

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS - SEPE
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS-IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO BIOMA AMAZÔNICO (MA)

RELATÓRIO TÉCNICO DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS: HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO ETAPA BIOMA AMAZÔNICO

INSTITUIÇÕES:

IMESC
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS

SEPE
SECRETARIA DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

GOVERNO DO
MARANHÃO
GOVERNO DE TODOS NÓS



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa



SÃO LUÍS - MA
2019



IMESC SEPE



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Flávio Dino de Castro e Costa

VICE GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Carlos Orleans Brandão Júnior

SECRETÁRIO DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

Luis Fernando Silva

PRESIDENTE DO INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS E COORDENADOR GERAL DO ZEE-MA

Dionatan Silva Carvalho

DIRETOR DE ESTUDOS AMBIENTAIS E CARTOGRÁFICOS

Josiel Ribeiro Ferreira

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS

Hiroshi Matsumoto

PEQUISADOR SENIOR DO ZEE-MA

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

COORDENADOR EXECUTIVO DO ZEE-MA (UEMA)

Paulo Henrique de Aragão Catunda

COORDENADOR DE RECURSOS HÍDRICOS

José de Ribamar Carvalho dos Santos

EQUIPE TÉCNICA DE RECURSOS HÍDRICOS

Helen Nébias Barreto

Veruska Costa de Jesus

Thomas Jefferson Alves Santos

EQUIPE DE APOIO TÉCNICO – ZEE

Anny Karolyny Oliveira Portela

Allana Pereira Costa

Florise Pereira Reis

Jéssica Suyane Sousa

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

Sandra Abreu

REVISÃO

Gustavo Sampaio

Marília de Carvalho Cerveira

DIAGRAMAÇÃO/CAPA

Matheus Pinheiro Soeiro

UNIVERSIDADES 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 – PROPLA

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos - IMESC.

Relatório Técnico de Recursos Hídricos Superficiais: hidrografia e hidrologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico. José de Ribamar Carvalho dos Santos; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias; Paulo Henrique de Aragão Catunda (coordenadores). São Luís: IMESC, 2019.

ISBN 978-85-61929-28-2

96 p.

1. Hidrografia. 2. Hidrologia. 3. Zoneamento Econômico. 4. Maranhão.
I. Título

CDU:556 (812.1)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Amazônico	8
Figura 2	- A) Erro de delimitação de bacia hidrográfica; B) Desconexão de rede de drenagem	9
Figura 3	- Articulação das Folhas do IBGE em escala 1:250.000	11
Figura 4	- Articulação das Folhas do IBGE em escala 1:250.000, considerando os limites de municípios na delimitação do Bioma Amazônico	12
Figura 5	- Produtos de referência para a vetorização e construção da nova base espacial hidrográfica	16
Figura 6	- Bacias hidrográficas do Bioma Amazônico	23
Figura 7	- Estações fluviométricas dos rios principais da Amazônia Maranhense	25
Figura 8	- Rede hidrográfica da bacia do rio Mearim na escala 1:250.000.....	27
Figura 9	- Dados altimétricos da bacia do rio Mearim.....	28
Figura 10	- Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim A-B.....	29
Figura 11	- Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim C-D	29
Figura 12	- Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim E-F	29
Figura 13	- Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim G-H	30
Figura 14	- Rugosidade da Bacia do rio Mearim	32
Figura 15	- Rede hidrográfica da bacia do rio Gurupi na escala 1:250.000.....	38
Figura 16	- Dados altimétricos da bacia do rio Gurupi.....	39
Figura 17	- Perfil longitudinal da bacia do rio Gurupi.....	40
Figura 18	- Rugosidade da bacia do rio Gurupi	41
Figura 19	- Rede hidrográfica da bacia do rio Turiaçu na escala 1:250.000.....	44
Figura 20	- Dados altimétricos da bacia do rio Turiaçu.....	45
Figura 21	- Perfil longitudinal da bacia do rio Turiaçu A-B.....	46
Figura 22	- Perfil longitudinal da bacia do rio Turiaçu C-D	46
Figura 23	- Rugosidade da bacia do rio Turiaçu.....	47
Figura 24	- Rede hidrográfica da bacia do rio Maracaçumé na escala 1:250.000..	51
Figura 25	- Dados altimétricos da bacia do rio Maracaçumé	52
Figura 26	- Perfil longitudinal alto curso da bacia do rio Maracaçumé A-B.....	53
Figura 27	- Perfil longitudinal médio curso da bacia do rio Maracaçumé C-D	53
Figura 28	- Rugosidade da bacia do rio Maracaçumé	54
Figura 29	- Rede hidrográfica da bacia do rio Tocantins na escala 1:250.000	57
Figura 30	- Dados altimétricos da bacia do rio Tocantins	58
Figura 31	- Perfil longitudinal da bacia do Tocantins A-B	59

Figura 32 - Rugosidade da bacia do rio Tocantins	60
Figura 33 - Rede hidrográfica da bacia do rio Pericumã na escala 1:250.000.....	62
Figura 34 - Dados altimétricos da bacia do rio Pericumã	63
Figura 35 - Perfil longitudinal da bacia do rio Pericumã A- B.....	63
Figura 36 - Rugosidade da bacia do rio Pericumã.....	65
Figura 37 - Rede hidrográfica da bacia do rio Itapecuru na escala 1:250.000.....	67
Figura 38 - Dados altimétricos da bacia do rio Itapecuru.....	68
Figura 39 - Perfil longitudinal da bacia do rio Itapecuru A – B.....	69
Figura 40 - Rugosidade da bacia do rio Itapecuru	70
Figura 41 - Rede hidrográfica da bacia do rio Munim na escala 1:250.000	72
Figura 42 - Dados altimétricos da bacia do rio Munim.....	73
Figura 43 - Perfil longitudinal da bacia do rio Munim A – B	74
Figura 44 - Rugosidade da bacia do rio Munim	75
Figura 45 - Rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses na escala 1:250.000.....	77
Figura 46 - Rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense na escala 1:250.000	78
Figura 47 - Dados altimétricos da bacia do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense	78
Figura 48 - Dados altimétricos da bacia do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses.....	79
Figura 49 - Perfil longitudinal do Golfão Maranhense B.....	80
Figura 50 - Perfil longitudinal das Reentrâncias Maranhenses B	80
Figura 51 - Rugosidade do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense ...	81
Figura 52 - Rugosidade do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses	82
Figura 53 - Rede hidrográfica da Ilha do Maranhão na escala 1:250.000	86
Figura 54 - Dados altimétricos da Ilha do Maranhão	87
Figura 55 - Perfil longitudinal da Ilha do Maranhão A – B.....	88
Figura 56 - Rugosidade da bacia da ilha do Maranhão	88
Figura 57 - Articulação das folhas 1:250.000 com os limites do bioma	90
Figura 58 - Rede hidrográfica e a articulação das folhas 1:250.000.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Área das bacias hidrográficas no Bioma Amazônico	24
Gráfico 2 - Vazão Média Anual da Estação Itaipava do Grajaú	33
Gráfico 3 - Vazão Média Anual da Estação Vale do Pindaré	34
Gráfico 4 - Vazão Média da Estação Fazenda Sabesa.....	34
Gráfico 5 - Vazão Média da Estação Fazenda Varig	35
Gráfico 6 - Vazão Média da Estação Alto Alegre	35
Gráfico 7 - Vazão Média da Estação Pindaré Mirim	36
Gráfico 8 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Mearim	36
Gráfico 9 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Gurupi	42
Gráfico 10 - Vazão Média da Estação Turiaçu.....	48
Gráfico 11 - Vazão Média da Estação BR-316/Rio Paruá.....	48
Gráfico 12 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Turiaçu	49
Gráfico 13 - Vazão Média da Estação Maracaçumé	55
Gráfico 14 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Maracaçumé	55
Gráfico 15 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Tocantins.....	64
Gráfico 16 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Pericumã.....	64
Gráfico 17 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Itapecuru	69
Gráfico 18 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Munim	74
Gráfico 19 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: Golfão Maranhense	84
Gráfico 20 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: Reentrâncias Maranhenses	84
Gráfico 21 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: ilha do Maranhão	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros morfométricos das Bacias Hidrográficas.....	19
Tabela 2	- Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.....	20
Tabela 3	- Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.....	20
Tabela 4	- Resultados da Declividade na bacia do Mearim.....	31
Tabela 5	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Gurupi.....	40
Tabela 6	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Turiaçu.....	46
Tabela 7	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Maracaçumé .	53
Tabela 8	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Tocantins	58
Tabela 9	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Pericumã.....	64
Tabela 10	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Itapecuru.....	69
Tabela 11	- Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Munim	74
Tabela 12	- Parâmetros morfométricos dos sistemas costeiros	80
Tabela 13	- Classificação do relevo segundo a declividade nos sistemas costeiros	83
Tabela 14	- Classificação do relevo segundo a declividade na Ilha do Maranhão	88
Tabela 15	- Resultados da rede de hidrográfica em relação aos dados do IBGE	91

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	7
2.1	Escala de Trabalho	7
2.2	Bases espaciais	13
2.3	Tratamento da informação espacial	14
2.4	Morfometria	16
2.5	Bases de Dados Hidrológicos	20
3	BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BIOMA AMAZÔNICO	22
3.1	Bacia do rio Mearim	24
3.2	Bacia do rio Gurupi	36
3.3	Bacia do rio Turiaçu	42
3.4	Bacia do rio Maracaçumé	49
3.5	Bacia do rio Tocantins	56
3.6	Bacia do rio Pericumã	61
3.7	Bacia do rio Itapecuru	66
3.8	Bacia do rio Munim	70
3.9	Sistema de Bacias Costeiras	76
3.10	Ilha do Maranhão	84
4	ARTICULAÇÃO DE FOLHAS DA HIDROGRAFIA EM 1:250.000	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

A água, como recurso natural, assume papel importante no atual cenário de desenvolvimento econômico, tornando-se essencial, em razão dos problemas associados à oferta limitada e à variabilidade temporal e espacial. Dentro dessa perspectiva, no contexto de um Zoneamento Ecológico-Econômico, a água é um recurso estratégico que requer abordagem abrangente quanto às atividades econômicas. Para isso, conhecer as características da rede hidrográfica associada à análise de outras variáveis ambientais, possibilita a discussão sobre a disponibilidade hídrica natural, o grau de vulnerabilidade e a geração de indicadores ambientais. Esses são aspectos fundamentais do enfoque ecológico que norteia o Zoneamento Ecológico-Econômico, conforme metodologia estabelecida pelo Ministério do Meio Ambiente.

Nesse sentido, para a cobertura de grandes extensões territoriais que envolvem os estudos do ZEE no Brasil, recorre-se à Cartografia e às ferramentas e técnicas computacionais avançadas que auxiliam na representação plana dos aspectos naturais e artificiais da superfície terrestre. O processo cartográfico envolve o estudo e a construção de formulação matemática, a definição de métodos de trabalho e a elaboração dos produtos cartográficos, tendo como objetivo a localização geográfica, a avaliação de distâncias, as formas e as direções, bem como a apresentação de um modelo da superfície em escala reduzida. Nesse sentido, os sistemas específicos do universo das Geotecnologias, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), fornecem soluções para tratar assuntos geográficos, como a representação espacial e atualização de informações relativas aos aspectos naturais, em especial, a rede hidrográfica.

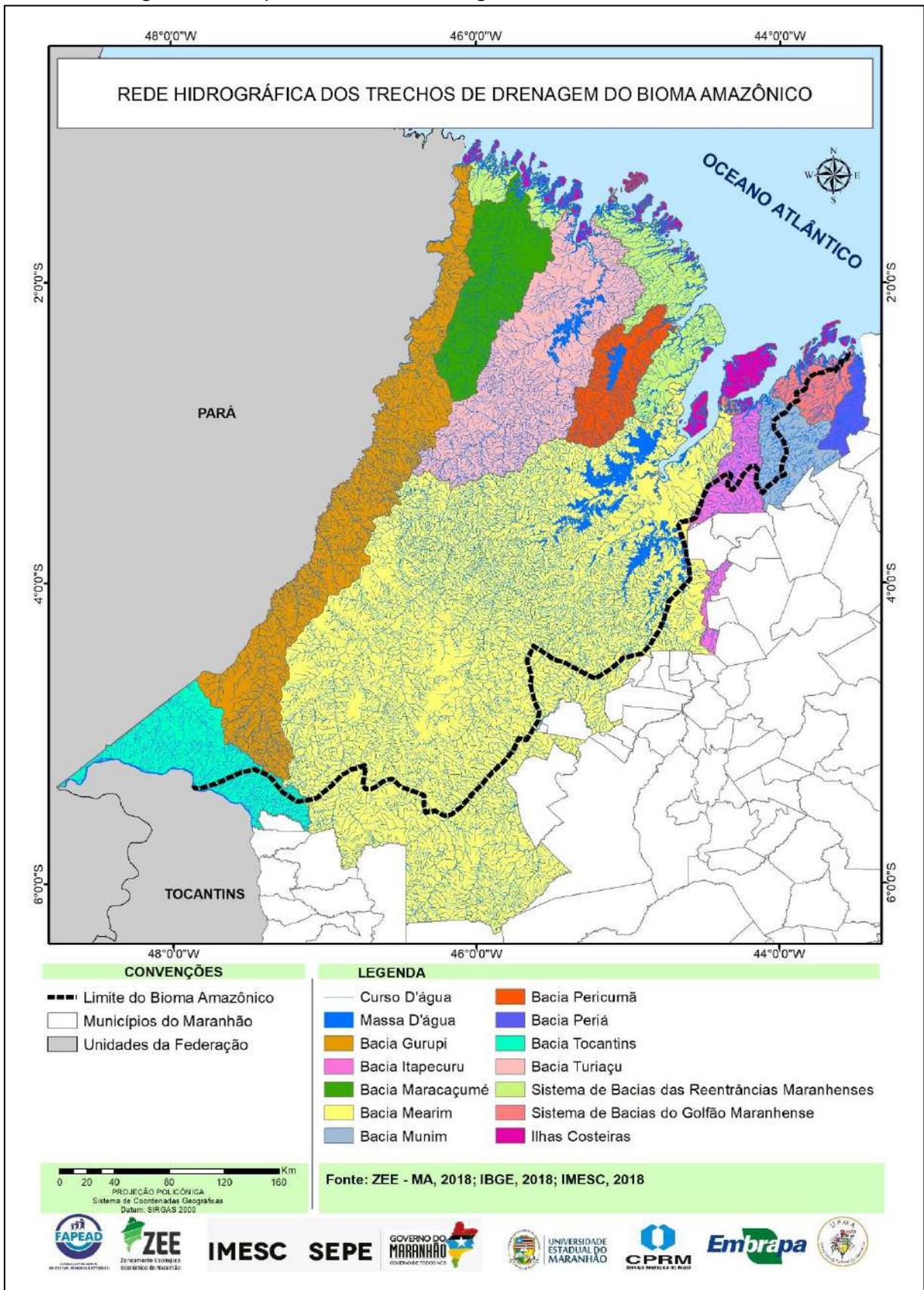
Dentro dessa perspectiva, esse trabalho fundamenta-se no ajuste e construção de base cartográfica da hidrografia referente ao Bioma Amazônico do estado do Maranhão que atenda aos requisitos do termo de referência do instrumento Zoneamento Ecológico-Econômico, em escala 1:250.00. Visa também a precisão cartográfica, a atualização, a melhor caracterização dos aspectos naturais relativos aos cursos d'água e a realização de análises espaciais com maior nível de detalhe cartográfico. Portanto, apoia-se no uso de tecnologias de produtos correlatos para o tratamento da informação e a elaboração de base espacial hidrográfica do Bioma Amazônico maranhense.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

2.1 Escala de trabalho

No caso particular do estado do Maranhão, tem-se disponível, para a área do Bioma Amazônico, 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, limites de bacias hidrográficas e massas de água, conforme mostrado na Figura 1.

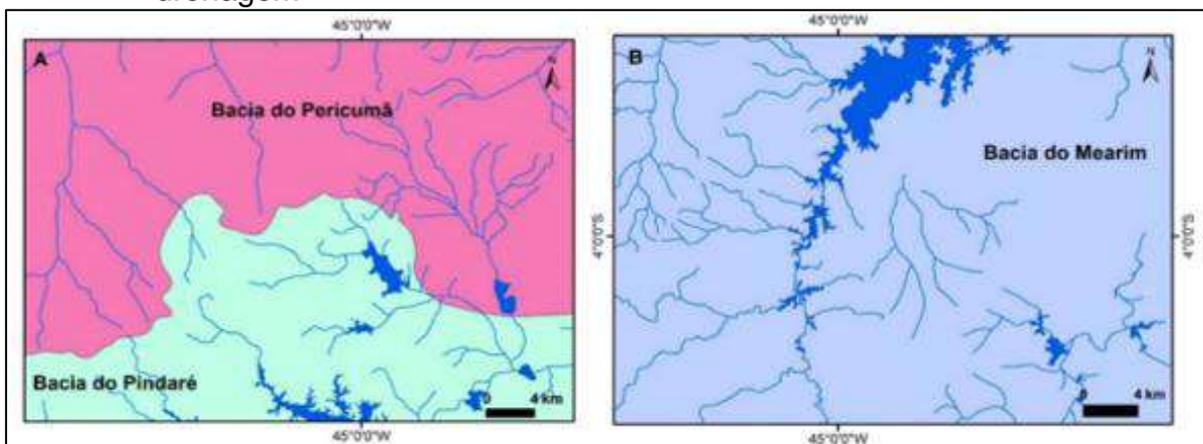
Figura 1 - Mapa das bacias hidrográficas do Bioma Amazônico



Contudo, a partir da análise da base hidrográfica do IBGE, conclui-se que a rede de drenagem se apresenta em multiescala, devido à generalização cartográfica presente na maior parte das bacias que contemplam o bioma, como se observa no médio curso da bacia do rio Pindaré. Além disso, destacam-se nessa mesma base, diversos erros cartográficos na delimitação de bacias hidrográficas e dos trechos de drenagem.

Na Figura 2, são mostrados dois exemplos de erros comuns encontrados na base cartográfica. Na Figura 2A, tem-se um grande afluente da bacia do rio Pindaré inserido na bacia do rio Pericumã, em virtude do erro de delimitação do divisor hidrográfico. 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 são realizados a conferência e o refinamento cartográfico. Na figura 02B, tem-se outro tipo de erro comum nas bases espaciais de hidrografia, como o exemplo da bacia do rio Mearim, representado pela desconexão de trechos de drenagem com o rio principal e demais afluentes, gerando trechos de drenagem descontínuos. Além disso, observa-se que em ambas as figuras há generalização da rede de drenagem, considerando-se a escala de trabalho 1:250.000.

Figura 2 - A) Erro de delimitação de bacia hidrográfica; B) Desconexão de rede de drenagem



Fonte: Adaptado do IBGE (2017)

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, e 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 de a 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 nesse trabalho serão apresentados conforme o sistema internacional de articulação de Folhas que fornece informações sobre a posição da área mapeada, padronizando as referências cartográficas.

Na área do Bioma Amazônico tem duas articulações de Folhas 1:250.000, divididas a cada 1° 30', conforme ilustrado nas figuras 03 e 04: (i) a articulação conforme o limite do Bioma Amazônico, definido pelo IBGE, contemplando dezesseis Folhas e; (ii) a articulação conforme o limite do Bioma Amazônico definido pela coordenação do ZEE Maranhão (IMESC, 2018), que agrega o limite municipal na alteração do Bioma Amazônico, contemplando dezoito Folhas.

Figura 3 - Articulação das Folhas do IBGE em escala 1:250.000

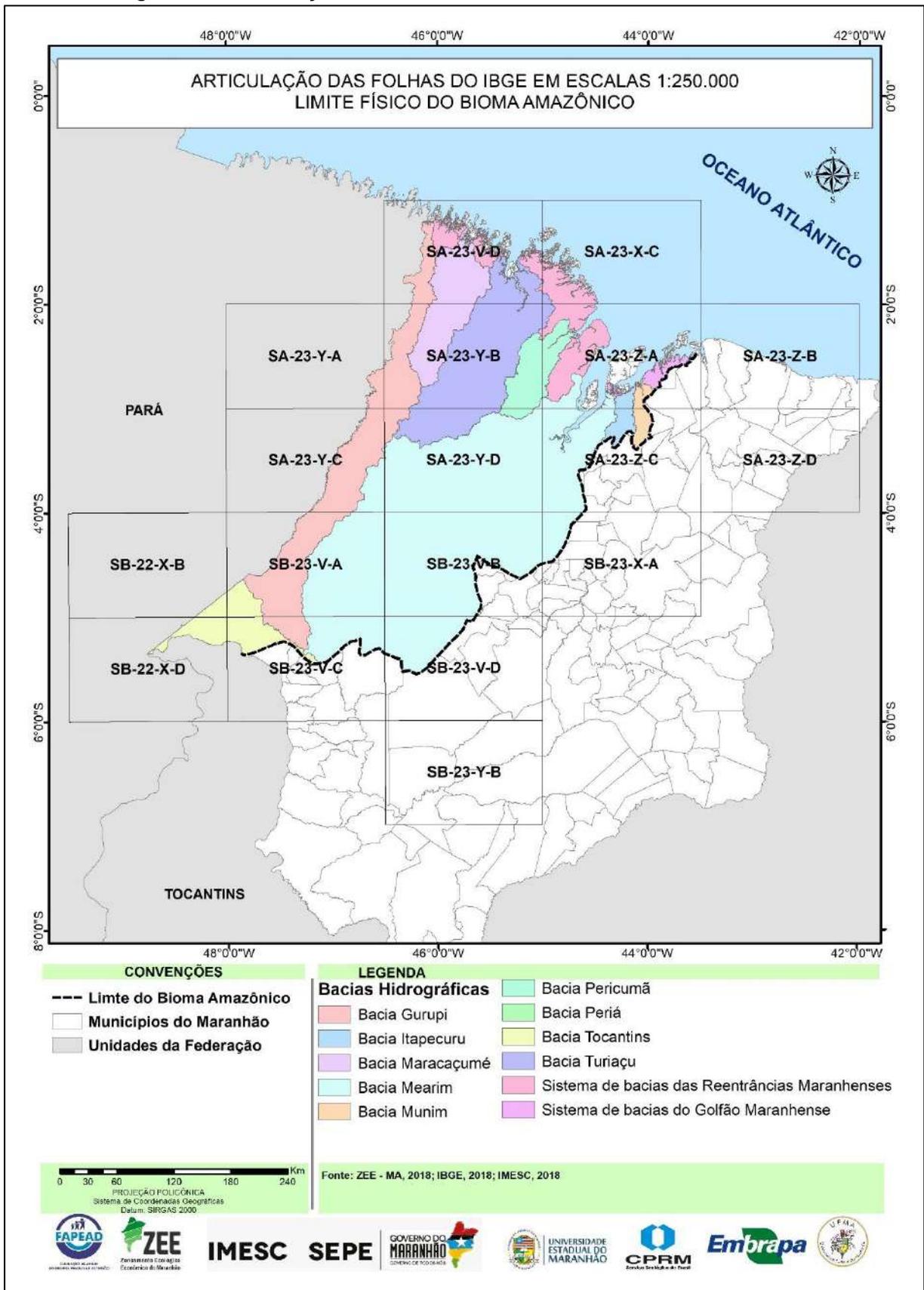
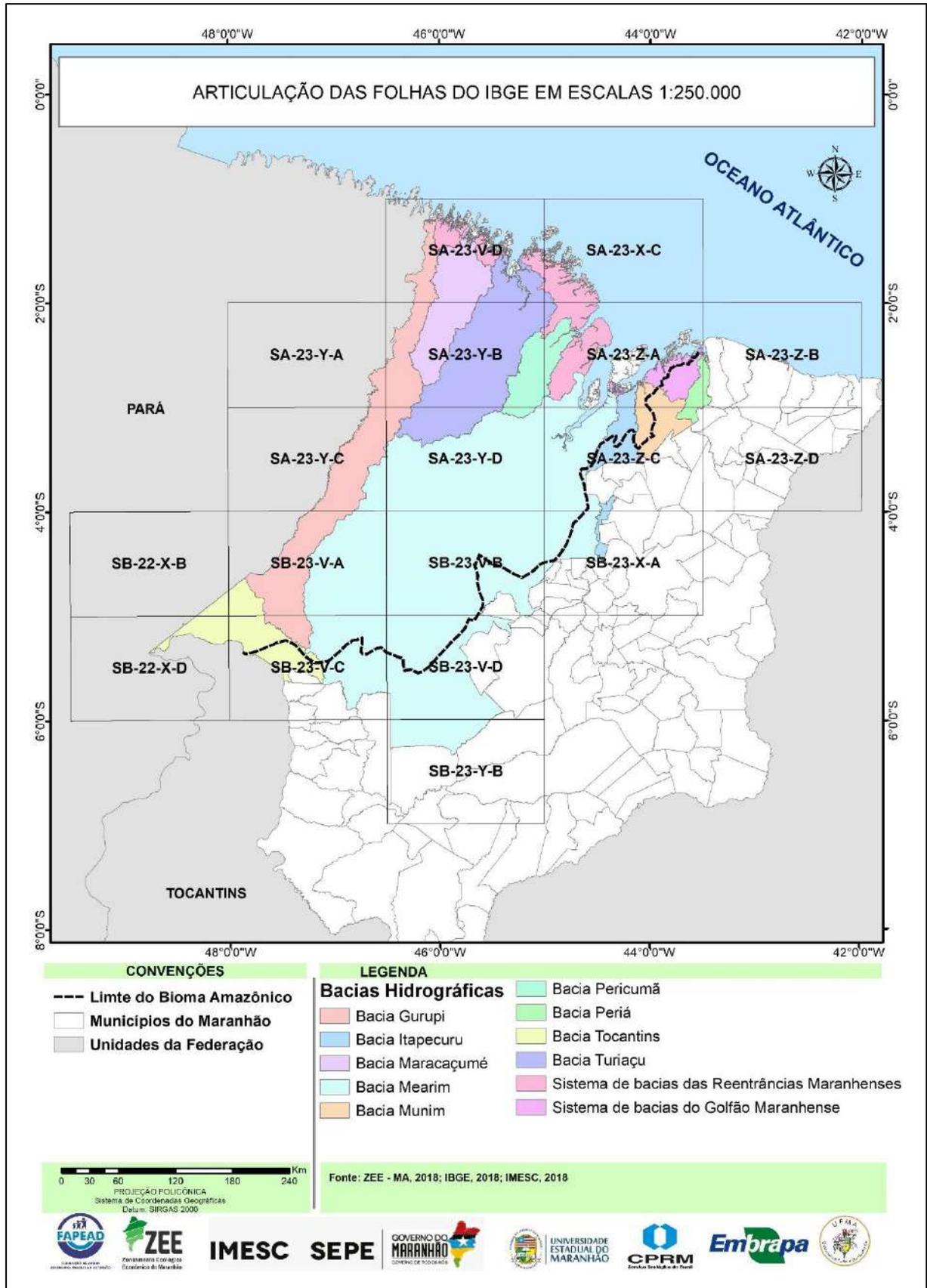


Figura 4 - Articulação das Folhas do IBGE em escala 1:250.000, considerando os limites de municípios na delimitação do Bioma Amazônico



2.2 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 Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), 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 e os planos de informação utilizados como referência 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, quais sejam:

- a) 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 e os limites das bacias hidrográficas.
- b) As imagens de satélite do sensor *Rapideye*, com resolução espacial de 5 metros, do Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente, 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 do bioma a partir do conjunto de cenas. Estes documentos auxiliaram na atualização das informações da rede drenagem e na verificação dos erros de vetorização dos trechos de drenagem da base original do IBGE.
- c) A base topográfica, referente às 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 e das massas de água.

2.3 Tratamento da informação espacial

O tratamento da informação espacial foi realizado a partir de ferramenta computacional comumente utilizada para o processamento de informações espaciais: o Sistema 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. Nesse sentido, foi adotado nesse trabalho, o sistema *ArcGIS 10.2* 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 (item 2.2), foi realizada a análise da base cartográfica, por meio do *ArcGIS 10.2*. No ambiente SIG, procedeu-se, inicialmente, à conversão de toda a base cartográfica para o sistema de coordenadas planas, Universal Transversa de Mercator (UTM), e para o referencial geodésico brasileiro, o datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) do ano de 2000. Além disso, foram georreferenciadas vinte e três cartas planialtimétricas e planimétricas, uma vez que nem todas as cartas foram disponibilizadas com referencial espacial. Após o procedimento de georreferenciamento foi gerado o mosaico das cartas planimétricas e o mosaico das cartas planialtimétricas da área do Bioma Amazônico.

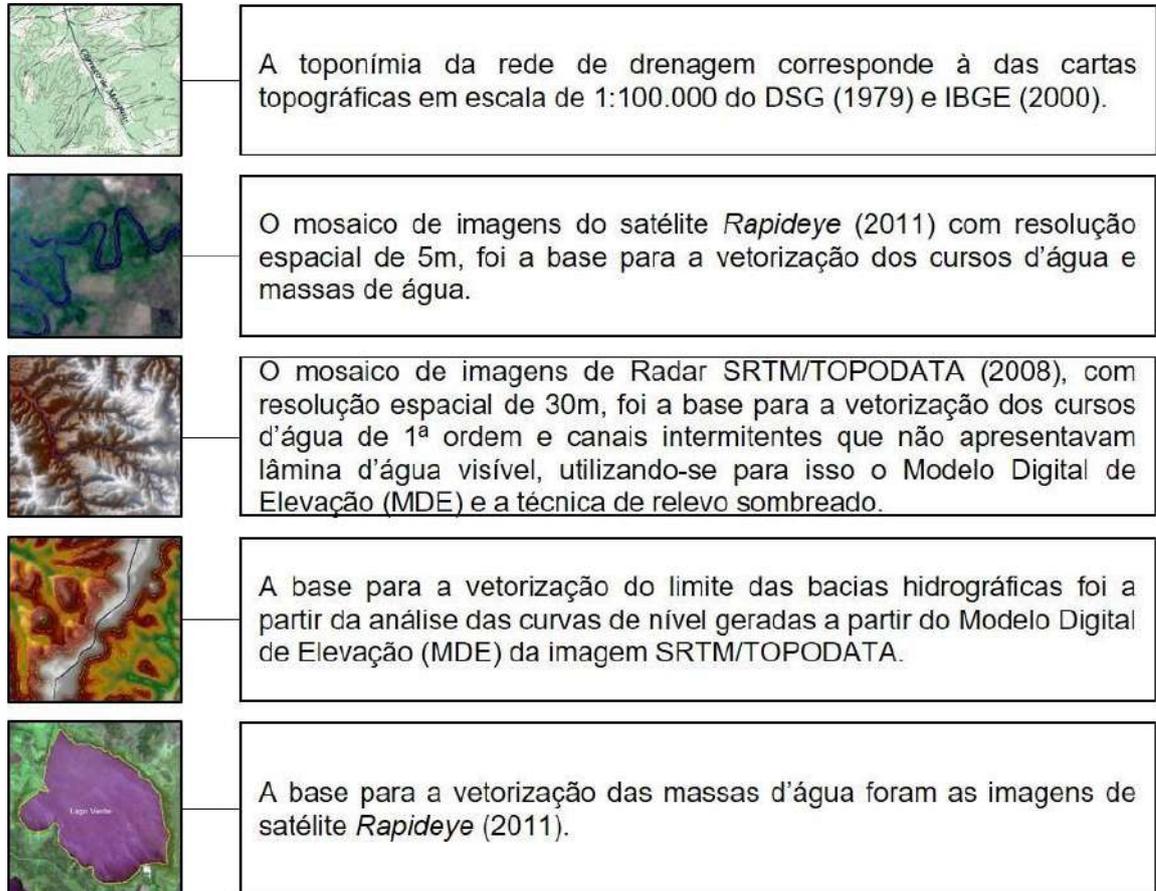
Posteriormente, fez-se o recorte da base cartográfica vetorial e matricial conforme o limite da área da Amazônia Maranhense. Os planos de informação (PIs) selecionados para esta etapa foram: trecho de drenagem, massa de água, curva de

nível, ponto cotado, limite de bacia hidrográfica e limite da Amazônia Maranhense provenientes do site do IBGE. 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.

Com a identificação dos erros, iniciou-se a construção de uma nova base hidrográfica, 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 é o de identificar as entidades representadas nas cartas topográficas digitalizadas ou representadas nas imagens de satélite e de radar (Figura 05) por conjuntos de pontos, e seguir essas feições transformando-as em linhas (vetores). Nesse trabalho, esse processo foi realizado de forma semiautomática, ou seja, uma vetorização assistida em que o sistema acompanha e vetoriza uma determinada linha que lhe foi indicada pelo operador. Logo, em caso de conflito no cruzamento ou conexão de vetores, cabe ao operador a decisão de edição.

A partir desse 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 do trecho de drenagem selecionado. A barra de comando *Snapping* permitiu a perfeita conexão de pontos e vértices da feição vetorizada.

Figura 5 - Produtos de referência para a vetorização e construção da nova base espacial hidrográfica



2.4 Morfometria

Uma vez que os cursos d'água constituem um dos principais agentes do processo de esculturação da paisagem, o estudo da relação da fisiografia da bacia e seu comportamento hidrológico permite compreender os processos fluviais e as formas resultantes (GUERRA; CUNHA, 1994). A análise quantitativa dos elementos resultantes do modelado do relevo de uma bacia hidrográfica é conhecida como morfometria fluvial. Trata-se de um método analítico que considera o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, sendo que os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos configuram a base para a determinação dos parâmetros morfométricos. Christofolletti (1980) evidencia que a drenagem se encontra especialmente vinculada, como fator analítico, a outro elemento fisiográfico e geomorfológico de grande importância: a erosão.

Nesse sentido, foram mensurados alguns parâmetros morfométricos para as bacias hidrográficas, tendo como elementos de análise, sua própria área, a rede de

drenagem e o arranjo das vertentes (relevo). Os principais atributos das bacias hidrográficas utilizados na composição dos parâmetros foram: área da bacia, comprimento dos trechos de drenagem, número de canais fluviais e altimetria. A técnica mais comum de derivação dos atributos e extração das características morfométricas de uma bacia hidrográfica, baseia-se em documentos cartográficos de maior precisão, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE), processados em ambiente digital, especificamente em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Dentro dessa perspectiva, esse trabalho fundamenta-se também nas características morfométricas da bacia hidrográfica para a composição da análise hidrográfica/hidrológica do ZEE do Bioma Amazônico. Para isso, a aplicação de novas metodologias na extração dos atributos e cálculo dos parâmetros, a partir dos MDEs, permite a aferição de melhores resultados nas análises morfológicas. Estas análises foram processadas nas principais bacias que compõem a área de estudo – as bacias dos rios Tocantins, Gurupi, Maracaçumé, Pindaré, Mearim, Turiaçu e Pericumã.

