



UFRR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

RENATO IZOLINO MANOEL PRADO LIMA

ANÁLISE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO CAUAMÉ, RORAIMA, BRASIL

BOA VISTA, RR

2020

RENATO IZOLINO MANOEL PRADO LIMA

ANÁLISE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO CAUAMÉ, RORAIMA, BRASIL

Dissertação apresentada ao programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, na área de concentração Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, linha de pesquisa Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior

BOA VISTA, RR

2020

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

L732a Lima, Renato Izolino Manoel Prado.
Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Cauamé, Roraima, Brasil / Renato Izolino Manoel Prado Lima. – Boa Vista, 2020.
96 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1 – Morfometria. 2 – Ottocodificação. 3 – SIG WEB. 4 – I3Geo. 5 – Hidrografia. I – Título. II – Tavares Júnior, Stélio Soares (orientador).

CDU – 556.51(811.4)

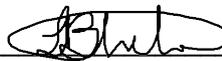
RENATO IZOLINO MANOEL PRADO LIMA

**ANÁLISE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CAUAMÉ, RORAIMA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. Defendida em 10 de dezembro de 2020 e avaliada pela seguinte banca:



Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior
Orientador – Departamento de Geologia (UFRR)



Profa. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta
Departamento de Geografia (UFRR)



Prof. Dr. Flávio Wachholz
Departamento de Geografia (UEA)

À minha esposa

Maria José de Lima Velozo

Aos meus filhos

Renata Luciana Prado Lima

Benjamim Gabriel Prado Lima

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que comigo sempre esteve durante toda minha jornada.

Agradeço à minha família, a qual deixei de dar a total atenção merecida como sacrifício para que pudesse concluir mais essa etapa.

A todos os mestres que se dedicaram a me ensinar desde o berçário. Profissionais que junto à família formam os cidadãos que serão a futura e melhor humanidade. Em especial, agradeço toda paciência do orientador, professor Dr. Stélio. Em memória ao professor Dr. Veras, que me convenceu a se inscrever no ProfÁgua e que em todas as oportunidades demonstrou sua generosidade e companheirismo. Meu profundo agradecimento.

Aos colegas do mestrado que compartilharam as alegrias e as dificuldades necessárias à nossa formação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“A educação é um processo social, é desenvolvimento. Não é a preparação para a vida, é a própria vida.”

John Dewey

RESUMO

A implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos depende de um bom diagnóstico, que forneça uma visão abrangente dos diversos temas de análise. A Bacia do Rio Cauamé está localizada na região norte do estado de Roraima, nos municípios de Alto Alegre e Boa Vista, abrangendo parte da área urbana de Boa Vista, a capital do estado, e também parte da área urbana do município de Alto Alegre. Inserida em um contexto socioeconômico significativo, cerca de um terço da população do estado residia na área dessa bacia em 2010. Trata-se de uma sub-bacia da Bacia do Rio Branco, que integra a Bacia Amazônica. O objetivo desta pesquisa compreende o diagnóstico e a análise da compartimentação morfométrica da bacia, resultando em um Banco de Dados Geográfico acessível por um Sistema de Informações Geográficas WEB. Pelo do geoprocessamento de insumos de sensoriamento remoto, foram traçados a rede de drenagem e os limites da bacia e sub-bacias. As sub-bacias foram delimitadas e codificadas de acordo com o sistema de Otto Pfafstetter. Foi calculado um conjunto de parâmetros morfométricos das sub-bacias resultando em Coeficiente de compacidade (K_c) variando de 1,14 até 2,19 tendo como valor médio 1,40; Índice de circularidade (I_c) com valores no intervalo de 0,21 até 0,77 tendo como média 0,52; Amplitude altimétrica (H) com valor mínimo de 7 metros e máximo de 383 metros, predominando amplitudes entre 7 e 82 metros. O valor médio foi 44 metros; Orientação da bacia predominando as direções entre 90° e 180° . O valor médio encontrado foi 153° ; Densidade de Drenagem (D_d) com valores entre $0,35 \text{ km/km}^2$ e $6,0 \text{ km/km}^2$, apresentando média $1,3 \text{ km/km}^2$; Extensão média do Escoamento superficial com valores variando de 0,04 km até 1,29 km, com média 0,44 km; Sinuosidade do curso d'água (\sin) com valores no intervalo de 1,00 até 1,93 e valor médio de 1,2; Extensão média dos canais com valores no intervalo de 0,19 km até 3,98 km e valor médio de 1,0 km; Área de drenagem com resultados alcançando $82,3 \text{ km}^2$ e valor médio $10,5 \text{ km}^2$; Relação de relevo (R_r) com entre 2 e 175 m/km, com ampla predominância de valores entre 2 e 12 m/km. O valor médio é de 15 m/km; Índice de rugosidade (I_r) com valores encontrados no intervalo entre 0,007 e 0,426, obtendo a média 0,053. Utilizando estatística multivariada, foram definidos três compartimentos morfométricos: Grupo 01 - Bacias com maior extensão média dos canais: com 61 sub-bacias. Destaca-se por possuir menor densidade de drenagem,

