. QUEIROZ, A. F.; CERQUEIRA, J. R.; SOARES, S. A. R.; GARCIA, K. S.; FILHO, A. P.; … MOREIRA, Í. T. A. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine Pollution Bulletin**, 160, 111597, 2020.

DEVELEY, P. F. Conservação de aves no Brasil: considerações para a Amazônia, o Cerrado e o Pantanal**.** In: de LUCCA, A. C.; DEVELEY, P. F.; BENCKE, G. A.; GOERCK, J. M. (Orgs.) **Áreas importantes para Conservação das aves no Brasil – Parte II: Amazônia, Cerrado e Pantanal**. São Paulo: SAVE Brasil, 2009.

DEVELEY, P. F. Métodos para estudos com aves. *In*: JR, L. C.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Eds.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre.** Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. Editora da ed. Curitiba, 2003. p. 153–168.

DUAILIBE, I. C. F. S.; COELHO, KEYTON KYLSON FONSECA; FILGUEIRA, C. H. M. S. ; PALMEIRA-NUNES, ANA RITA O. ; SARAIVA, A. C. S. ; NUNES, JORGE L. S. . Uso de mídias digitais aplicado à estudos de conservação do mero *Epinephelus itajara* (Lichtenstein, 1822) no Litoral Amazônico Brasileiro. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 31, p. 1-8, 2021.

EBIRD BASIC DATASET. Version: EBD_relMar-2021. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Mar 2021.

ELITH, J., PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 43-57, 2011.

EMMONS, L. H.; FEER, F. **Neotropical rainforest mammals**: a field guide. 2 ed. University of Chicago Press, p. 396, 1997.

FARIA, L. R. R.; SILVEIRA, F. A. The orchid bee fauna (Hymenoptera, Apidae) of a core area of the Cerrado, Brazil: the role of riparian forests as corridors for forest-associated bees. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 87–94, 2011.

FEITOSA, L. M.; MARTINS, A. P. B.; NUNES, J. L. S. Sawfish (Pristidae) records along the Eastern Amazon coast. **Endangered Species Research**, v. 34, p. 229-234, 2017.

FEITOSA, L. M.; MARTINS, L. P.; SOUZA JUNIOR, L. A.; LESSA, R. P. Potential distribution and population trends of the smalltail shark *Carcharhinus porosus* inferred from species distribution models and historical catch data. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**. doi:10.1002/aqc.3293. 2020b.

FEITOSA, L.M., MARTINS, A.P.B., GIARRIZZO, T., MACEDO, W., MONTEIRO, I.L., GEMAQUE, R., NUNES, J.L.S., GOMES, F., SCHNEIDER, H., SAMPAIO, I., SOUZA, R., SALES, J.B., RODRIGUES-FILHO, L.F., TCHAICKA, L., CARVALHO-COSTA, L.F., DNA-based identification reveals illegal trade of threatened shark species in a global elasmobranch conservation hotspot. **Sci. Rep**. 8, 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598-018-21683-5, 2018.

FEITOSA, L.M.; DRESSLER, V.; LESSA, R.P. **Habitat use patterns and identification of essential habitat for an endangered coastal shark with vertebrae microchemistry**: the case study of *Carcharhinus porosus*. *Frontiers in Marine Science*. 7:125. doi: 10.3389/fmars.2020.00125. 2020a.

FERES, S. J. C.; LOPES, A. T. L.; SANTOS, L. A. **Primeiro registro de *Charybdis hellerii* (Milne Edwards, 1867) para o litoral maranhense-Brasil**. (Crustácea, Decapoda, Portunidae). Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, 20:77-82. 2007.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, 4302-4315, 2017.

FRAGOSO, J. M. V.; SILVIUS, K. M.; VILLA-LOBOS, M. P. **Manejo de Fauna na Reserva Xavante Rio das Mortes:** Cultura Indígena e Método Cientifico Integrados Para Conservação. Brasília: WWF Brasil, 2000.

FRANCINI-FILHO, R. B., ASP, N. E., SIEGLE, E., HOCEVAR, J., LOWYCK, K., D'AVILA, N., … THOMPSON, F. L. Perspectives on the Great Amazon Reef: Extension, Biodiversity, and Threats. **Frontiers in Marine Science**, 5. doi:10.3389/fmars.2018.00142. 2018.

FUNK, S. M.; FIORELO, C. V.; CLEAVELAND, S.; GOMPPER, M. E. The role of disease in carnivore ecology and conservation. *In*: GITTLEMAN, J. L.; FUNK, S. M.; MACDONALD, D. W.; WAYNE, R. K. (Ed). **Carnivore Conservation.** Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 443-466.

GONSIOROSKI, G.; BARREIROS, M.; DE LUCA, A. C.; NOGUEIRA, W.; RODRIGUES, E. B.; COSTA, T. V. V.; LIMA, E. L. P.; TORRES, L. G. C. O.; ALTEFF, E. L.; RENNÓ, B.; ARANTES, F.; LEITE, G.; PEDERSOLI, G.; UBAID, F. K. Aves. *In*: DORNAS, R. A. P.; ROLIM, S. G. **Fauna de vertebrados do entorno da estrada de ferro Carajás**. Belo Horizonte: Editora Rupestre, 2020, p. 125-171.

GROOM, M. J.; MEFFE, G. K.; CARROL, C. R.; et al. **Principles of Conservation Biology**. 3 ed. Sunderland, Massachusetts USA, 2006.

HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J.; HIJMANS, M. R. J. Package 'dismo'. **Circles**, v. 9, n. 1, p. 1-68, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Mapa de biomas do Brasil. Primeira aproximação, 2004.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III –Aves**. 1. ed. Brasília, DF: [s.n.], 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. Livro Vermelho da Fauna BrasileiraAmeaçada de Extinção: Volume III - Aves. *In*: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: ICMBio. 2018, 709p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. Plano de ação nacional para a conservação de aves de rapina / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Coordenação-Geral de Espécies Ameaçadas. Brasília: ICMBio, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS - INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites − Sistemas Prodes, Deter, Degrad e Queimadas.** São José do Campos: INPE. 2016 Disponível em: http://www.inpe.gov.br. Acesso em: 20 jun. 2019.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUCN. **Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas de Extinção.** Disponível em: http://www.iucnredlist.org/search. Acesso em: 22 abr. 2018.

IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2**, 2020. Disponível em: www.iucnredlist.org.

KRONER, R. E. G.; QIN, S.; COOK, C. N.; KRITHIVASAN, R.; PACK, S. M.; BONILLA, O. D.; CORT-KANSINALLY, K. A.; COUTINHO, B.; FENG, M.; GARCIA, M. I. M.; HE, Y.; KENNEDY, C. J.; LEBRETON, C.; LEDEZMA, J. C.; LOVEJOY, T. E.; LUTHER, D. A.; PARMANAND, Y.; RUÍZ-AGUDELO, C. A.; YERENA, E.; ZAMBRANO, V. M.; MASCIA, M. B. The uncertain future of protected lands and waters. **Science**, v. 364, n. 6443, p. 881-886, 2019.

LAS-CASAS, F. M. [WA3610666, **Morphnus guianensis (Daudin, 1800).** WikiAves - A Enciclopédia das Aves do Brasil. 2019. Disponível em: http://www.wikiaves.com/3610666. Acesso em: 24 Jun. 2021.

LASSO-ALCALÁ, O; NUNES, J. L. S; LASSO, C. ; POSADA, J. ; ROBERTSON, R. ; PIORSKI, N. M.; TASSELL, J. ; GUIARRIZZO,T. ; GONDOLO, G. , Invasion of the Indo-Pacific blenny (Perciformes, Blennidae) on the Atlantic Coast of Central and South America.. **Neotropical Ichthyology**, v. 9, p. 571-578, 2011.

LESSA, R. ; BATISTA, V. ; ALMEIDA, Z. Occurrence and biology of the Daggernose Shark *Isogomphodon oxyrhynchus* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) off the Maranhão coast (Brazil). **Bulletin of Marine Sciences**, v. 64, p. 115–128. 1999.

LESSA, R., BATISTA, V.S. & SANTANA, F.M. Close to extinction? The collapse of the endemic daggernose shark (*Isogomphodon oxyrhynchus*) off Brazil. **Glob. Ecol. Conserv**. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.04.003. 2016.

LIMA, D. M.; MARTÍNEZ, C.; RAÍCES, D. S. L. An avifaunal inventory and conservation prospects for the Gurupi Biological reserve, Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 22, p. 317-340, 2014.

LIMA, D. M.; MARTÍNEZ, C.; RAÍCES, D. S. L. An avifaunal inventory and conservation prospects for the Gurupi Biological Reserve, Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v, 22, n. 4, p. 317-340, 2014.

LIU, C.; WHITE, M.; NEWELL, G. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 4, p. 778-789, 2013.

MapBiomas. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020**. São Paulo, 2021. p. 93.
MARCENIUK, A. P.; BARTHEM, R. B.; WOSIACKI, W. B.; KLAUTAU, A. G. C. de M.; VASKE-JUNIOR, T.; ROTUNDO, M. M.; CORDEIRO, A. P. B.; ROMÃO-JÚNIOR, J. G.; DOS SANTOS, W. C. R.; REIS, T. da S.; MUNIZ, M. R.; CARDOSO, G. S.; VIANA, S. T. F. L. Sharks and batoids (Subclass Elasmobranchii) caught in the industrial fisheries off the Brazilian North coast. **Rev. Nord. Biol**., 27: XX-XX. doi.org/10.22478/ufpb.2236-1480.2019v27n1.47112. 2019.

MARCENIUK, A. P.; CAIRES, R. A.; WOSIACKI, W. B.; DARIO, F. D. Conhecimento e conservação dos peixes marinhos e estuarinos (Chondrichthyes e Teleostei) da costa norte do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 4, p. 251–259. doi:10.1590/s1676-06032013000400022. 2013.

MARINI, M. A.; GARCIA, F. I. Conservação de aves no Brasil. **Megadiversidade,** v,1, n.1, p. 95-102, 2005.

MARTINS, A.P.B., FEITOSA, L.M., LESSA, R.P., ALMEIDA, Z.S., HEUPEL, M., SILVA, W.M., TCHAICKA, L.; NUNES, J.L.S. Analysis of the supply chain and conservation status of sharks (Elasmobranchii: Superorder Selachimorpha) based on fisher knowledge. **PLoS One**. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193969. 2018.

MARTINS, D. C.; PEREIRA, R. R. D.; CARVALHO, G. C.; SANTOS-JUNIOR, J. E.; REBÊLO, J. M. M.; ALBUQUERQUE, P. M. C. Abelhas das Orquídeas (Apidae: Euglossini) em remanescentes florestais na Amazônia Oriental. Em preparação.

MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; BRANQUINHO, C.; SERRANO, H. A Importância da Biodiversidade para o Ecólogo. Kairos. **Journal of Philosophy & Science**, v, 21, n. 1, p. 72-95, 2019.

MAUÉS, M. M.; OLIVEIRA, P. E. A. M. Consequências da Fragmentação do Habitat na Ecologia Reprodutiva de Espécies Arbóreas em Florestas Tropicais, com Ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, v. 14, p. 238-250, 2010.

MELO, H.; SILVA, A. F. T.; OLÍMPIO, A P. M.; SOUSA, S. A.; UBAID, F. K. Filling the distribution gaps of two species of *Accipiter* Brisson, 1760 (Aves, Accipitriformes) in northeastern Brazil. **Check List**, v.15, n. 1, p. 203-207, 2019.

MENDES, M. B. P.; MARTINS, A. P. B.; COELHO, G.K.F; PIORSKI, N. M.; NUNES, J.L.S. Non-native mud sleeper *Butis koilomatodon* (Bleecker, 1849) (Perciformes: Eleotridae) in Eastern Amazon Coastal region: an additional occurrence for the Brazilian coast and urgency for ecological assessment. **Bioinvasion Records**, v. 6, p. 111 – 117, 2017.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE – MMA. **Biodiversidade Brasileira:** avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Lista Nacional das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção.** Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm. Acesso em: 15 abr. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção: Portaria N° 444, 445 de 17 de dezembro de 2014. **Diário Oficial da União–Seção**, v. 1245, p. 121-126, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMVIENTE - MMA. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção.** Brasília: ICMBio/MMA, 2016.

MOURA, D. C.; SCHLINDWEIN, C. Mata ciliar do Rio São Francisco como biocorredor para Euglossini (Hymenoptera: Apidae) de florestas tropicais úmidas. **Neotropical Entomology**, v. 38, p. 281–284, 2009.

MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; MORAES, F. C.; BRASILEIRO, P. S.; SALOMON, P. S.; MAHIQUES, M. M.; … THOMPSON, F. L. An extensive reef system at the Amazon River mouth. **Science Advances**, 2(4), e1501252–e1501252. doi:10.1126/sciadv.1501252. 2016.

MOURE, J. S.; MELO, G. A. R.; FARIA Jr., L. R. R (2012) **Moure's Bee Catalogue**. Disponível em: http://moure.cria.org.br/catalogue. Acesso em: 24 Mar. 2018.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000.

NACHTIGALL, P. G.; RODRIGUES-FILHO, LUIS FERNANDO; SODRE, D.; VALLINOTO, M.; PINHAL, D. A multiplex PCR approach for the molecular identification and conservation of the Critically Endangered daggernose shark. **Endangered Species Research**, v. 32, p. 169-175. 2017.

NEMÉSIO, A. Are orchid bees at risk? First comparative survey suggests declining populations of forest-dependent species. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, p. 367-374, 2013.

NUNES, A. R. O. P.; NUNES, J. L. S. The Mystery of Styracura SchmardaeStingrays from the Brazilian Amazon Coast. **Examines in Marine Biology & Oceanography**, v. 3, p. EIMBO.000564.20, 2020.

NUNES, J. L. S.; COELHO, K. K. F.; BRITO, R. M. S.; PALMEIRA-NUNES, A. R. O. Impactos das capturas artesanais de elasmobrânquios no litoral amazônico sob a óptica da conservação. pp.18-19. *In*: **Livro de resumos do II Simpósio Potiguar de Elasmobrânquios (SIMPELAS)**. Natal: Associação Tubarões da Costa. 2019.

NUNES, J. L. S.; PASCOAL, N. G. A.; PIORSKI, N. M. Peixes intertidais do Maranhão. *In*: Jorge Luz Silva Nunes; Nivaldo Magalhães Piorski. (Org.). **Peixes Marinhos e Estuarinos do Maranhão**. São Luís: Café & Lápis, p. 105-124. 2011a.

NUNES, J. L. S.; SILVA, N. K. A.; PIORSKI, N. M. Lista de peixes marinhos e estuarinos do Maranhão. In: Jorge Luz Silva Nunes; Nivaldo Magalhães Piorski. (Org.). **Peixes Marinhos e Estuarinos do Maranhão**. São Luís: Café & Lápis, p. 175-196. 2011b.

OLIVEIRA, R. W. S. **Concentração de mercúrio total e avaliação de risco do consumo de peixes comercializados em São Luís, Maranhão**. 49p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

OLIVEIRA, T. G. Carnívoros do Maranhão: preliminares sobre a distribuição, composição das comunidades e conservação no meio-norte do Brasil. *In*: Silva, A. C.; Fortes, L. O. (Org.). **Diversidade biológica, uso e conservação de recursos naturais do Maranhão**. São Luís: Editora da Universidade Estadual do Maranhão, 2007. p. 347-366.

OLIVEIRA, T. G. D.; SILVA JUNIOR, J. D. S.; DIAS, P. A.; QUIXABA-VIEIRA, O.; GERUDE, R. G.; GIUSTI, M.; PEREIRA, A. P. **Mamíferos da Amazônia maranhense**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

OLIVEIRA, T. G. de; LIMA, B. C.; FOX-ROSALES, L.; PEREIRA, R. S.; PONTES-ARAÚJO, E.; SOUSA, A. L. A refined population and conservation assessment of the elusive and endangered northern tiger cat (*Leopardus tigrinus*) in its key worldwide conservation area in Brazil. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, e00927, 2020.

OLIVEIRA, T. G. de; TRIGO, T. C.; TORTATO, M. A.; ALMEIDA, L. B. de; CAMPOS, C. B.; BEISIEGEL, B. M. Leopardus tigrinus (Schreber, 1775). In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção:** Mamíferos. 1ed.Brasília: ICMBio, 2018, v. II, p. 344-348.

OLIVEIRA, T. G. Status dos mamíferos no Estado do Maranhão: uma proposta de classificação. **Pesquisa em Foco**, v. 5, p. 65-82, 1997.

OLIVEIRA, T. G.; EMILIANO, E. R.; ROGÉRIO, C. P. Red list assessment of the jaguar in Brazilian Amazonia. **Cat news Red List Assessement**, n.7, p. 8, 2012.

OLIVEIRA, T. G.; GERUDE, R. G.; SILVA JR, J. S. Unexpected mammalian records in the state of Maranhão. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**: Série Ciências Naturais, v. 2, p. 23-32, 2007.

OLIVER, S., BRACCINI, M., NEWMAN, S.J., HARVEY, E.S., Global patterns in the bycatch of sharks and rays. **Mar. Policy**, v. 54, p. 86–97. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.017. 2015.

OREN, D.C.; ROMA, J. C. Composição e vulnerabilidade da avifauna da Amazônia maranhense, Brasil. *In*: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (Org.). **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação.** Belém: MPEG, p. 220-248. 2011.

OTTONI, F. P. Cichlasoma zarskei, a new cichlid fish from northern Brazil (Teleostei: Labroidei: Cichlidae). **Vertebrate Zoology**, v. 61, n. 3, p. 335–342, 2011. Disponível em: http://cichlidae.us/wp-content/uploads/pdf/Cichlasoma zarskei.pdf.

OTTONI, F. P.; HUGHES, R. M.; KATZ, A. M.; RANGEL-PEREIRA, F. S.; BRAGANCA, P. H. N.; FERNANDES, R. S.; PALMEIRA-NUNES, ANA RITA O.; NUNES, JORGE L. S.; SANTOS, R. R.; PIORSKI, NIVALDO M.; RODRIGUES-FILHO, J. L. Brazilian mangroves at risk. **Biota Neotropica**, v. 21, p. 1-6, 2021.

PAVAN, D.; NASCIMENTO, H. **Programa de monitoramento do meio biótico da usina termoelétrica Porto Itaqui-São Luís – MA**. Subprograma de monitoramento da fauna terrestre – Herpetofauna. São Luís, 2015.

PAYAN, E.; OLIVEIRA, T. G. de. *Leopardus tigrinus*, Northern Tiger Cat. **The IUCN Red List of Threatened Species**: 2016, 1-16, 2016.

PEGADO, T.; BRABO, L.; SCHMID, K.; SARTI, F.; GAVA, T. T.; Nunes, J.L.S.; CHELAZZI, D.; CINCINELLI, A. ; GUIARRIZZO,T. Ingestion of microplastics by *Hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). **Marine Pollution Bulletin**, 162. 111799, 2021.

PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Orgs). **Biologia marinha** – 2a ed. – Rio de Janeiro: editora Interciência, 631p. 2009.

PERUQUETTI, R. C.; CAMPOS, L. A. O.; COELHO, C. D. P.; ABRANTES, C. V.M.; LISBOA, L. C. O. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, n. 2, p. 101-118, 1999.

PHILLIPS, S. **A Brief Tutorial on Maxent**. AT&T Research, 107-135, 2006. Disponível em: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. **Maxent software for species habitat modeling**. Version 3.3.3k. 2007. Disponível em: https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/.

PIACENTINI, V. Q.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; MAURÍCIO, G. N.; PACHECO, J. F.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. R.; NAKA L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S.; SILVEIRA, L. F.; BETINI, G. S.; CARRANO, E.; FRANZ, I.; LEES, A. C.; LIMA, L. M.; PIOLI, D.; SCHUNCK, F.; AMARAL, F. R.; BENCKE, G. A.; COHN-HAFT, M.; FIGUEIREDO, L. F. A.; STRAUBE, F. C.; CESARI, E. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v, 23, n. 2, p.91-298, 2015.

PINHEIRO, L. V. S.; CERQUEIRA, P. V.; LEITE, G. A.; FIALHO, M. S.; GONSIOROSKI, G. First documented record of *Leucopternis melanops* (Latham, 1790) (Aves: Accipitridae) in the state of Maranhão and update of the geographic distribution of this species in Brazil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, v. 16, n. 1, p. 131-143, 2021.

PIORSKI, N. M.; CASTRO, A. C. L.; PINHEIRO, C. U. B. A prática da pesca entre grupos indígenas das bacias dos rios Pindaré e Turiaçu, no Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 16, p. 67-74. 2003.

PIORSKI, N. M.; CASTRO, A. C. L.; SOUSA NETO, A. M. Peixes do cerrado da região sul maranhense. *In*: Barreto, L. N. **Cerrado Norte do Brasil**. São Luís: USEB, 2007. p. 177-212.

PIORSKI, N. M.; CASTRO, A. C. L.; SOUSA NETO, A. M. Peixes do cerrado da região sul maranhense. *In*: BARRETO, L. N. (Ed.). **Cerrado Norte do Brasil**. [s.l: s.n.], 2007, p. 177–212.

PIORSKI, N. M.; FERREIRA, B. R. A.; GUIMARÃES, E. C.; OTTONI, F. P.; NUNES, J. L. S.; BRITO, P. S. **Peixes do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. São Luís: Café & Lápis Editora UFMA, 2017.

PIORSKI, N. M.; FERREIRA, B. R. A.; GUIMARÃES, E. C.; OTTONI, F. P.; NUNES, J. L. S.; SILVA, P. **Peixes do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. São Luís: EDUFMA, 2017, p. 189.

PIRES, E.; MORGADO, L.; SOUZA, B.; CARVLHO, C. F.; NEMÉSIO, A. Community of orchid bees (Hymenoptera: Apidae) in transitional vegetation between Cerrado and Atlantic Forest in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 3, p. 507–513, 2013.

POLLOM, R., CHARVET, P., CARLSON, J., DERRICK, D., FARIA, V., LASSO-ALCALA, O.M., MARCANTE, F., MEJIA-FALLA, P.A. NAVIA, A.F., NUNES, J., PEREZ JIMENEZ, J.C., RINCON, G. & DULVY, N.K. *Carcharhinus porosus*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2020**: e.T144136822A3094594. 2020b.

POLLOM, R., CHARVET, P., FARIA, V., HERMAN, K., LASSO-ALCALA, O., MARCANTE, F., NUNES, J., RINCON, G. & KYNE, P.M. *Isogomphodon oxyrhynchus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*2020: e.T60218A3094144. 2020a.

PRUDENTE, A. L. C.; SARMENTO, J. F. M.; AVILA-PIRES, T. C. S.; MASCHIO, G.; STURARO, M. J. How Much Do We Know about the Diversity of Squamata (Reptilia) in the Most Degraded Region of Amazonia? **South American J. of herpetology**, v. 13, n. 2, p. 117-131, 2018.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS geographic information system** *(version 3.16.3)*. Open Source Geospatial Foundation Project. 2021. Disponível em: http://qgis.osgeo.org.

QUARTAROLI, C. F.; de MIRANDA, E. E.; HOTT, M.; VALLADARES, G. **Classificação e quantificação das terras do Estado do Maranhão quanto ao uso, aptidão agrícola e condição legal de proteção**. Embrapa Territorial-Documentos (INFOTECA-E). 2008.

R CORE TEAM. 2021. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: http://www.R-project.org/.

RAMOS, T. P. A.; RAMOS, R. T. C.; RAMOS, S. A. Q. A. Ichthyofauna of the Parnaíba River basin, northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2014.

RAMOS, T.; RAMOS, R.; RAMOS, S. Ichthyofauna of the Parnaíba river Basin, Northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2014.

RATTER J.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223–230, 1997.

REBÊLO, J. M. M.; SILVA, F. S. (1999) Distribuição das abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) no estado do Maranhão, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 389–401, 1999.

REBÊLO, J. M. M.; SILVA, F. S. Distribuição das abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) no estado do Maranhão, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 3, p. 389-401, 1999.

REIS-FILHO, R. E.; ALBERT, J. S.; DI DARIO, F.; et al. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of fish biology**, v. 89, n. 1, p. 12–47, 2016.

Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020 - São Paulo, Brasil - **MapBiomas**, 2021 - 93 p. Disponível em: http://alerta.mapbiomas.org.

RIBEIRO JUNIOR, M.A. Catalogue of distribution of lizards (Reptilia: Squamata) from the Brazilian Amazonia. I. Dactyloidae, Hoplocercidae, Iguanidae, Leiosauridae, Polychrotidae, Tropiduridae. **Zootaxa**, v. 3983, p. 1–110, 2015.

RIBEIRO-JÚNIOR, M.A. Catalogue of distribution of lizards (Reptilia: Squamata) from the Brazilian Amazonia. II. Gekkonidae, Phyllodactylidae, Sphaerodactylidae. **Zootaxa**, v. 398, n. 1, p.1–55, 2015.

RISSLER, L. J.; APODACA, J. J. Adding more ecology into species delimitation: ecological niche models and phylogeography help define cryptic species in the black salamander (*Aneides flavipunctatus*). **Systematic Biology**, v.56, n. 6, p. 924-942, 2007.