Para a geração dos parâmetros morfométricos, partiu-se inicialmente da preparação da base cartográfica regional. Os dados topográficos digitais utilizados correspondem aos modelos digitais de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) refinados pelo Projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Valeriano & Rossetti, 2012). Para cobertura da área foram necessárias sete cenas compatíveis com a escala de 1:250.000, que foram reunidas em um mosaico. Os dados foram obtidos no site do projeto (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>). Além disso, foi utilizada a base hidrográfica vetorizada na escala 1:250.000.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são representações digitais da superfície terrestre. Esses modelos correspondem a arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, em que cada pixel possui um valor de elevação (VALERIANO; ROSSETI, 2012). Além de facilitar a visualização de feições do terreno, esses modelos permitem manipular a exibição da topografia de modo a enfatizar determinado elemento da paisagem, como canais, vales e interflúvios.

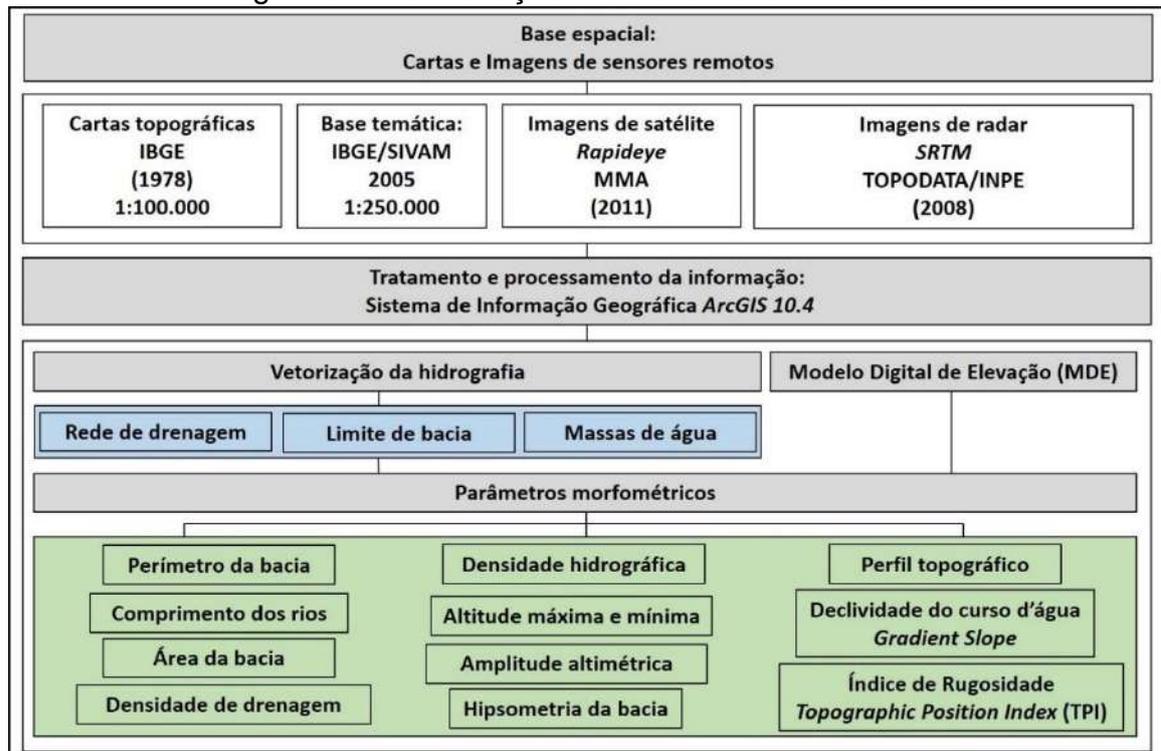
A manipulação e a análise dos MDEs foram realizadas no *software ArcGIS 10.2*. Este *software* permite uma visão de conjunto do relevo e de suas diferenciações regionais. A possibilidade de manusear as cores de forma a realçar

determinados padrões altimétricos é uma importante ferramenta oferecida para a exibição dos MDEs em SIGs. Além disso, a visualização do relevo em três dimensões possibilita a identificação de feições não ressaltadas em representações bidimensionais.

Contudo, cabe ressaltar, que o exercício de representação de grandes extensões territoriais remete à síntese, seleção e hierarquização dos fenômenos espaciais e possibilita a integração de conhecimentos em diversas escalas. Portanto, a partir da geração de diversos parâmetros morfométricos, foram selecionados àqueles mais representativos do ponto de vista da distinção de processos/formas de relevo que influenciam a dinâmica fluvial. Além disso, destaca-se que nem todos os parâmetros foram aplicados a todas as bacias do bioma Amazônico, uma vez que a representatividade espacial dessas bacias varia em extensão territorial, além de inserir-se integralmente ou parcialmente dentro da área de estudo. Outro aspecto importante associado aos parâmetros é a análise de forma integrada com os dados temáticos referentes à geomorfologia, formações litológicas e ao arcabouço estrutural.

No Fluxograma 1 e na Tabela 1, são apresentados os produtos utilizados e os parâmetros que foram gerados para a análise das bacias hidrográficas, dentre os quais: área da bacia; comprimento de canais; perímetro; altitude máxima, média e mínima; amplitude altimétrica; perfis longitudinais; declividade; *Topographic Position Index* (TPI) ou Índice de Rugosidade; densidade de drenagem e; densidade hidrográfica ou frequência de canais.

Fluxograma 1 - Construção dos Parâmetros Morfométricos



Fonte: Elaboração própria (2019)

Tabela 1 -Parâmetros morfométricos das Bacias Hidrográficas

Parâmetro (Fonte)	Fórmula	Unidade	Descrição
Área da bacia	-	km ²	A: área da bacia obtida por meio de cálculo no ArcMap/ArcGIS
Perímetro da bacia	-	km	P: extensão do contorno da bacia
Comprimento dos rios	-	km	Lt: comprimento dos canais obtido por meio de cálculo no ArcMap/ArcGIS
Densidade de Drenagem (DD) (Horton, 1945; Jakob, 1996)	DD= Lt/A	km/km ²	Lt: comprimento dos canais; A: área da bacia.
Densidade Hidrográfica ou Frequência de rios	DH=Nc/A	Número de canais por km ²	DH: representa a relação entre o número de cursos d'água e a área da bacia.
Altitude mínima e altitude máxima	-		Parâmetro obtido a partir de análise do Modelo Digital de Elevação (MDE)
Amplitude Altimétrica (AA) (Jakob, 1996; Zhang et al., 2015)	AA: Hmax Hmin	m	Hmax: elevação máxima; Hmin: elevação mínima.
Perfil Topográfico (Christofoletti, 1980; Vieira et al., (1997).	-	m/km	Parâmetro obtido a partir de perfis longitudinais em seções do rio principal.

Declividade do curso d'água (<i>Gradient Slope</i>)	-	m/km	Parâmetro obtido a partir de perfis longitudinais no rio principal da bacia.
Declividade (<i>Slope</i>)	-	%	Declividade média da bacia obtida a partir de análise espacial do MDE.
Índice de Rugosidade (TPI) (<i>Topographic Position Index</i>) (Jenness, 2004; Rilly, 1999)	-	Adimensional	TPI: Índice gerado a partir de análise espacial do MDE.

Fonte: Elaboração própria (2019)

Os valores de referência (Tabela 2) utilizados para avaliação da densidade de drenagem correspondem à classificação de Beltrame (1994).

Tabela 2 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia

Dd(km/km²)	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01 – 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Fonte: Beltrame (1994).

Os valores de referência (Tabela 3) utilizados para a classificação do relevo das bacias hidrográficas, a partir da declividade, correspondem à proposta de Ramalho Filho e Beek (1995).

Tabela 3 - Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano/praticamente plano
3-8	Suave ondulado
8-13	Moderadamente ondulado
13-20	Ondulado
20-45	Fortemente ondulado
>45	Montanhoso

Fonte: Ramalho Filho; Beek 1995, p. 54

2.5 Base de dados hidrológicos

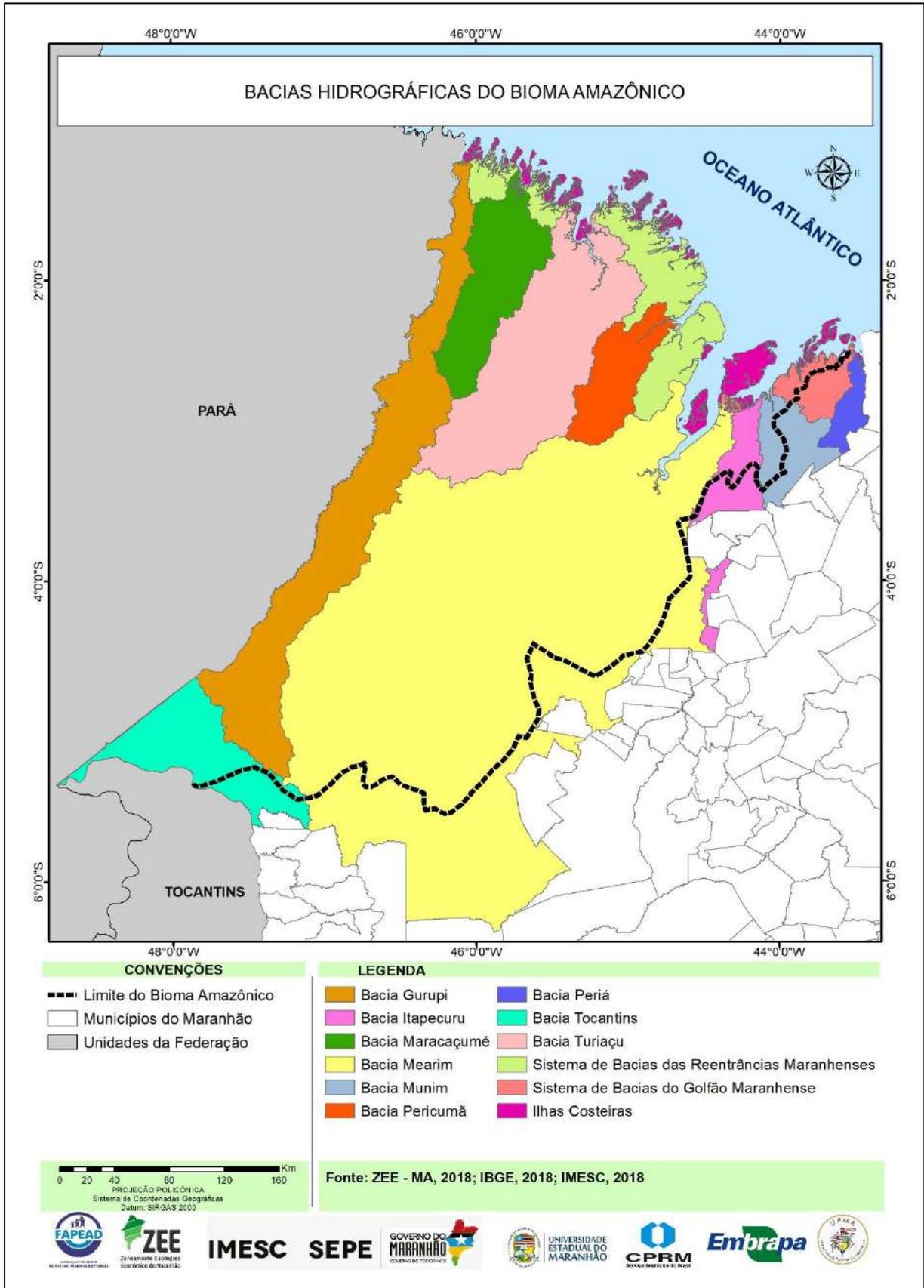
Os dados hidrológicos foram adquiridos na ANA e no SNIRH e correspondem aos dados das estações fluviométricas operadas pela ANA e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), disponíveis no portal Hidroweb. Nesse trabalho, foram utilizados os dados de vazão (m³/s) das estações monitoradas nos principais rios do Bioma Amazônico.

Outro dado utilizado da ANA, refere-se à estimativa da vazão de água retirada e destinada a atender os diversos usos consuntivos, entre eles: urbano, rural, criação de animais, industrial e irrigação. As demandas foram estimadas com base nas informações secundárias de processos de outorga de uso dos recursos hídricos estaduais e federais, até o ano de 2014, e; dados populacionais, segundo estimativa do IBGE para o ano de 2013 (ANA, 2018).

3 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BIOMA AMAZÔNICO

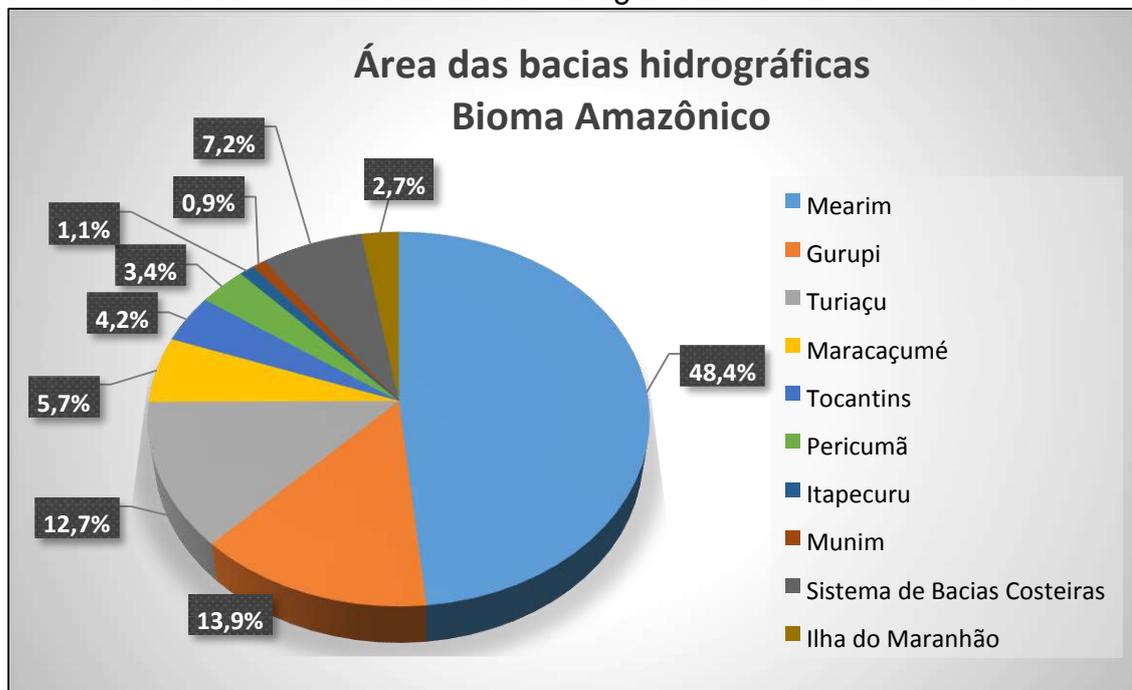
O Bioma Amazônico compreende oito bacias hidrográficas – Mearim, Gurupi, Turiçu, Maracaçumé, Pericumã, Tocantins, Itapecuru e Munim – dois sistemas de bacias costeiras – o Sistema de Bacias das Reentrâncias Maranhenses e o Sistema de Bacias do Golfão Maranhense – e as bacias da Ilha do Maranhão (Figura 06). As bacias encontram-se conectadas geograficamente com os estados do Pará e Tocantins.

Figura 6 - Bacias hidrográficas do Bioma Amazônico



As bacias hidrográficas ocupam áreas heterogêneas no território do bioma (Gráfico 1). A bacia do rio do Mearim representa a bacia com maior área (48,4%), seguida das bacias do rio Gurupi (13,9%) e Turiaçu (12,7%), totalizando 74,9% da área do bioma. As demais bacias representam 25,1% da área total, variando entre 0,9% e 7,2%. Algumas delas possuem papel estratégico na produção de água da Amazônia Maranhense, pois suas nascentes encontram-se geograficamente localizadas no bioma, como as bacias dos rios Mearim, Turiaçu, Pericumã, Maracaçumé, os sistemas de bacias costeiras e as bacias da Ilha do Maranhão. Por outro lado, as bacias dos rios Gurupi e médio Tocantins, adentram os limites de outros estados, distribuindo água para outros territórios.

Gráfico 1 - Área das bacias hidrográficas no Bioma Amazônico

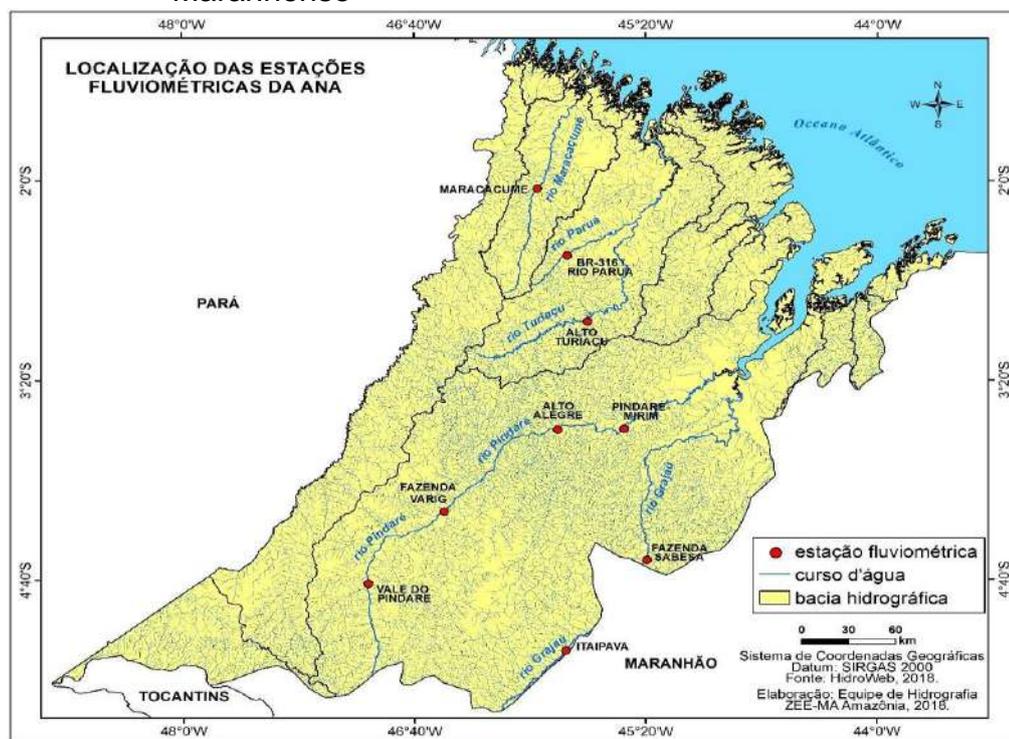


Fonte: Fonte: Elaboração própria (2018)

O monitoramento hidrológico dos recursos hídricos superficiais das bacias da Amazônia Maranhense é realizado pela Agência Nacional de Águas, que possui uma extensa rede de estações fluviométricas em todo o território nacional. As estações medem o nível da água, a velocidade e a vazão referente a uma seção do rio. As informações coletadas por meio dessa rede são disponibilizadas pelo portal *Hidroweb*, uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH); e monitoradas pela ANA e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A distribuição geográfica das estações fluviométricas nas bacias hidrográficas da Amazônia Maranhense é heterogênea. No total, são nove estações nos rios principais (Figura 7), sendo que a bacia do rio Mearim apresenta a maior densidade (seis estações), seguida da bacia do rio Turiaçu (duas estações) e da bacia do rio Maracaçumé (uma estação). A média da extensão da série histórica de dados hidrológicos das estações fluviométricas tem representatividade variada para as bacias: 20,5 anos, para a bacia do rio Mearim; 37 anos para a bacia do rio Turiaçu e; 42 anos para a bacia do rio Maracaçumé.

Figura 7 - Estações fluviométricas dos rios principais da Amazônia Maranhense



Fonte: Elaboração própria (2019)

3.1 Bacia do rio Mearim

A bacia do rio Mearim representa a maior bacia do bioma Amazônico com perímetro de 1.449,4km e área equivalente a 55.072,5km², correspondendo a 48,4% do território do bioma. O rio Mearim nasce no centro-sul do Maranhão, no município de Formosa de Serra Negra, dentro do Bioma Cerrado, contudo a maior parte do território da bacia encontra-se no Bioma Amazônico. O rio Mearim percorre cerca de 540km – com maior trecho inserido na Amazônia Maranhense – e deságua na Baía de São Marcos, próximo à ilha do Maranhão. Ao todo, a bacia possui 8.182 trechos de drenagem (Figura 08), totalizando 28.266,7km de extensão de cursos de água.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem mediana ($0,51 \text{ km/km}^2$), segundo classificação de Beltrame (1994), porém uma das maiores do bioma, indicando maior tendência à erodibilidade do terreno. Com relação à densidade hidrográfica, a bacia apresenta $0,15 \text{ Nc}^1/\text{km}^2$, parâmetro cujo valor se aproxima das demais bacias. Na Figura 09, são apresentados os dados altimétricos da bacia do Mearim. A altitude mínima corresponde a 0m e a altitude máxima a 465m. A altitude média é de 134,7m. No alto e médio curso do rio predominam as maiores altitudes, onde se destacam grandes chapadas, que são os divisores hidrográficos dos afluentes Zutiua e Pindaré e, pequenos platôs, na margem direita do rio.

Os perfis longitudinais representam quatro seções do alto, médio e baixo curso da bacia (Figuras 10,11,12 e 13). Os perfis evidenciam a variação da profundidade do leito fluvial ao longo do seu percurso e o volume de relevo da bacia. Na seção A-B (Figura 10), tem-se o perfil do alto curso do rio Pindaré, o principal afluente do rio Mearim que nasce num domínio de chapadas. A diferença altimétrica entre topo-leito fluvial atinge cerca de 210m, com rio principal na altitude de 135m. Embora a seção do rio esteja na cabeceira, observa-se evolução da drenagem, uma vez que o vale fluvial se apresenta aberto (1,8km de largura). Os dados hidrológicos (Gráfico 03), dessa área, mostram que a vazão no alto curso do rio Pindaré aumentou nas últimas décadas, atingindo em 2014, cerca de $38 \text{ m}^3/\text{s}$.

Na seção C-D (Figura 11), situada no médio curso, a diferença topo-leito assemelha-se a do alto curso, mostrando que o vale fluvial mantém as características e poder erosivo no processo de dissecação da superfície. Contudo, os afluentes apresentam vales encaixados, com vertentes simétricas, formando vales em V. Ao contrário da seção A-B, onde se observa um grau de preservação dos topos planos, capeados por couraças lateríticas que desaceleram o processo de entalhamento da drenagem. O rio encontra-se na altitude de 55m em relação ao nível do mar e com desnível em relação à seção do alto curso de 80m.

No baixo curso (seção E-F; Figura 12), a diferença altimétrica entre topo-leito fluvial é de 20m, com predominância de relevo plano. Neste trecho, distingue-se o sistema flúvio-lacustre da planície de inundação do rio Mearim, com vale fluvial de 5km de largura.

¹ Nc/km: número de trechos de canais ou trechos de drenagem por área da bacia em km^2 .

Figura 8 - Rede hidrográfica da bacia do rio Mearim na escala 1:250.000

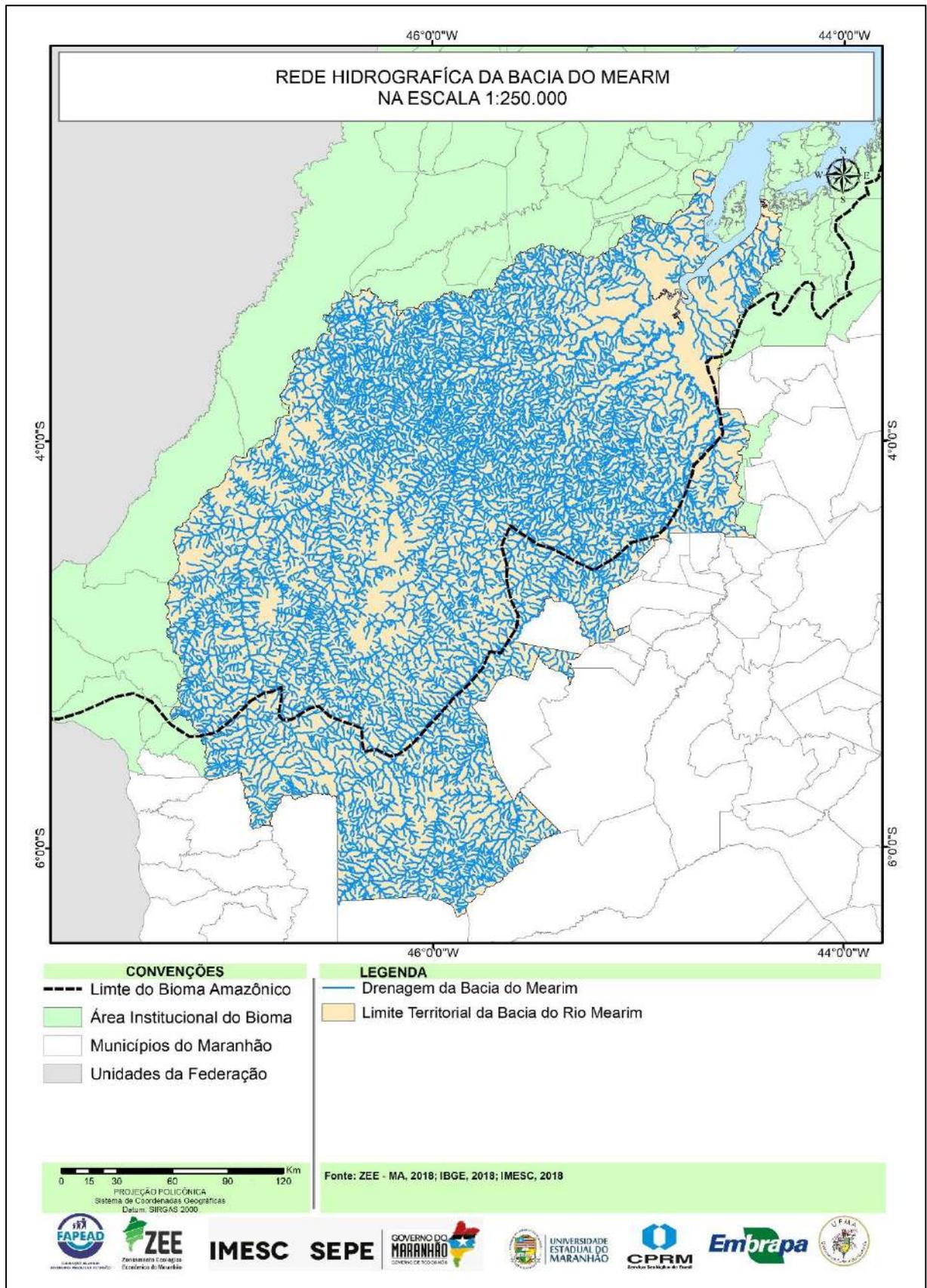


Figura 9 - Dados altimétricos da bacia do rio Mearim

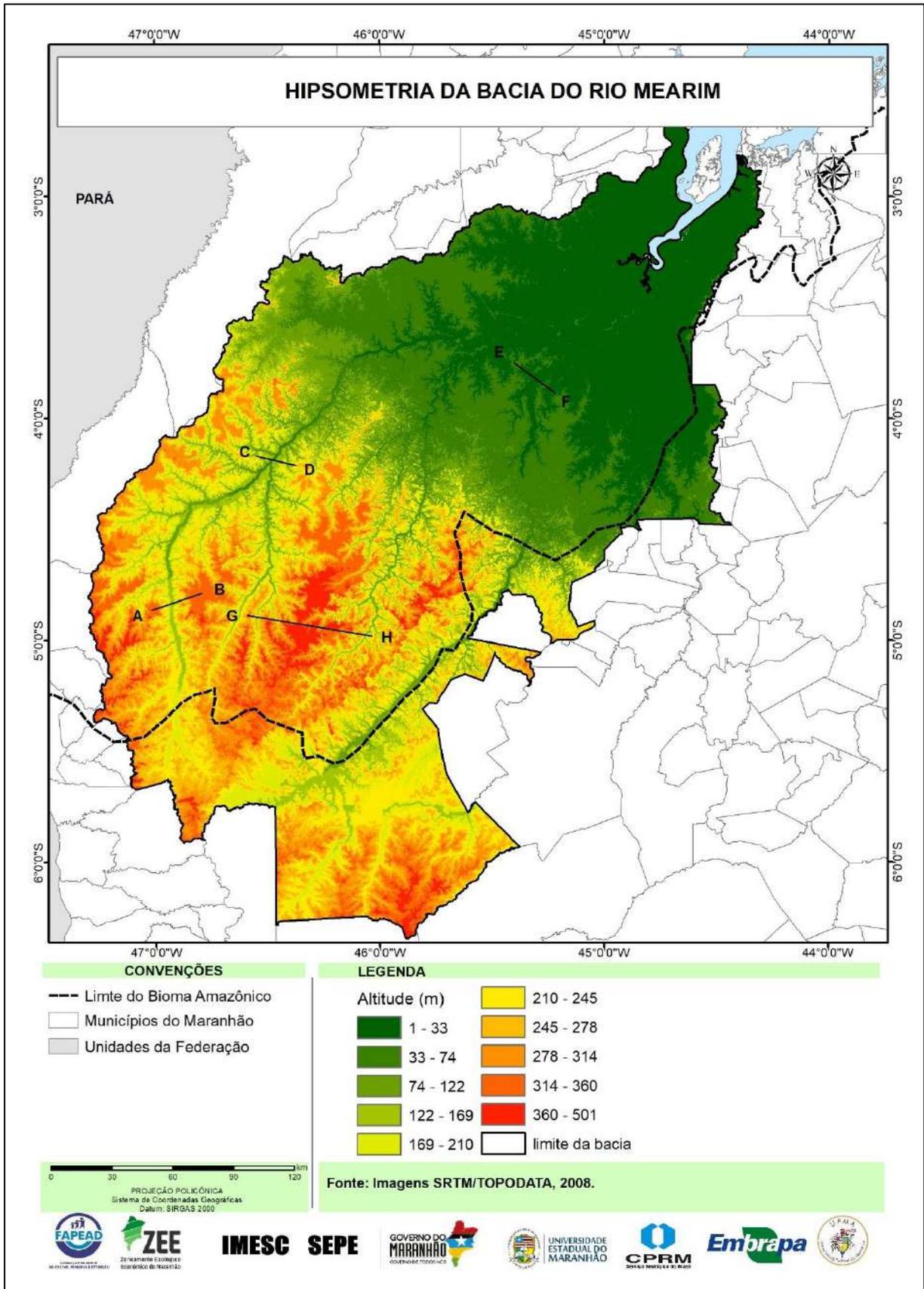
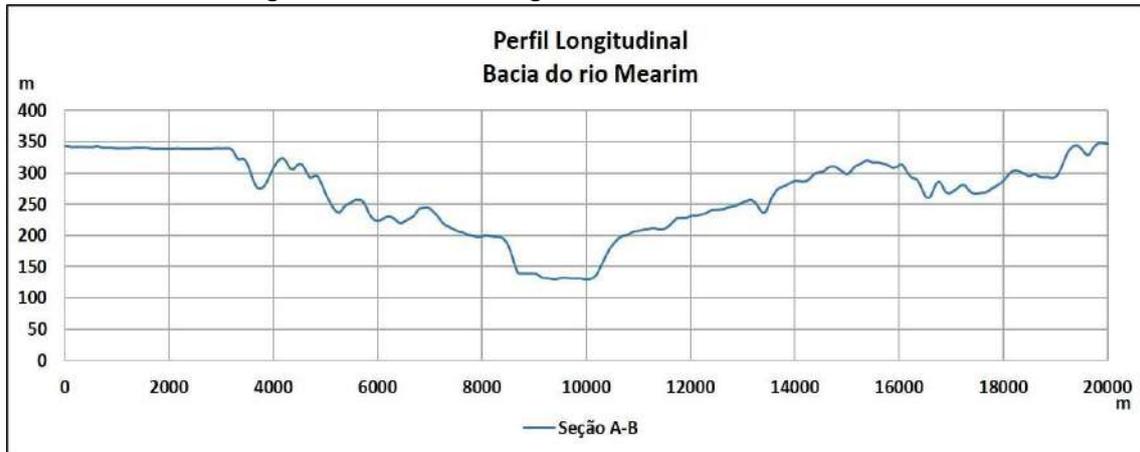
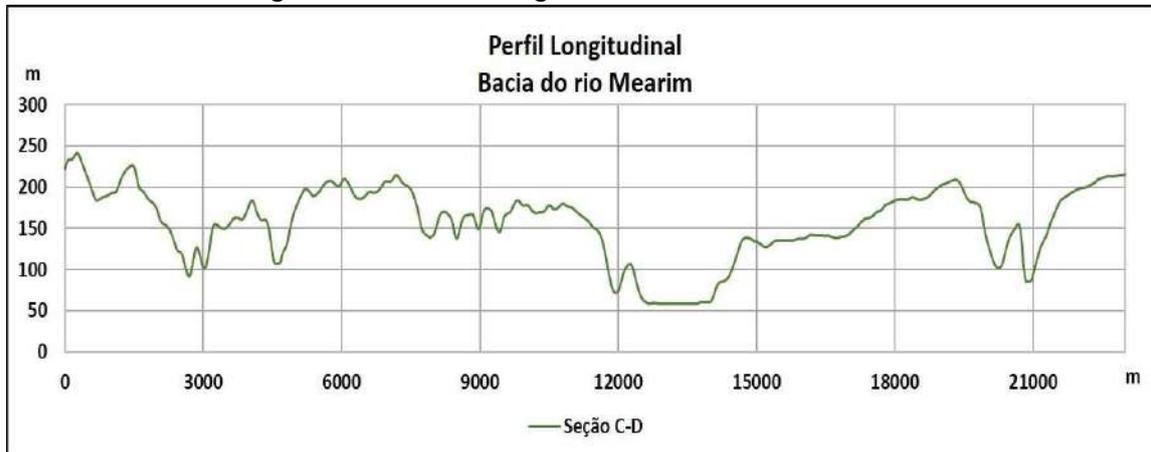


Figura 10 - Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim



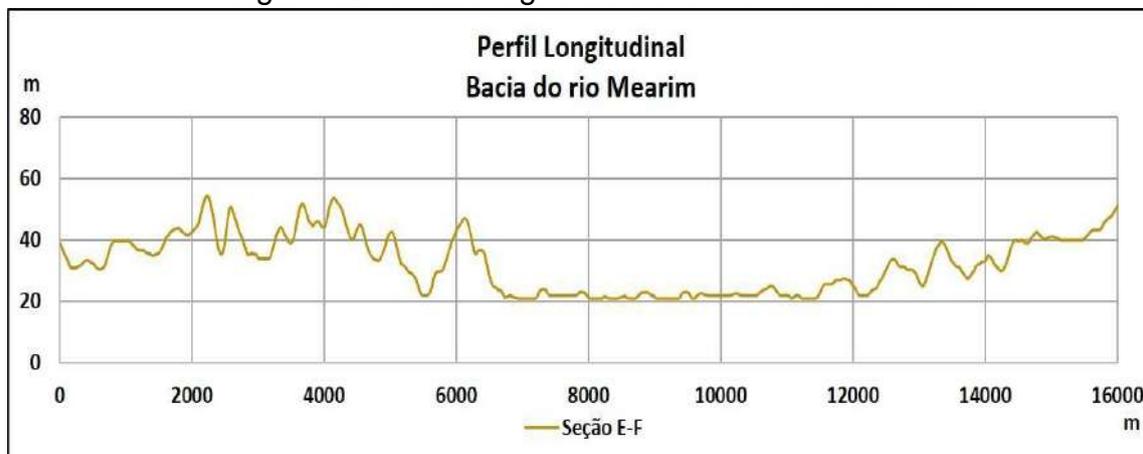
Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 11 - Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 12 - Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 13 - Perfil longitudinal da bacia do rio Mearim



Fonte: Elaboração própria (2019)

A seção G-H (Figura 13), corresponde à parte sudoeste do alto curso da bacia, nas cabeceiras dos rios Buriticupu e Zutiua. O perfil ressalta a presença de vales encaixados, porém em área com maior volume de relevo da bacia. Observa-se que os vales são em forma de V, com largura estreita e vertentes quase verticais, enquanto na seção A-B, embora também no alto curso, o vale do rio principal já se apresenta mais aberto com menor grau de entalhe dos afluentes. Essas características do padrão dos canais mostram que, provavelmente, os rios da porção sudoeste apresentam maior vigor erosivo. A partir da análise das quatro seções, no geral, entende-se que o rio apresenta suavidade em relação ao seu gradiente de inclinação total.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da declividade para a bacia do rio Mearim. A média de declividade da bacia é de 4,8%, sendo que a declividade máxima atinge 49,3%. O relevo da bacia classifica-se principalmente como plano a suave ondulado. Destaca-se no baixo curso, o relevo plano (0-3%), enquanto no médio curso, à margem direita, concentra-se a maior declividade da bacia (acima de 20%). Nesta área, destaca-se a litologia mais preservada das coberturas lateríticoferruginosas da Província Bauxitífera de Paragominas, responsável pela manutenção de pequenos platôs, onde se associam as maiores declividades da bacia.