menor amplitude altimétrica e menor índice de rugosidade; Grupo 02 - Bacias com maior densidade de drenagem: formado por 214 sub-bacias. Caracteriza-se também por ter menor extensão média do escoamento superficial e menor extensão média dos canais; e Grupo 03 - Bacias com maior amplitude altimétrica: formado por 22 sub-bacias. Caracteriza-se também por possuir a maior extensão média do escoamento superficial e maior índice de rugosidade. O conjunto de dados produzido foi organizado em um Banco de Dados Geográfico e disponibilizado para acesso por um SIG WEB implementado utilizando a plataforma I3Geo. Os resultados da análise morfométrica evidenciaram que as regiões da bacia não devem ser tratadas de forma homogênea, conforme demonstrado pelas variações de morfometria encontradas nas sub-bacias. Os produtos gerados têm caráter precursor e possibilitam avanço na qualidade da gestão dos recursos hídricos na bacia, abrindo possibilidades para novos estudos.

Palavras-chave: Morfometria. Ottocodificação. SIG *WEB*. I3Geo. Hidrografia.

ABSTRACT

The implementation of Water Resources Management Instruments depends on a thorough diagnosis, providing a comprehensive view of various analysis themes. The Cauamé River Basin is located in the northern region of the state of Roraima, within the municipalities of Alto Alegre and Boa Vista, encompassing part of the urban area of Boa Vista, the state capital, as well as part of the urban area of Alto Alegre. Situated in a significant socioeconomic context, about one-third of the state's population resided in the basin area in 2010. It is a sub-basin of the Branco River Basin, which is part of the Amazon Basin. The objective of this research involves the diagnosis and analysis of the morphometric compartmentalization of the basin, resulting in a Geographic Database accessible via a Web Geographic Information System (GIS). Through the geoprocessing of remote sensing inputs, the drainage network and the boundaries of the basin and its sub-basins were delineated. The sub-basins were delimited and coded according to the Otto Pfafstetter system. A set of morphometric parameters of the sub-basins was calculated, resulting in a Compactness Coefficient (K_c) ranging from 1.14 to 2.19 with an average value of 1.40; Circularity Index (I_c) with values ranging from 0.21 to 0.77 with an average of 0.52; Altimetric Range (H) with a minimum value of 7 meters and a maximum of 383 meters, predominantly ranging between 7 and 82 meters. The average value was 44 meters; Basin orientation predominantly between 90° and 180° . The average value found was 153° ; Drainage Density (D_d) with values between 0.35 km/km^2 and 6.0 km/km^2 , with an average of 1.3 km/km^2 ; Average length of surface runoff with values ranging from 0.04 km to 1.29 km, with an average of 0.44 km; Stream sinuosity (\sin) with values ranging from 1.00 to 1.93 and an average value of 1.2; Average channel length with values ranging from 0.19 km to 3.98 km and an average value of 1.0 km; Drainage area with results reaching 82.3 km^2 and an average value of 10.5 km^2 ; Relief Ratio (R_r) ranging between 2 and 175 m/km, with a wide predominance of values between 2 and 12 m/km. The average value is 15 m/km; Rugosity Index (I_r) with values found between 0.007 and 0.426, obtaining an average of 0.053. Using multivariate statistics, three morphometric compartments were defined: Group 01 - Basins with the greatest average channel length: comprising 61 sub-basins. This group stands out for having the lowest drainage density, the lowest altimetric range, and the lowest rugosity index; Group 02 - Basins with the highest drainage