ROCHA, L. A.; BOWEN, B. W. Speciation in coral-reef fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 72, n. 5, p. 1101–1121, 2008.

RODRIGUES FILHO, L. F. da S., FEITOSA, L. M., NUNES, J. L.S., PALMEIRA, A. R.O, MARTINS, A. P. B., GIARRIZZO, T., … SALES, J. B. de L. Molecular identification of ray species traded along the Brazilian Amazon coast. **Fisheries Research**, 223, 105407. doi:10.1016/j.fishres.2019.105407. 2020.

RYLANDS, A. B. Evaluation of the current status of federal conservation areas in the Tropical Rain Forest of the Brazilian Amazon. W**ashington: World Wildlife Found**, v. 1, 1990.

SANTOS, M.C.F.; COELHO P.A. Crustáceos exóticos reproduzindo em águas costeiras do Nordeste do Brasil. **Boletim Técnico Científico, CEPENE**, v. 15, n. 1, p. 57-61. 2007.

SHIBATTA, O. A. Family Pseudopimelodidae. *In*: Reis, R. E., KULLANDER, S.O.; Ferraris, C. J. (Eds). **Check List of the freshwater fishes of South and Central America.** Porto Alegre: Edipucrs, 2003. p. 401–405.

SICK, H. **Ornitologia brasileira.** Rio de Janeiro: Ed. Nova fronteira, 1997. p. 912.
SILVA, A. F. T.; MELO, H. R. S.; UBAID, F. K. First records of Buff-fronted Owl, *Aegolius harrisii* (Cassin, 1849) (Aves, Strigiformes), from the state of Maranhão, northeastern Brazil, and the northernmost record for the Cerrado domain. **Check List**, v, 17, n. 2, p.353-358, 2021.

SILVA, F. S.; REBÊLO, J. M. M. Euglossine Bees (Hymenoptera: Apidae) of Buriticupu, Amazonia of Maranhão, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 29, p. 587–599, 1999.

SILVA, I. R.; PEREIRA, L. C. C.; GUIMARÃES, TRINDADE, W. N, ASP NE, COSTA, R. M. Environmental status of urban beaches in São Luís (Amazon coast, Brazil). Journal of Coastal Research; 56:1301-1305. 2009.

SILVA, J. M. C. Birds of the Cerrado region, South America. **Steenstrupia**, v, 21, n. 2, p. 69-92, 1995.
SILVA, J. M.; RYLANDS, A. B.; FONSECA, G. A. B. O destino das áreas de endemismo na Amazônia. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p.124-131, 2005.

SILVEIRA, G. C.; FREITAS, R. F.; TOSTA, T. H. A.; RABELO, L. S.; GAGLIANONE, M. C.; AUGUSTO,

S. C. The orchid bee fauna in the Brazilian savanna: do forest formations contribute to higher species diversity? **Apidologie**, v. 46, p. 197–208, 2015.

SILVEIRA, L. F. *Psophia obscura* Pelzeln, 1857. *In*: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III - Aves. Brasília: ICMBio. 2018, 133-135 p.

SOLAR, R. R. de C.; CHAUL, J. C. M.; MAUÉS, M.; SCHOEREDER, J. H. A Quantitative Baseline of Ants and Orchid Bees in Human-Modified Amazonian Landscapes in Paragominas, PA, Brazil. **Sociobiology**, v. 63, p. 925, 2016.
STORCK-TONON, D.; MORATO, E.F.; MELO, A. W. F.; OLIVEIRA, M. L. Orchid Bees of forest fragments in Southwestern Amazonia. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 133–141, 2013.

STOTZ, D. F.; FITZPATRIC, J. W.; PARKER III, T. A.; MOSKOVITS, D. K. **Neotropical birds**: Ecology and conservation. University of Chicago Press, Chicago, 1996.

SURVIVAL INTERNACIONAL. Awá: Earth's most threatened tribe. **Survival Internacional**. Disponível em: https://www.survivalinternational.org/awa. Acesso em: 26 jun. 2019.

TOSTA, T. H. A.; SILVEIRA, G. C.; SCHIAVINI, I.; SOFIA, S. H.; AUGUSTO, S. C. Using short-term surveys and mark–recapture to estimate diversity and population size of orchid bees in forest formations of the Brazilian savanna. **Journal of Natural History**, v. 51, p. 391–403, 2017.

TRINCA, C.T.; FERRARI, S. F.; LEES, A. C. Curiosity killed the bird: arbitrary hunting of Harpy Eagles Harpia harpyja on an agricultural frontier in southern Brazilian Amazonia. **Cotinga**, v.30, p. 12-15, 2008.
TRINDADE, W.N.ET AL. The effects of sewage discharge on the water quality of the beaches of São Luis (Maranhão, Brazil). Journal of Coastal Research, v. SI 64, p. 1425-1429, 2011.

TURAK, E.; LINKE, S. Freshwater conservation planning: an introduction. **Freshwater Biology** 56: 1–5, 20011.

UNEP-WCMC, IUCN. **Protected Planet**: The World Database on Protected Areas (WDPA) and World Database on Other Effective Area-based Conservation Measures (WD-OECM) [Online], 2021, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Disponível em: www.protectedplanet.net.

VIELLIARD, J. M. E.; SILVA, W. R. Nova metodologia de levantamento quantitativo da avifauna e primeiros resultados do interior do Estado de São Paulo, Brasil. *In*: **Anais do IV Encontro Nacional de Anilhadores de Aves**. Recife: 1990. p. 117–151.

VILLASANTE, S.; LOPES, P. F. M.; COLL, M. The role of marine ecosystem services for human well-being: Disentangling synergies and trade-offs at multiple scales. **Ecosystem Services**, 17*,* 1–4. doi:10.1016/j.ecoser.2015.10.022. 2016.

WHELAN, C. J.; ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; WENNY, D. G. Why birds matter: from economic ornithology to ecosystem services, **Journal of Ornithology**, v. 156, n.1, p. 227-238, 2015.

WHELAN, C. J.; WENNY, D. G.; MARQUIS, R. J. Ecosystem services provided by birds. **Annals of the New York academy of sciences**, v.1134, n.1, p. 25-60, 2008.

WIKIAVES (2021). WikiAves, a Enciclopédia das Aves do Brasil. Disponível em:

http://www.wikiaves.com.br/. Acesso em: 31 maio 2021.

WOSNICK, N.; PALMEIRA, A. R. O.; NUNES, JORGE L. S. E-letter – Pinocchioland: the role of the Brazilian Amazonian coast in elasmobranch conservation. **SCIENCE**, v. 334, p. 1-1. 2019a.

WOSNICK, NATASCHA; NUNES, ANA RITA ONODERA PALMEIRA; FEITOSA, LEONARDO MANIR; COELHO, KEYTON KYLSON FONSECA; BRITO, RAFAELA MARIA SERRA DE; MARTINS, ANA PAULA BARBOSA; RINCON, GETULIO; NUNES, JORGE LUIZ SILVA. **Revisão sobre a diversidade, ameaças e conservação dos Elasmobrânquios do Maranhão**. *In*: José Max Barbosa de Oliveira Júnior; Lenize Batista Calvão. (Org.). Tópicos Integrados de Zoologia. 1ed.Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 44-54. 2019b.

WOSNICK, NATASCHA; NIELLA, Y.; HAMMERSCHLAG, N.; CHAVES, A. P.; HAUSER-DAVIS, R.; ROCHA, R.; JORGE, M. B.; OLIVEIRA, R. ; NUNES, J. . Negative metal bioaccumulation impacts on systemic shark health and homeostatic balance. **Marine Pollution Bulletin**, v. 168, p. 112398, 2021.

ZAYED, A. Bee genetics and conservation. **Apidologie**, v. 40, p. 237-262, 2009.

8

VEGETAÇÃO NO BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO-MARINHO DO ESTADO DO MARANHÃO

1 INTRODUÇÃO 410

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 410

2.1 Caracterização da área de estudo: Bioma Cerrado e Sistema Costeiro-Marinho 410

2.2 Geoprocessamento 415

2.3 Vegetação primária e secundária 420

2.3.1 Composição Florística 420

3 RESULTADOS 421

4 CONCLUSÃO 440

REFERÊNCIAS 440

8

LISTA DE FIGURAS

Figura 8.1 - Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão 414
Figura 8.2 - Mapa de localização dos pontos de amostragens realizadas nas campanhas de campo nos Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão 419
Figura 8.3 - Expedição realizada pela Equipe Flora no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 421
Figura 8.4 - Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (SAS), município de Benedito Leite - MA (Coordenada Geográfica: 07°04'43.4''; 44° 35' 25.0'', 237m de altitude) 422
Figura 8.5 - Pastagem com associação com Vegetação Secundária com palmeiras, município de Porto Franco - MA (Coordenada Geográfica: 06°23'39.7.''; 47°09'00,7'', 246m de altitude).....422
Figura 8.6 - Mapa da classificação do uso do solo de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (2012), no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.....426
Figura 8.7 - Vegetação Secundária com Palmeiras e Floresta Estacional Semidecidual Submontana, município de Chapadinha - MA (Coordenada Geográfica: -03°42'59,5"; -43°29'35,2"; 44 m de altitude).....428
Figura 8.8 - Mapa de distribuição dos tipos de vegetação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.....429
Figura 8.9 - Savana Arborizada, município de Barreirinhas – MA (Coordenada Geográfica: -02°52'27,4"; -42°51'44,7"; 38 m de altitude).....432
Figura 8.10 - Savana Arborizada, município de Carolina - MA (Coordenada Geográfica: 07°25'21.2''; 47°22'46,1'', 200 m de altitude).....432
Figura 8. 11 - Ocorrência de espécies no Bioma Cerrado: Oiti Miúdo (*Licania* sp.) A. Tronco; B. Frutos; Bacuri (*Platonia insignis*) C. Tronco; D. Frutos; Pau-marfim (*Hymathantus* sp.) E. Tronco; Pimenta de macaco (*Xylopia* sp.) F. Frutos; Araça (Myrtaceae) G. Tronco; Peça de frade H. Tronco; Canela de velho (*Miconia* sp.) I. Inflorescência; Arecaceae sp. J. Frutos; *Ouratea* sp. K. Frutos; Pequi (*Caryocar* sp.) L. Frutos; Pau Pombo (*Tachigali* sp.) M. Flores; N. Tronco; Candeia brava O. Tronco; Pau Terra (*Qualea* sp.) P. Flores; Fava D'anta (*Dimorphandra* sp.) Q. Folhas; Brinco-de-viado (*Connarus* sp.) R. Frutos.....433
Figura 8.12 - Vegetação secundária com palmeiras, município de São Benedito do Rio Preto - MA (Coordenada Geográfica: -03°32'33,5"; -43°37'03,8"; 82 m de altitude).....434
Figura 8.13 - Distribuição percentual dos tipos de vegetação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro..434
Figura 8.14 - Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação) municípios de Barreirinhas (A), Tutoia (B) e Araioses (C), Maranhão 435
Figura 8.15 - Vegetação com influência fluviomarinha arbórea, município de Barreirinhas - MA (Coordenada Geográfica: -02°43' 05"20; -42°50'10,10"; 4 m de altitude).....436
Figura 8.16 - Vegetação com influência fluviomarinha arbórea, município de Santo Amaro - MA (Coordenada Geográfica: -02°44' 24"8; -43°04'16,5"; 48 m de altitude).....436
Figura 8.17 - Vegetação com influência fluviomarinha arbórea, município de Primeira Cruz - MA (Coordenada Geográfica: -02°32' 26"9; -43°20'14,3"; 3 m de altitude).....437
Figura 8.18 - Identificação do tipo de vegetação nas áreas de Terras Indígenas e Unidades de Conservação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 437
Figura 8.19 - Identificação do tipo de vegetação nas áreas de Terras Indígenas e Unidades de Conservação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 439

LISTA DE TABELAS

Tabela 8.1 - Municípios maranhenses, área total e percentual da área total dos municípios no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, ZEE-MA.....411

Tabela 8.2 - Padrões de interpretação de alvos para identificação das classes de cobertura da terra em imagens Landsat-8/OLI.....417

Tabela 8.3 - Descrição das cenas do satélite LANDSAT que recobrem no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro maranhense.....417

Tabela 8.4 - Listagem dos tipos de vegetação e uso no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro.....423

Tabela 8.5 - Listagem de uso do solo registrados no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 427

Tabela 8.6 - Listagem dos tipos de vegetação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro 430

Tabela 8.7 - Unidades de Conservação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Maranhão.....438

1 INTRODUÇÃO

O estado do Maranhão apresenta fisionomias de vegetação dos Biomas Amazônico e Cerrado. O Zoneamento Ecológico-Econômico Maranhense - Bioma Cerrado e Sistema Costeiro tratara da caracterização do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão quanto aos tipos de vegetação e usos associados. Uma perspectiva a ser considerada é que além das diversas paisagens, deve-se considerar a interação entre sociedade e natureza na expansão demográfica e as formas de apropriação dos diferentes recursos naturais.