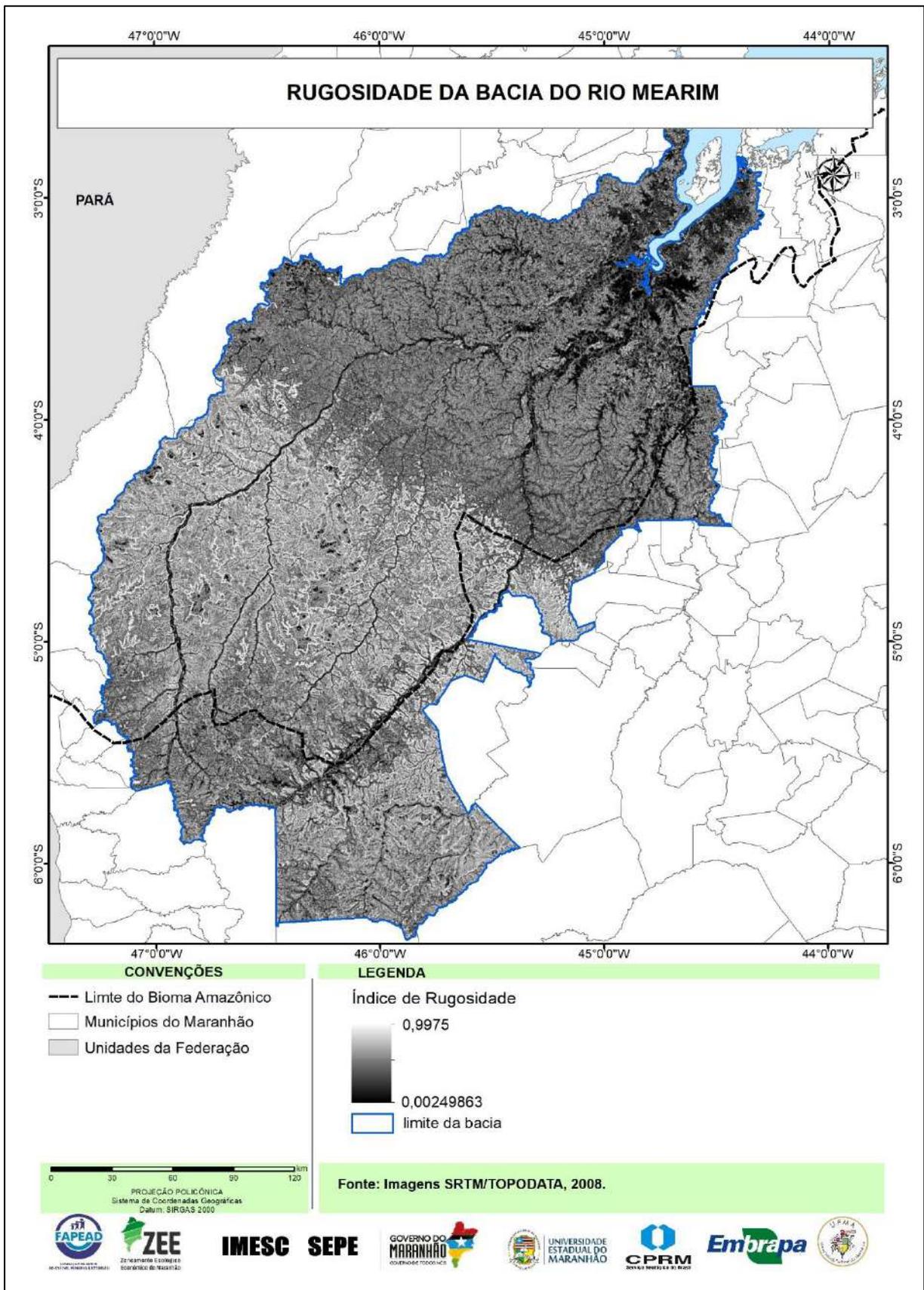
Tabela 4 -Resultados da Declividade na bacia do Mearim

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	27,2	Plano/praticamente plano
3-8	35,7	Suave ondulado
8 - 13	13,6	Moderadamente ondulado
13 - 20	10,2	Ondulado
20-45	12,3	Fortemente ondulado
>45	1,08	Montanhoso

Fonte: Elaboração própria (2019)

O índice de rugosidade médio da bacia foi de 0,42, individualizando três grandes unidades morfométricas (Figura 14). O primeiro compartimento corresponde às áreas próximas ao leito principal do rio Mearim no baixo curso da bacia, onde predomina o relevo plano e menos rugoso do sistema lacustre. O segundo compartimento corresponde à parte do médio curso do rio que apresenta as áreas com maior rugosidade coincidentes com as escarpas das chapadas e platôs. Nesta unidade, a diferença altimétrica é maior em relação ao baixo curso.

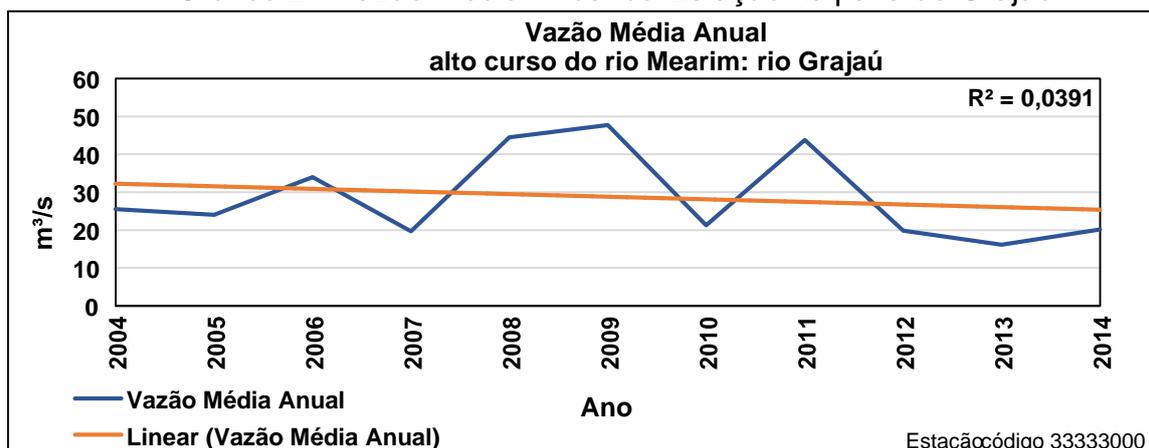
Figura 14 - Rugosidade da Bacia do rio Mearim



A terceira unidade corresponde ao alto e parte do médio curso do Mearim, onde se concentram as maiores diferenças altimétricas e, portanto, maior rugosidade do terreno. Estas características evidenciam o poder erosivo dos rios no alto e médio curso da bacia. A análise conjunta dos parâmetros declividade e índice de rugosidade aponta para o médio curso, em especial à margem direita do rio Pindaré, como área com maior potencial à erosão.

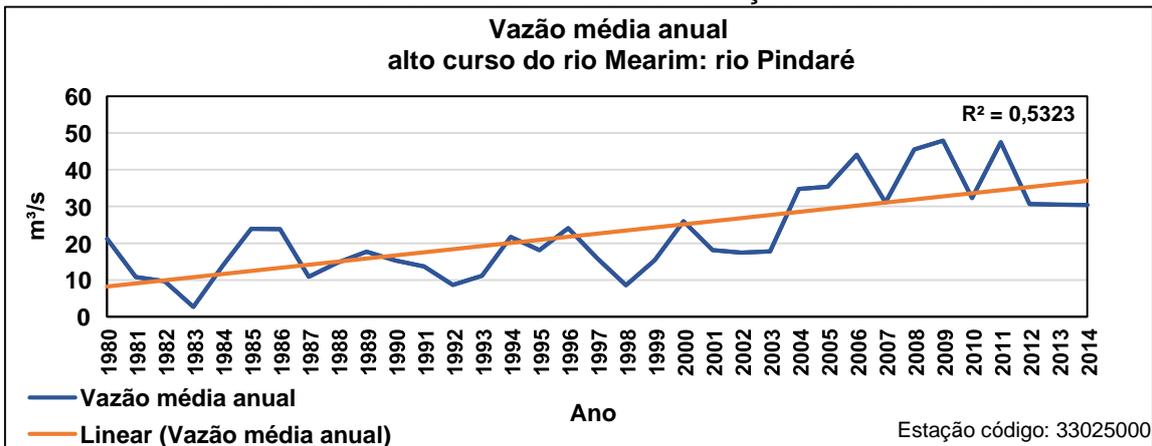
Com relação aos dados hidrológicos, os gráficos 2 a 7 mostram a dinâmica das vazões dos rios da bacia do Mearim ao longo dos anos. No alto curso do rio Mearim (Gráfico 2), na estação do rio Grajaú, a vazão média em dez anos é de $28,8\text{m}^3/\text{s}$. Os dados hidrológicos, desta estação, mostram que neste período a vazão do rio diminuiu de $32\text{m}^3/\text{s}$ para $26\text{m}^3/\text{s}$, com decréscimo de $6\text{m}^3/\text{s}$, no alto curso. Contudo, na estação do rio Pindaré (Gráfico 3), seu principal afluente, a vazão média em trinta e cinco anos é de $22,6\text{m}^3/\text{s}$. Os dados mostram que nesse período a vazão aumentou cerca de $27\text{m}^3/\text{s}$, o que provavelmente pode ser explicado pela presença de extensas áreas de floresta protegida que correspondem aos territórios indígenas. Observa-se que mesmo com a presença de áreas agrícolas no alto curso da bacia do rio Pindaré, essas intervenções antrópicas, de certa forma, ainda não provocaram mudanças significativas na vazão do rio nesse trecho da bacia.

Gráfico 2 - Vazão Média Anual da Estação Itaipava do Grajaú



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

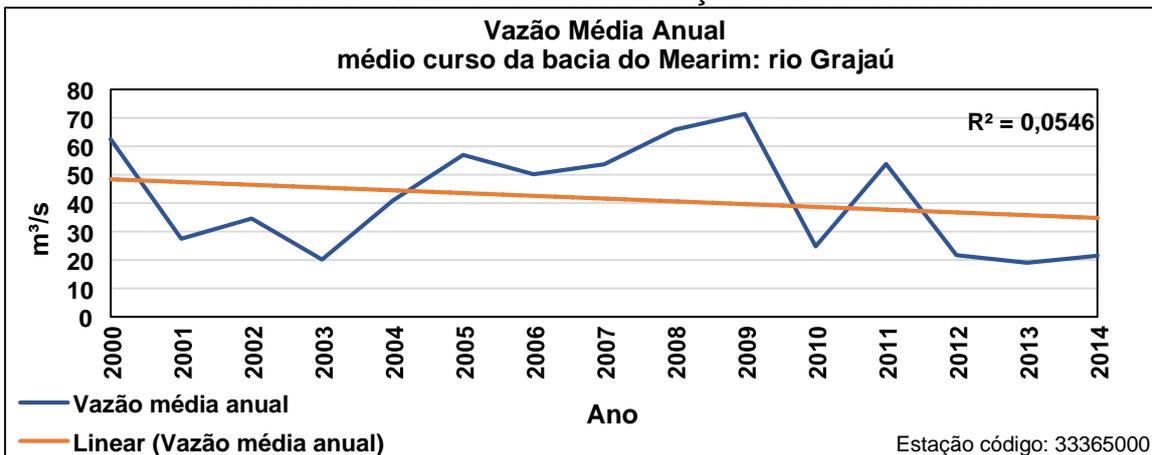
Gráfico 3 - Vazão Média Anual da Estação Vale do Pindaré



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

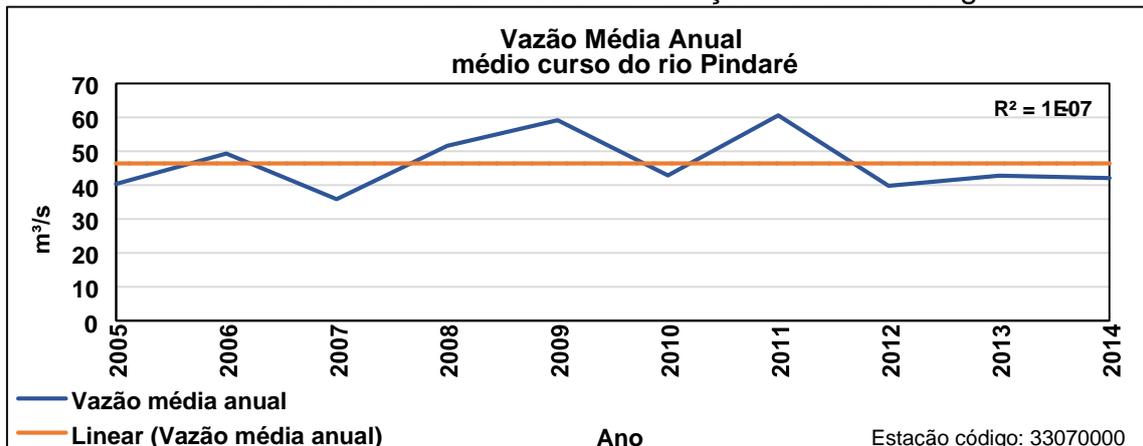
No médio curso da bacia do Mearim, verifica-se que as vazões médias anuais são maiores, porém com decréscimo nos rios Grajaú e Pindaré. Na estação do médio curso do rio Grajaú (Gráfico 04), há uma vazão média de $41,6 m^3/s$, porém um decréscimo de $14 m^3/s$, em quinze anos. Na estação do rio Pindaré (Gráfico 05), que dista 82km da estação do alto curso, onde observou-se o aumento de vazão, há vazão média de $46,4 m^3/s$. Nos últimos dez anos, observa-se que a vazão manteve-se semelhante nesta estação de monitoramento.

Gráfico 4 - Vazão Média da Estação Fazenda Sabesa



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

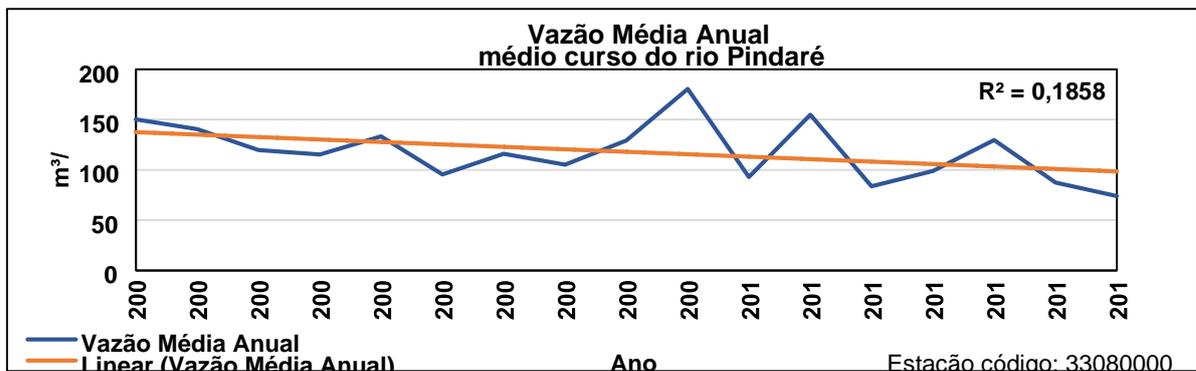
Gráfico 5 - Vazão Média da Estação Fazenda Varig



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

Na transição do médio para o baixo curso do rio Mearim (Gráfico 06), os dados monitorados na estação Alto Alegre mostram que a vazão média em dez anos foi de 117,9m³/s, porém com decréscimo de 19m³/s. Mesmo com maior área drenada e, portanto, maior vazão em relação aos dados das demais estações do alto e médio, observa-se que provavelmente as intervenções antrópicas, como desmatamento e incremento de áreas agrícolas na bacia, têm provocado alterações na dinâmica fluvial.

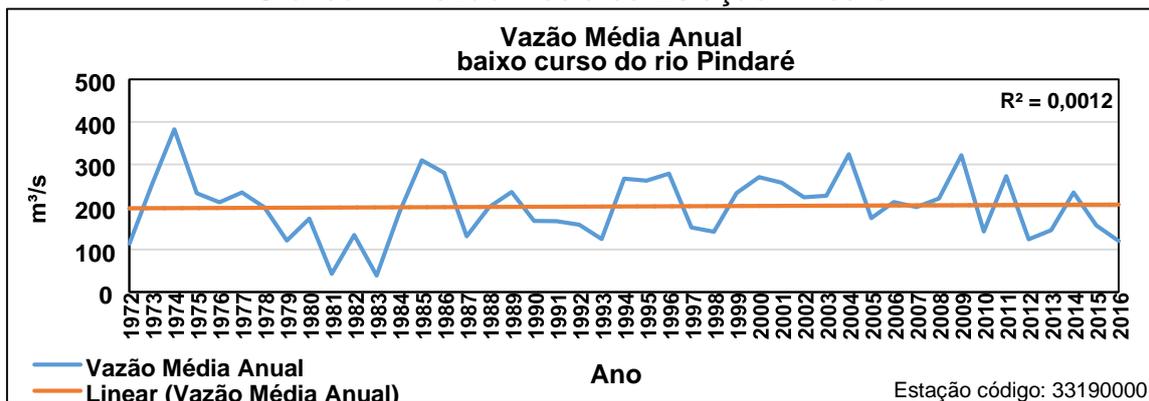
Gráfico 6 - Vazão Média da Estação Alto Alegre



Fonte: Agência Nacional de Águas

No baixo curso (Gráfico 7), a vazão média atinge, em quarenta e cinco anos, 201,3m³/s, mantendo-se relativamente semelhante neste período. Destaca-se que essa área da bacia corresponde à planície flúvio-lacustre do rio, com agrupamento de lagoas, que correspondem a meandros abandonados do rio e ampla área sujeita a inundação.

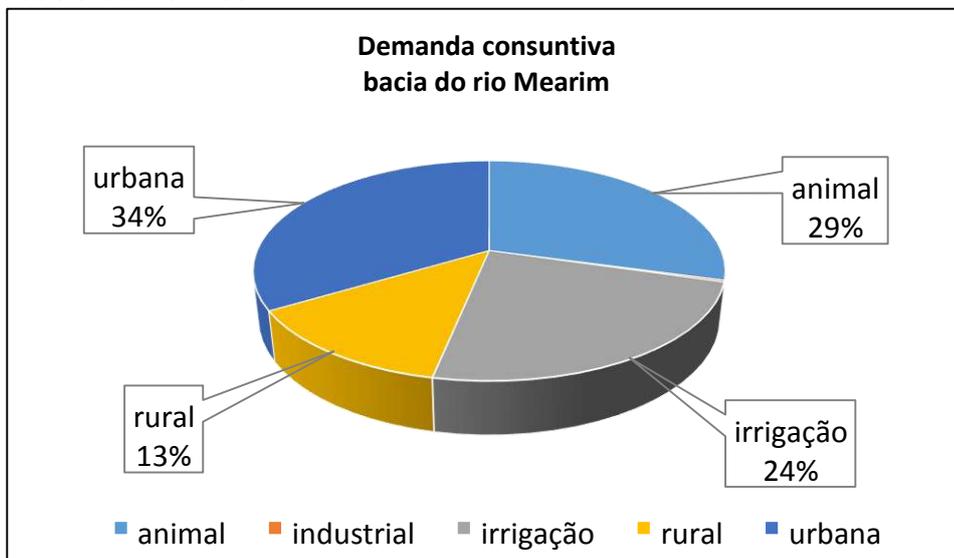
Gráfico 7 - Vazão Média da Estação Pindaré Mirim



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Mearim (Gráfico 08) concentra-se, principalmente, no consumo urbano (34%), seguida da demanda para consumo animal (29%) e para irrigação (24%).

Gráfico 8 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Mearim



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013/2014)

3.2 Bacia do rio Gurupi

A bacia do rio Gurupi representa a segunda maior bacia do bioma Amazônico com perímetro de 1.660,4km e área equivalente a 15.761,7km², correspondendo a 13,9% do território do bioma. Ao todo, a bacia possui 1.846 trechos de drenagem (Figura 15), totalizando 7.019,9km de extensão de cursos de água. A bacia estende-

se da porção nordeste a sudoeste, configurando-se de forma alongada e estreita, com cabeceiras nos municípios maranhenses de São Francisco do Brejão e Açailândia. A bacia do Gurupi é uma das bacias federais que fazem parte do bioma, sendo que a área correspondente à margem direita do rio principal faz parte do território maranhense, enquanto a margem esquerda insere-se no estado do Pará.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem baixa ($0,45\text{km}/\text{km}^2$) e frequência de canais de $0,12\text{ Nc}/\text{km}^2$. Na Figura 16, são apresentados os dados altimétricos da bacia do Gurupi. A altitude mínima corresponde a 0m e a altitude máxima a 455m . A altitude média é de $156,1\text{m}$. No alto curso do rio predominam as maiores altitudes, onde se destacam grandes chapadas, que são os divisores hidrográficos dos afluentes do rio Açailândia.

O perfil longitudinal da bacia, representa uma seção do alto curso (Figura 17), na sub-bacia do rio Açailândia. O perfil evidencia o relevo de chapadas (350m) do alto curso, com predominância de vales em forma de V, com menor grau de entalhe em relação aos afluentes da bacia do rio Mearim. A diferença altimétrica entre topo-leito fluvial, atinge cerca de 200m , com rio principal na altitude de 145m .

A declividade média da bacia do Gurupi é de $3,4\%$ (Tabela 05), sendo que a declividade máxima atinge $42,1\%$. O relevo da bacia classifica-se principalmente como plano a suave ondulado ($73,9\%$). O índice de rugosidade médio da bacia (Figura 18) é $0,43$. Na bacia, distinguem-se três grandes unidades morfométricas com rugosidade diferenciada. O primeiro compartimento corresponde às áreas próximas à foz do rio Gurupi, no baixo curso da bacia, onde predomina o relevo plano e menos rugoso. O segundo compartimento corresponde à parte do médio curso do rio, que apresenta trechos com rugosidade maior alternados com áreas baixas, menos rugosas. A terceira unidade morfométrica corresponde ao alto curso, com rugosidade maior, destacando os platôs da margem esquerda da bacia do rio Açailândia.

Figura 15 - Rede hidrográfica da bacia do rio Gurupi na escala 1:250.000

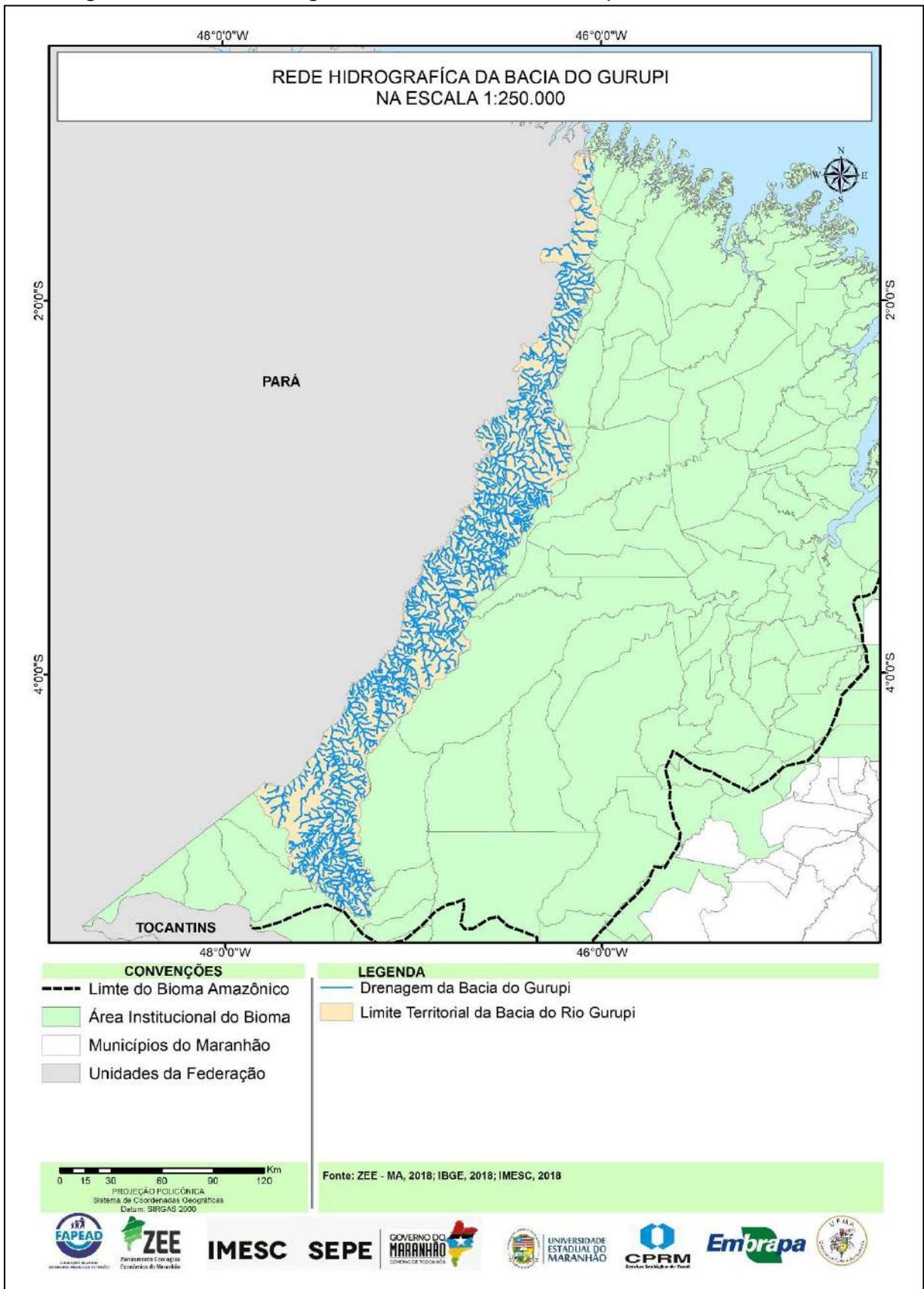


Figura 16 - Dados altimétricos da bacia do rio Gurupi

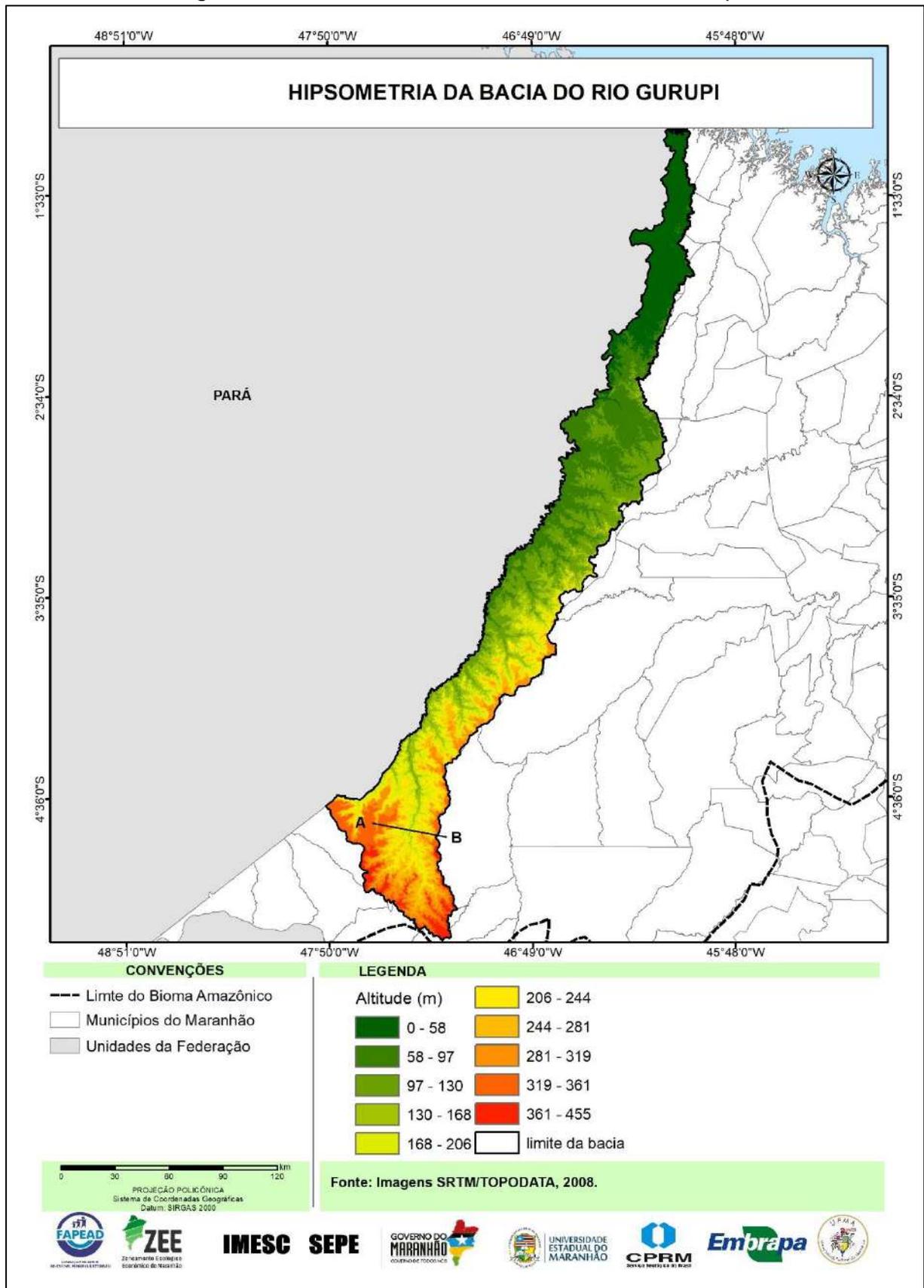
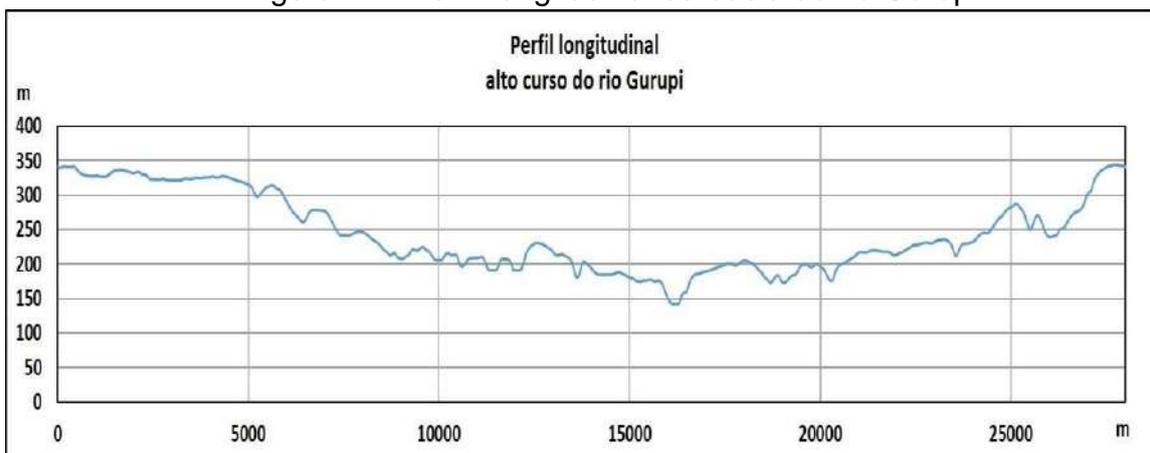