density: comprising 214 sub-basins. This group is also characterized by the shortest average surface runoff length and the shortest average channel length; and Group 03 - Basins with the highest altimetric range: comprising 22 sub-basins. This group is also characterized by having the longest average surface runoff length and the highest rugosity index. The dataset produced was organized into a Geographic Database and made accessible through a Web GIS implemented using the I3Geo platform. The results of the morphometric analysis indicated that the regions of the basin should not be treated homogeneously, as evidenced by the morphometric variations found in the sub-basins. The generated products have a pioneering character and enable advances in the quality of water resource management in the basin, opening possibilities for new studies.

Keywords: Morphometry. Ottocoding. WEB GIS. I3geo. Hydrography.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	03
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	07
1.1.1 Estudos de caracterização morfométrica de bacia hidrográfica.....	07
1.1.2 Possibilidades de compartimentação de bacia hidrográfica.....	08
1.1.3 Ottocodificação.....	10
1.1.4 Banco de Dados Geográfico e Sistema de Informações Geográficas WEB.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Geral.....	13
1.2.2 Específicos.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
2.1.1 Localização e acesso.....	15
2.1.2 Clima.....	17
2.1.3 Geologia.....	19
2.1.4 Compartimentação geomorfológica.....	20
2.1.5 Pedologia.....	21
2.1.6 Vegetação.....	23
2.1.7 Demografia e socioeconomia.....	24
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO.....	26
2.3 ESCALA DE MAPEAMENTO.....	28
2.4 OTTOCODIFICAÇÃO.....	30
2.4.1 Níveis 1, 2, 3, 4 e 5.....	30
2.5 MORFOMETRIA.....	34
2.6 DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	36
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
2.8 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS <i>WEB</i>	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1 ANÁLISE DO RELEVO.....	42
3.2 COMPRIMENTO ACUMULADO DA DRENAGEM.....	44
3.3 OTTOCODIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS.....	46

3.3.1 Nível 6	48
3.3.2 Nível 7	49
3.3.3 Nível 8	50
3.4 MORFOMETRIA	51
3.4.1 Coeficiente de compacidade (Kc)	52
3.4.2 Índice de circularidade (Ic)	53
3.4.3 Amplitude altimétrica (H)	54
3.4.4 Orientação da bacia	55
3.4.5 Densidade de drenagem (Dd)	56
3.4.6 Extensão média do escoamento superficial	58
3.4.7 Sinuosidade do curso d'água (sin)	60
3.4.8 Extensão média dos canais	61
3.4.9 Área de drenagem	62
3.4.10 Índice de rugosidade	63
3.4.11 Relação de relevo	64
3.5 COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS	65
3.6 SIMILARIDADE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA	68
3.7 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO	72
3.8 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS <i>WEB</i>	73
3.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Cauamé está localizada na região norte do estado de Roraima, Brasil, abrangendo áreas dos municípios de Alto Alegre e Boa Vista, a capital do estado. Esta bacia é uma sub-bacia do sistema do Rio Branco, que integra a vasta Bacia Amazônica. Com uma área significativa de planícies e uma complexa rede de drenagem, o Rio Cauamé desempenha um papel crucial no ecossistema local.