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n.º 6.938/1981), regulamentado pelo Decreto n.º 4.297/2002, tem o objetivo de viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental. Importa destacar que o diagnóstico do meio físico, associado aos aspectos socioeconômicos e jurídico-institucional e do estabelecimento de cenários, permitem a proposição de diretrizes legais e programáticas para cada unidade territorial identificada, estabelecendo inclusive, ações voltadas à mitigação ou correção de impactos ambientais danosos porventura ocorridos.

O conhecimento da vegetação do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro permitirá a compreensão sobre a cobertura vegetal existente, dinâmica da vegetação, em seus diversos estágios de conservação e uso, que colabora para o planejamento de estratégias de desenvolvimento sustentável e conservacionistas. O objetivo da classificação da vegetação foi elaborar o Mapa de Vegetação do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro na escala 1:250.000, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para elaborar produtos que venham dar suporte no estabelecimento de estratégias e políticas de desenvolvimento sustentável do bioma, subsidiando o poder público e a sociedade na estruturação de projetos e pesquisas para a promoção do desenvolvimento do território.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 **Caracterização da área de estudo:** Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

De acordo com o IBGE (2019), Bioma é um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, sob condições geoclimáticas similares e história evolutiva comum, resultando numa diversidade biológica própria. O Bioma Cerrado, que contempla em sua área o Sistema Costeiro maranhense totaliza 109 municípios. Para melhor compreensão, a tabela a seguir apresenta a área e percentual total dos municípios.

Tabela 8.1 - Municípios maranhenses, área total e percentual da área total dos municípios no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, ZEE-MA

MUNICÍPIO	ÁREA (km²)	%
Afonso Cunha	371,338	0,20
Água Doce do Maranhão	443,267	0,23
Aldeias Altas	1942,121	1,02
Alto Alegre do Maranhão	383,308	0,20
Alto Parnaíba	11132,176	5,87
Anapurus	608,903	0,32
Araioses	1786,345	0,94
Balsas	13141,757	6,93
Barão de Grajaú	2208,324	1,16
Barra do Corda	5190,847	2,74
Barreirinhas	3047,050	1,61
Belágua	569,428	0,30
Benedito Leite	1781,734	0,94
Bernardo do Mearim	247,221	0,13
Brejo	1074,235	0,57
Buriti	1473,967	0,78
Buriti Bravo	1582,552	0,83
Campestre do Maranhão	614,658	0,32
Cantanhede	773,010	0,41
Capinzal do Norte	590,529	0,31
Carolina	6441,603	3,40
Caxias	5196,769	2,74
Chapadinha	3247,384	1,71
Codó	4361,344	2,30
Coelho Neto	975,543	0,51
Colinas	1980,551	1,04
Coroatá	2263,772	1,19
Davinópolis	335,767	0,18
Dom Pedro	358,493	0,19
Duque Bacelar	317,921	0,17
Esperantinópolis	452,411	0,24
Estreito	2718,978	1,43
Feira Nova do Maranhão	1473,414	0,78
Fernando Falcão	5086,589	2,68
Formosa da Serra Negra	3690,610	1,95
Fortaleza dos Nogueiras	1853,994	0,98
Fortuna	694,997	0,37
Gonçalves Dias	883,588	0,47
Governador Archer	445,856	0,24
Governador Edison Lobão	615,860	0,32
Governador Eugênio Barros	816,990	0,43
Governador Luiz Rocha	373,165	0,20
Graça Aranha	271,445	0,14
Igarapé Grande	346,098	0,18
Jatobá	591,384	0,31
Jenipapo dos Vieiras	1962,900	1,04
Joselândia	703,081	0,37
Lago dos Rodrigues	220,776	0,12
Lagoa do Mato	1512,985	0,80
Lagoa Grande do Maranhão	744,199	0,39
Lajeado Novo	1065,835	0,56
Lima Campos	321,932	0,17
Loreto	3596,844	1,90
Magalhães de Almeida	433,152	0,23
Mata Roma	548,548	0,29

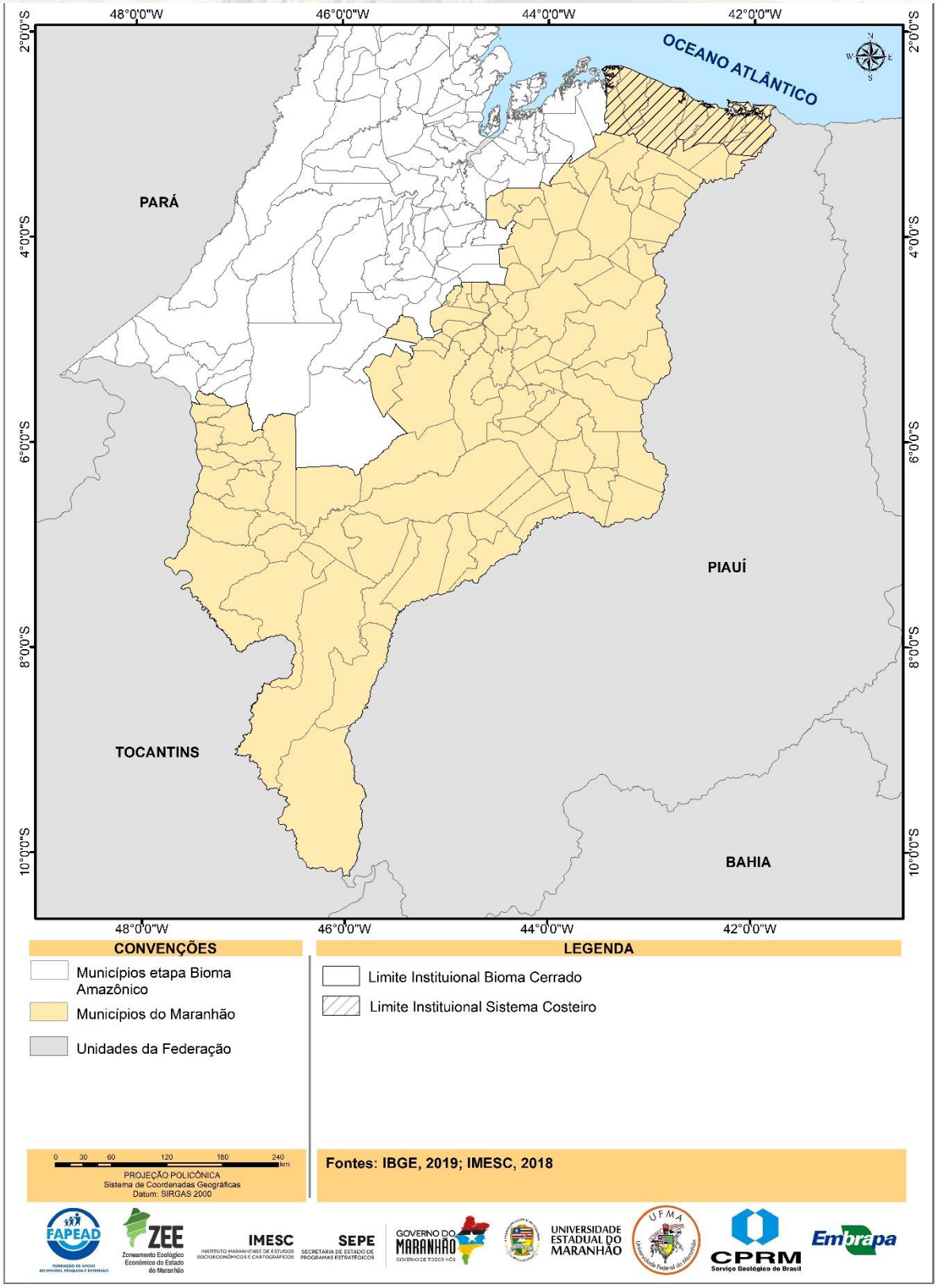
MUNICÍPIO	ÁREA (km²)	%
Matões	2107,403	1,11
Matões do Norte	794,651	0,42
Milagres do Maranhão	634,385	0,33
Mirador	8521,081	4,49
Montes Altos	1488,513	0,79
Nina Rodrigues	542,373	0,29
Nova Colinas	743,085	0,39
Nova Iorque	976,872	0,52
Paraibano	530,517	0,28
Parnarama	3240,491	1,71
Passagem Franca	1358,327	0,72
Pastos Bons	1635,321	0,86
Paulino Neves	979,739	0,52
Pedreiras	261,723	0,14
Peritoró	824,725	0,44
Pirapemas	688,761	0,36
Poção de Pedras	990,415	0,52
Porto Franco	1417,493	0,75
Presidente Dutra	771,574	0,41
Primeira Cruz	1334,726	0,70
Riachão	6373,031	3,36
Ribamar Fiquene	733,000	0,39
Sambaíba	2478,704	1,31
Santa Filomena do Maranhão	623,213	0,33
Santa Quitéria do Maranhão	1434,754	0,76
Santana do Maranhão	932,030	0,49
Santo Amaro do Maranhão	1584,832	0,84
Santo Antônio dos Lopes	770,923	0,41
São Benedito do Rio Preto	931,485	0,49
São Bernardo	1006,920	0,53
São Domingos do Azeitão	960,932	0,51
São Domingos do Maranhão	1151,978	0,61
São Félix de Balsas	2032,364	1,07
São Francisco do Maranhão	745,606	0,39
São João do Paraíso	2053,843	1,08
São João do Soter	1438,067	0,76
São João dos Patos	1482,661	0,78
São José dos Basílios	353,720	0,19
São Pedro dos Crentes	979,631	0,52
São Raimundo das Mangabeiras	3521,513	1,86
São Raimundo do Doca Bezerra	419,352	0,22
São Roberto	226,926	0,12
Senador Alexandre Costa	426,437	0,22
Sítio Novo	3114,870	1,64
Sucupira do Norte	1074,435	0,57
Sucupira do Riachão	863,908	0,46
Tasso Fragoso	4382,975	2,31
Timbiras	1486,584	0,78
Timon	1764,612	0,93
Trizidela do Vale	292,037	0,15
Tuntum	3369,121	1,78
Tutóia	1566,080	0,83
Urbano Santos	1705,914	0,90
Vargem Grande	1958,702	1,03
TOTAL (57,62%)	**189.950,883**	**------**
MARANHÃO	**329.642,182**	**100,00**

Fonte: Registro da Pesquisa (2020) e IBGE (2019)

Após análise técnica, com base no limite dos Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (IBGE, 2019), a Universidade Estadual do Maranhão – Uema, por meio do Núcleo Geoambiental, no intuito de colaborar com o Governo do Estado do Maranhão na definição da área para execução do ZEE, determinou como os seguintes critérios para o limite da área de estudo que os limites do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro fossem definidos com base na cartografia oficial levando em consideração os limites municipais (IBGE, 2019).

A base cartográfica do ZEE é uma prerrogativa do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), sendo repassada às equipes temáticas do ZEE. Na definição da base cartográfica do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro foram utilizados 109 municípios, uma vez que 108 são pertencentes ao Bioma Amazônia maranhense. Segundo o IBGE, no ano de 2019, a área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no Maranhão era de 189.950,883 km^2 (IBGE, 2019), como se pode evidenciar na Figura 8.1.

Figura 8.1 - Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



Fonte: ZEE (2021).

Os dados apresentados constituíram-se como ponto de partida para a análise por imagens de satélite, como também para a verificação *in loco*. A reavaliação dos dados permite a proposição da definição do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro no território maranhense. E nesse contexto de análise, foi realizada uma ampla revisão de literatura sobre as temáticas pertinentes às condições ambientais e socioeconômica do bioma.

2.2 Geoprocessamento

De acordo com Formigoni *et al.* (2011), o uso de geoprocessamento e a utilização de produtos e técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) para o monitoramento da cobertura vegetal, são fundamentados na necessidade de análise dos recursos vegetais, tendo em vista sua vasta contribuição na análise temporal que permite a obtenção e o acompanhamento de informações como por exemplo a identificação e distribuição das tipologias vegetais, fenologia, composição do dossel, alterações por estresse e as mudanças de uso do solo. Tais ferramentas nesse sentido, tornam-se instrumentos importantes de análise, acompanhamento da dinâmica de uso e ocupação do solo na escala temporal.