Figura 17 - Perfil longitudinal da bacia do rio Gurupi

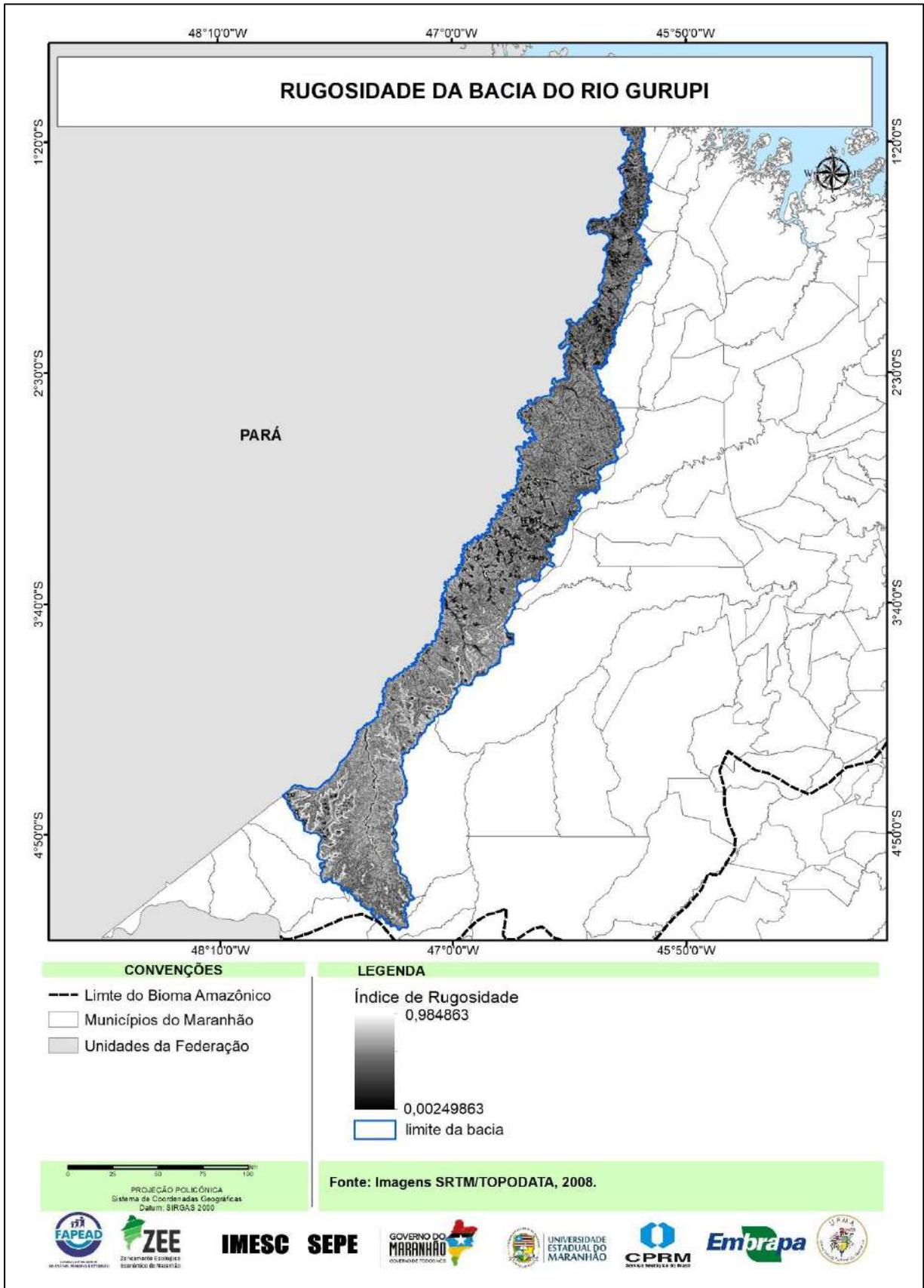


Fonte: Elaboração própria (2019)

Tabela 5 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Gurupi

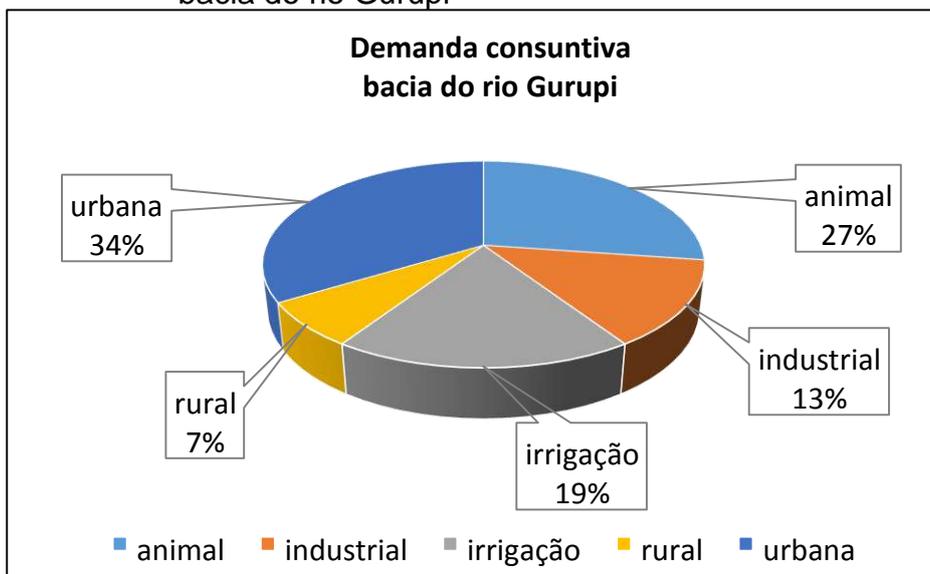
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	31,7	Plano/praticamente plano
3-8	42,2	Suave ondulado
8-13	14,1	Moderadamente ondulado
13-20	7,7	Ondulado
20-45	4,2	Fortemente ondulado
>45	0,05	Montanhoso

Figura 18 - Rugosidade da bacia do rio Gurupi



A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Gurupi (Gráfico 09) concentra-se, principalmente, no consumo urbano (34%), seguida da demanda para consumo animal (27%) e irrigação (19%).

Gráfico 9 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Gurupi



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013/2014)

3.3 Bacia do rio Turiaçu

A bacia do rio Turiaçu representa a terceira maior bacia do bioma Amazônico com perímetro de 938,8km e área equivalente a 14.394km², correspondendo a 12,7% do território do bioma. O rio Turiaçu nasce no município de Nova Olinda do Maranhão e percorre cerca de 230km até desaguar na baía Turiaçu. Ao todo, a bacia possui 1.824 trechos de drenagem (Figura 19), totalizando 6.736,5km de extensão de cursos de água. Destaca-se, no médio curso da bacia, uma grande massa d'água, constituída de um sistema de vários lagos – como os lagos da Capivara, Seis Horas, Bota, Cabeludo, Joaquim Manoel – demarcando grande zona inundável.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem baixa (0,47km/km²) e frequência de canais de 0,13 Nc/km². Os dados altimétricos da bacia do rio Turiaçu (Figura 20) mostram que altitude máxima é de 308m. A altitude média é de 42,3m. No alto curso do rio predominam as maiores altitudes, que corresponde às escarpas de parte do divisor hidrográfico que bordeja as cabeceiras.

Os perfis longitudinais representam duas seções: do alto e do médio curso da bacia (Figuras 21 e 22). Os perfis evidenciam o relevo suave da bacia, com vales pouco encaixados. Na seção A-B (Figura 21), tem-se o perfil do alto curso do rio Turiaçu, com diferença altimétrica entre topo-leito fluvial de 50m, e rio principal na altitude de 50m. Embora a seção localize-se na cabeceira, observa-se evolução da drenagem, uma vez que o vale fluvial se apresenta aberto (500m de largura). Na seção C-D (Figura 22), situada no médio curso, a diferença topo-leito é de 35m, com gradiente baixo de inclinação do canal (15m) em relação ao alto curso. Embora, o relevo nas duas seções se apresente suave ondulado, a seção C-D mostra que no médio curso já existe grande perda de volume de relevo, em virtude das baixas cotas altimétricas e da configuração morfométrica.

A declividade média da bacia é de 2,1% e máxima de 41,6% (Tabela 06). O relevo da bacia é predominantemente plano a suave ondulado (89,2%), sendo que a declividade mais acentuada encontra-se no alto curso, nas escarpas da margem esquerda do rio Turiaçu. O índice de rugosidade médio da bacia é de 0,35 (Figura 23), delimitando duas unidades morfométricas. Essas unidades correspondem à divisão da bacia em duas metades. A porção superior, que agrega o alto e parte do médio curso, apresenta rugosidade maior em relação à metade da bacia, que abrange parte do médio e o baixo curso. Essa diferença é evidenciada em virtude da extensa planície de inundação que se forma no baixo curso, com expressiva variação sazonal.

Figura 19 - Rede hidrográfica da bacia do rio Turiaçu na escala 1:250.000

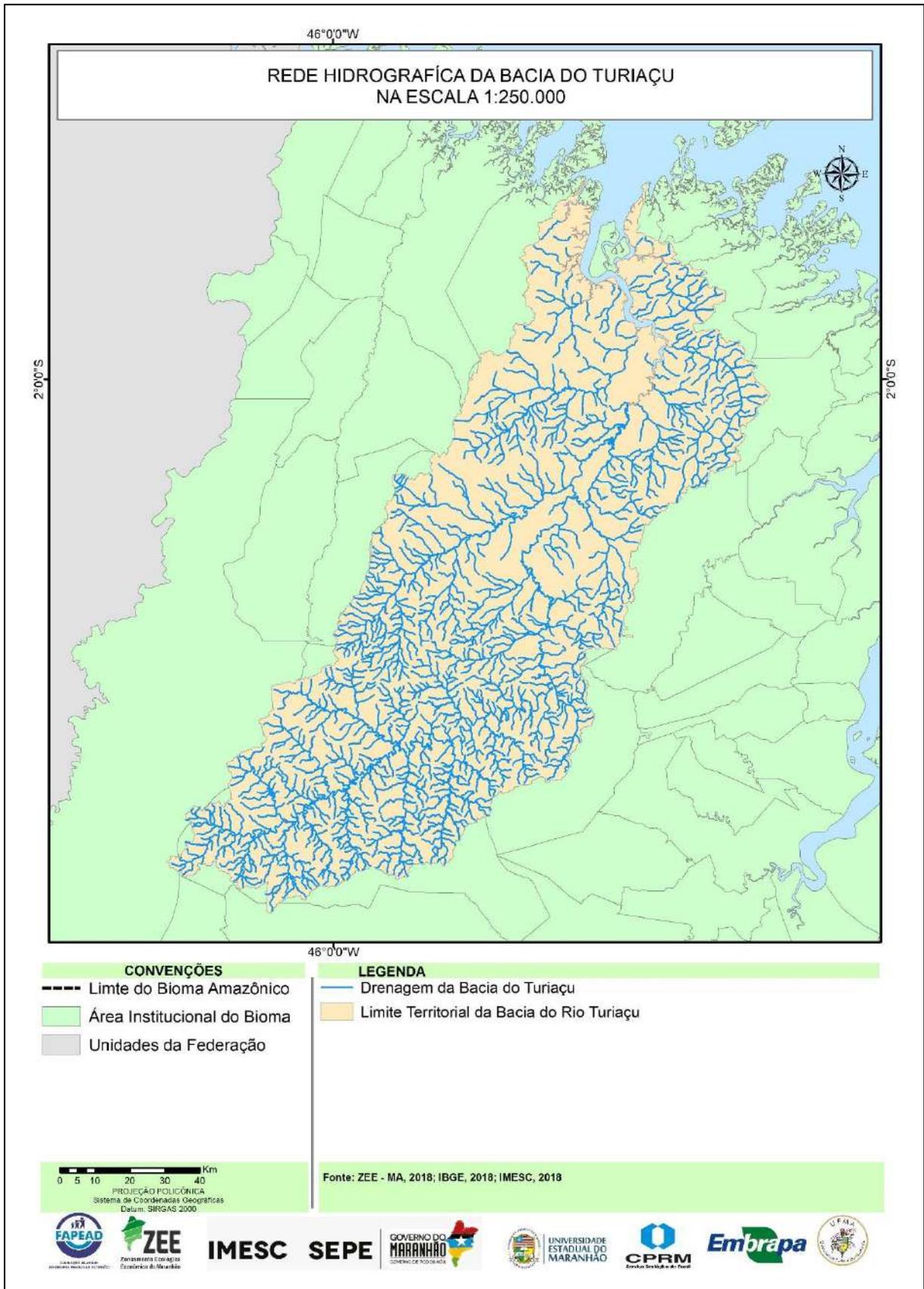


Figura 20 - Dados altimétricos da bacia do rio Turiaçu

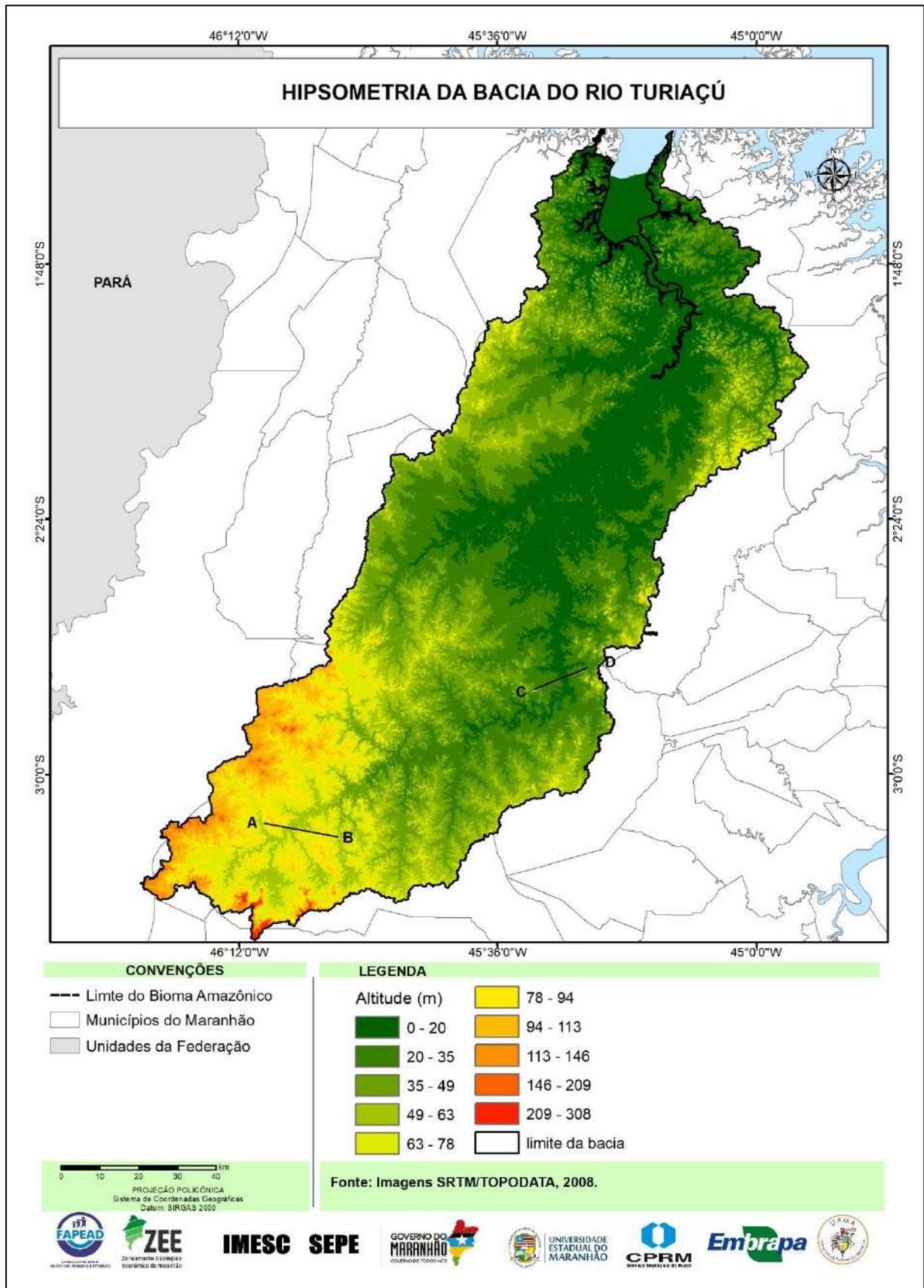


Figura 21 - Perfil longitudinal da bacia do rio Turiáçu



Figura 22 - Perfil longitudinal da bacia do rio Turiáçu

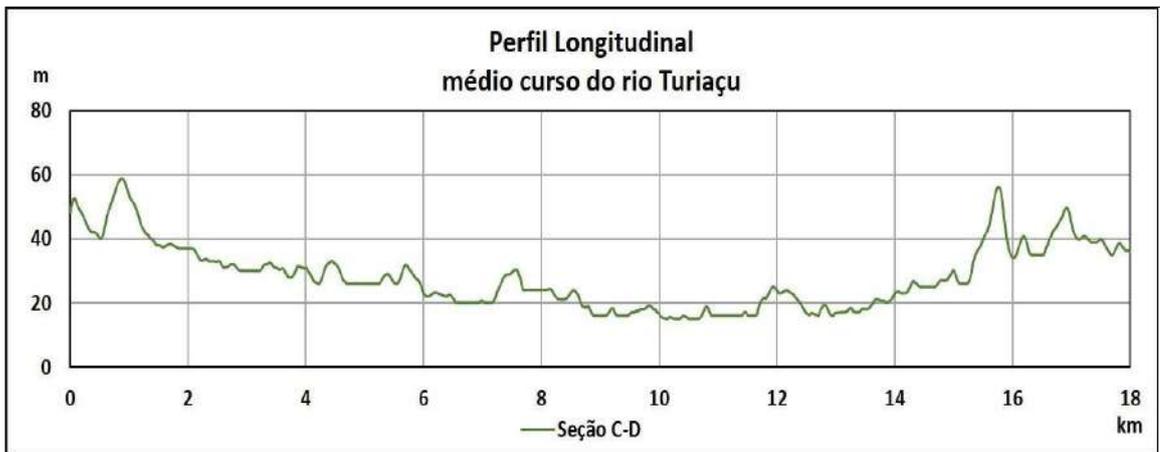
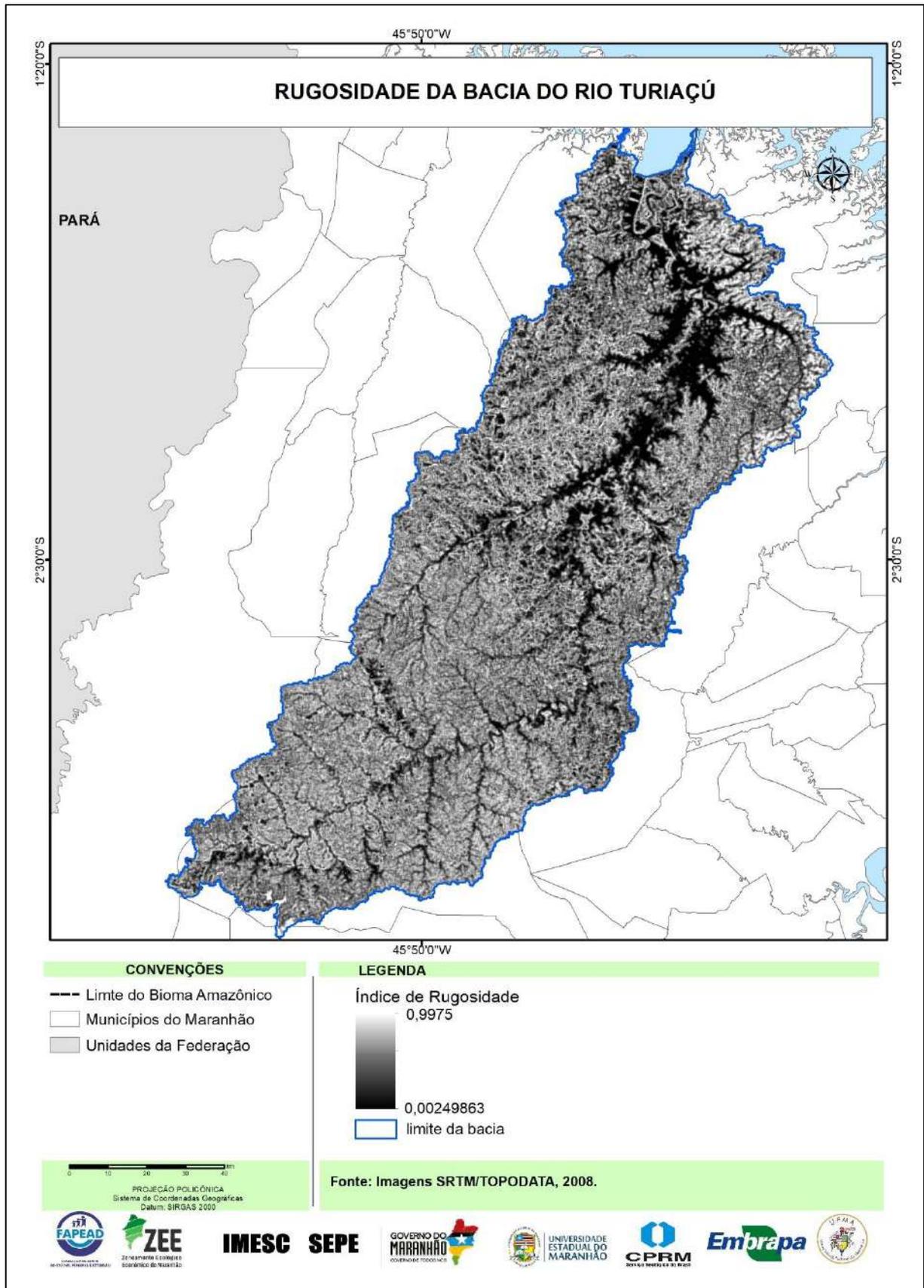


Tabela 6 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Turiáçu

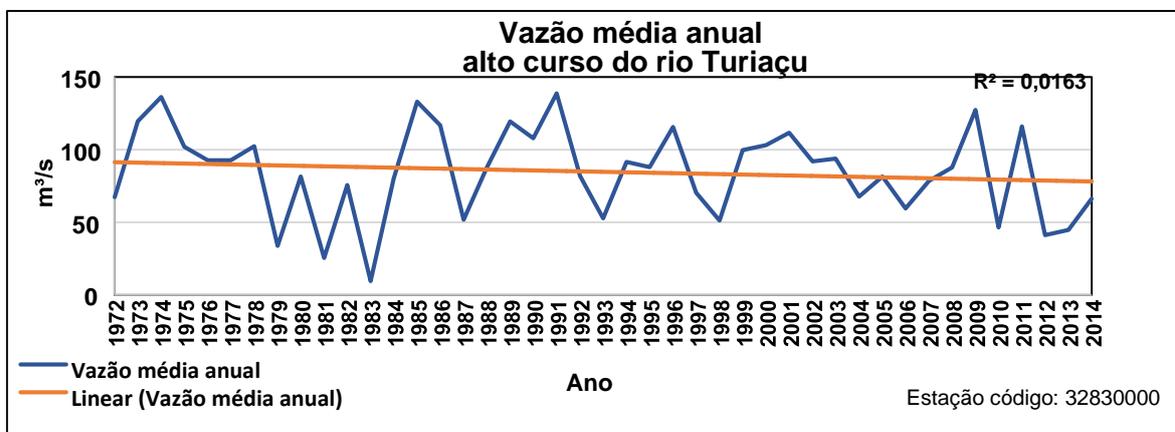
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	44,9	Plano/praticamente plano
3-8	44,3	Suave ondulado
8-13	7,5	Moderadamente ondulado
13-20	2,6	Ondulado
20-45	0,7	Fortemente ondulado
>45	0,06	Montanhoso

Figura 23 - Rugosidade da bacia do rio Turiaçu



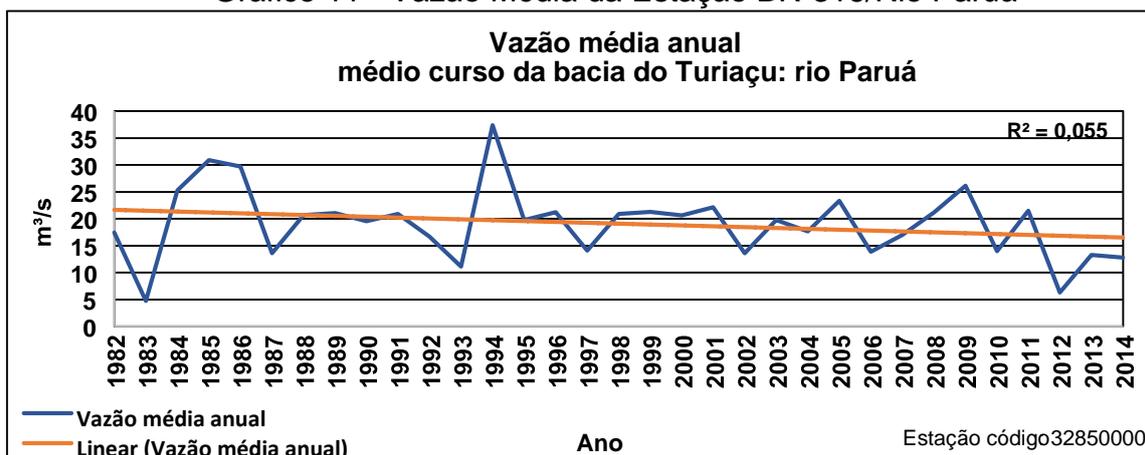
As vazões médias da bacia do rio Turiaçu são mensuradas em dois pontos: no alto curso do rio Turiaçu e, no médio curso, na bacia do rio Paruá. A estação do alto curso (Gráfico 10) apresenta vazão média, em quarenta e três anos, de 84,7m³/s. Os dados hidrológicos desta estação mostram que, nesse período, a vazão do rio diminuiu 11 m³/s. No médio curso do rio (Gráfico 11), na estação do rio Paruá, a vazão média em trinta e três anos é de 19,1m³/s, com declínio de cerca de 6m³/s nesse período. Portanto, observa-se que a maior parte das estações de monitoramento do bioma indicam diminuição da vazão dos rios.

Gráfico 10 – Vazão Média da Estação Turiaçu



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

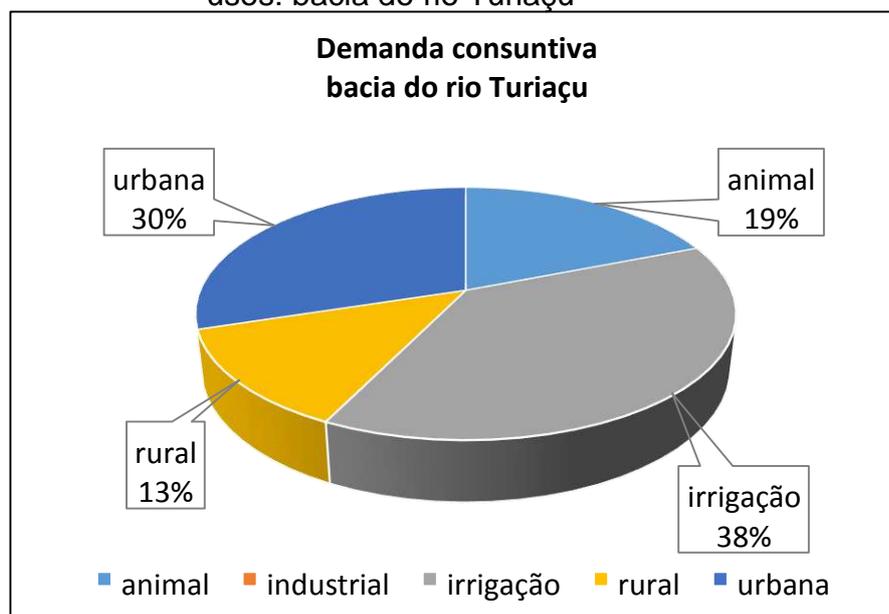
Gráfico 11 - Vazão Média da Estação BR-316/Rio Paruá



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Turiaçu (Gráfico 12) concentra-se, principalmente, no uso destinado à irrigação (38%), seguida da demanda para consumo urbano (30%) e animal (19%).

Gráfico 12 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Turiaçu



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013/2014)

3.4 Bacia do rio Maracaçumé

A bacia do rio Maracaçumé representa a quarta maior bacia do bioma Amazônico com perímetro de 630,2km e área equivalente a 6.448,7km², correspondendo a 5,7% do território do bioma. O rio Maracaçumé nasce nos municípios de Centro Novo do Maranhão e Nova Olinda do Maranhão Negra, e a bacia tem seu território totalmente inserido no bioma Amazônico. O rio Maracaçumé percorre cerca de 159km e deságua próximo à ilha do Trabalho. Ao todo, a bacia possui 583 trechos de drenagem (Figura 24), totalizando 2.340,4km de extensão de cursos de água.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem baixa (0,36km/km²) e frequência de canais de 0,09 Nc/km². Observa-se que o baixo curso do rio apresenta vazios hidrográficos, em especial na margem direita do rio principal. Os dados altimétricos da bacia do rio Maracaçumé (Figura 25), mostram que altitude máxima é de 183m e a altitude média de 56m. No alto curso do rio predomina as maiores altitudes, que corresponde aos morros residuais.

Os perfis longitudinais representam duas seções: do alto e do médio curso da bacia (Figuras 26 e 27). Na seção A-B (Figura 26), tem-se o perfil do alto curso do rio Maracaçumé, com diferença altimétrica entre topo-leito fluvial de 90m, e rio principal na altitude de 60m. Embora a seção localize-se na cabeceira, observa-se evolução

da drenagem, uma vez que o vale fluvial do rio se apresenta aberto, enquanto os pequenos vales de afluentes próximos estão em processo de entalhe.

Na seção C-D (Figura 27), situada no médio/baixo curso, a diferença topo-leito é de 40m, com gradiente de inclinação do canal 50m em relação ao alto curso. Embora, o relevo nas duas seções se apresente suave ondulado, a seção A-B revela que no alto curso já existe grande perda de volume de relevo em virtude da configuração morfométrica.

A declividade média da bacia é de 2%, e máxima de 27,8% (Tabela 07). O relevo classifica-se predominantemente como plano e suave ondulado (87,7%). O índice de rugosidade médio da bacia é de 0,35 (Figura 28), com diferenciação morfométrica entre parte do alto curso, onde predominam os morros residuais, em relação ao médio curso e baixo curso. Observa-se que uma faixa larga no entorno do rio principal delimita uma área de baixa rugosidade. Essa faixa se destaca, pois compreende o vale fluvial aberto e de fundo plano do rio Maracaçumé.