A relevância da Bacia do Rio Cauamé se dá não apenas pela sua contribuição ao abastecimento hídrico da região, mas também pela sua importância ecológica e econômica. A bacia sustenta uma rica biodiversidade, servindo de habitat para diversas espécies de flora e fauna. Além disso, a água do Rio Cauamé é essencial para as atividades agrícolas, industriais e domésticas dos municípios que abrange. A gestão adequada dos recursos hídricos da bacia é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e o bem-estar da população local. Estudos detalhados, como a análise morfométrica da bacia, fornecem dados valiosos que podem orientar políticas de conservação e uso eficiente da água, promovendo um equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental.

Os instrumentos de gestão de recursos hídricos dependem de informação adequada, desde o planejamento, operacionalização e até na fiscalização. Todos os instrumentos de gestão de recursos hídricos somente são adequadamente implementados quando tem como base um conjunto robusto de informações. Assim se constrói um bom Plano de Bacia, pode-se realizar de maneira adequada o enquadramento dos corpos hídricos, implementa-se um sistema de outorga, que deve ser concedida por avaliação técnica, considerando a capacidade de suporte do corpo hídrico em atender as diversas demandas, seja por utilização direta da vazão hídrica, ou indiretamente pelo lançamento de efluentes e se necessário a implementação do instrumento de Cobrança.

A Rede Hidrometeorológica Nacional foi modernizada nas últimas décadas, ao mesmo tempo que há um constante adensamento de estações, conforme relata o relatório da Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). Assim mesmo, não existem pontos de monitoramento suficientes para a adequada gestão hídrica em todas as bacias do país. Uma alternativa técnica para a realização de estudos onde ainda não há

monitoramento hidrológico é a regionalização hidrológica, implementada de diversas formas, aplicando diferentes modelagens.

O objetivo da análise morfométrica da bacia hidrográfica é a compreensão do arranjo e distribuição de elementos da paisagem, para isso são medidos atributos físicos que possibilitam a utilização de índices (parâmetros). A análise comparativa dos parâmetros das sub-bacias permite seu agrupamento por características homogêneas, resultando na compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica (CHEREM; MAGALHÃES; FARIA, 2011).

O mapeamento hidrográfico no Brasil é heterogêneo e em grande parte realizado em pequenas escalas. Os dados disponíveis atualmente sobre a Bacia do Rio Cauamé não possibilitam análises com o detalhamento adequado para a gestão e regulação dos recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) instituiu cinco instrumentos para a gestão dos recursos hídricos: o Plano de Recursos Hídricos, o Sistema de Informações, o Enquadramento, a Outorga e a Cobrança. O Plano de Recursos Hídricos é o ponto central pelo qual se inicia a gestão. Ele deve ser um plano diretor, formulado com visão de longo prazo. Para a construção do plano é indispensável que exista um diagnóstico com escopo e alcance adequados, que possibilite aos gestores embasamento seguro para as tomadas de decisão.

De forma conjunta ao Plano de Recursos Hídricos, deve-se estabelecer um outro instrumento, o Sistema de Informações. Esse surge para organizar os dados gerados pela ocasião da elaboração do Plano e a partir de então há retroalimentação, servindo o Sistema de Informação como ferramenta para analisar o desenvolvimento do plano e suas revisões. Esses dois instrumentos, devem ser os precursores do estabelecimento da gestão local da Bacia Hidrográfica, culminando no funcionamento de um Comitê de Bacia.

Os demais instrumentos, o enquadramento, a outorga e a cobrança, são etapas subsequentes para implementação da gestão e são construídos com fundamento no Plano de Recursos Hídricos e no Sistema de Informação.

O Estado de Roraima, até o momento não possui Comitê de Bacia, sendo a gestão de recursos hídricos realizada de forma centralizada, em âmbito estadual e não tomando a bacia hidrográfica como unidade de gestão, como preconizado pela legislação (BRASIL, 1997). Nesse sentido o problema central ao qual nos propomos a conduzir essa pesquisa como parte da solução, é a atual ausência de gestão local

dos recursos hídricos da Bacia do Rio Cauamé. Empreendemos a execução de uma importante etapa do diagnóstico da bacia, a caracterização morfométrica da bacia e de todas suas sub-bacias e a criação de um Banco de Dados Geográficos SIG *WEB*.