Para o IBGE, no ano de 2012, ao longo do tempo, as ferramentas de geoprocessamento passaram por consideráveis mudanças, resultantes principalmente da adoção de recursos de *hardwares* e *softwares* que possibilitam a interpretação e o mapeamento digital da vegetação. O conhecimento destes tópicos é considerado essencial para aqueles que estudam, pesquisam ou mapeiam as fisionomias da vegetação do Brasil nos diversos níveis de levantamento, desde o regional até o de semidetalhe.

Assim, neste processo evolutivo de mapeamento temático, as técnicas de interpretação também foram sendo aprimoradas e modernizadas, paralelamente aos desenvolvimentos tecnológicos e científicos que possibilitam o mapeamento digital da vegetação, pois se acredita que tanto estes processos como a própria vegetação apresentam um caráter dinâmico (IBGE, 2012).

As atividades de geoprocessamento foram realizadas no Laboratório de Geoprocessamento do Núcleo Geoambiental da Uema, a exemplo de coleta de dados secundários, definição de resolução espacial adequada à escala do trabalho, levantamentos bibliográficos (mapeamentos existentes, cartas DSG e cartas topográficas), aquisição de imagens de satélite, processamento digital de imagens e interpretações preliminares. Os mapas preliminares foram utilizados nas atividades de validação em campo. Após as incursões ao campo foram realizadas reinterpretações, cruzamento de dados, validação topológica e produção do mapa final de vegetação.

Foram determinados parâmetros técnicos de mapeamento adotados na execução do trabalho, tais como:

a) Unidade mínima de mapeamento (UMM) de 40ha, em função da escala final do mapeamento, 1:250.000;

b) Acurácia de classificação (acurácia temática) com limiar mínimo de 85% de acerto;

c) Arquivos digitais em formato *shapefile,* produto, em versão final, entregue com consistência topológica (inexistência de sobreposição entre polígonos, de vazios entre polígonos, de polígonos com área zero, de laços nos arcos, de polígonos sem classe);

d) Classificação das tipologias vegetais, de acordo com o Manual Técnico de Vegetação do IBGE (2012).

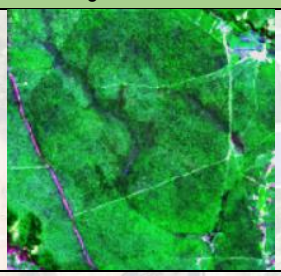
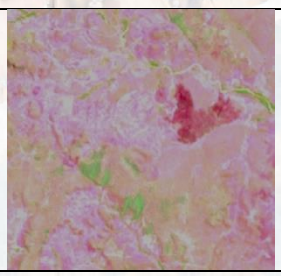
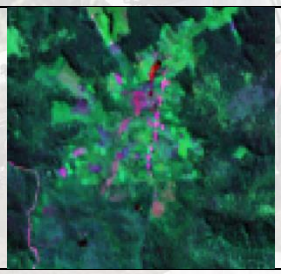
A execução das atividades ocorreu em duas fases:

I)Primeira Fase

As informações foram organizadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando-se o *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) desenvolvido pelo INPE (SP) e o QGIS que é um *software* livre / *open source* multiplataforma de sistema de georreferenciamento (GIS) que provê visualização, edição e análise de dados georreferenciado.

Foi realizada uma análise da composição vegetal existente dos anos: 1984, 2000 e 2020, com base nos mapas fitoecológicos do Projeto RADAMBRASIL. Para ser comparada com as tipologias da vegetação atual (Tabela 8.2), utilizando imagens de satélite (Landsat-8/OLI) (Tabela 8.3) adquiridas no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e na plataforma digital do *United States Geological Survey* (USGS).

Tabela 8.2 - Padrões de interpretação de alvos para identificação das classes de cobertura da terra em imagens Landsat-8/OLI

Classe	Imagem Landsat-8	Fotografia
Savana Arborizada		
Savana Parque		
Vegetação Secundária		
Vegetação Secundária com palmeiras		

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Tabela 8.3 -- Descrição das cenas do satélite LANDSAT que recobrem no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro maranhense

Satélite	Sensor	Cenas (Órbita/Ponto)	Ano de Referência (ano)
Landsat-8	OLI	220/62; 219/62; 220/63; 221/62; 221/63; 219/63; 221/64; 220/64; 219/64; 222/64; 222/65; 221/65; 220/65; 219/65; 221/66; 221/67; 220/67	2020

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

A construção do banco de dados teve início com a definição do Modelo Conceitual e de Projetos, sendo observados os seguintes aspectos, a saber: a base cartográfica fornecida pelo IMESC e cartas produzidas pela Diretoria de Serviços Geográfico-DSG (Escala 1:100.00).

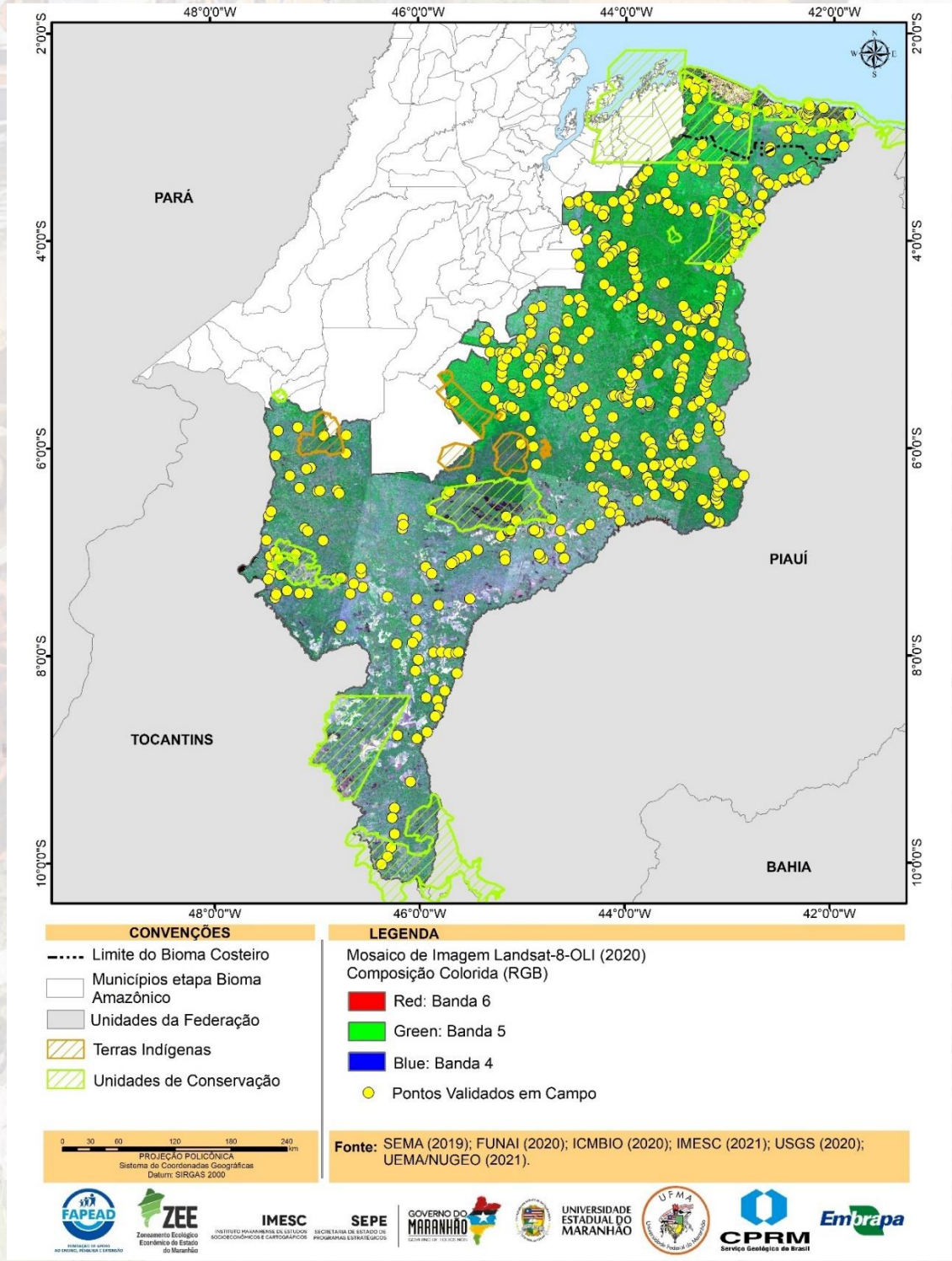
A base de dados foi constituída com diferentes características cartográficas que englobam a área de estudo e elaborados os planos de informação correspondentes aos mapas temáticos. Todos os planos foram gerados na mesma escala (1:250.000) com projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, Datum *SIRGAS* 2000, dos respectivos projetos no formato vetorial e raster. E no mapa da vegetação constará a identificação do tipo de cobertura vegetal.

II)Segunda Fase

Essa fase diz respeito ao trabalho de campo que se consistiu na coleta de dados *in loco*. O procedimento metodológico para mapeamento das tipologias da vegetação foi determinado pela equipe executora, considerando os padrões e a representatividade das áreas de vegetação, que possuem características no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. Assim, foi realizada a validação das classes encontradas de vegetação, utilizando o receptor de GPS com registro fotográfico da paisagem.

A amostragem contou com 569 pontos em 24 folhas, obtendo valor médio de 23,7 pontos de amostragem. folha^{-1} representados na Figura 8.2.

Figura 8.2 - Mapa de localização dos pontos de amostragens realizadas nas campanhas de campo no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão.



Fonte: ZEE (2021)

Os resultados obtidos na etapa de campo associados às informações bibliográficas e dados secundários sistematizados, subsidiaram a base de dados final.

2.3 Vegetação primária e secundária

O trabalho de campo consistiu na coleta de dados *in loco*, para validação das classes encontradas de vegetação e posterior adequação com a legenda preliminar. Esta fase é fundamental para o reconhecimento da realidade de campo. Foram coletadas informações utilizando-se receptores de GPS para localização das unidades mapeadas.

2.3.1 Composição Florística

Inicialmente, foi realizado um diagnóstico das coletas pré-existentes, ou seja, uma avaliação do número de espécimes já coletados nos municípios selecionados, tomando como base os registros dos Herbários. Este diagnóstico é importante para priorizar áreas de coletas e ampliar os registros em áreas pouco visitadas. Os materiais botânicos coletados foram distribuídos, um exemplar de cada coleta, entre os herbários das Instituições de Ensino Superior da equipe participante do projeto.

Diante disso, as exsicatas montadas compondo os acervos do Herbário Rosa Mochel (SLUI) em São Luís (MUNIZ; LEITE, 2015) e do Herbário Professor Aluízio Bittencourt – HABIT em Caxias, ambos da Universidade Estadual do Maranhão - Uema e do Herbário do Maranhão (MAR) da Universidade Federal do Maranhão - Ufma (ALMEIDA JUNIOR, 2015) (Figura 8.3). Os nomes das espécies fornecidas pelos identificadores foram armazenados no banco de dados. A listagem das espécies seguiu o sistema de classificação proposto pelo APG IV (2016). A Figura 8.3 representa alguns registros da pesquisa realizada.

Figura 8.3 - Expedição realizada pela Equipe Flora no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Como se pode observar as informações seguem o modelo de outros acervos com esse tipo de informatização, gerando uniformidade nos dados armazenados. A atualização contribuirá para ampliação da lista de espécies e para direcionar novas coletas, além de contribuir para a elaboração da Flora do Maranhão.

3. RESULTADOS

Foram realizadas campanhas de campo nos territórios do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro com o propósito de validação dos tipos de vegetação, classificados de acordo com o Manual de Vegetação do IBGE (2012). No processo de avaliação das áreas foi registrado o tipo de uso do solo para auxiliar o mapeamento atual do território.

Foi possível registrar 65 tipos de classes entre tipos de vegetação e uso do solo, abrangendo uma área de 191.230,16km^2. O tipo de vegetação denominada Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (SAS), como se pode observar na Figura 8.4, ocorreu em 30.670,42 km^2, correspondendo a 16,04% da área total do bioma.

Figura 8.4 - Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (SAS), município de Benedito Leite - MA (Coordenada Geográfica: 07°04'43.4''; 44° 35' 25.0'', 237m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2020).

As tipologias Pastagem com associação a Vegetação Secundária com Palmeiras (8,78%), observar Figura 8.5, Floresta Estacional Semidecidual Submontana (8,56%), Agricultura com Culturas Cíclicas (8,47%) e Pastagem (6,17%) abrangeram maiores extensões territoriais na área do bioma, como se pode constatar na Tabela 8.4 e Figura 8.6.