Figura 24 - Rede hidrográfica da bacia do rio Maracaçumé na escala 1:250.000

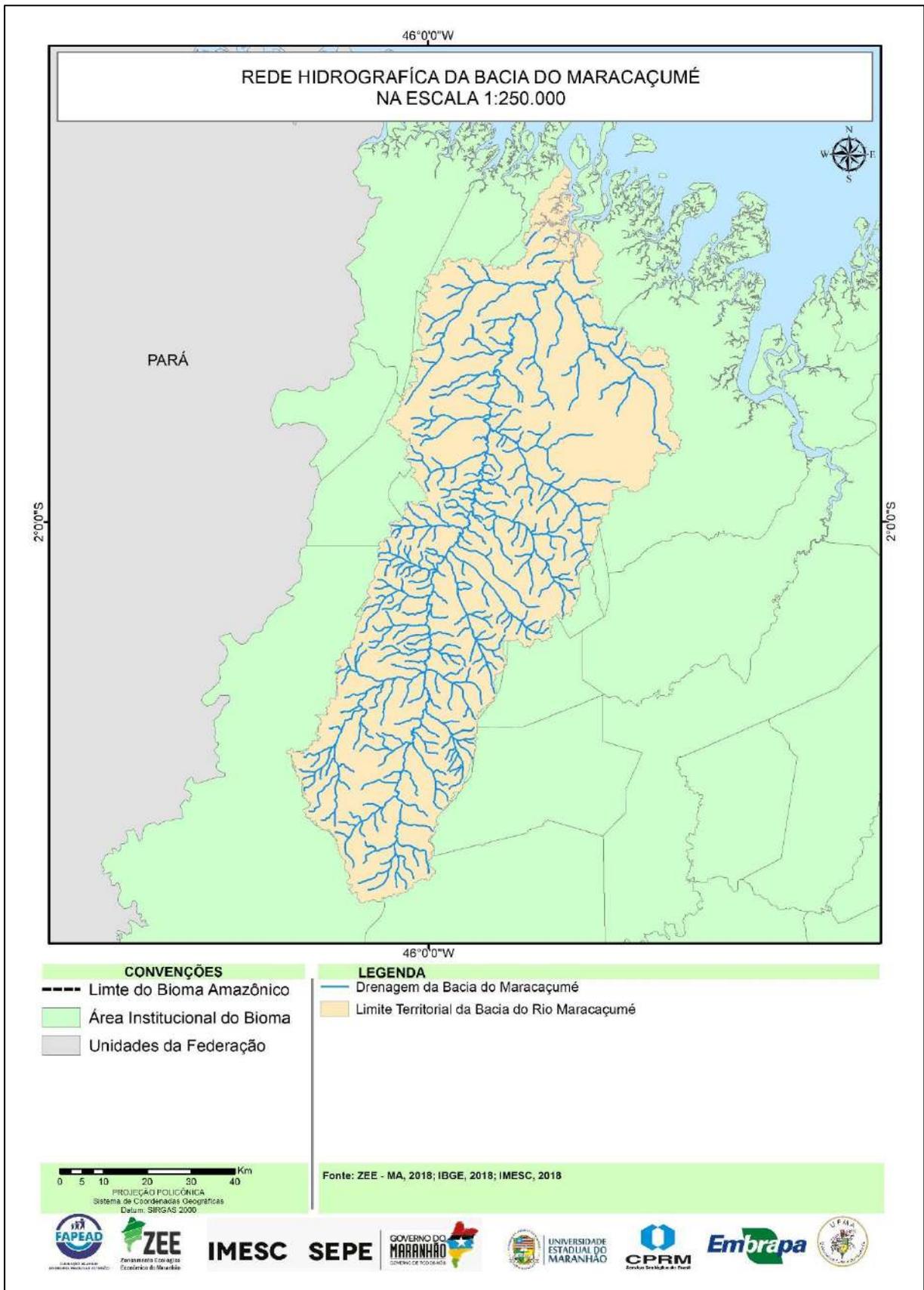


Figura 25 - Dados altimétricos da bacia do rio Maracaçumé

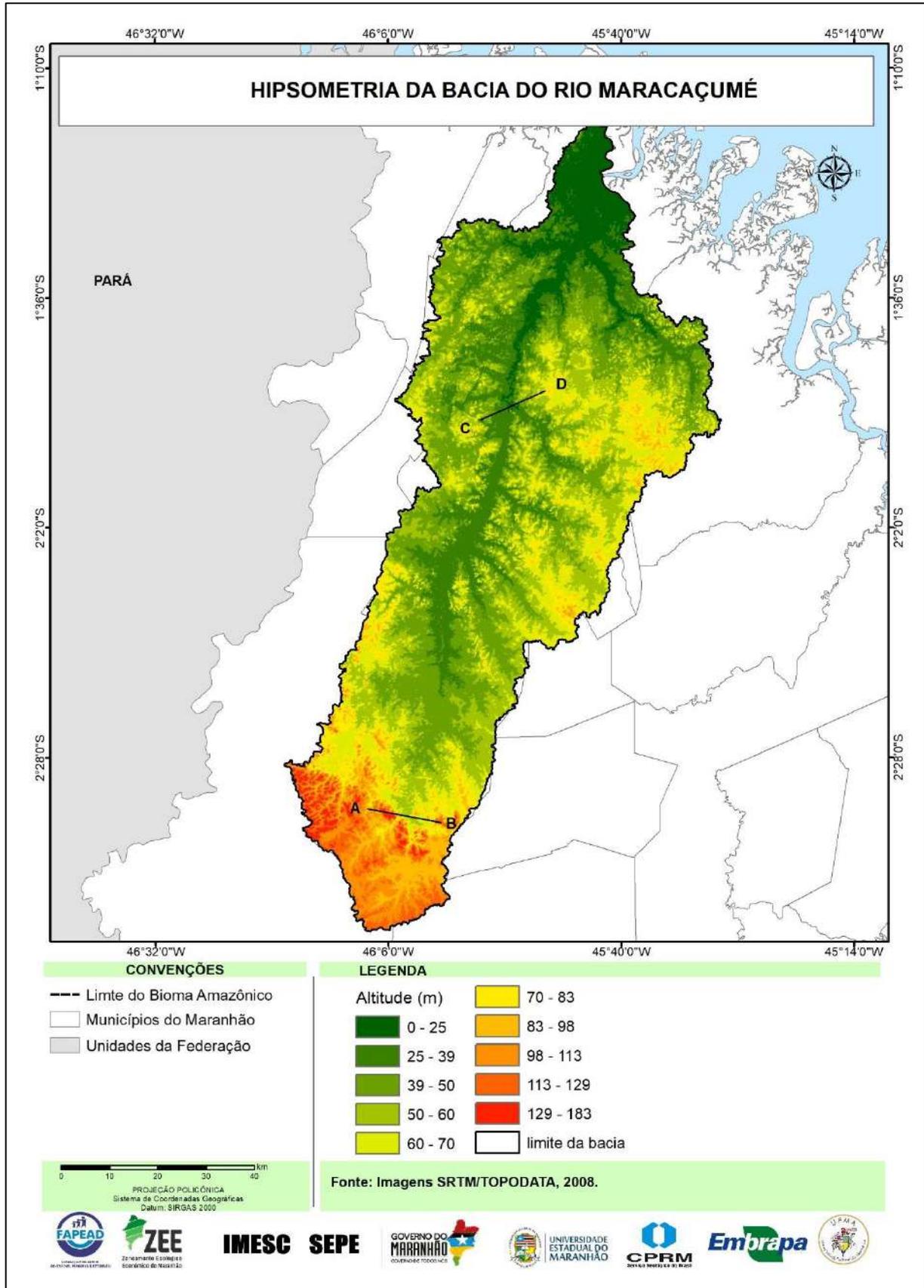
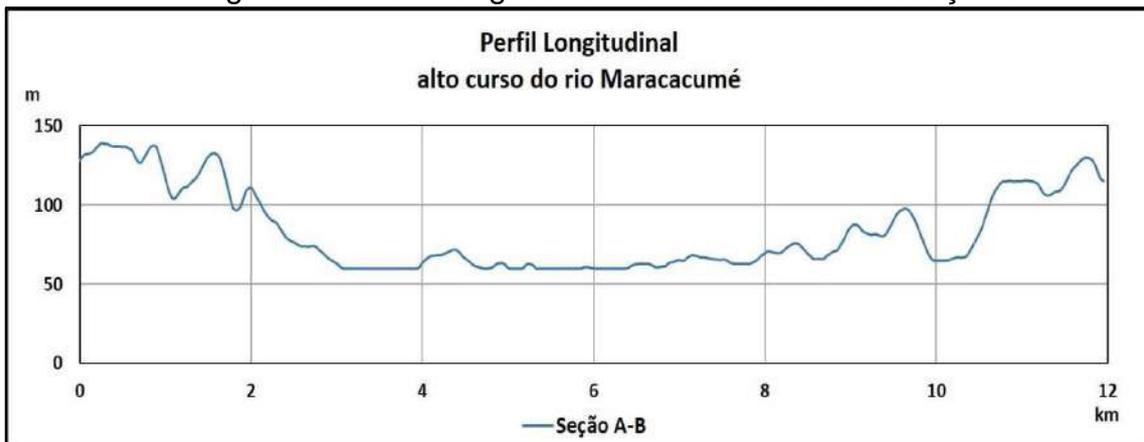
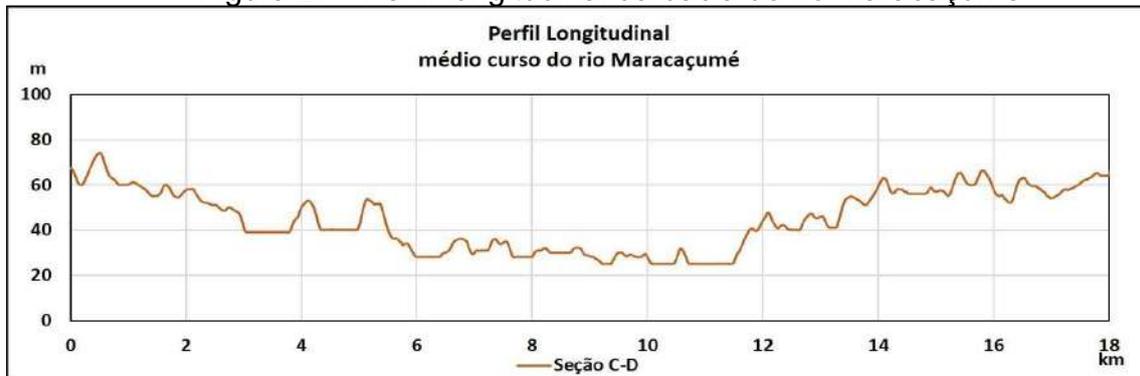


Figura 26 - Perfil longitudinal da bacia do rio Maracaçumé



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 27 - Perfil longitudinal da bacia do rio Maracaçumé

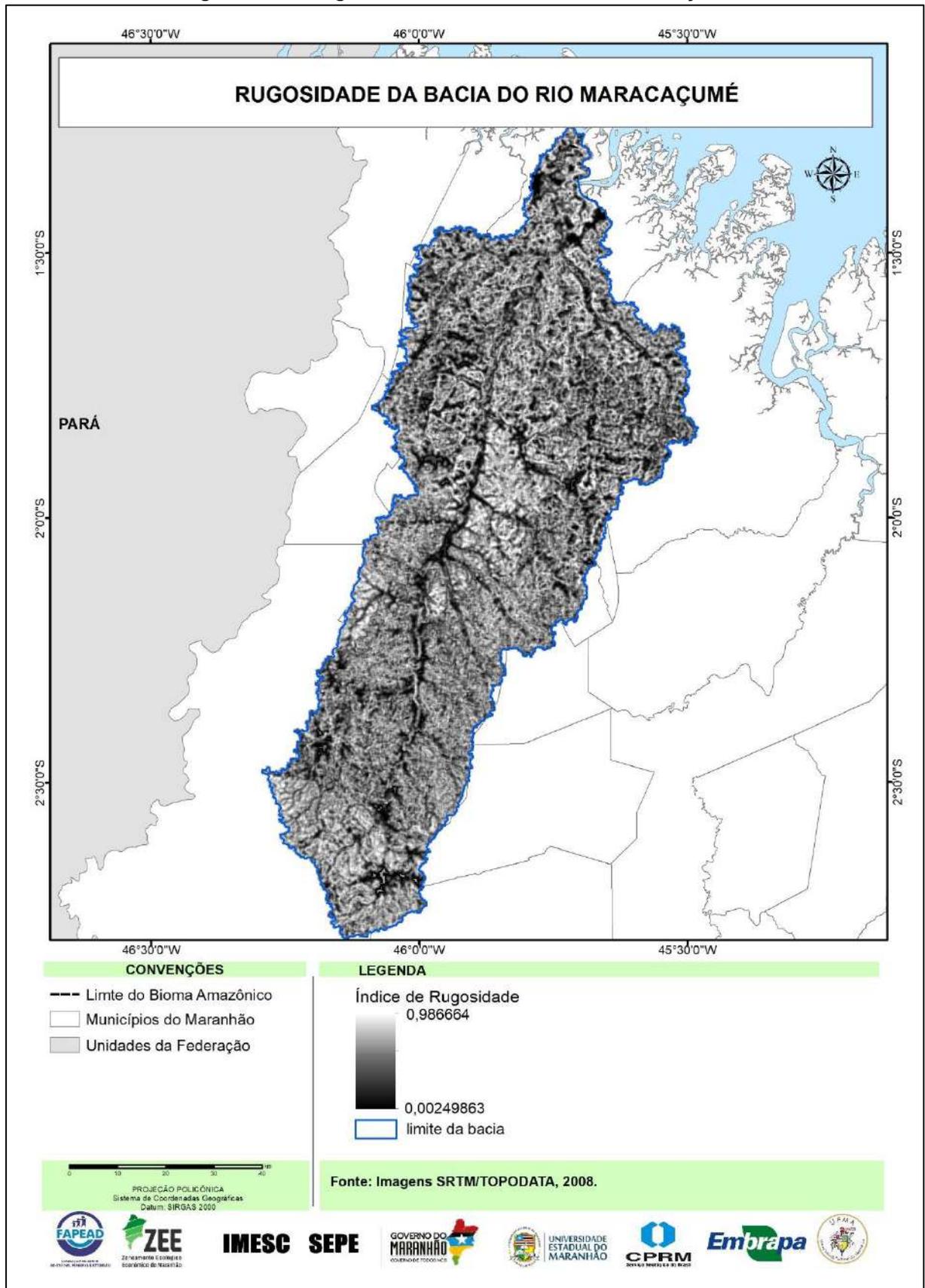


Fonte: Elaboração própria (2019)

Tabela 7 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Maracaçumé

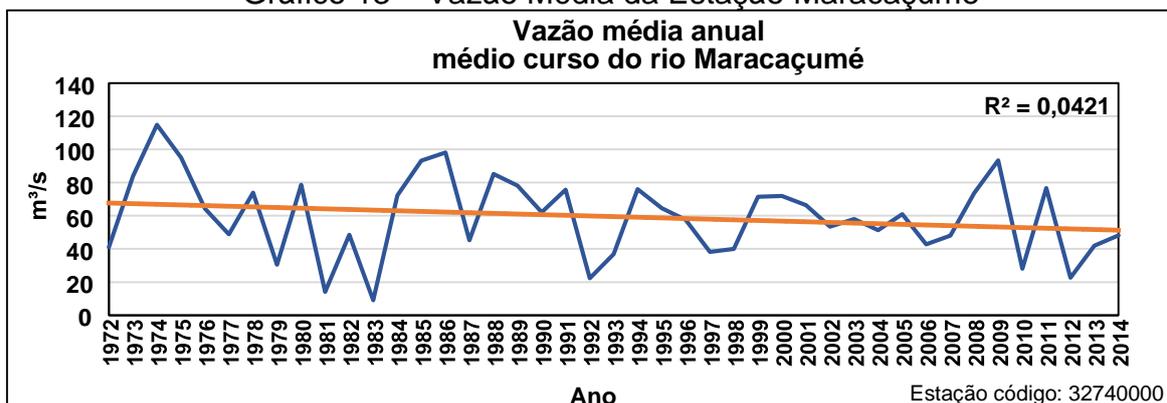
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	45,9	Plano/ praticamente plano
3 - 8	41,8	Suave ondulado
8 - 13	9,4	Moderadamente ondulado
13 - 20	2,6	Ondulado
20 - 45	0,4	Fortemente ondulado
>45	0,0003	Montanhoso

Figura 28 - Rugosidade da bacia do rio Maracaçumé



Os dados hidrológicos são monitorados apenas no médio curso do rio Maracaçumé (Gráfico 13). A média da vazão nesse trecho, em quarenta e dois anos de monitoramento, é de 59,5m³/s. Verifica-se que a vazão diminuiu cerca de 14m³/s no período, seguindo a tendência dos demais rios monitorados no bioma.

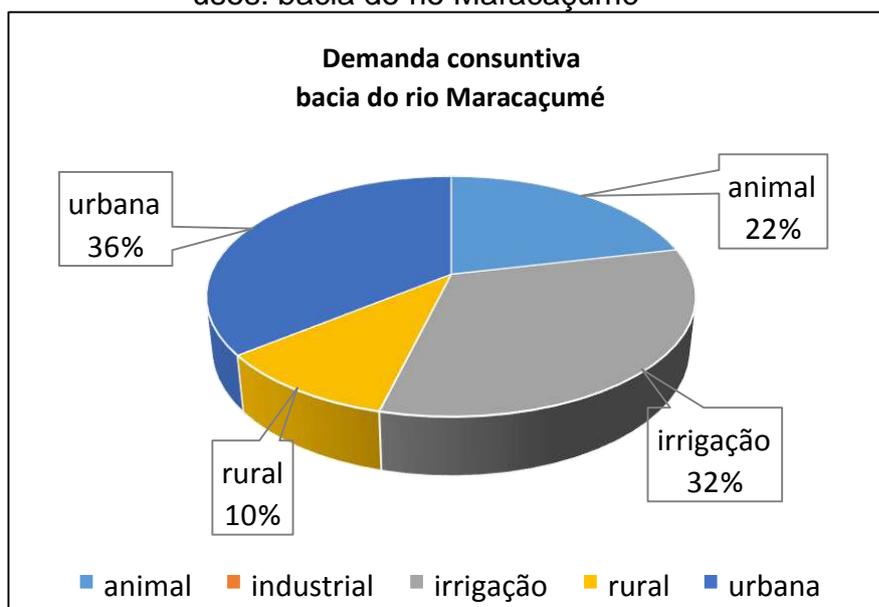
Gráfico 13 – Vazão Média da Estação Maracaçumé



Fonte: Agência Nacional de Águas (2018)

A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Maracaçumé (Gráfico 14) distribui-se principalmente entre o consumo urbano (36%), irrigação (32%) e animal (22%).

Gráfico 14 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Maracaçumé



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013/2014)

3.5 Bacia do rio Tocantins

A bacia do médio rio Tocantins situa-se no extremo oeste, com perímetro de 521,3km e área equivalente a 4.744,4km², correspondendo a 4,2% do território do bioma. Ao todo, a bacia possui 667 trechos de drenagem (Figura 29), totalizando 2.353,4 km de extensão de cursos de água.

A bacia possui densidade de drenagem baixa (0,50km/km²) e frequência de canais de 0,14 Nc/km². A altitude mínima corresponde a 67m e, a altitude máxima a 454m, com amplitude altimétrica de 387m (Figura 30). A altitude média é de 227m. As maiores altitudes predominam na porção nordeste da bacia, na sub-bacia do Córrego das Pebas, onde se destacam grandes chapadas.

O perfil longitudinal da seção A-B (Figura 31), destaca a porção mais baixa, que corresponde às proximidades do vale do rio Tocantins, em direção à porção mais elevada, a nordeste. A diferença altimétrica entre topo-leito fluvial do córrego Pebas atinge cerca de 150m, com rio principal na altitude de 190m, ressaltando a presença de vales encaixados na porção elevada (350 a 200m). A declividade média da bacia é de 3,7% (Tabela 8). O relevo da bacia classifica-se principalmente como plano a moderadamente ondulado. Destaca-se maior declividade (acima de 21%) apenas nas escarpas das chapadas da bacia do córrego Pebas, a nordeste, sustentadas pelas coberturas laterítico-ferruginosas. Contudo, predomina na bacia, menor declividade (0 e 8%).

Figura 29 - Rede hidrográfica da bacia do rio Tocantins na escala 1:250.000

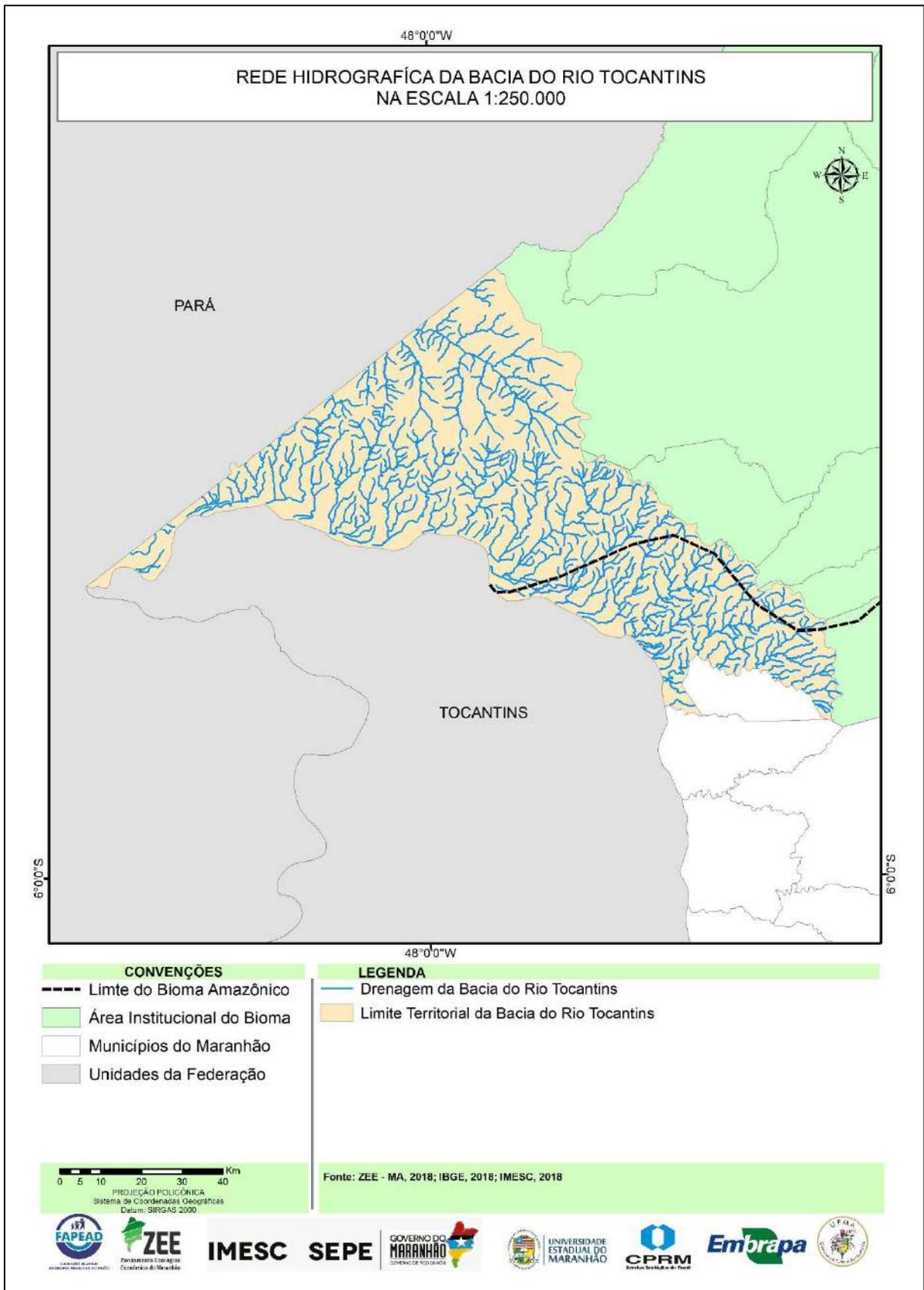


Figura 30 - Dados altimétricos da bacia do rio Tocantins

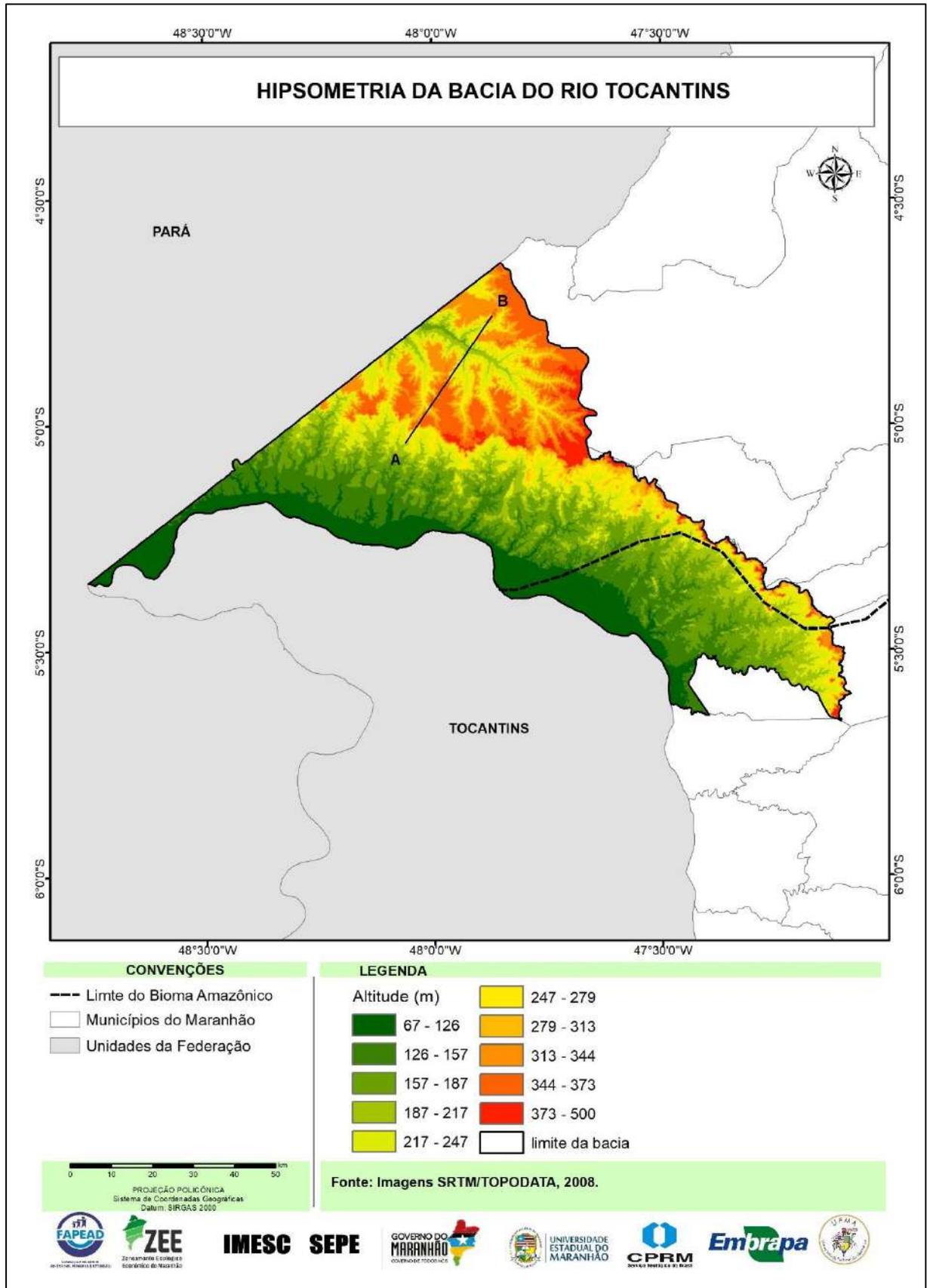
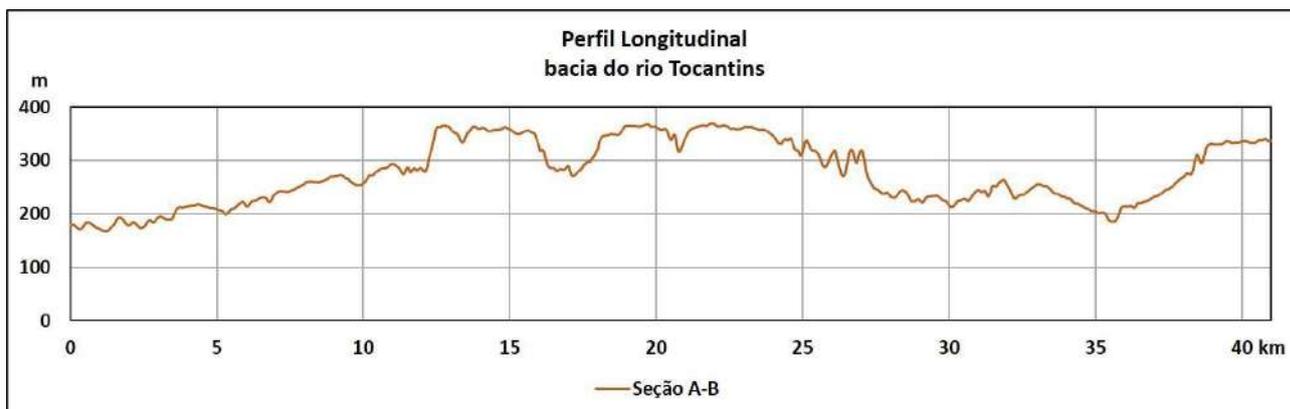


Figura 31 - Perfil longitudinal da bacia do Tocantins



Fonte: Elaboração própria (2019)

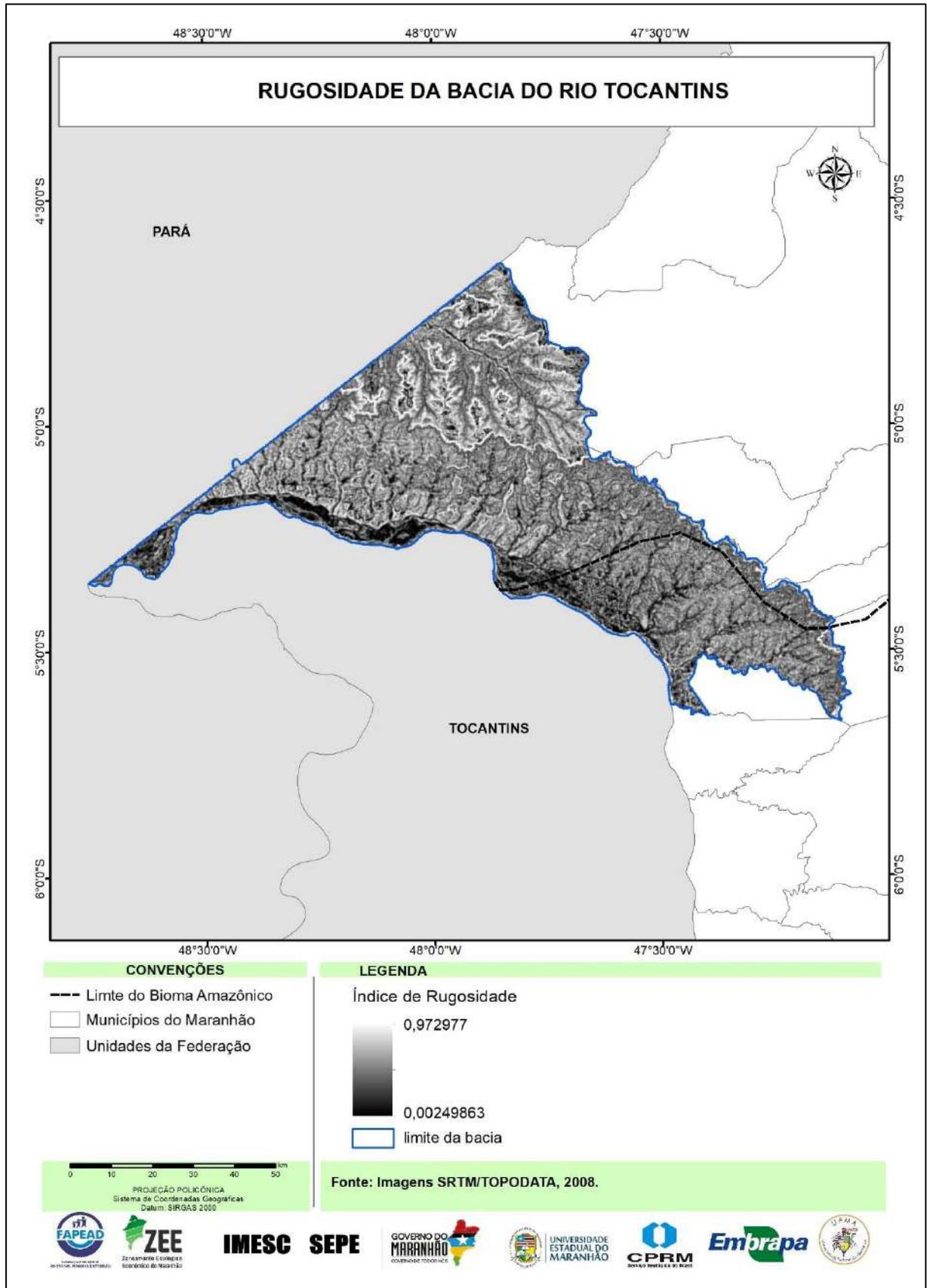
Tabela 8 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Tocantins

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	28,4	Plano/praticamente plano
3-8	42,7	Suave ondulado
8-13	15,2	Moderadamente ondulado
13-20	8,1	Ondulado
20-45	5,5	Fortemente ondulado
>45	0,12	Montanhoso

Fonte: Elaboração própria (2019)

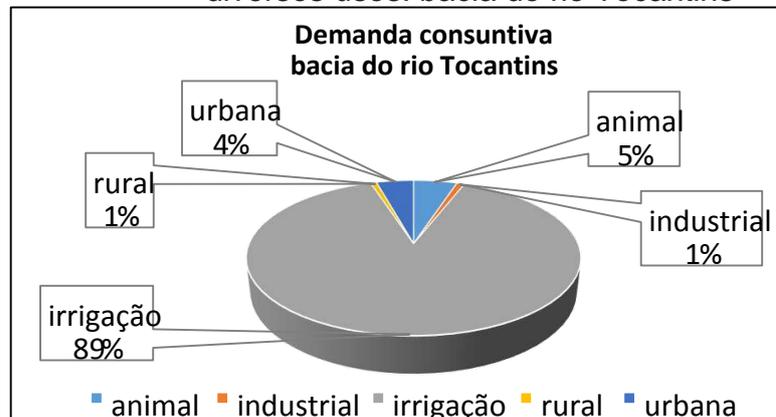
O índice de rugosidade médio da bacia do rio Tocantins (Figura 32) é de 0,45, destacando três grandes unidades morfométricas. O primeiro compartimento corresponde às áreas próximas ao leito principal do rio Tocantins, no qual predomina o relevo plano e menos rugoso. O segundo compartimento corresponde à parte média das bacias dos afluentes diretos, os quais apresentam as áreas com maior rugosidade em relação à planície aluvial. O terceiro compartimento corresponde à bacia do córrego Pebas, onde se concentram as maiores diferenças altimétricas e, portanto, maior rugosidade do terreno.

Figura 32 - Rugosidade da bacia do rio Tocantins



A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Tocantins (Gráfico 15) concentra-se, principalmente, no uso destinado à irrigação (89%) em detrimento às demais demandas.

Gráfico 15 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Tocantins



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013/2014)

3.6 Bacia do rio Pericumã

A bacia do rio Pericumã tem perímetro de 437,3km e área equivalente a 3.850,8 km², correspondendo a 3,4% do território do bioma. Ao todo, a bacia possui 514 trechos de drenagem (Figura 33), totalizando 1.871,3km de extensão de cursos de água. A bacia do rio Pericumã e as bacias do rio Maracaçumé e Turiaçu são as únicas integralmente pertencentes ao território do Bioma Amazônico. O rio Pericumã nasce na lagoa da Traíra, em Pedro Rosário, e deságua na baía de Cumã.

A bacia possui densidade de drenagem baixa (0,49km/km²) e frequência de canais de 0,13 Nc/km². Possui altitude máxima é de 170m e altitude média de 26,3m (Figura 34). Nessa bacia, são raros os morros residuais, remanescentes das chapadas do Maranhão. O perfil longitudinal da seção AB (Figura 35) mostra que o rio Maracaçumé apresenta vale largo e amplo no alto curso, assim como os rios Maracaçumé e Turiaçu. Essa configuração do vale fluvial indica uma evolução da drenagem desses rios indicando que no passado houve intenso transporte de sedimentos das bacias e que atualmente o rio busca seu “equilíbrio”.

Os dados de declividade (Tabela 09) ressaltam a suavidade do relevo da bacia. A declividade média é de 1,9% e a máxima de 29,6%. O índice de rugosidade (Figura 36) médio da bacia é de 0,34, onde se distingue duas unidades bem individualizadas: a unidade do relevo plano a suave ondulado e a unidade que envolve o rio principal e toda a área alagável.

Figura 33 - Rede hidrográfica da bacia do rio Pericumã na escala 1:250.000.