Dessa forma esperamos contribuir para facilitar a elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Cauamé e que o Banco de Dados Geográfico SIG *WEB* produzido seja útil para elaboração futura de um Sistema de Informações.

O mapeamento dos recursos hídricos em escala detalhada é fundamental para operacionalização dos instrumentos de gestão. A área de estudo se insere em um importante contexto socioeconômico no Estado de Roraima. O órgão gestor estadual reconhece essa importância e pretende fomentar estudos abrangendo esse corpo hídrico.

Não há disponibilidade de estudos de hidrografia em escala de detalhe para a área de estudo. Além da necessidade de mapeamento detalhado, os gestores de recursos hídricos demandam de informações específicas, como as características morfométricas das sub-bacias, sendo muitas vezes um limitante para a gestão, pois nem sempre se dispõe de ferramentas e conhecimento técnico para se produzir essas informações.

As geotecnologias, notadamente o sensoriamento remoto, se mostram ferramentas ágeis e de baixo custo para análises e gestão nas questões ambientais. Estudos que há tempos tinham como principal limitação o elevado custo, podem ser atualmente realizados em menos tempo e com desembolso financeiro bastante reduzido, principalmente por existirem políticas de distribuição de dados de sensoriamento remoto sem cobranças.

A proposta dessa pesquisa tem o diferencial de não se limitar a produzir somente um documento acadêmico, deixando como produto uma base de dados facilmente utilizável para gestão e regulação bem como para novos estudos.

A pesquisa consistiu na definição dos parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Cauamé, no Estado de Roraima, em escala de detalhe (1:25.000) e na análise e compartimentação morfométrica, com uso de geotecnologias. Será criada uma interface *Web* de Sistema de Informação Geográfica (SIG *WEB*) disponibilizando amplo acesso ao Banco de Dados Geográfico construído.

Espera-se que as informações produzidas e o SIG *WEB* disponibilizado sejam úteis para compor o diagnóstico da bacia, facilitem a construção do Plano de Bacia,

servam de base para criação de um Sistema de Informação e subsidiem o planejamento técnico para implantação do Comitê de Bacia.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1.1 Estudos de caracterização morfométrica de bacia hidrográfica

Estudos hidrológicos possuem como abrangência espacial a bacia hidrográfica. É também a unidade de estudo para a maioria dos modelos hidrológicos, geralmente considerando as propriedades médias para toda a unidade (ALMEIDA; VALDÉS, 2017). Esse escopo também é adotado para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (BRASIL, 1997).

Muitos estudos importantes utilizam a análise dos parâmetros morfométricos das bacias como ferramenta principal de diagnóstico. Cada trabalho adota um conjunto de parâmetros que mais se adequa a finalidade do estudo, a disponibilidade de dados e a capacidade de processamento desses dados. A seguir elencamos algumas pesquisas que são exemplos de utilização desses parâmetros no estudo de bacias.

Os parâmetros morfométricos foram em grande parte propostos por Horton (1945) no trabalho pioneiro para esse tipo de análise e amplamente utilizados nos trabalhos de Christofolletti (1980).

Segundo Pereira, Kayser e Collischonn (2012) as decisões técnicas sobre pedido de outorga de direito de uso da água comparam disponibilidade de água e demanda, sendo que aquela tem forte relação com os atributos espaciais da rede de drenagem. Siqueira et al. (2016) relatam que características morfométricas da bacia são fundamentais para os estudos hidrológicos.

Souza, Vale e Nascimento (2013) realizaram um ensaio de classificação morfométrica automatizada em bacia hidrográfica utilizando dados de sensoriamento remoto em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), principalmente os provenientes da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e concluíram pela sua viabilidade, possibilitando auxílio à gestão e gerenciamento de recursos hídricos, ressaltando a minimização de custos e tempo para execução.