Figura 8.5 - Pastagem com associação a Vegetação Secundária com palmeiras, município de Porto Franco - MA (Coordenada Geográfica: 06°23'39.7.''; 47°09'00,7'', 246 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2020).

Tabela 8.4 - Listagem dos tipos de vegetação e uso no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

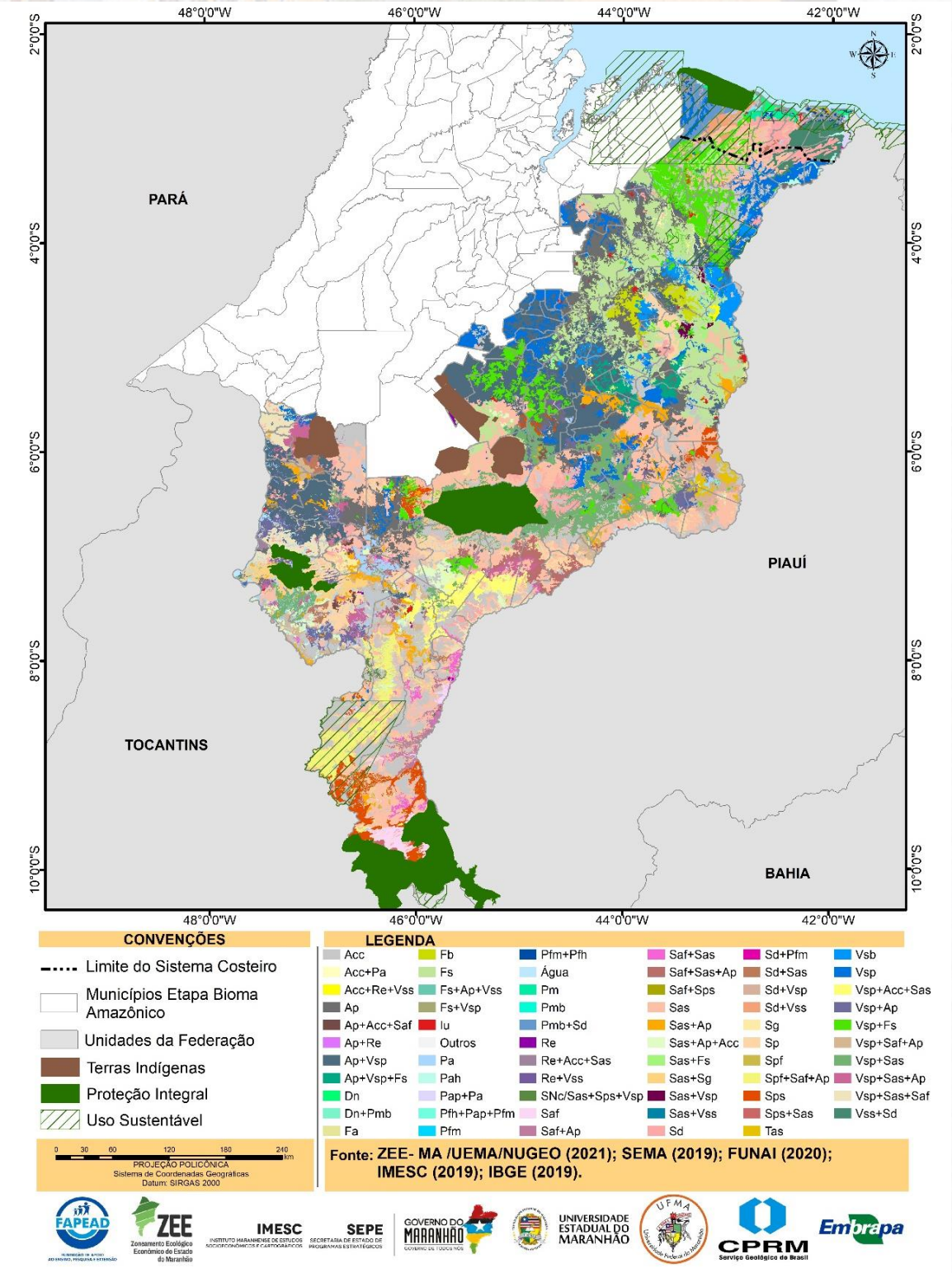
Classes	Siglas	Área (km²)	%
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sas	30670,43	16,04
Pastagem+Vegetação Secundária com palmeiras	Ap+Vsp	16783,81	8,78
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Fs	16370,31	8,56
Agricultura com Culturas Cíclicas	Acc	16195,41	8,47
Pastagem	Ap	11790,89	6,17
Vegetação Secundária com palmeiras+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Vsp+Fs	9447,80	4,94
Vegetação Secundária com palmeiras	Vsp	8495,49	4,44
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Vsp+Sas	8351,79	4,37
Savana Florestada	Sd	6550,63	3,43
Savana Parque	Sp	5757,14	3,01
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Pa	5583,09	2,92
Savana Parque sem floresta-de-galeria	Sps	4209,53	2,20
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Sas+Ap	3532,41	1,85
Vegetação Secundária com palmeiras+Pastagem	Vsp+Ap	3427,08	1,79
Savana Parque com floresta-de-galeria+Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Spf+Saf+Ap	3397,07	1,78
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Vsp+Sas+Saf	3131,99	1,64
Vegetação Secundária só com palmeiras	Vsb	2663,08	1,39
Vegetação Secundária com palmeiras+ Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Vsp+Acc+Sas	2539,49	1,33
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Vsp+Saf+Ap	1974,50	1,03
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Saf+Sas+Ap	1931,08	1,01
Vegetação Secundária sem palmeiras+Savana Florestada	Vss+Sd	1875,25	0,98
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem+Agricultura com Culturas Cíclicas	Sas+Ap+Acc	1757,93	0,92
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Gramíneo Lenhosa	Sas+Sg	1744,23	0,91
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Vsp+Sas+Ap	1743,72	0,91
Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Saf	1614,42	0,84
Formação Pioneira com influência marinha arbustiva+Savana Florestada	Pmb+Sd	1509,26	0,79
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Fa	1493,68	0,78
Pastagem+Vegetação Secundária com palmeiras+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Ap+Vsp+Fs	1456,34	0,76
Savana Florestada+Vegetação Secundária com palmeiras	Sd+Vsp	1408,08	0,74
Savana Florestada+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sd+Sas	1401,75	0,73
Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	Fb	1388,72	0,73
Dunas	Dn	1302,97	0,68
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Saf+Ap	1060,91	0,55
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Saf+Sas	919,09	0,48

Classes	Siglas	Área (km²)	%
Savana Parque sem floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sps+Sas	841,84	0,44
Savana Florestada+Vegetação Secundária sem palmeiras	Sd+Vss	724,41	0,38
Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea+Formação Pioneira com influência fluviomarinha herbácea	Pfm+Pfh	689,39	0,36
Água	-----	627,19	0,33
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Sas+Fs	601,75	0,31
Savana-Estépica Arborizada sem palmeiras e sem floresta-de-galeria	Tas	592,47	0,31
Savana Gramíneo Lenhosa	Sg	497,54	0,26
Influência Urbana	Iu	427,48	0,22
Formação pioneira com influência marinha	Pm	323,23	0,17
Savana Parque com floresta-de-galeria	Spf	292,80	0,15
Pastagem+Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Ap+Acc+Saf	288,58	0,15
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Parque sem floresta-de-galeria	Saf+Sps	268,13	0,14
Agricultura com Culturas Cíclicas+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Acc+Pa	255,53	0,13
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária com palmeiras	Sas+Vsp	246,42	0,13
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre palmeiral+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Pap+Pa	226,99	0,12
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea	Pah	184,54	0,10
Contato Savana/Floresta Estacional encrave+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Parque sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária com palmeiras	SNc/Sas+Sps+Vsp	145,34	0,08
Agricultura com Culturas Cíclicas+Reflorestamento+Vegetação Secundária sem palmeiras	Acc+Re+Vss	102,82	0,05
Reflorestamento	Re	95,20	0,05
Dunas+Formação Pioneira com influência marinha arbustiva	Dn+Pmb	92,41	0,05
Reflorestamento+Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Re+Acc+Sas	82,66	0,04
Outros	-----	35,34	0,02
Floresta Estacional Semidecidual Submontana+Vegetação Secundária com palmeiras	Fs+Vsp	24,32	0,01
Floresta Estacional Semidecidual Submontana+Pastagem+Vegetação Secundária sem palmeiras	Fs+Ap+Vss	21,38	0,01
Formação Pioneira com influência fluviomarinha herbácea+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre palmeiral+Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Pfh+Pap+Pfm	15,74	0,01
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária sem palmeiras	Sas+Vss	12,87	0,01
Formação Pioneira com influência marinha arbustiva	Pmb	11,05	0,01

Classes	Siglas	Área (km²)	%
Savana Florestada+Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Sd+Pfm	9,56	0,00
Reflorestamento+Vegetação Secundária sem palmeiras	Re+Vss	5,57	0,00
Pastagem+Reflorestamento	Ap+Re	4,22	0,00
Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Pfm	4,06	0,00
TOTAL		191.230,16	100,00

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.6 - Mapa da classificação dos tipos de vegetação e uso do solo de acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (2012), no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: ZEE (2021)

Com o objetivo de caracterizar apenas os tipos de vegetação do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, foram excluídos os usos do solo (Tabela 8.5) sem associação à vegetação (primária ou secundária), perfazendo 30.478,70 km² (15,94% da área total).

Tabela 8.5 - Listagem de uso do solo registrados no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro-Marinho

CLASSES	SIGLA	AREA (km²)	ÁREA BIOMA (%)
Agricultura com Culturas Cíclicas	Acc	16104,65	8,42
Pastagem	Ap	11704,62	6,12
Dunas	Dn	1288,21	0,67
Água	---	862,76	0,45
Influência Urbana	Iu	408,72	0,21
Reflorestamento	Re	77,71	0,04
Outros	----	35,30	0,02
Pastagem+Reflorestamento	Ap+Re	4,21	0,00
TOTAL (Bioma Cerrado – 191.230,16 km²)		30.486,17	15,94

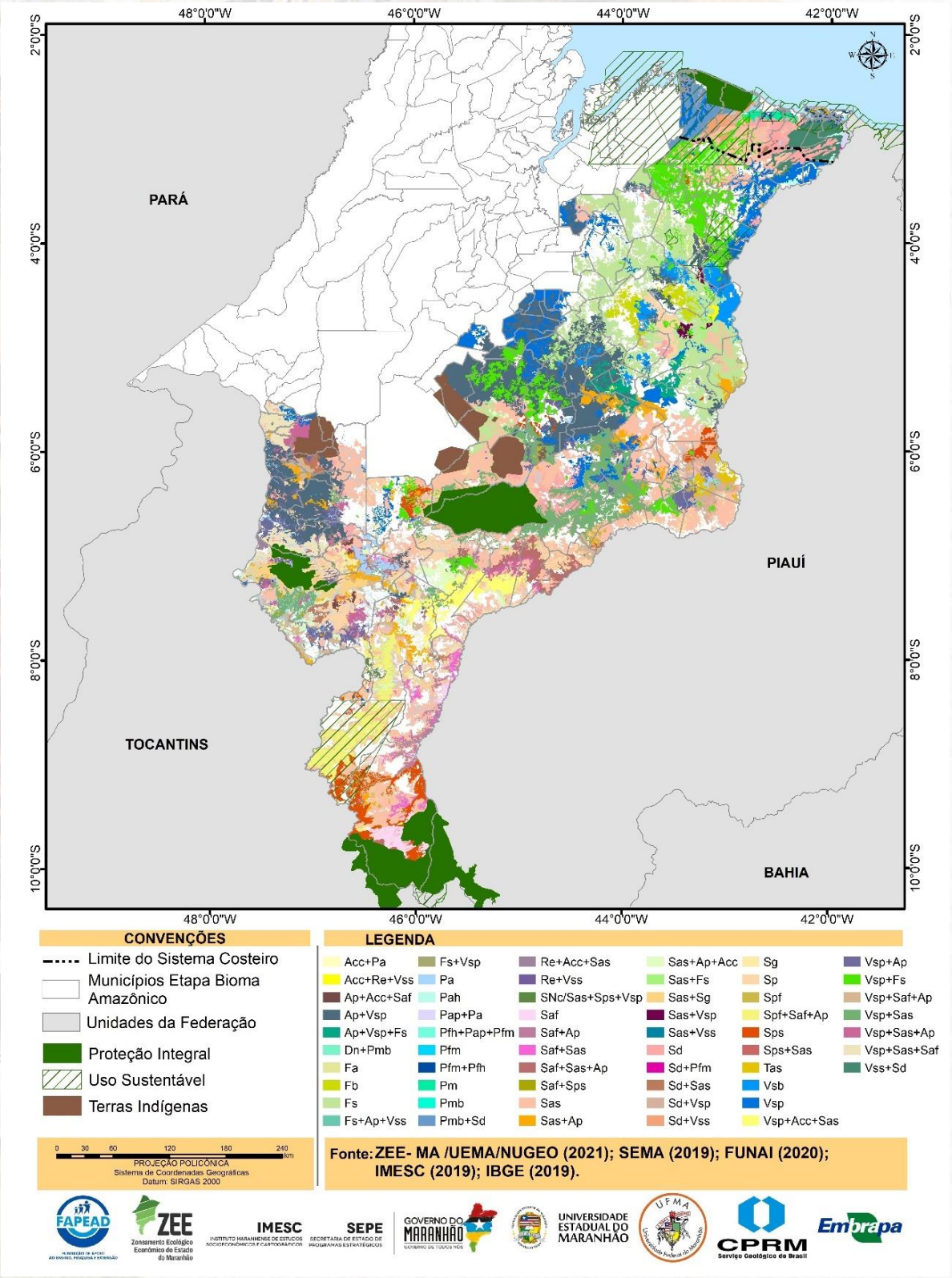
Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Considerando apenas os tipos de vegetação identificados com e sem associação a uso de solo, definiu-se 57 classes de vegetação, com destaque para as fisionomias Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (30.670,43 km², 16,04%), Pastagem com Vegetação Secundária com palmeiras (16.783,81 km², 8,78%), Floresta Estacional Semidecidual Submontana (16.370,31 km², 8,56%) e Vegetação Secundária com palmeiras com Floresta Estacional Semidecidual Submontana (9.447,80 km², 4,94%), Vegetação Secundária com palmeiras (8.495,49 km², 4,44%) e Vegetação Secundária com palmeiras com Savana Arborizada sem floresta-de-galeria (8.351,79 km², 4,37%) (Figura 8.7). A vegetação primária e secundária, com a exclusão do uso do solo específico, foi de 160.751,47 km², correspondendo a 84,06%, como se pode constatar na Figura 8.8 e na Tabela 8.6.