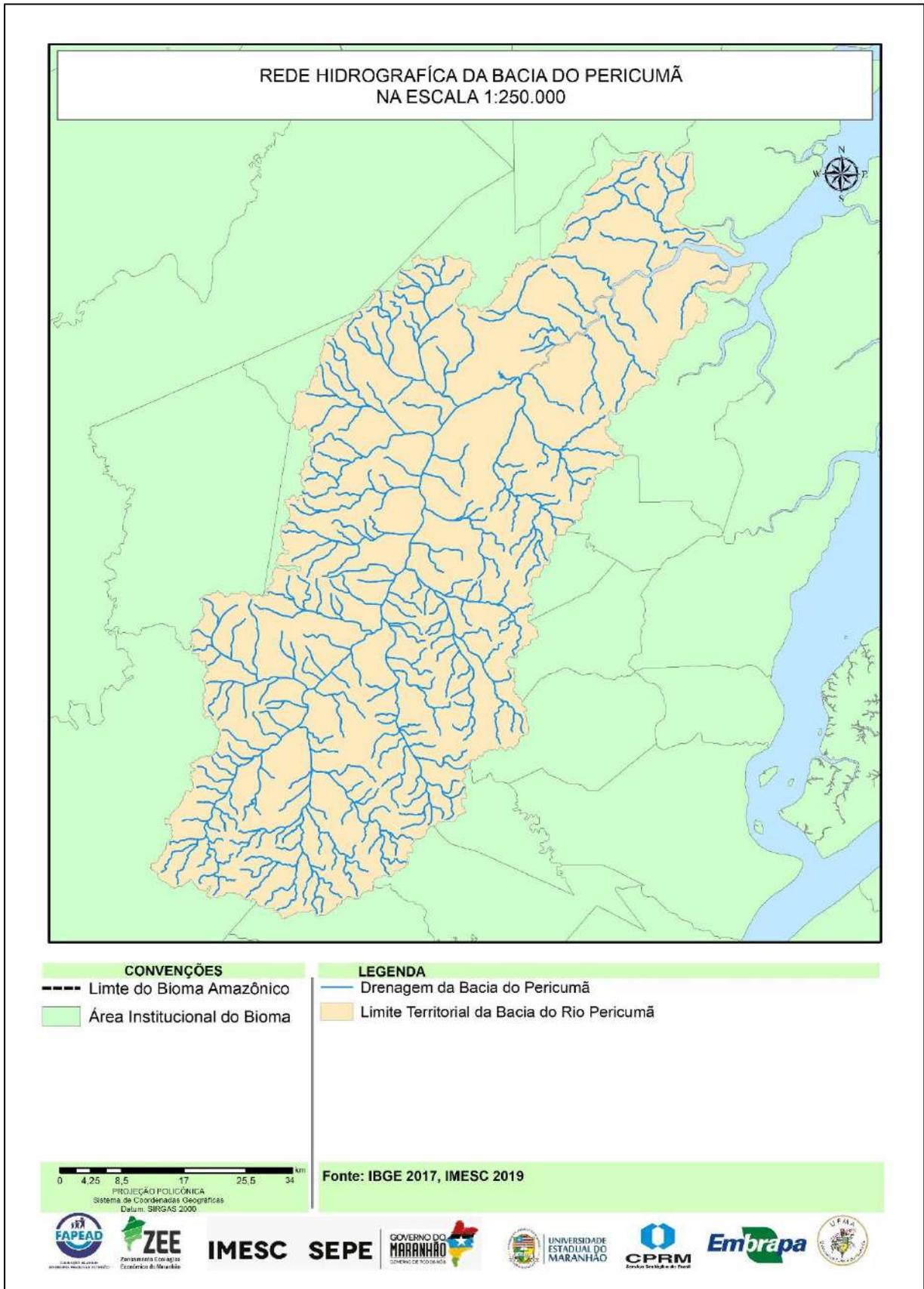


Figura 34 - Dados altimétricos da bacia do rio Pericumã

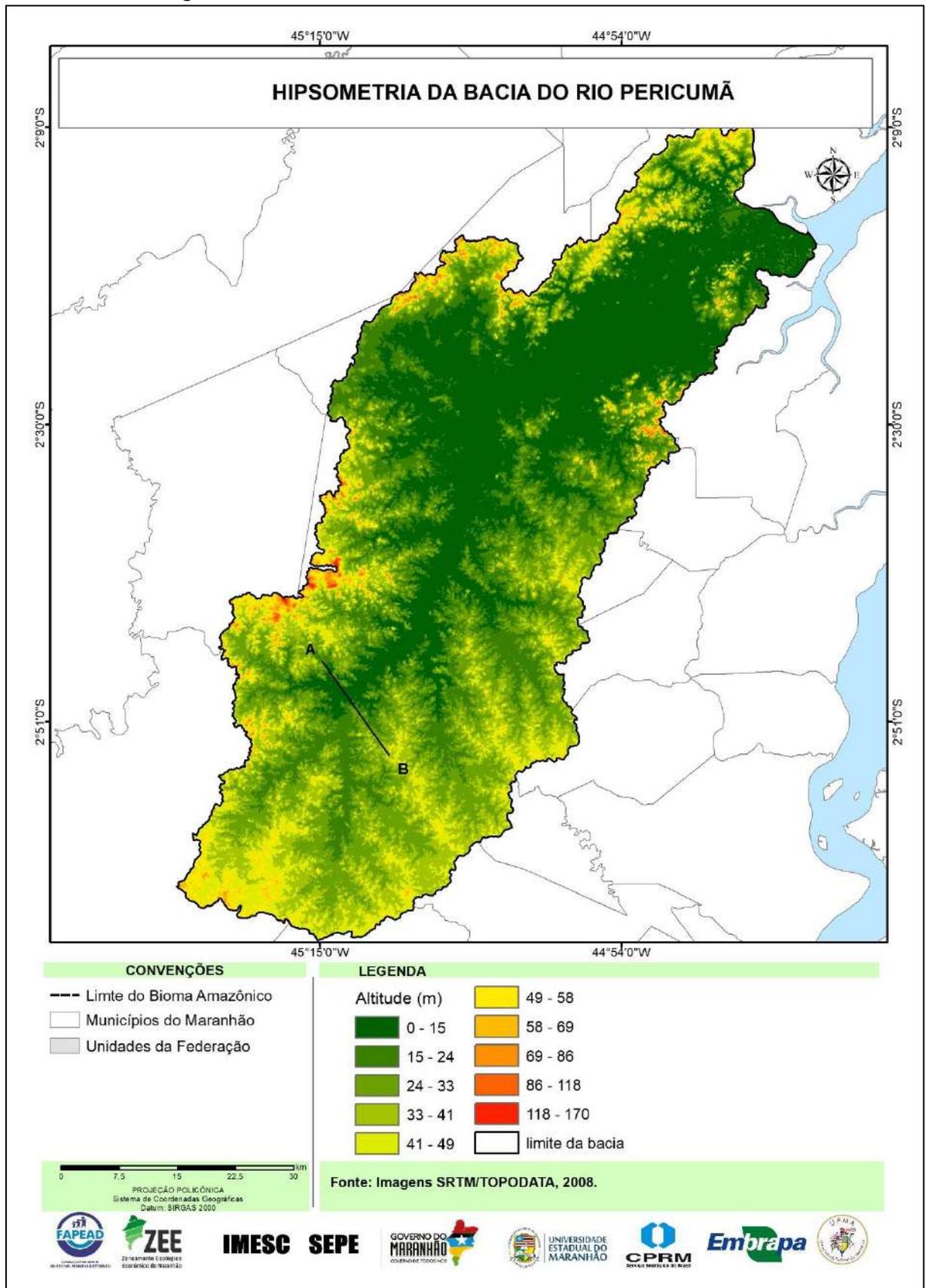


Gráfico 15 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Tocantins



Fonte: Elaboração própria (2019)

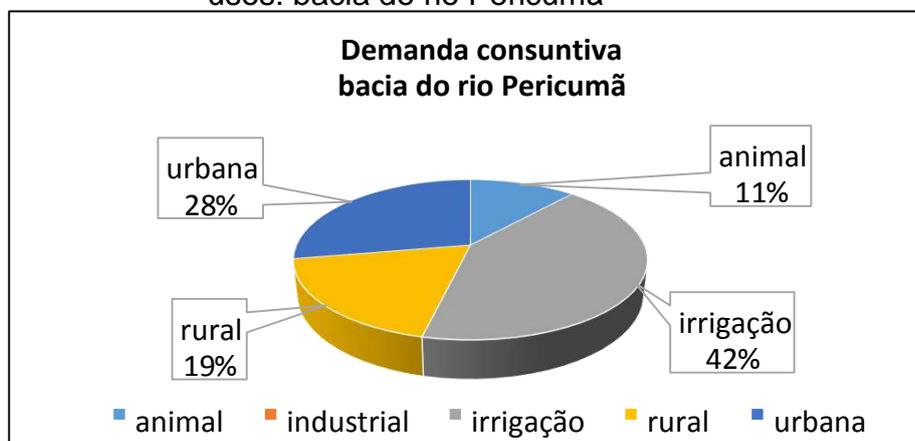
Tabela 9 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Pericumã

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	42,7	Plano/praticamente plano
3-8	45,9	Suave ondulado
8-13	8,3	Moderadamente ondulado
13-20	2,3	Ondulado
20-45	0,8	Fortemente ondulado
>45	0,002	Montanhoso

Fonte: Elaboração própria (2019)

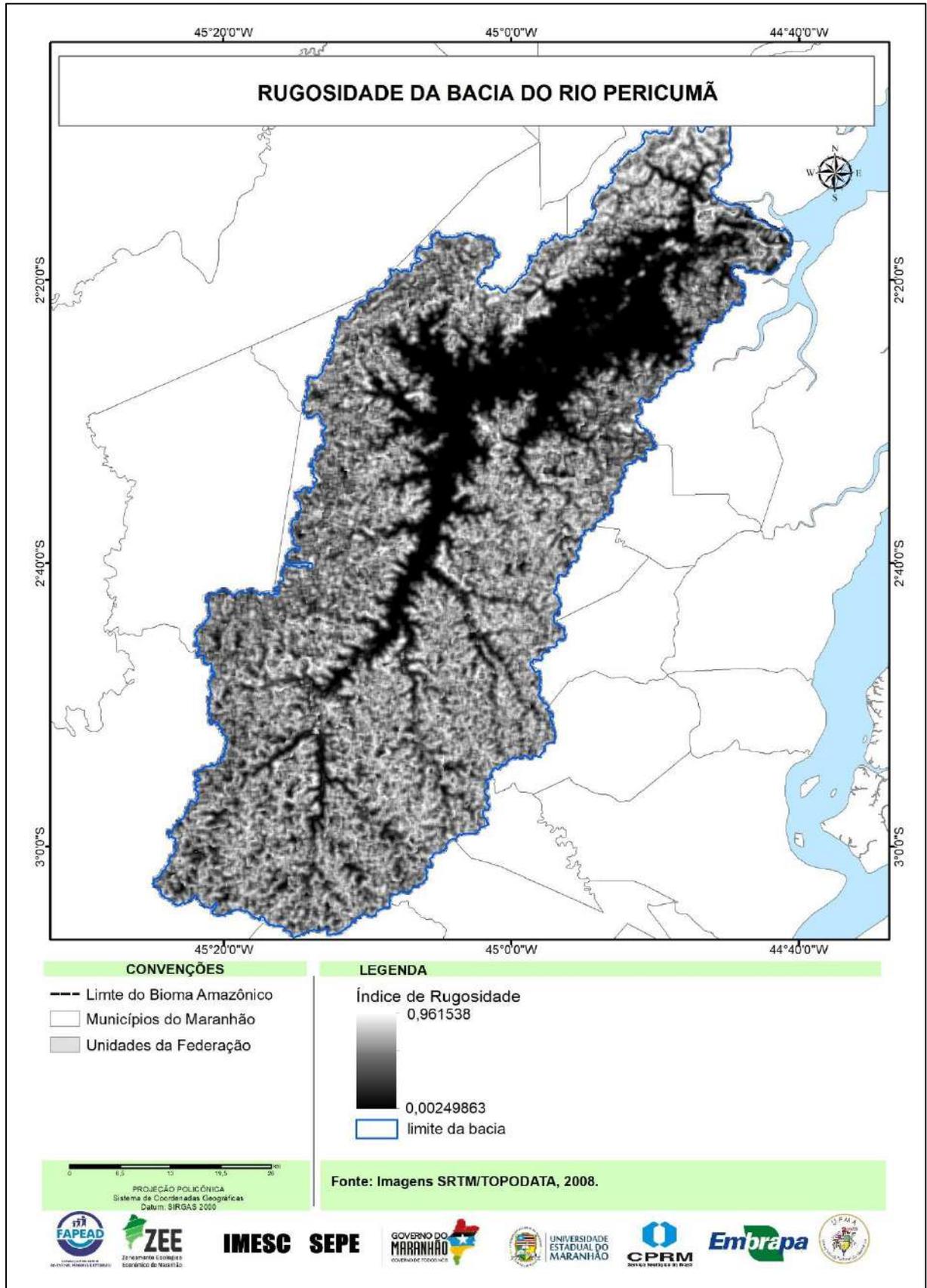
A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Pericumã (Gráfico 16) concentra-se, principalmente, no uso destinado à irrigação (42%), seguida da demanda de consumo urbano (28%).

Gráfico 16 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Pericumã



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

Figura 36 - Rugosidade da bacia do rio Pericumã.



3.7 Bacia do rio Itapecuru

A bacia do rio Itapecuru tem perímetro de 380,8km e área equivalente a 1.210,8 km², correspondendo a 1,1% do território do bioma. A bacia do rio Itapecuru encontra-se parcialmente inserida no Bioma Amazônico, sendo que a área corresponde, principalmente, ao baixo curso da bacia, interposto entre as bacias do rio Mearim e Munim. Ao todo, a bacia possui 198 trechos de drenagem (Figura 37), totalizando 701km de extensão de cursos de água. O rio Itapecuru nasce no Bioma Cerrado, próximo à Serra do Itapecuru, no centro-sul maranhense, e adentra a Amazônia maranhense apenas no seu terço inferior.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem mediana (0,58km/km²), a maior do bioma, e a frequência de canais é de 0,16 Nc/km². Na Figura 38, são apresentados os dados altimétricos da bacia, sendo que a altitude máxima atinge 111m e, a altitude média, 30,5m. Observa-se que, na margem direita, despontam remanescentes dos tabuleiros sub-litorâneos mais elevados, predominando na bacia a extensa área espreada da planície aluvial. Na seção A-B do perfil longitudinal (Figura 39), a diferença altimétrica entre topo-leito fluvial atinge 45m. Destaca-se o vale fluvial aberto e amplo, que possui cerca de 4km de largura, como evidência de evolução da rede de drenagem.

A declividade média (1,6%) mostra como as vertentes desses tabuleiros são suaves (Tabela 10). A declividade máxima (20,8%) destaca o relevo praticamente plano a suave ondulado do baixo curso do rio. O índice de rugosidade (Figura 40) médio é de 0,38 e o mapa ressalta a diferença da área plana dos vales fluviais e a zona mais rugosa, correspondente aos tabuleiros sub-litorâneos.

Figura 37 - Rede hidrográfica da bacia do rio Itapecuru na escala 1:250.000

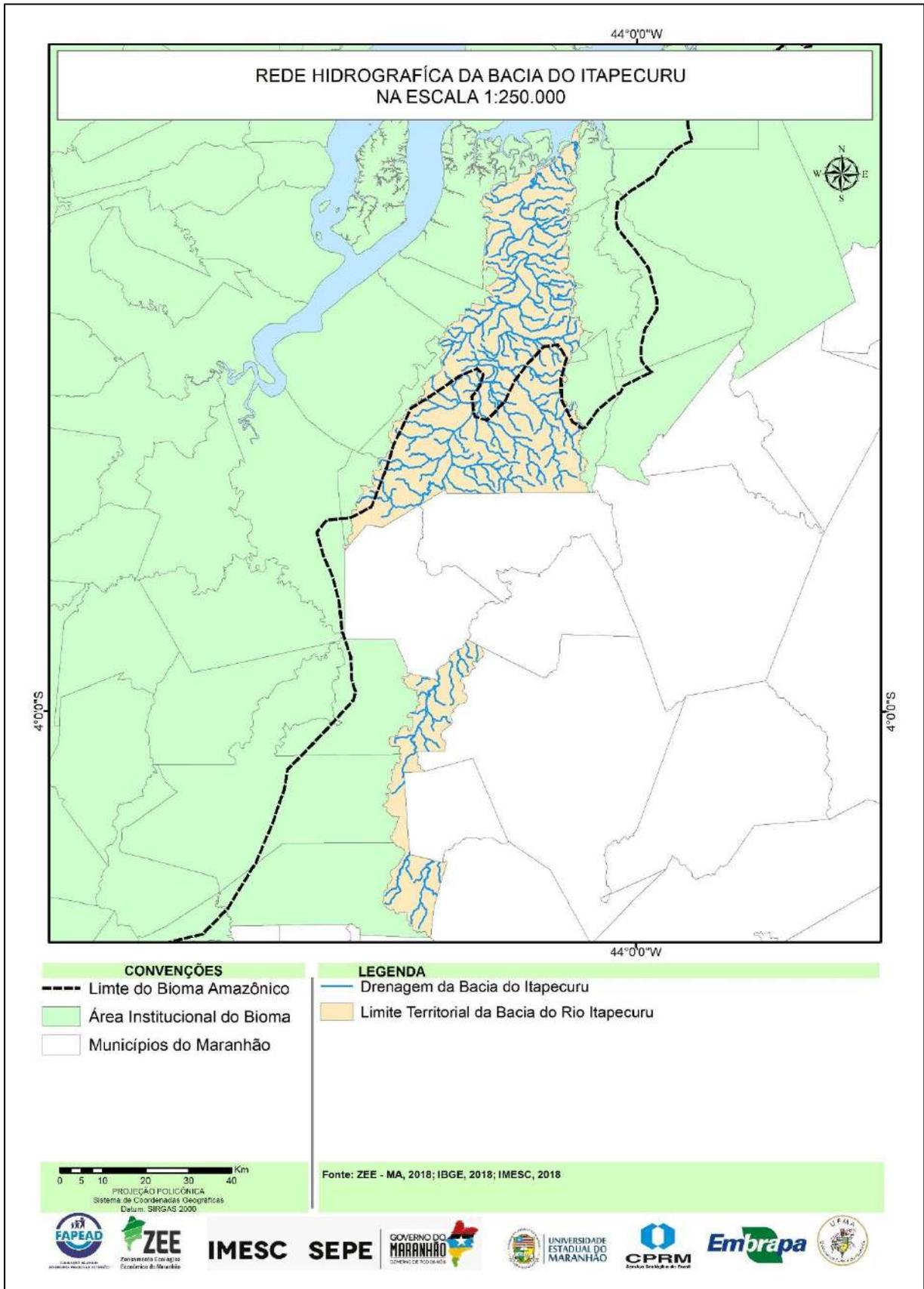


Figura 38 - Dados altimétricos da bacia do rio Itapecuru

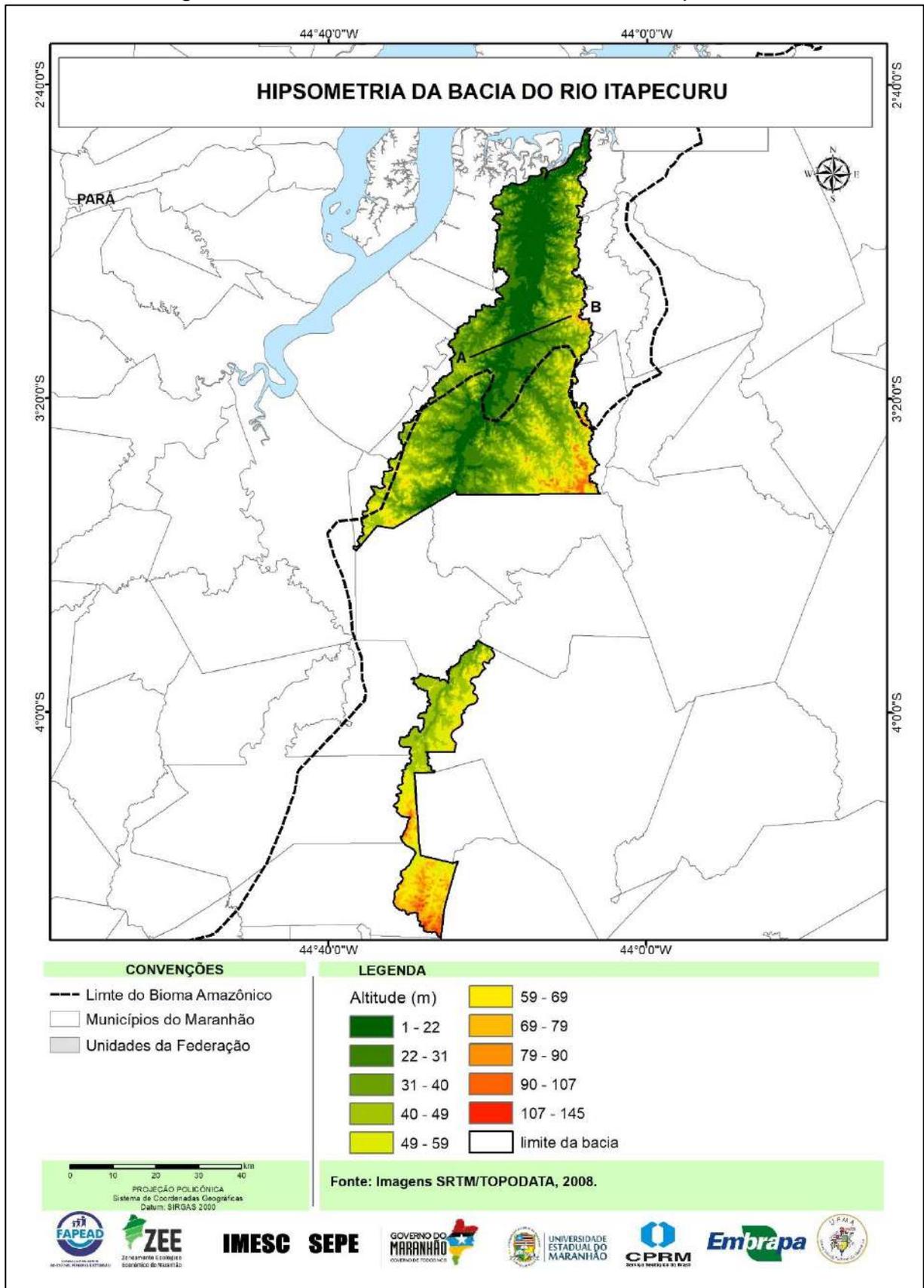


Figura 39 - Perfil longitudinal da bacia do rio Itapecuru



Fonte: Elaboração própria (2019)

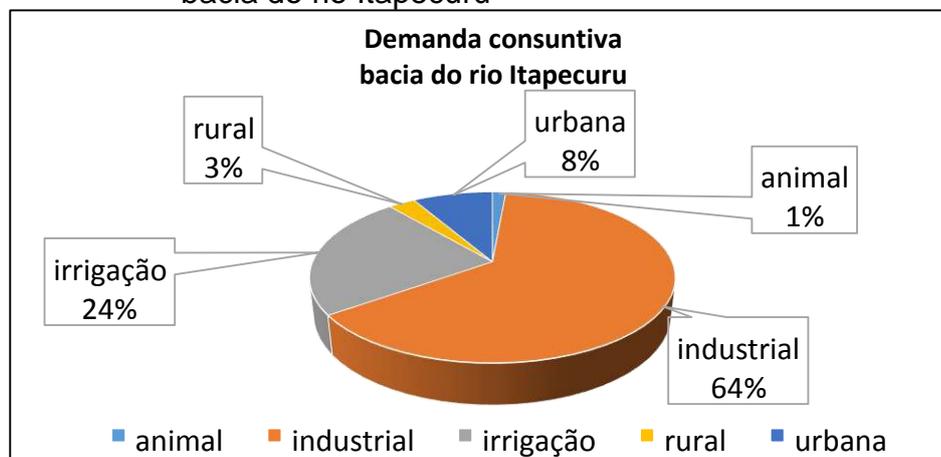
Tabela 10 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Itapecuru

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	56,5	Plano/praticamente plano
3-8	36,3	Suave ondulado
8-13	5,3	Moderadamente ondulado
13-20	1,6	Ondulado
20-45	0,23	Fortemente ondulado

Fonte: Elaboração própria (2019)

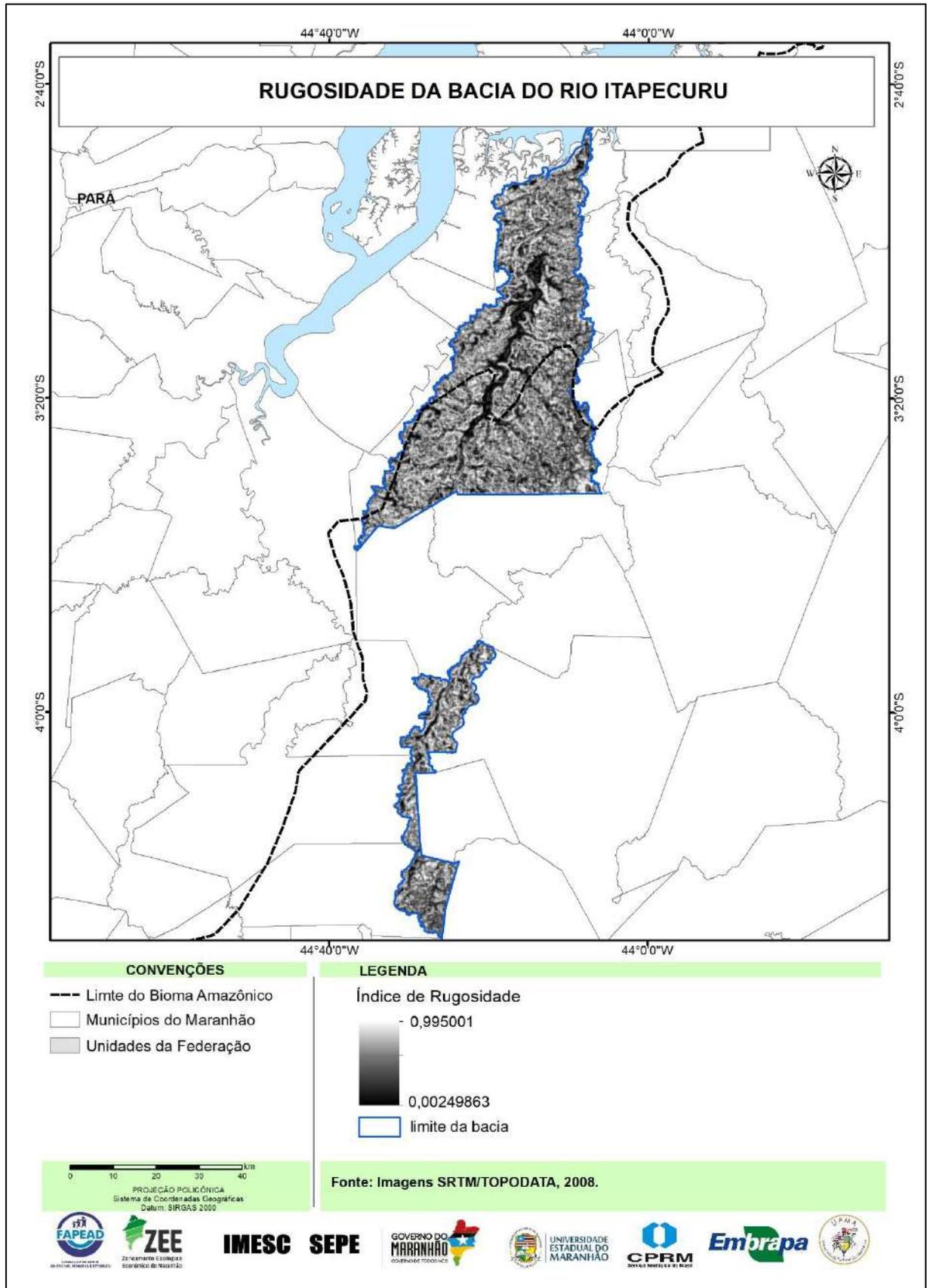
A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Itapecuru (Gráfico 17) concentra-se, principalmente, no uso destinado à indústria (64%), seguida da demanda para consumo destinado à irrigação (24%).

Gráfico 17 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Itapecuru



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

Figura 40 - Rugosidade da bacia do rio Itapecuru



3.8 Bacia do rio Munim

A bacia do rio Munim tem perímetro de 246,7km e área equivalente a 1.060,7km², correspondendo a 0,9% do território do bioma. A bacia do rio Munim encontra-se parcialmente inserida no Bioma Amazônico, sendo que a área corresponde à parte do baixo curso da bacia, interposto entre as bacias do rio Itapecuru e Periaá. Ao todo, a bacia possui 177 trechos de drenagem (Figura 41), totalizando 612,3km de extensão de cursos de água.

Os dados morfométricos mostram que a bacia possui densidade de drenagem mediana (0,58km/km²), uma das maiores do bioma, e a frequência de canais é de 0,17 Nc/km². Na Figura 42, são apresentados os dados altimétricos da bacia, sendo que a altitude máxima atinge 101m e, a altitude média, 38,6m. A margem esquerda apresenta maior volume de relevo onde despontam os tabuleiros sub-litorâneos. Destaca-se na bacia, a extensa área espreada da planície aluvial. Na seção A-B do perfil longitudinal (Figura 43), a diferença altimétrica entre topo-leito fluvial atinge 67m. Destaca-se o vale fluvial aberto em “U” e amplo que possui cerca de 2km de largura, como evidência de evolução da rede de drenagem.

A declividade média é de 2,5% e a máxima de 22,2% (Tabela 11), destacando as vertentes suaves e o relevo praticamente plano a suave ondulado do baixo curso do rio. O índice de rugosidade médio (Figura 44) é de 0,37, ressaltando a diferença da área plana do vale fluvial do rio principal em relação à zona mais rugosa, correspondente aos tabuleiros sub-litorâneos.

Figura 41 - Rede hidrográfica da bacia do rio Munim na escala 1:250.000

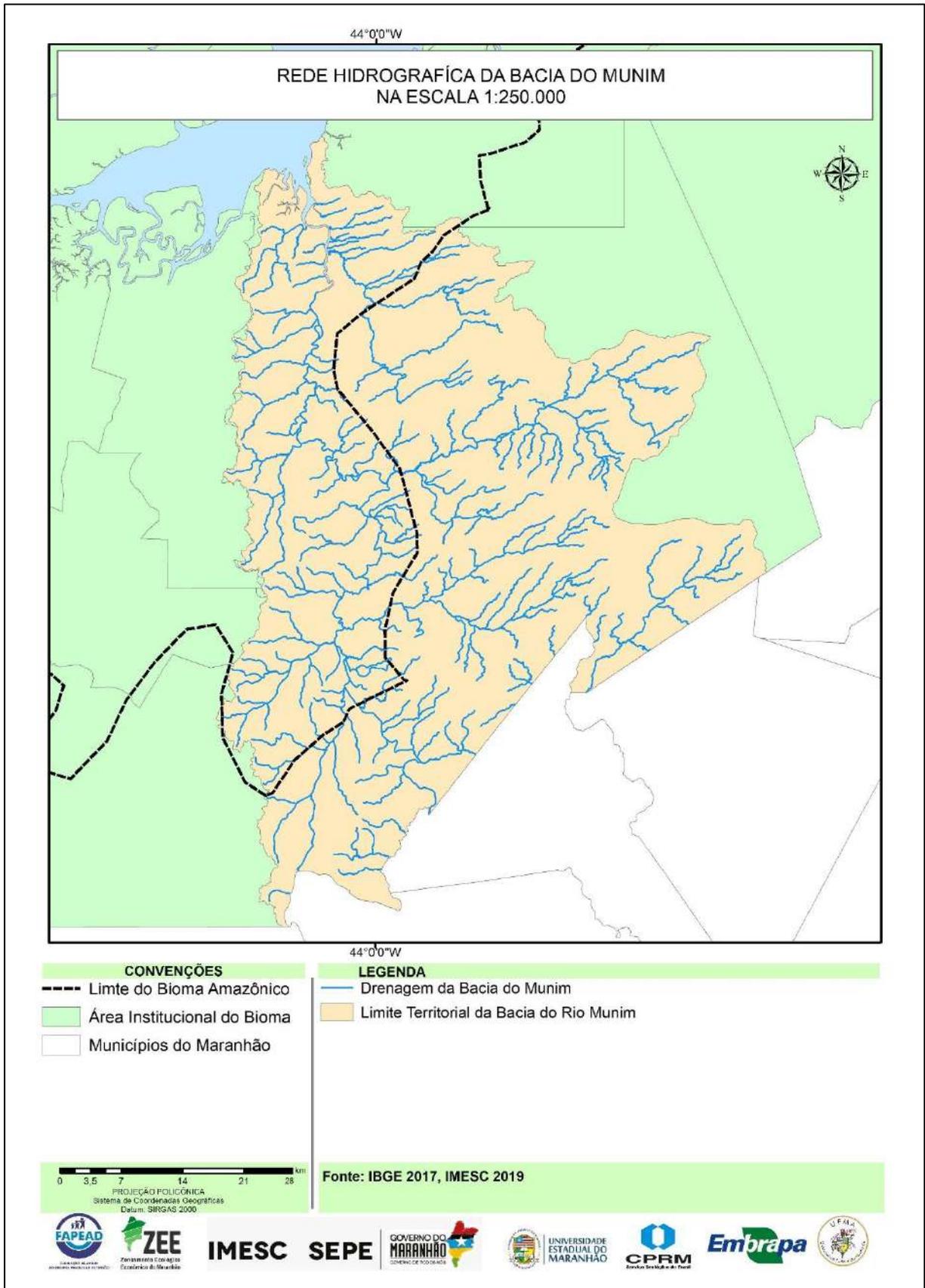


Figura 42 - Dados altimétricos da bacia do rio Munim.