Silva e Santos (2016) estudaram as características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia, localizada no município de Goiânia-GO. As análises morfométricas foram realizadas através de modelo digital de elevação (MDE) e geoprocessamento no *software* ArcGis. Concluíram que a bacia tem baixa

propensão a picos de enchentes. Discutiram que ficou evidente a importância do conhecimento das características físico-funcionais da bacia, principalmente para a gestão dos recursos hídricos. Consideraram também a importância do levantamento desses parâmetros utilizando as ferramentas de SIG, que segundo as autoras, simplificam os procedimentos de compilação dos dados.

Franco e Souza (2016) analisaram a morfometria da Bacia Hidrográfica do Riacho Jucurutu, localizada no município de São João do Tigre-PB e consideraram a análise morfométrica fundamental como etapa inicial de um diagnóstico e ressaltaram o grande potencial desse tipo de estudo para contribuir com pesquisas subsequentes.

O estudo abrangendo a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Acre, conduzido por Nascimento et al (2013) usou a caracterização morfométrica como ferramenta para manejo da bacia. Concluíram que os dados fisiográficos obtidos foram essenciais para o diagnóstico físico da bacia e importantes para se estabelecer políticas públicas de conservação ambiental.

Os parâmetros estudados por Nascimento et al (2013) foram Coeficiente de compacidade (Kc), Fator de Forma (Kf), Rede de Drenagem, Ordem da bacia (cursos d'água), Orientação da bacia, Grau de controle da Bacia, Angularidade da Bacia, Densidade de Drenagem, Extensão média do Escoamento superficial, Sinuosidade do curso d' água, Forma da rede de drenagem, Extensão média dos canais, Forma da Bacia, Área de drenagem, Forma do canal principal.

Faria et al. (2017) realizaram a caracterização morfométrica da bacia do Igarapé Carrapato em Boa Vista, Roraima, sub-bacia do Rio Cauamé, área de estudo proposta. Em seu estudo determinaram os seguintes parâmetros morfométricos: limite da bacia hidrográfica, área de drenagem, perímetro da bacia, comprimento do leito principal, amplitude altimétrica, declividade média, altitude mínima, máxima e média, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, densidade de drenagem e ordem de drenagem.

1.1.2 Possibilidades de compartimentação de bacia hidrográfica

Para seleção de um modelo hidrológico Almeida e Valdés (2017) listam a variabilidade temporal e espacial e as características físicas e climáticas, como fatores a serem considerados. As metodologias de regionalização, majoritariamente, têm

aplicabilidade em regiões hidrológicas homogêneas. A identificação de regiões homogêneas muitas vezes depende da experiência técnica e do conhecimento regional, considerando o contexto sem explorar sistematicamente as possibilidades de agrupamentos homogêneos.

Estudar analiticamente pressupõe que a complexidade do objeto de estudo seja dividida em partes menos complexas, possibilitando utilizar análise e síntese para se alcançar o entendimento. No caso das bacias hidrográficas, principalmente das que ocupam grandes áreas, além da divisão da bacia em sub-bacias, a definição de compartimentos é uma importante abordagem de estudo.

Diversas formas de compartimentação são possíveis, usualmente a primeira forma de compartimentação utilizada no estudo de bacias é a utilização da hipsometria para definir a alta, média e baixa bacia, entretanto não é a única abordagem, diversas características podem ser utilizadas para definir compartimentos, como por exemplo compartimentar por unidades geomorfológicas, considerando a fitofisionomia ou a compartimentação morfométrica.

Definir os compartimentos pode ser uma tarefa simples ou complexa, a depender da abordagem e do volume de dados considerados para definição dos compartimentos. No caso de estudos envolvendo um grande número de parâmetros e um considerável volume de dados, como na abordagem da análise morfométrica, é imprescindível adotar uma ferramenta estatística adequada, que possibilite interpretar conjuntamente os parâmetros estudados.

A utilização da estatística multivariada, notadamente os métodos de análise de grupos e análise de componentes principais se mostra um procedimento adequado, conforme afirmaram Sodré et al. (2007) ao realizarem classificação de bacias de drenagem do Alto Jequitai (Minas Gerais) utilizando Análise de Principais Componentes e Análise de Grupos.