Figura 8.7 - Vegetação Secundária com Palmeiras e Floresta Estacional Semidecidual Submontana, município de Chapadinha - MA (Coordenada Geográfica: -03°42'59,5"; -43°29'35,2"; 44 m de altitude)

Fonte: ZEE (2021)

Figura 8.8 - Mapa de distribuição dos tipos de vegetação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Tabela 8.6 - Listagem dos tipos de vegetação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro

Classes	Siglas	Área (km²)	%
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sas	30670,43	16,04
Pastagem+Vegetação Secundária com palmeiras	Ap+Vsp	16783,81	8,78
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Fs	16370,31	8,56
Vegetação Secundária com palmeiras+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Vsp+Fs	9447,80	4,94
Vegetação Secundária com palmeiras	Vsp	8495,49	4,44
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Vsp+Sas	8351,79	4,37
Savana Florestada	Sd	6550,63	3,43
Savana Parque	Sp	5757,14	3,01
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Pa	5583,09	2,92
Savana Parque sem floresta-de-galeria	Sps	4209,53	2,20
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Sas+Ap	3532,41	1,85
Vegetação Secundária com palmeiras+Pastagem	Vsp+Ap	3427,08	1,79
Savana Parque com floresta-de-galeria+Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Spf+Saf+Ap	3397,07	1,78
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Vsp+Sas+Saf	3131,99	1,64
Vegetação Secundária só com Palmeiras	Vsb	2663,08	1,39
Vegetação Secundária com palmeiras+ Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Vsp+Acc+Sas	2539,49	1,33
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Vsp+Saf+Ap	1974,50	1,03
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Saf+Sas+Ap	1931,08	1,01
Vegetação Secundária sem palmeiras+Savana Florestada	Vss+Sd	1875,25	0,98
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem+Agricultura com Culturas Cíclicas	Sas+Ap+Acc	1757,93	0,92
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Gramíneo Lenhosa	Sas+Sg	1744,23	0,91
Vegetação Secundária com palmeiras+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem	Vsp+Sas+Ap	1743,72	0,91
Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Saf	1614,42	0,84
Formação Pioneira com influência marinha arbustiva+Savana Florestada	Pmb+Sd	1509,26	0,79
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Fa	1493,68	0,78
Pastagem+Vegetação Secundária com palmeiras+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Ap+Vsp+Fs	1456,34	0,76
Savana Florestada+Vegetação Secundária com palmeiras	Sd+Vsp	1408,08	0,74
Savana Florestada+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sd+Sas	1401,75	0,73
Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	Fb	1388,72	0,73
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Pastagem	Saf+Ap	1060,91	0,55
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Saf+Sas	919,09	0,48
Savana Parque sem floresta-de-galeria+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Sps+Sas	841,84	0,44
Savana Florestada+Vegetação Secundária sem palmeiras	Sd+Vss	724,41	0,38

Classes	Siglas	Área (km²)	%
Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea+Formação Pioneira com influência fluviomarinha herbácea	Pfm+Pfh	689,39	0,36
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Sas+Fs	601,75	0,31
Savana-Estépica Arborizada sem palmeiras e sem floresta-de-galeria	Tas	592,47	0,31
Savana Gramíneo Lenhosa	Sg	497,54	0,26
Formação pioneira com influência marinha	Pm	323,23	0,17
Savana Parque com floresta-de-galeria	Spf	292,80	0,15
Pastagem+Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada com floresta-de-galeria	Ap+Acc+Saf	288,58	0,15
Savana Arborizada com floresta-de-galeria+Savana Parque sem floresta-de-galeria	Saf+Sps	268,13	0,14
Agricultura com Culturas Cíclicas+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Acc+Pa	255,53	0,13
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária com palmeiras	Sas+Vsp	246,42	0,13
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre com palmeiras+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Pap+Pa	226,99	0,12
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea	Pah	184,54	0,10
Contato Savana/Floresta Estacional encrave+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Savana Parque sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária com palmeiras	SNc/Sas+Sps+Vsp	145,34	0,08
Agricultura com Culturas Cíclicas+Reflorestamento+Vegetação Secundária sem palmeiras	Acc+Re+Vss	102,82	0,05
Dunas+Formação Pioneira com influência marinha arbustiva	Dn+Pmb	92,41	0,05
Reflorestamento+Agricultura com Culturas Cíclicas+Savana Arborizada sem floresta-de-galeria	Re+Acc+Sas	82,66	0,04
Floresta Estacional Semidecidual Submontana+Vegetação Secundária com palmeiras	Fs+Vsp	24,32	0,01
Floresta Estacional Semidecidual Submontana+Pastagem+Vegetação Secundária sem palmeiras	Fs+Ap+Vss	21,38	0,01
Formação Pioneira com influência fluviomarinha herbácea+Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre palmeiral+Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Pfh+Pap+Pfm	15,74	0,01
Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Vegetação Secundária sem palmeiras	Sas+Vss	12,87	0,01
Formação Pioneira com influência marinha arbustiva	Pmb	11,05	0,01
Savana Florestada+Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Sd+Pfm	9,56	0,00
Reflorestamento+Vegetação Secundária sem palmeiras	Re+Vss	5,57	0,00
Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	Pfm	4,06	0,00
TOTAL		160751,47	84,06

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

As Figuras 8.9, 8.10 e 8.11 registram as classes de vegetação denominadas de Savanas corresponderam a 91.685,06 km^2 (47,94%), de forma isolada ou em associação em 34 classes.

Figura 8.9 - Savana Arborizada, município de Barreirinhas - MA (Coordenada Geográfica: -02°52'27,4"; -42°51'44,7"; 38 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.10 - Savana Arborizada, município de Carolina - MA (Coordenada Geográfica: 07°25'21.2''; 47°22'46,1'', 200 m de altitude)

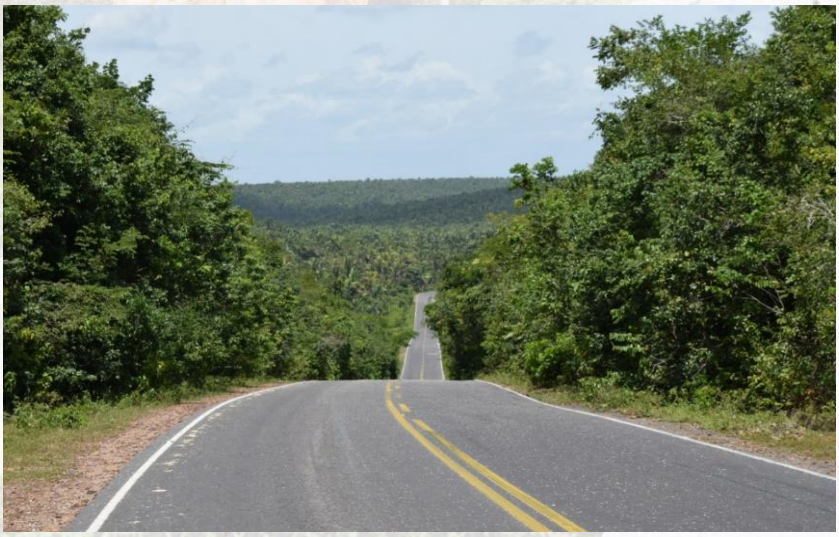
Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8. 11 - Ocorrência de espécies no Bioma Cerrado: Oiti Miúdo (*Licania* sp.) A. Tronco; B. Frutos; Bacuri (*Platonia insignis*) C. Tronco; D. Frutos; Pau-marfim (*Hymathantus* sp.) E. Tronco; Pimenta de macaco (*Xylopia* sp.) F. Frutos; Araça (Myrtaceae) G. Tronco; Peça de frade H. Tronco; Canela de velho (*Miconia* sp.) I. Inflorescência; Arecaceae sp. J. Frutos; *Ouratea* sp. K. Frutos; Pequi (*Caryocar* sp.) L. Frutos; Pau Pombo (*Tachigali* sp.) M. Flores; N. Tronco; Candeia brava O. Tronco; Pau Terra (*Qualea* sp.) P. Flores; Fava D'anta (*Dimorphandra* sp.) Q. Folhas; Brinco-de-viado (*Connarus* sp.) R. Frutos

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

A vegetação secundária com palmeiras (Vsp), sem palmeiras (Vss) ou só com palmeiras (Vsb), como se pode constatar nas Figuras 8.12 e 8.13 estando ou não associadas a outras classes de vegetação representa 64.581,54 km^2 (33,77%).

Figura 8.12 - Vegetação secundária com palmeiras, município de São Benedito do Rio Preto - MA (Coordenada Geográfica: -03°32'33,5"; -43°37'03,8"; 82 m de altitude)



Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.13 - Vegetação secundária com palmeiras e pastagem, município de Lima Campos - MA (Coordenada Geográfica: -04°38'25,1"; 44°24'30,3", 67 m de altitude)

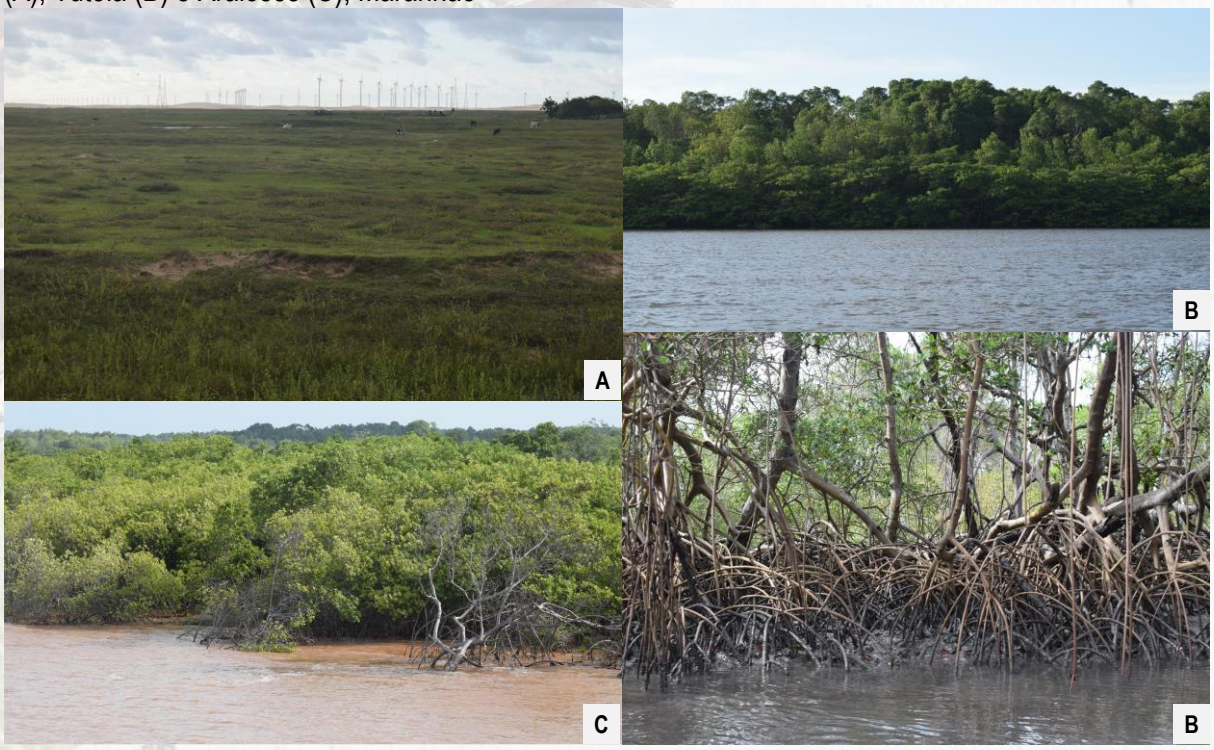
Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

As espécies como jatobá, murici, pau de rato, cajuí, maçaranduba, lixeira, janaúba, sabiá, babaçu, inajá, tucum, guajeru, fava de bolota, fava d'anta, jurema, fedegoso, entre outros, ocorrem em áreas de vegetação secundária, têm funções de proporcionar locais de alimentação e abrigo da fauna silvestre, cobertura para o solo, permitindo redução de processos erosivos, abastecimento de lençol freático, atividade de extrativismo por comunidade do entorno, dinâmica da prática da agricultura itinerante, entre outros benefícios.