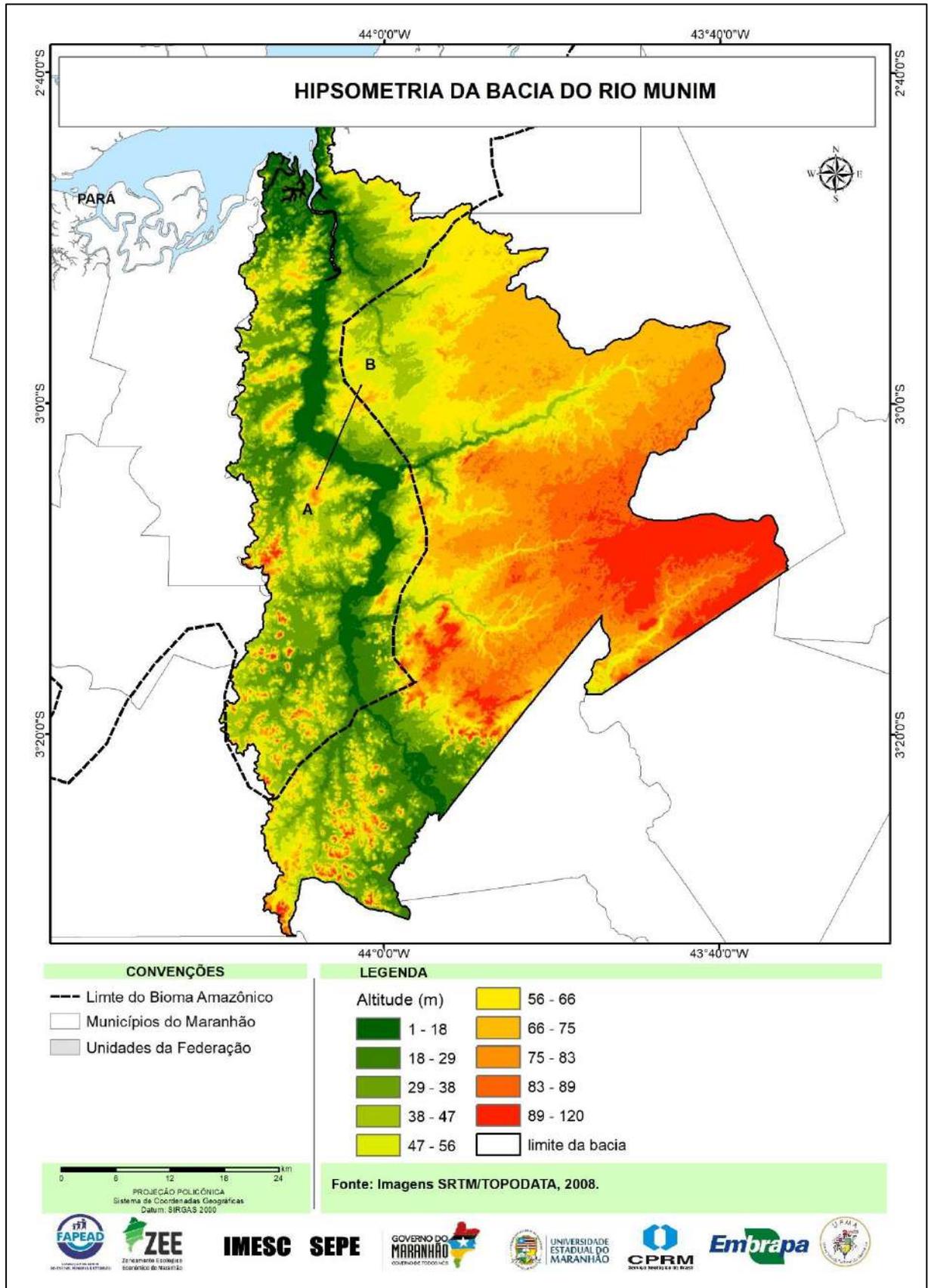


Figura 43 - Perfil longitudinal da bacia do rio Munim.



Fonte: Elaboração própria (2019)

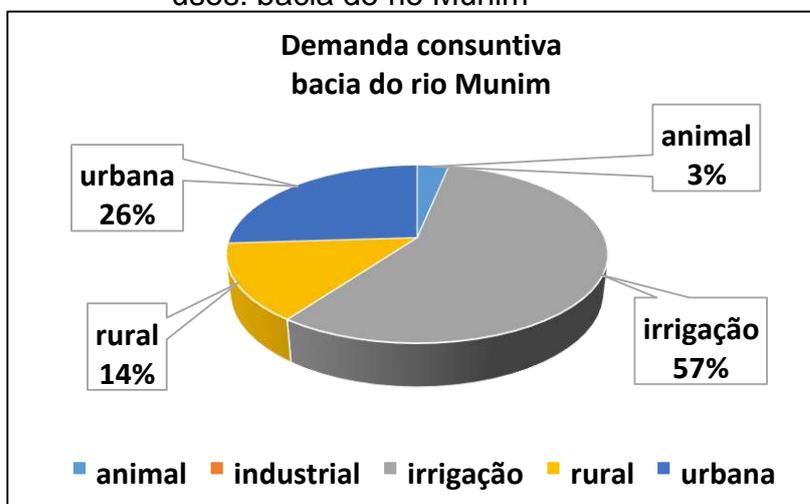
Tabela 11 - Classificação do relevo segundo a declividade na bacia do Munim

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	56,5	Plano/praticamente plano
3 - 8	36,3	Suave ondulado
8 - 13	5,3	Moderadamente ondulado
13 - 20	1,6	Ondulado
20 - 45	0,28	Fortemente ondulado

Fonte: Elaboração própria (2019)

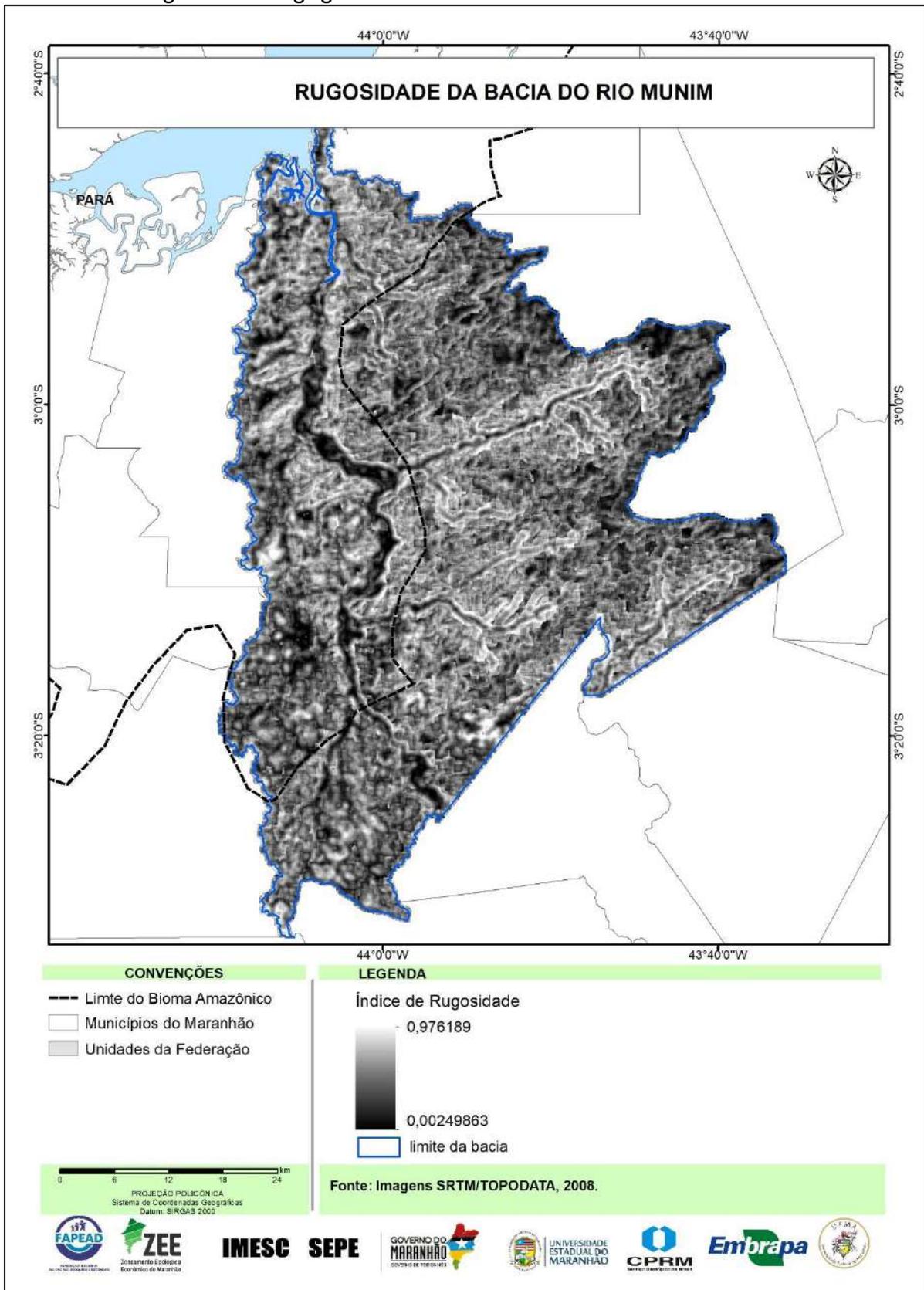
A demanda consuntiva hídrica da bacia do rio Munim (Gráfico 18) concentra-se, principalmente, no uso destinado à irrigação (57%) e ao meio rural 14%, seguida da demanda para consumo urbano (26%).

Gráfico 18 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: bacia do rio Munim



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

Figura 44 – Rugosidade da bacia do rio Munim



3.9 Sistemas de Bacias Costeiras

Os sistemas de bacias costeiras representam 7,2% do bioma, compreendendo área territorial de 8.217,1km². A partir das características da zona costeira maranhense foram individualizados dois sistemas (Figuras 45 e 46): (i) o Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses (A, B, C e D), um sistema estuarino recortado por profundas reentrâncias (Figura 45) e o Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense (A e B), um complexo estuarino onde deságuam os rios Mearim, Itapecuru e Munim (Figura 46). Os sistemas de bacias do Golfão Maranhense deságuam em três grandes baías: São José e do Tubarão. As principais baías do sistema de bacias das Reentrâncias Maranhenses são do Tromaí, Mutuca, Capim, Caçacueira, Mangunça, Cumã e São Marcos.

Em geral, os sistemas de bacias costeiras têm perímetro inferior em relação às demais bacias do bioma (63,9 a 566,4km) e ocupam área que varia de 132km² a 3.342km² (Tabela 12). Os dados altimétricos (Figuras 47 e 48) mostram que os sistemas de bacias costeiras apresentam relevo suave, sendo que a altitude média alcança 21,5m. A altitude máxima (148m) é registrada nas cabeceiras do sistema de bacia costeira das Reentrâncias Maranhenses C. A seção A-B do Golfão Maranhense B (Figura 49) demonstra que a diferença altimétrica entre topo-leito fluvial atinge 45m. Destaca-se o vale fluvial em “U” aberto e amplo, que possui cerca de 1,5km de largura e o maior volume de relevo na margem esquerda do estuário. Na seção A-B das Reentrâncias Maranhenses B (Figura 50), destaca-se a suavidade do relevo das cabeceiras em direção à foz, com desnível altimétrico de 55m.

Os dados morfométricos mostram que a densidade de drenagem dos sistemas é baixa (0,13 a 0,35 km/km²), com frequência de canais que varia entre 0,03 a 0,09 Nc/km² (Tabela 12). A declividade média é de 1,8% e a máxima de 35,8% (Tabela 13), destacando as vertentes suaves e o relevo praticamente plano dos sistemas costeiros, e baixo potencial energético, considerando que a frequência de declividade se concentra na classe de 0 a 8%. O índice de rugosidade médio (Figuras 51 e 52) é de 0,38 e ressalta a diferença entre as áreas planas e alagadiças do vale fluvial dos rios principais em relação a uma zona mais rugosa dos tabuleiros costeiros.

Figura 45 - Rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses na escala 1:250.000

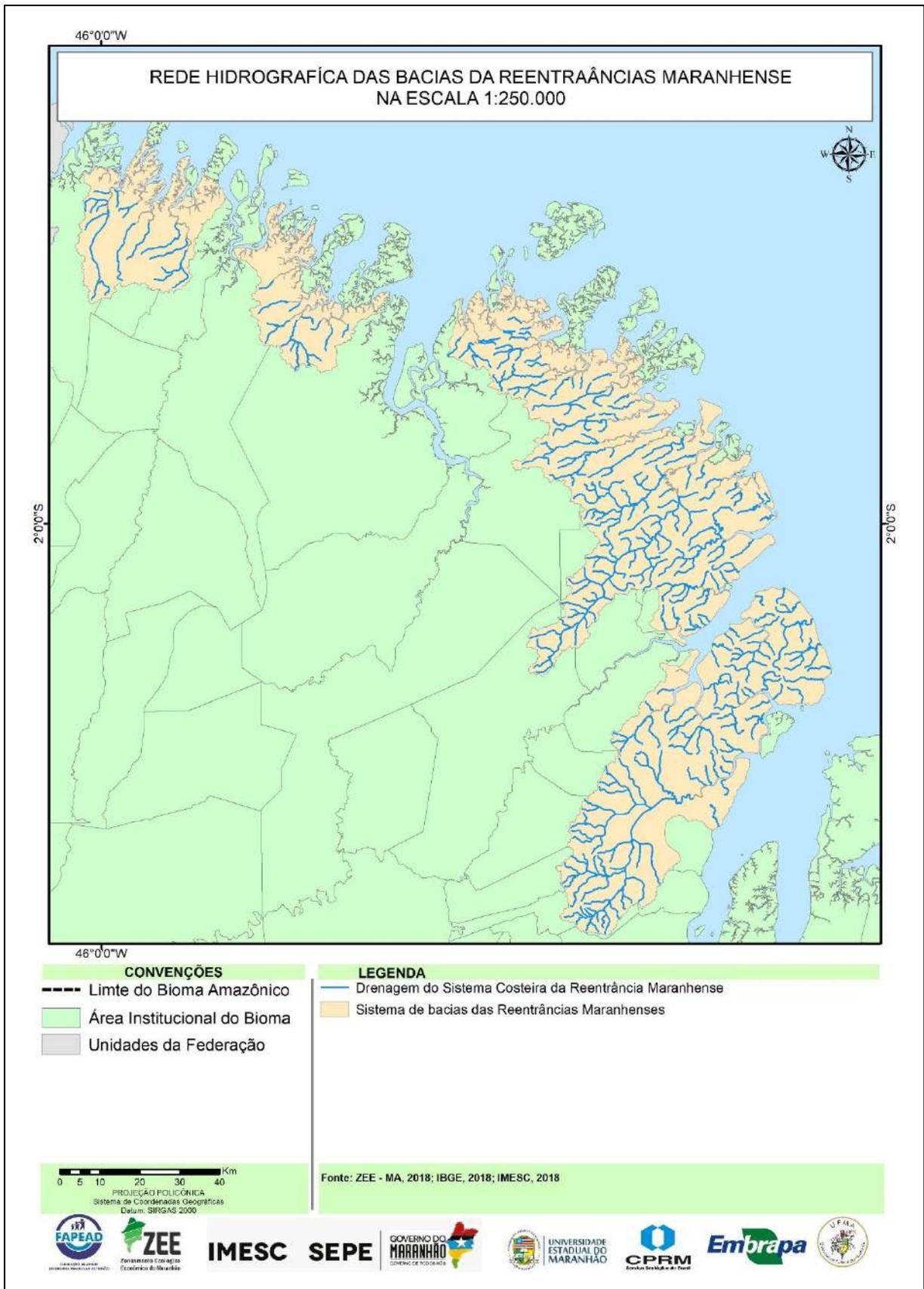


Figura 46 - Rede hidrográfica do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense na escala 1:250.000

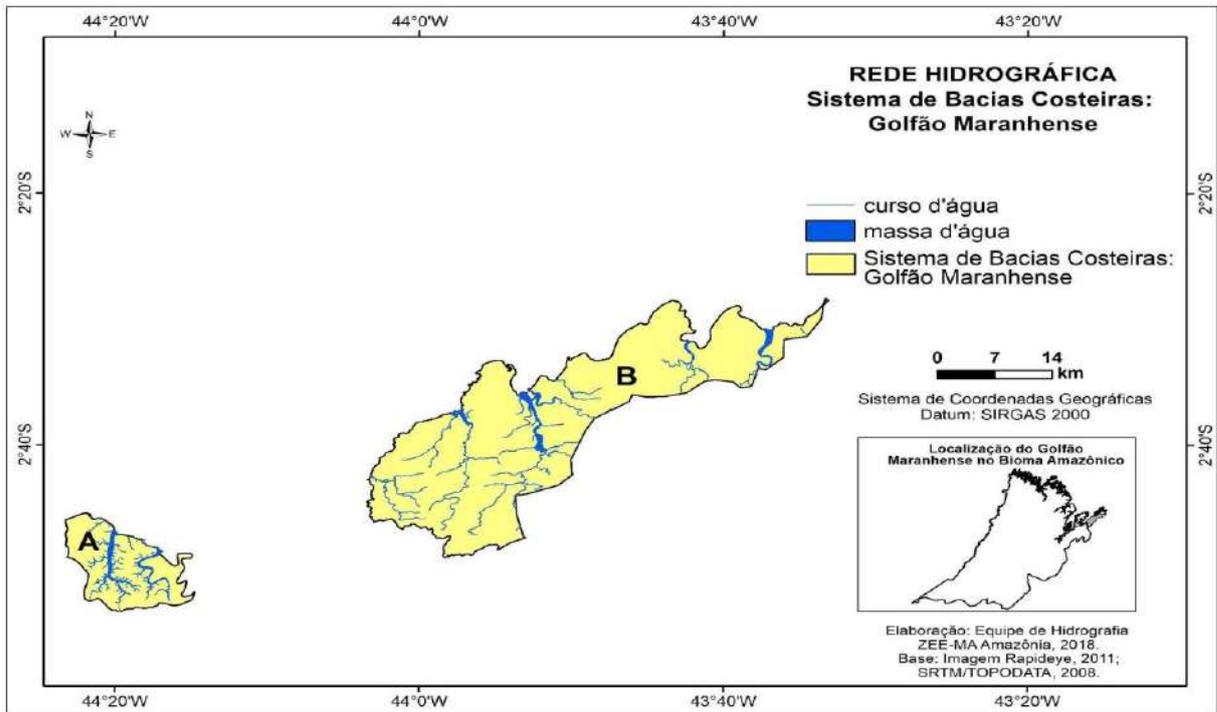


Figura 47 - Dados altimétricos da bacia do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense

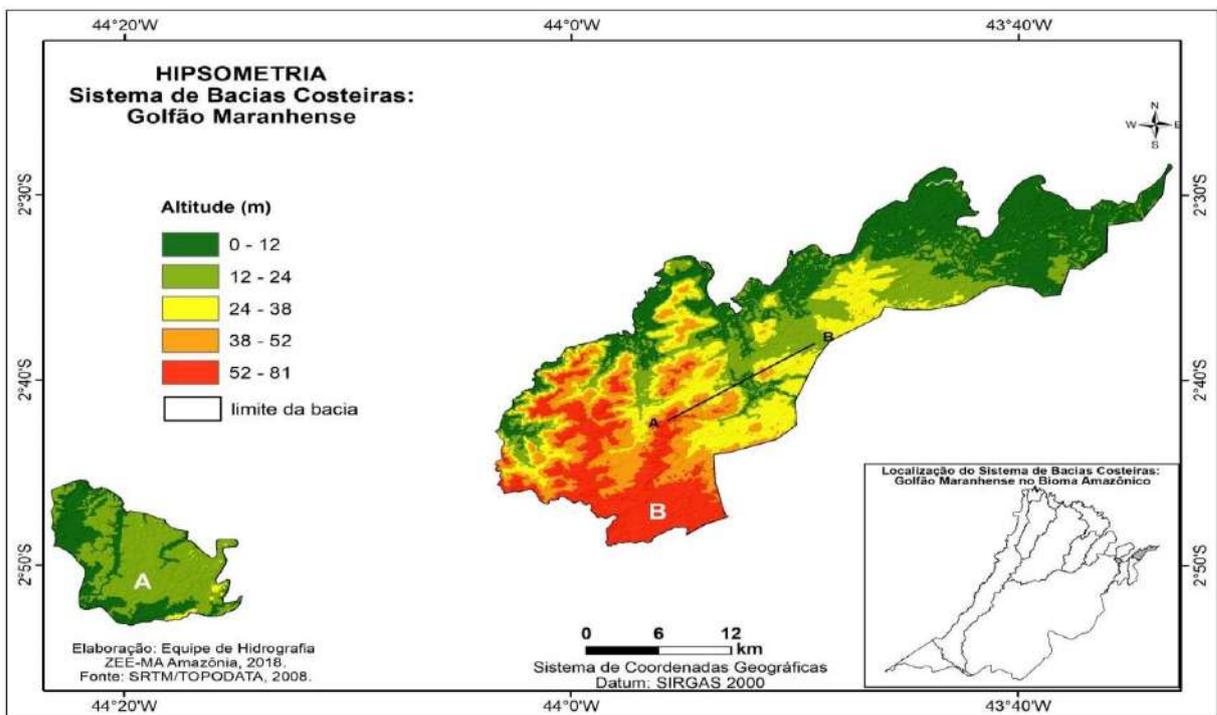


Figura 48 - Dados altimétricos da bacia do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses

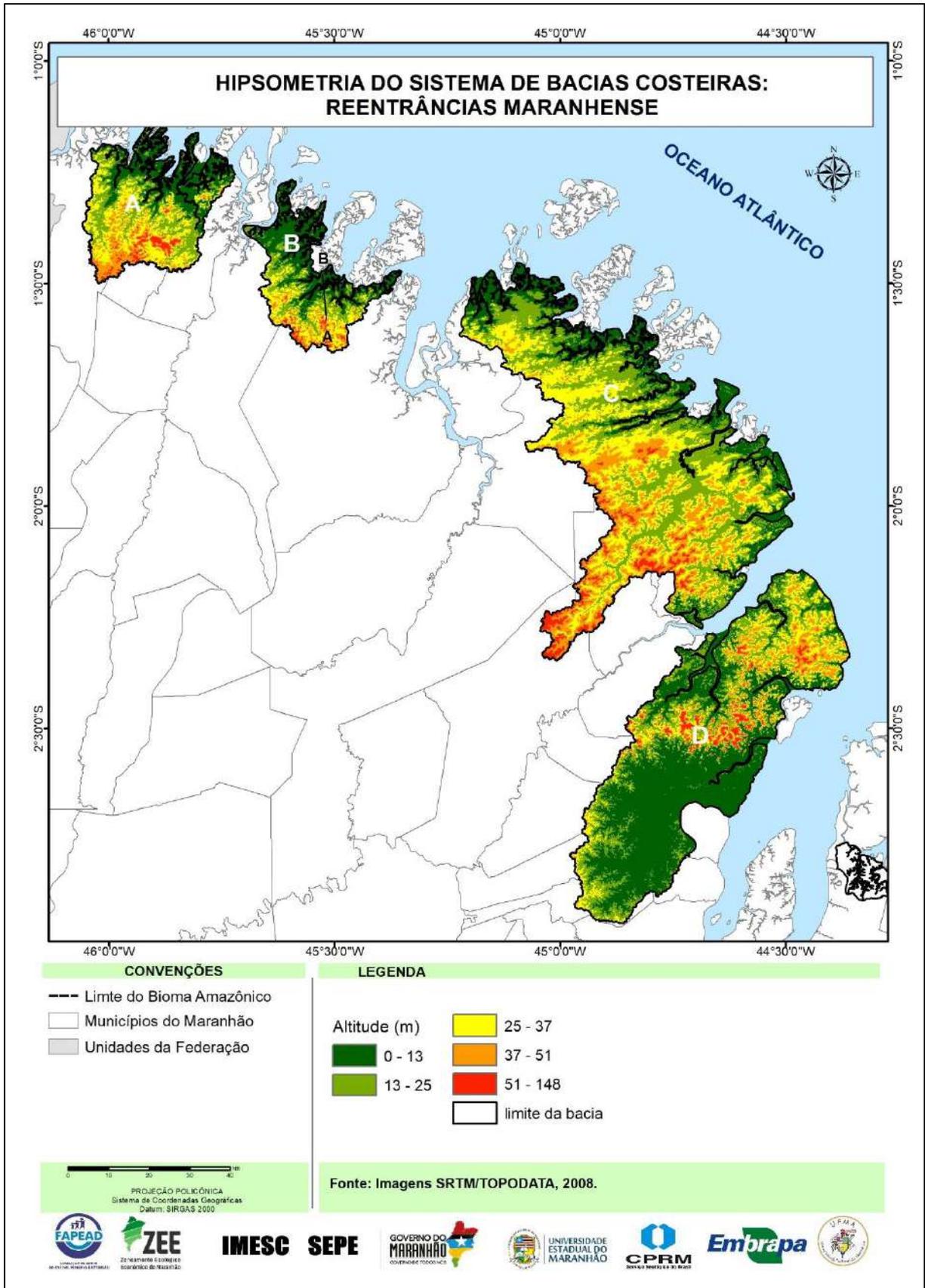


Tabela 12 - Parâmetros morfométricos dos sistemas costeiros

NOME	Área (km ²)	Comprimento dos rios (km)	Nº de canais	Densidade de drenagem (km/km ²)	Frequência de canais (Nc/km)	Perímetro (km)	Índice de rugosidade (média)
Golfão Maranhense A	132,9	38,8	13	0,29	0,09	63,9	0,41
Golfão Maranhense B	697,0	189,6	53	0,27	0,08	211,7	0,39
Reentrâncias Maranhenses A	908,2	159,9	23	0,18	0,03	253,9	0,37
Reentrâncias Maranhenses B	629,6	83,7	19	0,13	0,03	214,5	0,36
Reentrâncias Maranhenses C	3.342,5	1.108,8	253	0,33	0,08	566,4	0,39
Reentrâncias Maranhenses D	2.506,9	877,4	184	0,35	0,07	308,7	0,33

Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 49 - Perfil longitudinal do Golfão Maranhense B



Fonte: Elaboração própria (2019)

Gráfico 50 - Perfil longitudinal das Reentrâncias Maranhenses B



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 51 - Rugosidade do Sistema de Bacias Costeiras do Golfão Maranhense

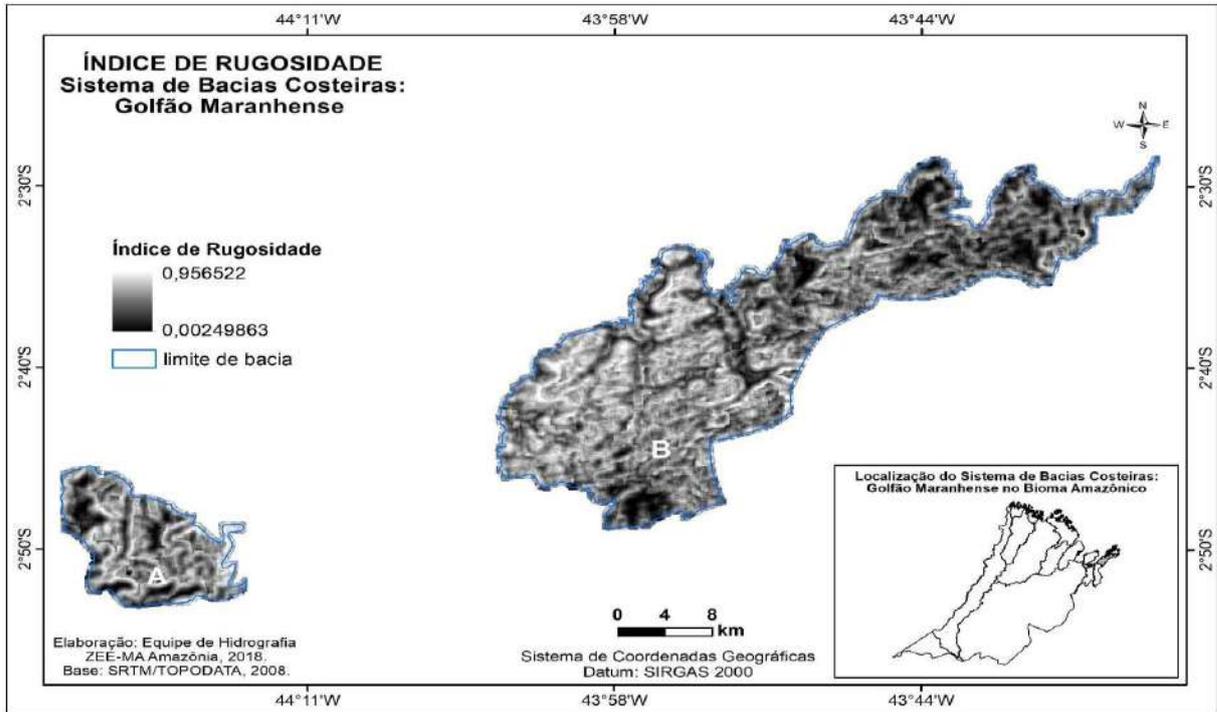


Figura 52 - Rugosidade do Sistema de Bacias Costeiras das Reentrâncias Maranhenses

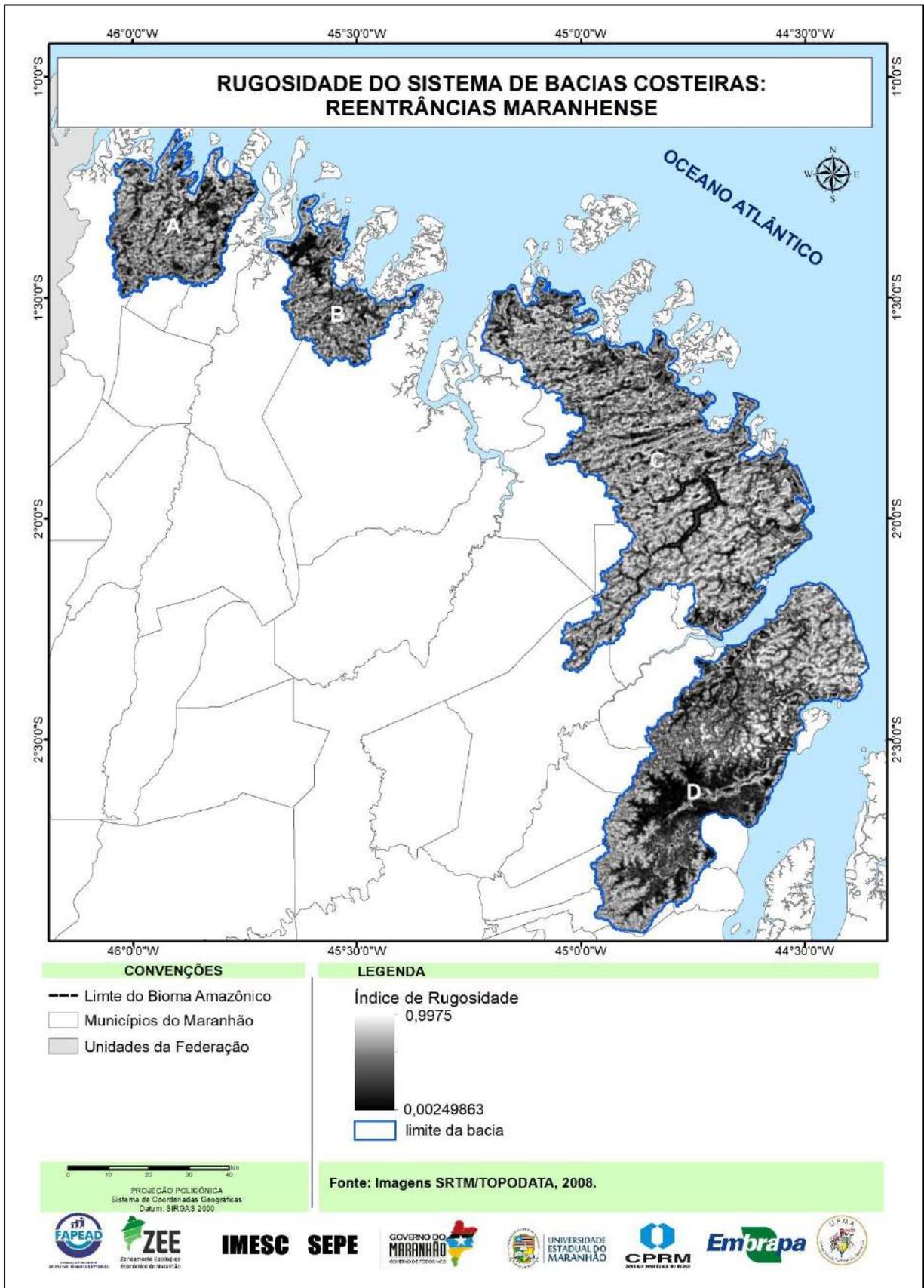


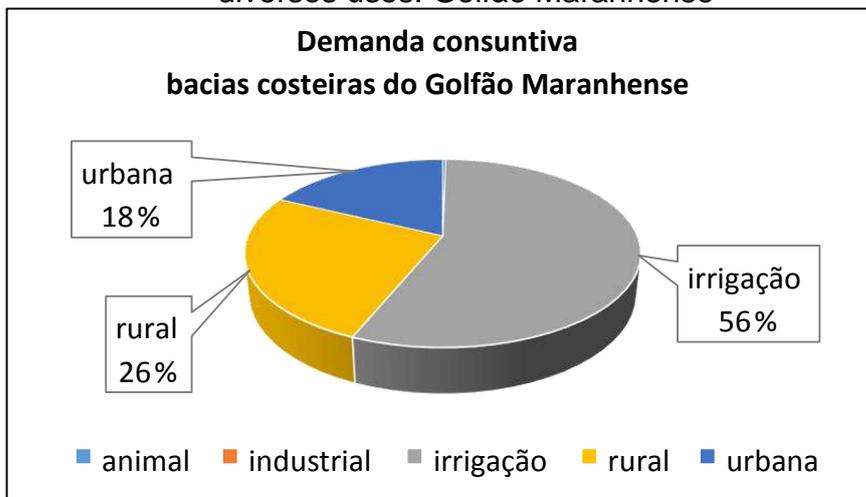
Tabela 13 - Classificação do relevo segundo a declividade nos sistemas costeiros

Sistemas de Bacias Costeiras: Golfão Maranhense A		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	53,1	Plano/ praticamente plano
3 - 8	41,8	Suave ondulado
8 - 13	4,6	Moderadamente ondulado
13 - 20	0,5	Ondulado
20 - 45	0,05	Fortemente ondulado
Sistemas de Bacias Costeiras: Golfão Maranhense B		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	56,8	Plano/ praticamente plano
3 - 8	38,3	Suave ondulado
8 - 13	4,3	Moderadamente ondulado
13 - 20	0,6	Ondulado
20 - 45	0,04	Fortemente ondulado
Sistemas de Bacias Costeiras: Reentrâncias Maranhenses A		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	41,8	Plano/praticamente plano
3 - 8	45,2	Suave ondulado
8 - 13	10,8	Moderadamente ondulado
13 - 20	2,1	Ondulado
20 - 45	0,2	Fortemente ondulado
Sistemas de Bacias Costeiras: Reentrâncias Maranhenses B		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	44,5	Plano/praticamente plano
3 - 8	43,7	Suave ondulado
8 - 13	9,9	Moderadamente ondulado
13 - 20	1,8	Ondulado
20 - 45	0,2	Fortemente ondulado
Sistemas de Bacias Costeiras: Reentrâncias Maranhenses C		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	52,1	Plano/praticamente plano
3 - 8	43,9	Suave ondulado
8 - 13	3,6	Moderadamente ondulado
13 - 20	0,4	Ondulado
20 - 45	0,02	Fortemente ondulado
Sistemas de Bacias Costeiras: Reentrâncias Maranhenses D		
Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0 - 3	41,9	Plano/praticamente plano
3 - 8	43,2	Suave ondulado
8 - 13	8,6	Moderadamente ondulado
13 - 20	4,7	Ondulado
20 - 45	1,7	Fortemente ondulado
>45	0,001	Montanhoso

Fonte: Elaboração própria (2019)

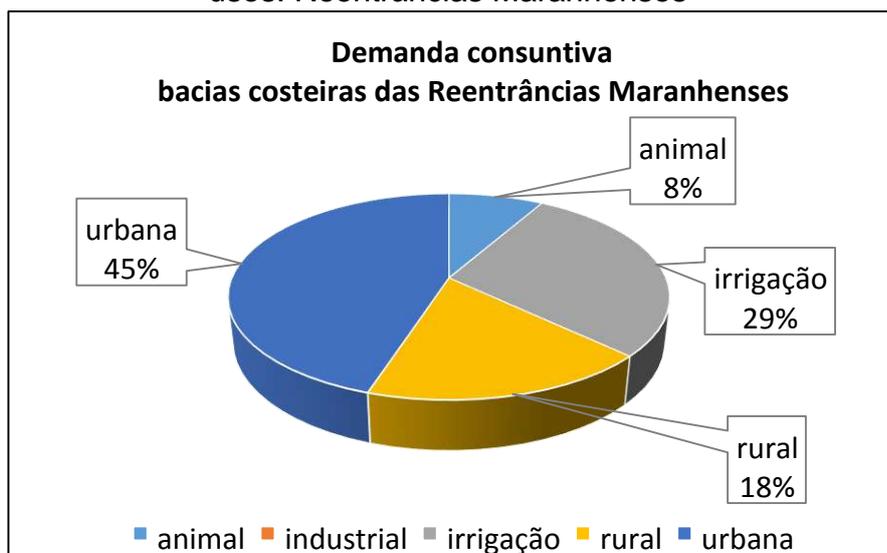
A demanda consuntiva hídrica dos sistemas costeiros (Gráficos 19 e 20) concentra-se, principalmente, no uso destinado à irrigação e ao meio rural (56% e 18%), no Golfão Maranhense, enquanto que, nas Reentrâncias Maranhenses, destina-se principalmente ao consumo urbano (45%), à irrigação e ao meio rural.