Alguns estudos já se dedicaram a tratar da compartimentação da bacia do Rio Cauamé, como os que citamos a seguir. Não identificamos estudo que tenha abordado a compartimentação através da análise morfométrica, como propomos nesse estudo. Nota-se que os estudos já realizados trabalharam com escalas pequenas.

Oliveira e Carvalho (2014) estudaram a vulnerabilidade aos impactos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. Em seu desenvolvimento o estudo caracterizou,

dentre outros, aspectos fisiográficos da bacia, adotando escala de 1:150.000. Analisando a hipsometria os autores identificaram mudanças no gradiente longitudinal e dividiram a Bacia do Rio Cauamé em três compartimentos: Alta Bacia, Média Bacia e Baixa Bacia. A delimitação da bacia e sua compartimentação são importantes para a descrição fisiográfica do Cauamé e servem de suporte para o planejamento e gerenciamento do território, consideraram os autores.

Neto e Costa (2010) realizaram estudo tendo como objeto a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé-RR. O trabalho consistiu em mapeamento de unidades geomorfológicas da bacia. Adotaram para os levantamentos a escala 1:100.000 e concluíram definindo as unidades geomorfológicas: Planícies e terraços fluviais do rio Cauamé; Áreas abaciadas inundáveis, veredas e lagos; Depressão de Boa Vista; Colinas e morrotes do alto e médio Cauamé; Patamar do interflúvio Cauamé-Uraricoera e Inselbergs e remanescentes residuais.

1.1.3 Ottocodificação

A ottocodificação é um método de hierarquização e subdivisão de bacias hidrográficas, desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfafstetter em 1989. Otto Pfafstetter, um engenheiro civil brasileiro que trabalhou no Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) no Brasil, criou este método em resposta à necessidade de uma abordagem sistemática e padronizada para o gerenciamento de bacias hidrográficas, especialmente em regiões extensas e complexas como a Amazônia. Naquela época, a crescente demanda por recursos hídricos e a necessidade de um planejamento eficaz dos mesmos tornaram-se prementes. A falta de uma metodologia uniforme dificultava a comunicação e a integração de dados entre diferentes instituições e países. Otto Pfafstetter, ao perceber essas lacunas, desenvolveu um sistema de codificação que poderia ser aplicado universalmente, facilitando a gestão integrada dos recursos hídricos e promovendo a sustentabilidade (Pfafstetter, 1989).

A ottocodificação proporciona uma visão estruturada e hierárquica das bacias hidrográficas, permitindo uma melhor compreensão dos fluxos de água e da distribuição dos recursos hídricos. Este método é amplamente utilizado por órgãos de gestão de recursos hídricos, como a Agência Nacional de Águas (ANA) no Brasil, para a padronização e integração de dados hidrológicos (ANA, 2012).

1.1.4 Banco de Dados Geográfico e Sistema de Informações Geográficas WEB

Câmara (2005) trata de conceitos dos Sistemas de Informação Geográfica diferenciando-os dos sistemas de informação convencionais através da capacidade daqueles de armazenar tanto os atributos descritivos quanto a geometria dos dados geográficos. No livro texto, Banco de Dados Geográficos (CÂMARA, 2005) são explicados como parte integrante dos Sistemas de Informação Geográfica. Pode-se entender então que ao tratar deste necessariamente aquele participará, como integrante fundamental.

O autor categoriza os dados geográficos de forma binária como sendo geo-campos ou geo-objetos, ao tratar do universo formal. Sendo correspondentes no universo estrutural às estruturas matriciais e estruturas vetoriais. No universo de implementação são essas estruturas que um Sistema de Informação Geográfica deve ser capaz de processar / armazenar.

Um caso de sucesso na utilização de SIG *WEB* no contexto da gestão de recursos hídricos é o trabalho de Macedo, Mendes e Costa (2018), no qual foi utilizado Sistema de Informação Geográfica nas etapas de elaboração da pesquisa, compondo o Atlas do aproveitamento de água da chuva nas ilhas de Belém. Como forma de amplificar a divulgação dos resultados e tornar acessíveis as informações para além do âmbito acadêmico, os resultados foram disponibilizados em um SIG *WEB* bastante simplificado, mas no qual é possível de forma interativa visualizar a espacialização dos dados e consultar os atributos associados às feições geográficas.