O Sistema Costeiro-Marinho do Maranhão desempenha importância socioeconômica para populações locais, por meio de seu uso na alimentação, medicina popular e utilização da madeira, em que a vegetação tem impacto ecológico indispensável, atuando principalmente na formação do solo, alimentação e abrigo para a fauna silvestre, fixação das dunas e estabilização dos mangues. É importante pontuar também que, apesar da importância social, econômica e ambiental existe uma grande vulnerabilidade em função da complexidade dos processos litorâneos, da fragilidade do ecossistema, da concentração populacional, ocupação do espaço para a construção civil e do atrativo turístico.

As classes de vegetação identificadas como Áreas das Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação) com influência fluvial e/ou lacustre, com influência fluviomarinha e com influência marinha representa 8.904,84 km^2 (4,66%), como se observa nas Figuras 8.14, 8.15, 8.16 ,8.17 e 8.18.

Figura 8.14 - Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação) municípios de Barreirinhas (A), Tutoia (B) e Araioses (C), Maranhão



Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.15 - Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea, município de Barreirinhas - MA (Coordenada Geográfica: -02°43’05”20; -42°50'10,10"; 4 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.16 - Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea, município de Santo Amaro - MA (Coordenada Geográfica: -02°44’24”8; -43°04'16,5"; 48 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.17 - Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea, município de Primeira Cruz - MA (Coordenada Geográfica: -02°32’26”9; -43°20'14,3"; 3 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.18 - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre palmeiral, município de Araioses - MA (Coordenada Geográfica: -02°46’42”9; -41°50'44,06"; 17 m de altitude)

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

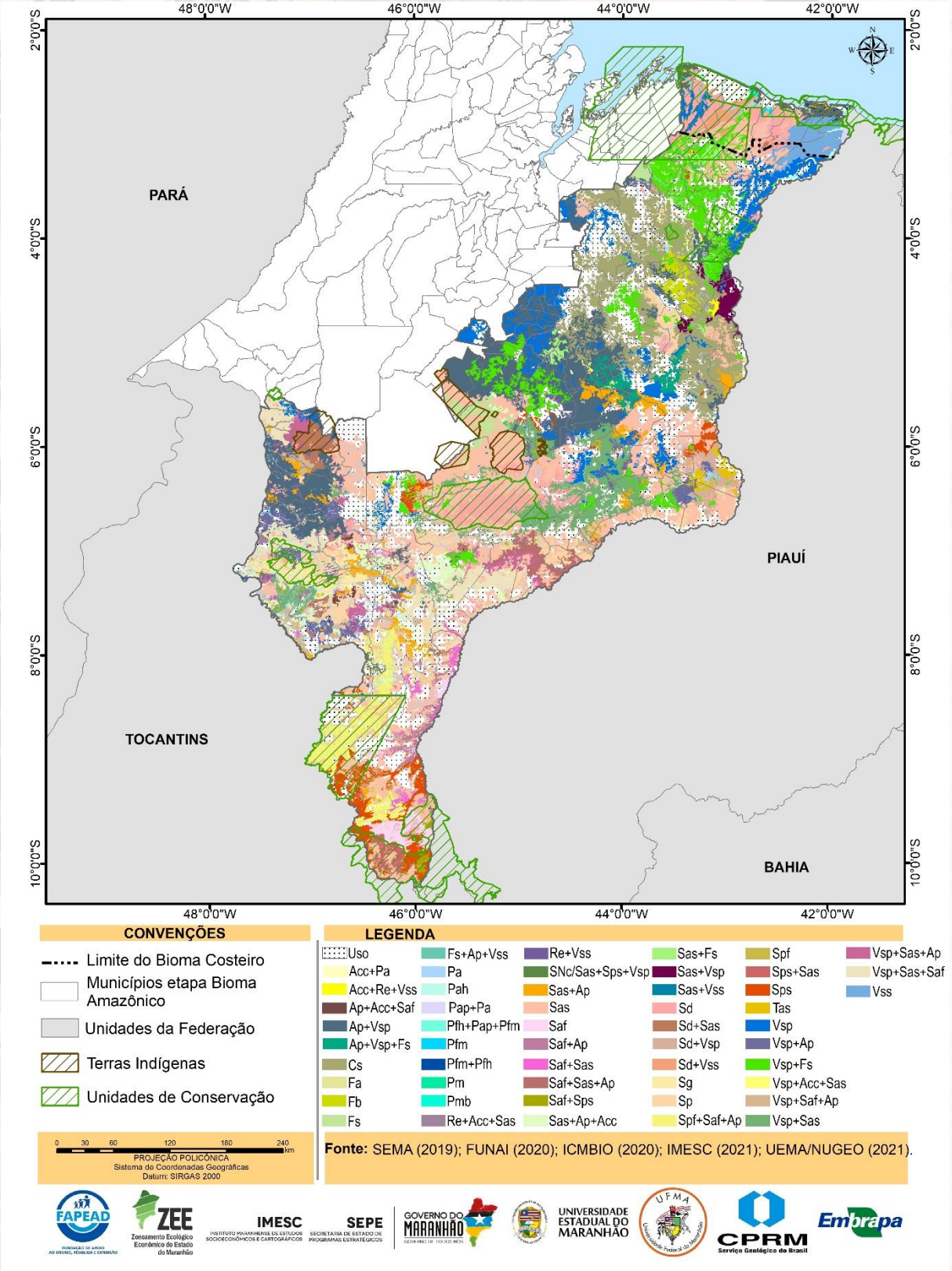
Abrangendo uma área de 47.184,07 km^2, as Unidades de Conservação Estaduais e Federais, Tabela 8.7 e Figura 8.19 tem importância fundamental na conservação da biodiversidade vegetal e da fauna silvestre local.

Tabela 8.7 - Unidades de Conservação nos Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, Maranhão

Esfera	Unidade de Conservação	Categoria	Área (Km²)
Estadual	APA dos Morros Garapenses	APA	2369,91
	APA da Nascente do Rio das Balsas	APA	6581,3
	APA da Foz do Rio das Preguiças - Pequenos Lençóis - Região Lagunar Adjacente	APA	2801,52
	APA de Upaon-Açu / Miritiba / Alto Preguiças	APA	15707,61
	PE de Mirador	Parque Estadual	5078,31
Federal	Parque Nacional dos Lençois Maranhenses	PARNA	1577,68
	Reserva Extrativista Chapada Limpa	RESEX	120,82
	Parque Nacional da Chapada das Mesas	PARNA	1622,6
	Reserva Extrativista da Mata Grande	RESEX	115,61
	Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga	APA	427,31
	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba	PARNA	7660,94
	Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba	APA	3120,46
Total			47.184,07

Fonte: Registro da Pesquisa (2021)

Figura 8.19 - Identificação do tipo de vegetação nas áreas de Terras Indígenas e Unidades de Conservação no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro



Fonte: ZEE (2021)

4. CONCLUSÃO

O território do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro apresentam diversidade de ambientes, permitindo o estabelecimento e desenvolvimento de diferentes espécies vegetais, possuindo paisagens e cenários variados.

A demanda crescente pelo uso dos Bioma Cerrado para o estabelecimento de empreendimentos agrícolas - em situação de conflito com a agricultura tradicional, agropecuários - ultra-extensivo e florestais – florestas com espécies exóticas, tem contribuído para a redução de área florestal, bem como pela mudança da cobertura vegetal ao longo do processo de ocupação do Maranhão.

O Cerrado maranhense e o Sistema Costeiro são ecossistemas fragilizados pela ausência de políticas públicas que assegurem que demandas como: gestão, monitoramento, fiscalização e cumprimento da legislação de interesse ambiental. A regulamentação fundiária pautada do desenvolvimento sustentável no Bioma Cerrado urge.

As vegetações primária e secundária, em estágio avançado e intermediário de regeneração, devem ser conservadas. A identificação de áreas prioritárias para serem protegidas e recuperadas com finalidade de formar corredores ecológicos, permitirá o fluxo gênico de espécies vegetais e animais, aumento ou manutenção da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais.

As áreas que devem ser prioritárias para ações de proteção e recuperação estão situadas no entorno das terras indígenas e unidades de conservação, com exigências quanto o cumprimento da legislação vigente quanto a existência das áreas de Reserva Legal-RL e Áreas de Preservação Permanente – APP.

Diante de tudo que foi exposto, é importante evidenciar ainda que atualização do Mapa da Vegetação do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro permite que reconheçamos os tipos de vegetação existente no território, possibilitando o planejamento para um uso sustentável. Assim, o conhecimento da situação atual da cobertura vegetal orienta a tomada de decisão nas esferas municipal, estadual e federal para a conservação do Cerrado e Litoral para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, E.B. 2015. Herbário do Maranhão, Maranhão (MAR). **Unisanta BioScience**, v.4, n.6, p.129-132. Acessado em: (falta acrescentar o registro do dia, mês e ano da consulta.)

APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society** 161(2): 105-121.

FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. Análise temporal da vegetação na região do nordeste através de dados EVI do Modis. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 1-8, jan.- mar., 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2. ed. ver. e amp. Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Manuais Técnicos em Geociências, 1. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Biomas e Sistema Costeiro-Marinho,** 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/. Acesso em: 20 jan. 2021.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. **Unidades de Conservação Estaduais**. São Luís, 2019. 70p.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Portal de Dados Abertos**: Unidades de Conservação. Disponível em: http://dados.mma.gov.br/dataset/unidadesdeconservacao. Acesso em: 23 fev. 2021.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. Municípios da zona costeira. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/definidos-municipios-da-zona-costeira. Acessado em: 24/fev/2020.

MARANHÃO. **Decreto nº 14.968 de 20 de março de 1996**. Cria no Estado do Maranhão a Reserva de Recursos Naturais na nascente do Rio das Balsas e dá outras providências. Disponível em: https://documentacao.socioambiental. org/ato_normativo/UC/311_20100823_164754.pdf. Acesso em: 26 nov. 2020c.

MARANHÃO. **Decreto nº 25.087 de 31 de dezembro de 2008**. Cria a Área de Proteção Ambiental dos Morros Garapenses, com limites que especifica, e dá outras providências. Disponível em: https://documentacao.socioambiental. org/ato_normativo/UC/14_20100521_172904.pdf. Acesso em: 26 nov. 2020b.

MARANHÃO. **Lei nº 8.958 de 08 de maio de 2009**. Altera o Decreto nº 7.641/80 de junho de 1980, que cria o Parque Estadual de Mirador e dá outras providências. Disponível em: https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/301_20100823_143719.pdf. Acesso em: 26 nov. 2020a.

MARANHÃO**. Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão**. Fundação Sousândrade de Apoio e Desenvolvimento da Universidade Federal do Maranhão. /IICA/ GEAGRO/LABOHIDRO. 2003. 242 p

MUNIZ, F.H.; LEITE, A.M.M. 2015. Herbário Rosa Mochel, Maranhão (SLUI). **Unisanta Bioscience**, 4(6): 133-136.

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA. **Unidades de Conservação**, 2019. Disponível em: https://www.sema.ma.gov.br/unidades-de-conservacao/. Acesso em: 22 nov. 2020.