Gráfico 19 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: Golfão Maranhense



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

Gráfico 20 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: Reentrâncias Maranhenses



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

3.10 Ilha do Maranhão

A ilha do Maranhão integra o Bioma Amazônico, com perímetro de 167,8km e área equivalente a 875,9 km², correspondendo a 2,7% do território do bioma. Ao todo, a bacia possui 43 trechos de drenagem (Figura 53), totalizando 183,5km de extensão de cursos de água.

Os dados morfométricos mostram que a ilha possui densidade de drenagem baixa (0,21km/km²) e frequência de canais de 0,05 Nc/km². A altitude máxima corresponde a 66m e a altitude média a 23,6m (Figura 54). As maiores altitudes

predominam na porção central da ilha, próximo às cabeceiras dos rios Anil e Tibiri. O perfil longitudinal da seção A-B (Figura 55) destaca os tabuleiros e os vales fluviais dos rios Santo Antônio e Paciência, cujos leitos encontram-se a 10m de altitude. A diferença altimétrica entre topo-leito fluvial atinge cerca de 30m, ressaltando a suavidade do relevo.

A declividade média da ilha é de 2,3% (Tabela 14). O relevo da bacia classifica-se principalmente como plano a suave ondulado. Destaca-se maior declividade (acima de 21%) apenas nas escarpas dos tabuleiros litorâneos, em especial, nas falésias ativas da faixa costeira. O índice de rugosidade médio (Figura 56) é de 0,41 e ressalta a diferença entre a área de menor rugosidade, representada pelos vales fluviais dos rios Anil, Paciência, Tibiri e Santo Antônio, e, a de maior rugosidade, que corresponde aos tabuleiros do planalto sedimentar.

Figura 53 - Rede hidrográfica da Ilha do Maranhão na escala 1:250.000

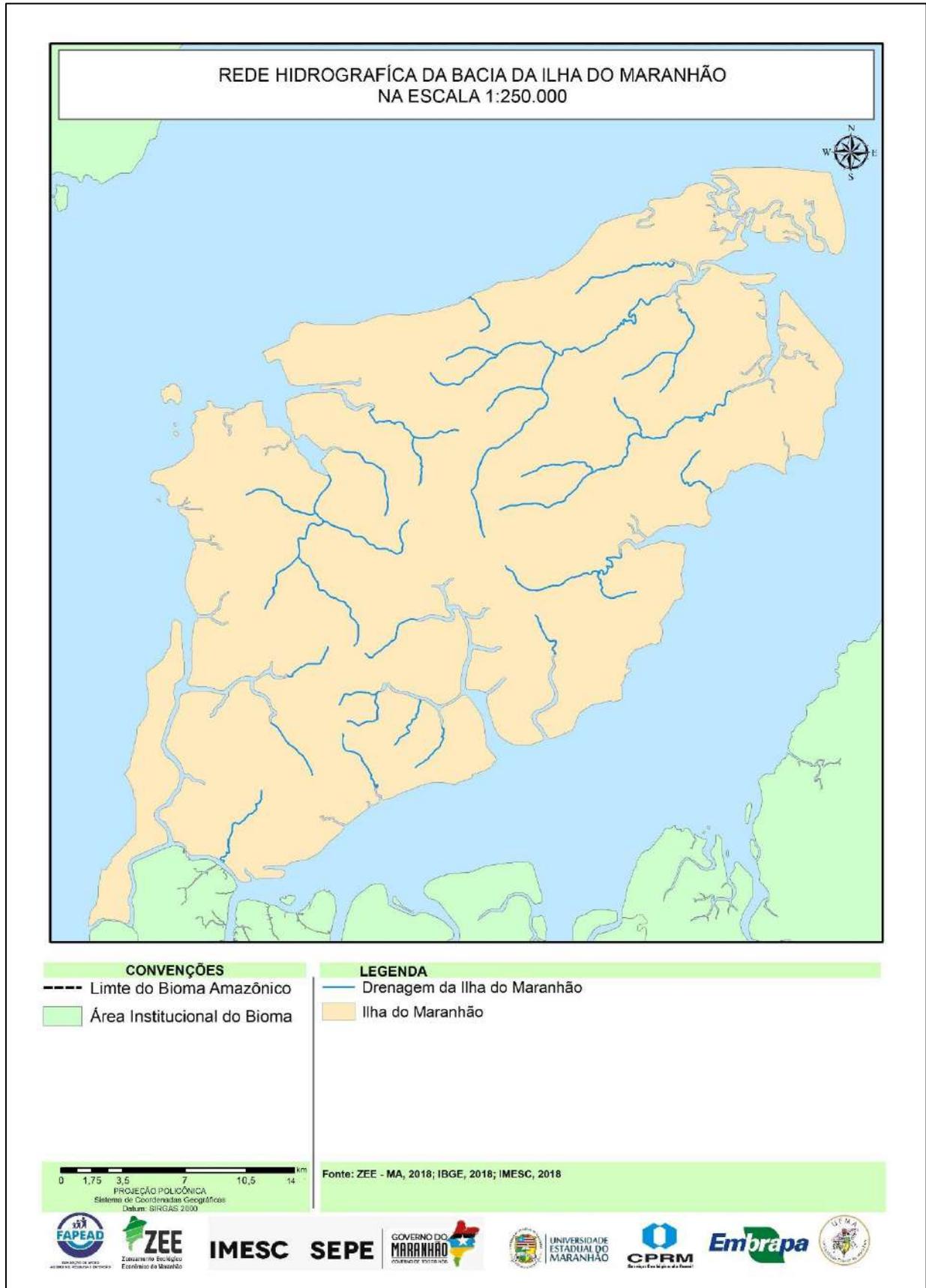


Figura 54 - Dados altimétricos da Ilha do Maranhão

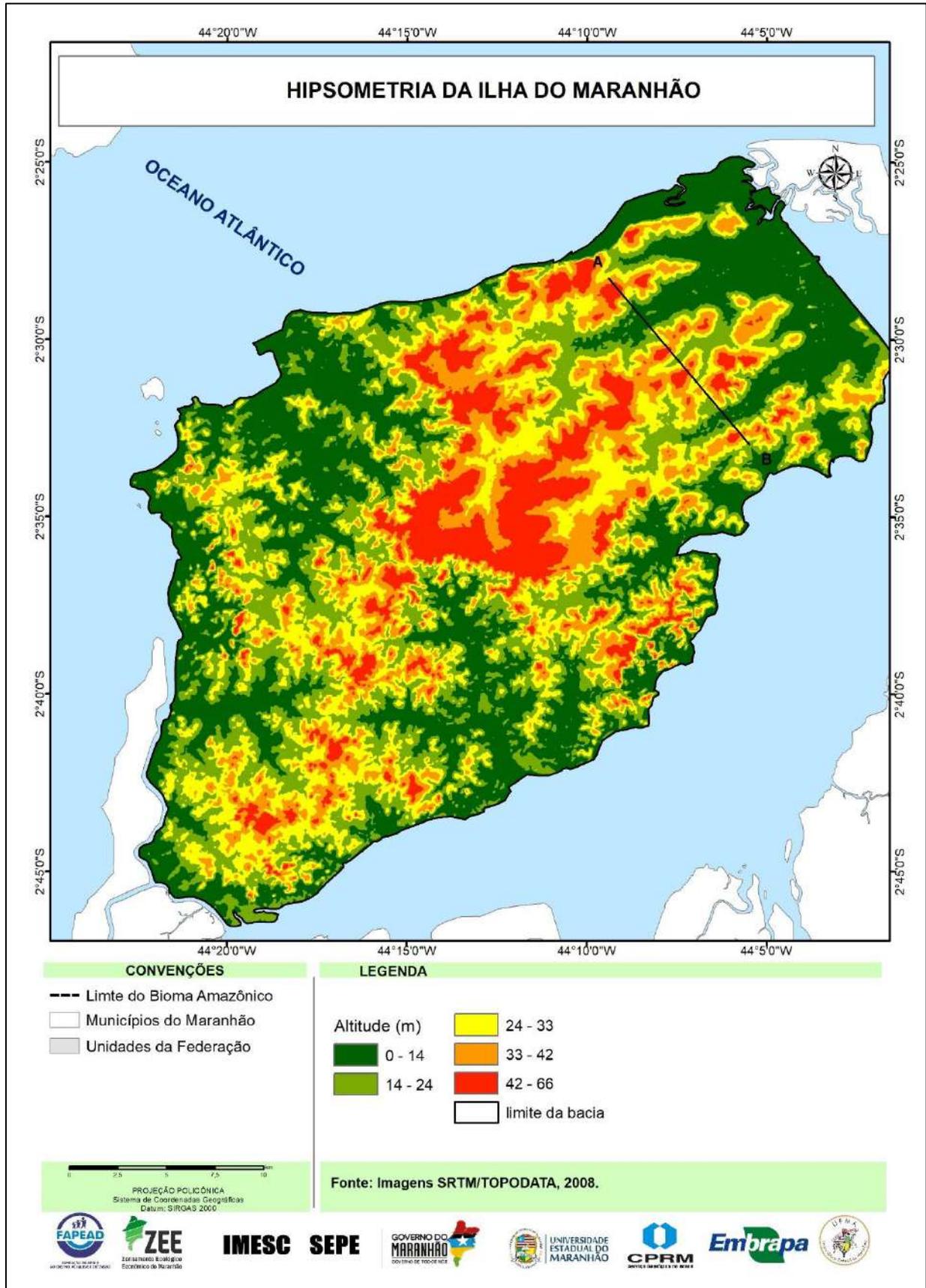
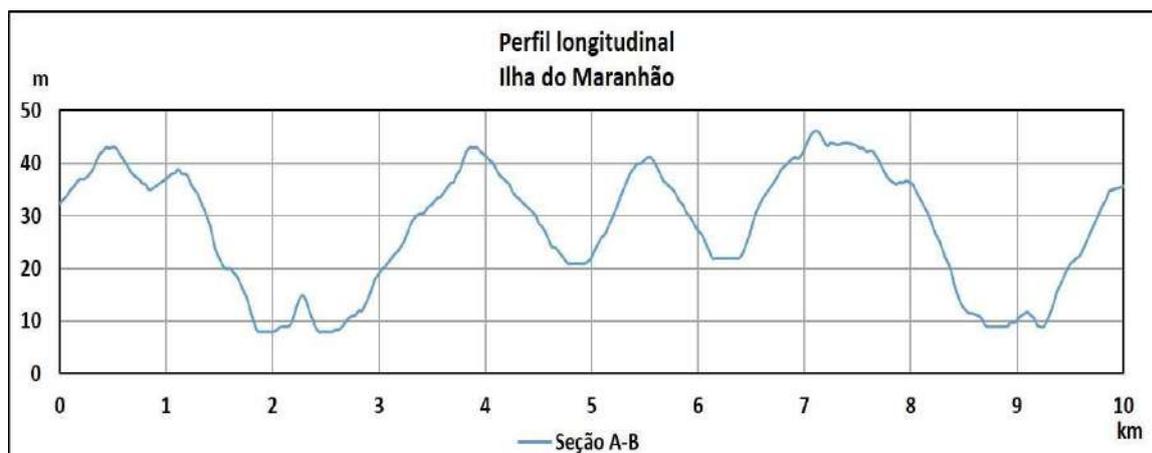


Figura 55 - Perfil longitudinal da Ilha do Maranhão



Fonte: Elaboração própria (2019)

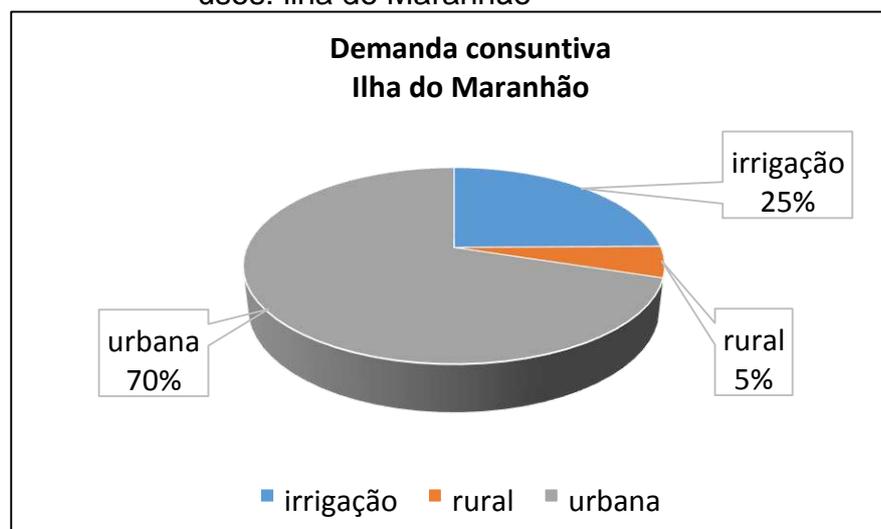
Tabela 14 - Classificação do relevo segundo a declividade na Ilha do Maranhão

Declividade (%)	Área da bacia (%)	Relevo
0-3	36,29	Plano/ praticamente plano
3-8	52,86	Suave ondulado
8 - 13	8,76	Moderadamente ondulado
13 - 20	1,90	Ondulado
20-45	0,19	Fortemente ondulado

Fonte: Elaboração própria (2019)

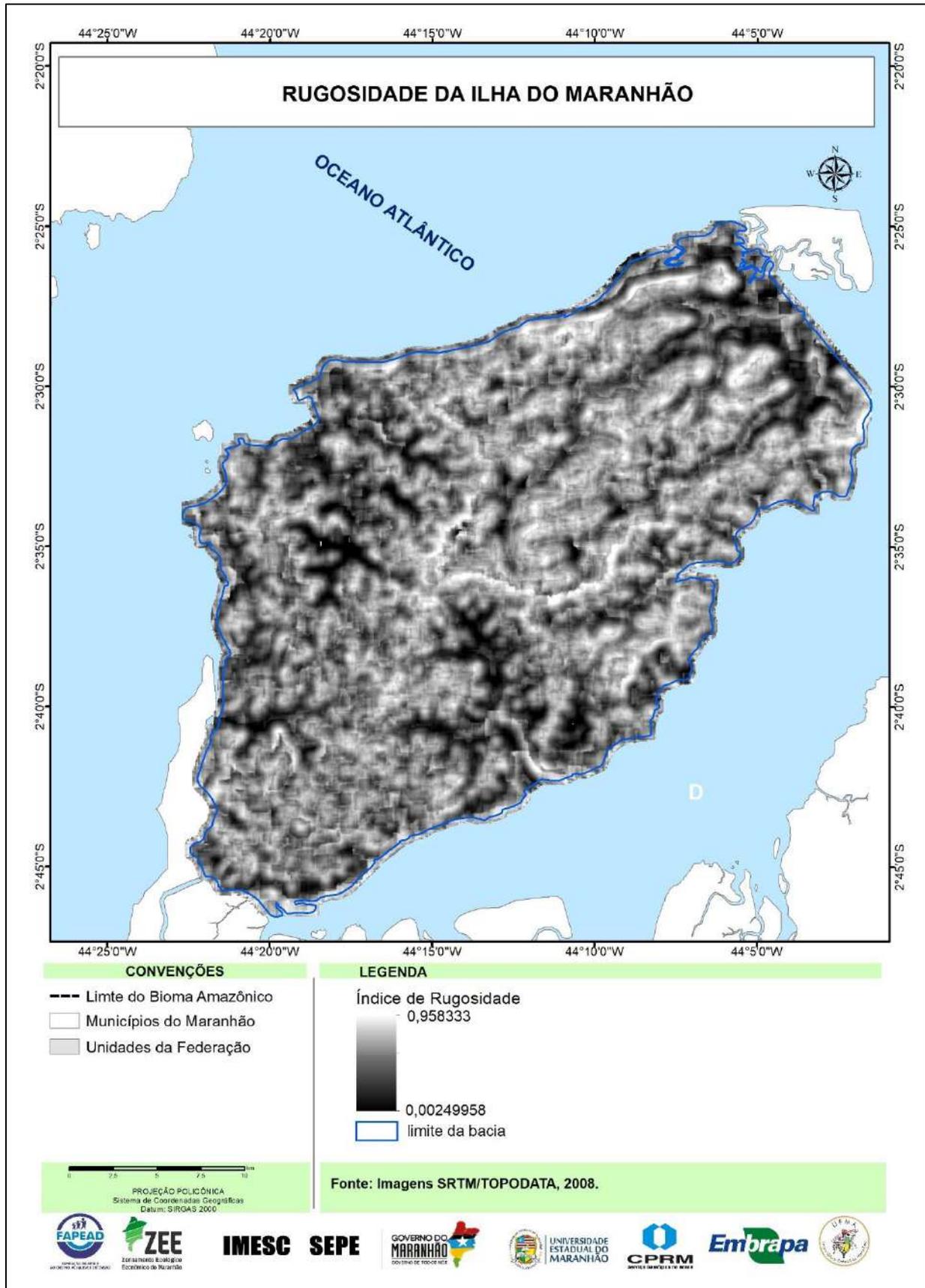
A demanda consuntiva hídrica da ilha do Maranhão (Gráfico 21) concentra-se, principalmente, no consumo urbano (70%), seguida da demanda para a irrigação (25%).

Gráfico 21 - Estimativa da vazão de consumo para diversos usos: ilha do Maranhão



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2013/2014

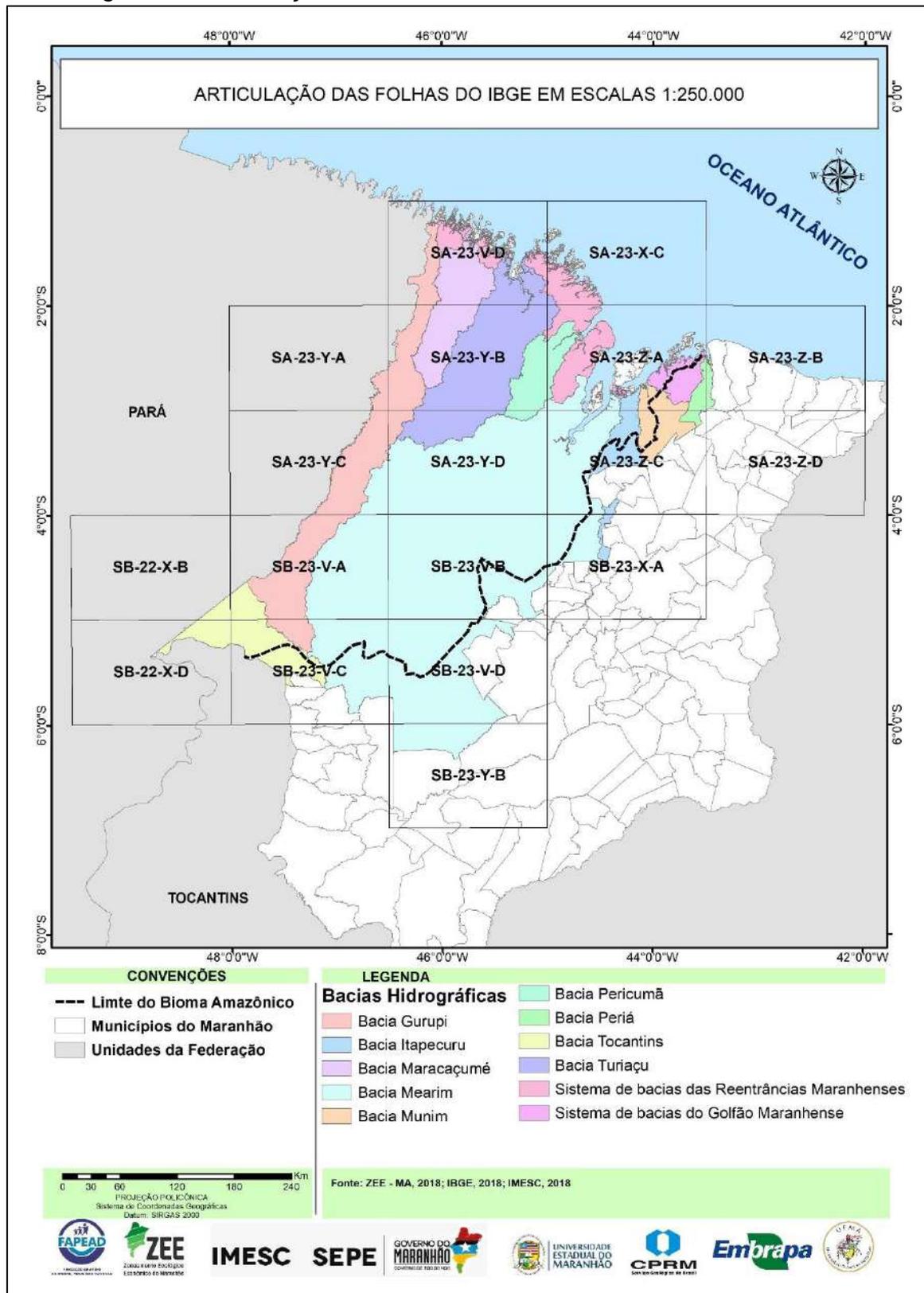
Figura 56 - Rugosidade da bacia da ilha do Maranhão.



4. REDE HIDROGRÁFICA NA ESCALA 1:250.000

Os trechos de drenagem, as massas de água e os limites de bacia contemplaram dezoito folhas na articulação 1:250.000 (Figura 57).

Figura 57- Articulação das folhas 1:250.000 com os limites do bioma

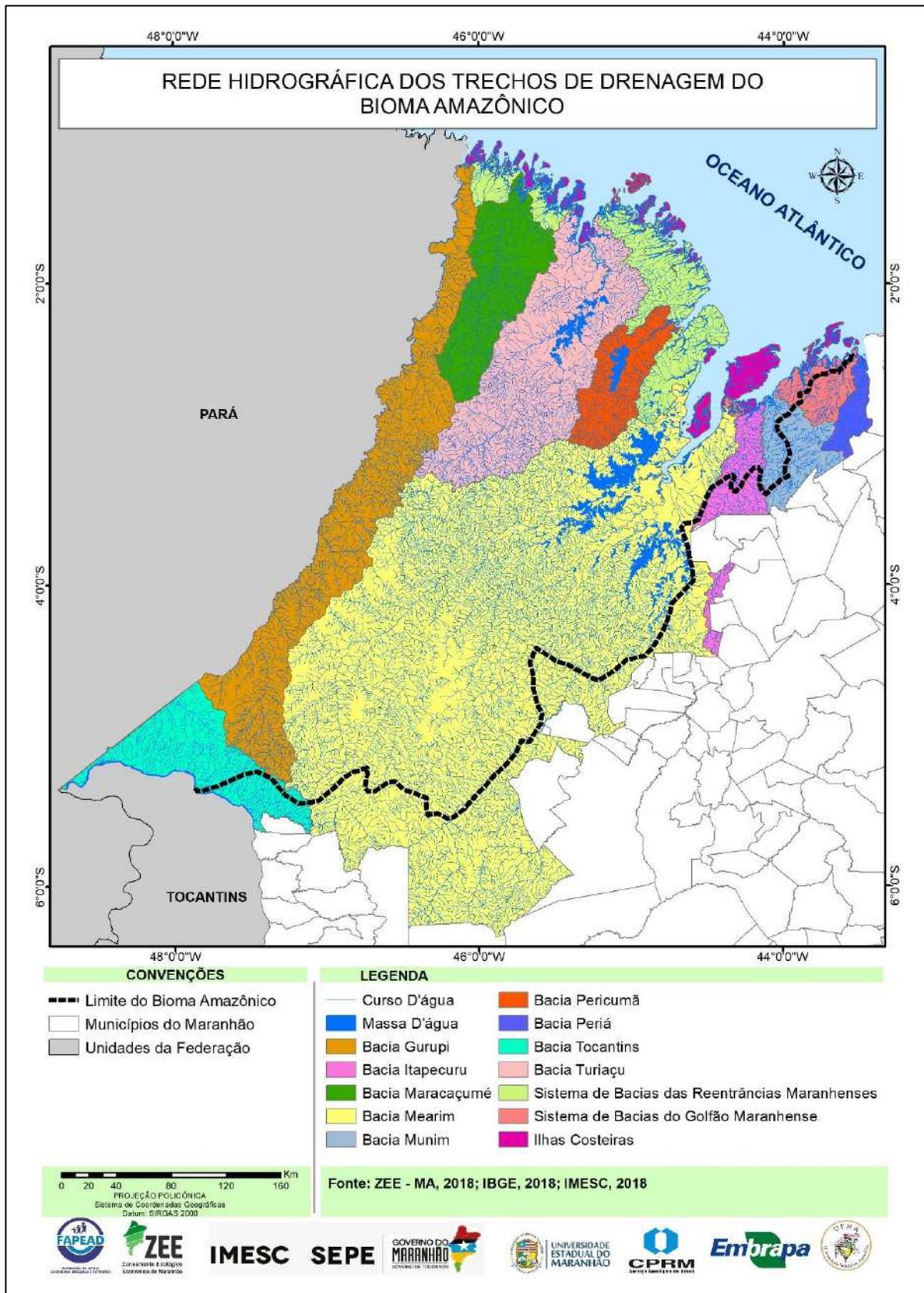


A Tabela 15 mostra os resultados da extensão dos trechos de drenagem (km) e do número de trechos de drenagem na escala 1:250.0000 em relação aos dados da base espacial original (2016) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ao todo, o Bioma Amazônico apresenta, em relação aos dados espaciais do IBGE, acréscimo de 42.039,88km de extensão dos cursos d'água e, 14.617 novos trechos de drenagem. A Figura 58 mostra o resultado final da vetorização da rede hidrográfica do Bioma Amazônico.

Tabela 15 - Resultados da rede de hidrográfica em relação aos dados do IBGE

FOLHAS 1:250.000	NOME DAS FOLHAS	Área (km ²) do bioma na folha	Extensão (km) do trecho de drenagem IBGE	Número de trechos de drenagem IBGE	Extensão (km) do trecho de drenagem ZEE	Número de trechos de drenagem ZEE
SA-23-V-D	TURIAÇU	9.707,6	1.305,6	250	2.401,9	532
SA-23-X-C	CURURUPU	2.197,9	316,8	58	533,1	125
SA-23-Y-A	RIO CAPIM	645,9	146,8	30	307	68
SA-23-Y-B	PINHEIRO	17.531,8	2.479,9	346	8.075,4	2.212
SA-23-Z-A	SÃO LUÍS	11.165,9	1.485,9	283	3.892,5	885
SA-23-Z-B	BARREIRINHAS	324,9	42,5	8	132,6	33
SA-23-Y-C	PARAGOMINAS	5.446,5	1.178,1	208	2.605,4	719
SA-23-Y-D	SANTA INÊS	18.419,6	4.031	624	11.413,3	3.371
SA-23-Z-C	ITAPECURU-MIRIM	10.513,5	1.492,8	174	4.290,4	939
SA-23-Z-D	CHAPADINHA	0,6	-	-	-	-
SB-22-X-B	RONDON DO PARÁ	457,6	54,6	7	241,2	88
SB-23-V-A	AÇAILÂNDIA	14.140,3	2.023,7	228	6.363,8	1.956
SB-23-V-B	VITORINO FREIRE	17.282,6	2.952,4	355	9.273,1	2.914
SB-23-X-A	BACABAL	3.286,7	681,8	153	1.617,5	405
SB-22-X-D	MARABÁ	1.332,2	317,7	54	688,6	172
SB-23-V-C	IMPERATRIZ	10.649,1	1.639,8	207	5.703,7	1.581
SB-23-V-D	BARRA DO CORDA	10.906,9	1.651,2	168	5.268,4	1.388
SB-23-Y-B	FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	2.676,06	557,9	88	1.590,7	470
TOTAL		-	22.358,5	3.241	64.398,37	17.858

Figura 58 - Rede hidrográfica e a articulação das folhas 1:250.000



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de subsidiar o processo de elaboração do ZEE do bioma Amazônico, identificaram-se aspectos que merecem destaque sobre as águas superficiais, seja pela referência de qualidade ou pela deficiência.

A base espacial da rede hidrográfica – trechos de drenagem, massas de água e limites de bacia hidrográfica – na escala 1:250.000, representa um marco para a base cartográfica do estado do Maranhão e para as análises do Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico. Destaca-se que, a base de dados espacial disponibilizada é muito mais detalhada e atualizada no segmento dos recursos hídricos superficiais que as demais bases cartográficas existentes em meio digital. Contudo, vale ressaltar, num cenário futuro, a importância de atualização das bases cartográficas à medida que produtos de maior qualidade e precisão espacial são disponibilizados.

Os dados morfométricos mostraram que na maior bacia do bioma – bacia do rio Mearim (48,4%) – há uma diferença altimétrica entre o médio e baixo curso, provocando uma ruptura significativa no relevo. Essa diferença provoca alterações nos processos de erosão e sedimentação do médio curso, uma vez que o baixo curso promove o ajuste do nível de base. Nesse sentido, verifica-se que o entalhe vertical dos leitos fluviais no médio curso difere-se da configuração de vales fluviais em “U” e amplos do baixo curso. Porém, há que se destacar que outras variáveis também podem influenciar esse padrão de dissecação, como o substrato litológico e a ocorrência de lineamentos estruturais. Nas bacias dos rios Turiaçu, Maracaçumé e Gurupi (32,3%), a diferença altimétrica tem menor proporção, em relação à bacia do rio Mearim, e se concentra entre alto e médio curso dos rios.

De forma geral, predominam baixas declividades no Bioma Amazônico, evidenciadas sobretudo no baixo curso das bacias. Próximo à foz dos rios, as planícies de inundação formam extensas áreas alagáveis, que correspondem ao domínio de relevo plano suave, em área de pouca energia para o transporte sedimentar, onde se formam lagoas e brejos. Essas características evidenciam a maior expressividade dos processos de agadação em detrimento aos processos de degradação no baixo curso das bacias.

Os dados hidrológicos monitorados pela ANA/CPRM, independente da série histórica, mostraram que há uma tendência de redução da vazão dos rios principais. Esta evidência pode estar associada a diversos fatores, como a variabilidade climática,

o arcabouço lito-estrutural, o uso e ocupação do solo, a intensificação do desmatamento e queimadas, que têm consequência direta na disponibilidade hídrica. Outro aspecto importante refere-se à extensão da rede e a distribuição das estações fluviométricas nas bacias. A maior parte se concentra na bacia do rio Mearim, enquanto, a bacia do rio Pericumã – integralmente inserida no bioma – e a porção amazônica das bacias dos rios Gurupi, Tocantins, Itapecuru e Munim não apresentam estações fluviométricas. Portanto, constata-se que há necessidade de ampliação da rede de monitoramento fluviométrico nas bacias já monitoradas, bem como a inclusão de novas estações nas bacias que não possuem monitoramento, para melhor caracterização e precisão da disponibilidade hídrica no bioma.

Quanto à demanda consuntiva de água, verifica-se que, ao se considerar a estrutura fundiária e as características das culturas da Amazônia Maranhense, há uma demanda expressiva de água para a irrigação e dessedentação animal. Para a regulação do uso dos recursos hídricos, sugere-se, como medida fundamental, a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e as ações de gestão, sobretudo com a efetiva formação dos Comitês de Bacia. Dessa forma, esta necessidade se fará sentir e desencadeará ações para superá-la.

Por fim, o relatório temático dos recursos hídricos superficiais apresenta os dados necessários, em conjunto com as demais variáveis temáticas, à elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico do estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher.1980.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia**: uma atualização de base e conceitos. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1994.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v.56, p. 275-370.1945.
- 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: 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: 12 fev. 2018.
- JAKOB, M. Morphometric and Geotechnical Controls on Debris Flow Frequency and Magnitude in Southwestern British Columbia, 1996. **Ph.D. Dissertation**, University of British Columbia: 232 p.
- JENNESS, J.S. Calculating landscape surface area from digital elevation models. **Wildlife Society Bulletin**. v. 32, n.3, p. 229-839. 2004.
- LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Geo Catálogo de imagens de satélite Rapideye**. Disponível em:<<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, J.K. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3 ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)-CNPS.1995.
- RILEY, S.J.; DEGLORIA, S.D.; ELLIOT, R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*. v. 5, p. 1-4, 1999.

SISTEMA NACIONAL SOBRE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/>>. Acesso: 10 fev. 2018.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography** (Sevenoaks), v. 32, p.300-309, 2012.

VIEIRA, B.C.; VIEIRA, A.C.F.; FERNANDES, N.F; AMARAL, C.P. Estudo Comparativo dos Movimentos de Massa Ocorridos em fevereiro de 1996 nas Bacias do Quitite e do Papagaio (RJ): Uma Abordagem Geomorfológica. 2 ed. **Pan-American Symposion on Landslides**. Brazilian Conference on Slope Stability. p. 165-164, 1997.

ZHANG, H. Y., SHI, Z. H., FANG, N. F. e GUO, M. H. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. **Geomorphology**, p. 19-27. 2015.