Os autores acima citados concluíram que o SIG pode ser uma importante ferramenta à disposição dos gestores, aprimorando o processo decisório.

Seguel et al. (2018) ao abordarem o problema de áreas alagadas na cidade de Concepción no Chile, se propuseram a implementar uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica na *Web* (SIG *WEB*). Seguel et al. (2018) ressaltam a importância dos mapas como modelos conceituais e ferramentas para compreensão do território e suas dinâmicas espaciais. Concluíram também que as plataformas SIG *WEB* democratizam o acesso à informação geográfica, possibilitando acesso fácil, gratuito e de forma interativa a toda sociedade.

Uma importante ferramenta, cuja criação foi fomentada pelo Ministério do Meio Ambiente em 2004 é a Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento (I3Geo). É um *software* público brasileiro, licenciado como

Licença Pública Geral. Sua função é a construção de mapas interativos na internet e a disseminação de dados geoespaciais (MORETTI, 2012). O I3Geo foi desenvolvido principalmente sobre o *software* Mapserver, que é um renderizador de mapas para navegadores *web*.

O I3Geo funciona como uma aplicação de servidor *web*, necessitando para seu funcionamento que também estejam instalados no servidor os *softwares* Apache, PHP e Mapserver. Sua arquitetura permite instalação tanto em servidores com ambiente Windows como em Linux.

A plataforma I3Geo possibilita instalação e personalização de forma relativamente descomplicada, sendo possível com poucos recursos técnicos e materiais tornar on-line um SIG *WEB* totalmente funcional (MORETTI, 2012). Sendo possível o usuário carregar no banco de dados do servidor camadas vetoriais e matriciais, bem como, combinar com outras camadas disponíveis como serviços na *Web*, sendo o principal exemplo as camadas OpenLayers.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Caracterizar a morfometria de todas as sub-bacias componentes da bacia hidrográfica do Rio Cauamé.

1.2.2 Específicos

- ✓ Ottocodificar as sub-bacias;
- ✓ Determinar os parâmetros morfométricos das sub-bacias;
- ✓ Analisar a similaridade morfométrica entre as sub-bacias e agrupá-las em compartimentos morfométricos;
- ✓ Criar um banco de dados geográfico acessado por ambiente de Sistema de Informação Geográfica *Web*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Apresenta-se a seguir uma breve caracterização da área de estudo, para que nos auxilie na compreensão dos resultados obtidos. Após descreve-se os procedimentos metodológicos utilizados para gerar os resultados, bem como os materiais e fontes de dados utilizados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, cuja drenagem principal é afluente da margem direita do Rio Branco (Figura 03). Tem área de 3.138,26 km², perímetro de 316,86 km e localiza se nos municípios de Boa Vista e Alto Alegre no Estado de Roraima. O Rio Cauamé limita ao norte a área urbana da cidade de Boa Vista, próximo ao exutório da bacia (Figura 01).

Figura 01–Norte da área urbana da cidade de Boa Vista, próximo ao exutório da bacia do Rio Cauamé.



Elaboração: Elaborada pelo autor por registro fotográfico com auxílio de drone em altitude de ~352m próximo à latitude 02°52'09"N e longitude 60°40'32"O em 02/06/2019.

Neto e Costa (2010) descreveram fisiograficamente a região da bacia do Rio Cauamé como uma área composta por igarapés com alinhamento de veredas de buritis e muitas lagoas fechadas ou parcialmente drenadas, áreas abaciadas, áreas com relevo ondulado e serras remanescentes. Há predomínio de grandes extensões de relevo plano cobertas por savana e com presença de Inselbergs (Figura 02).

Figura 02–Afluente do Igarapé Curupira na bacia do Rio Cauamé.

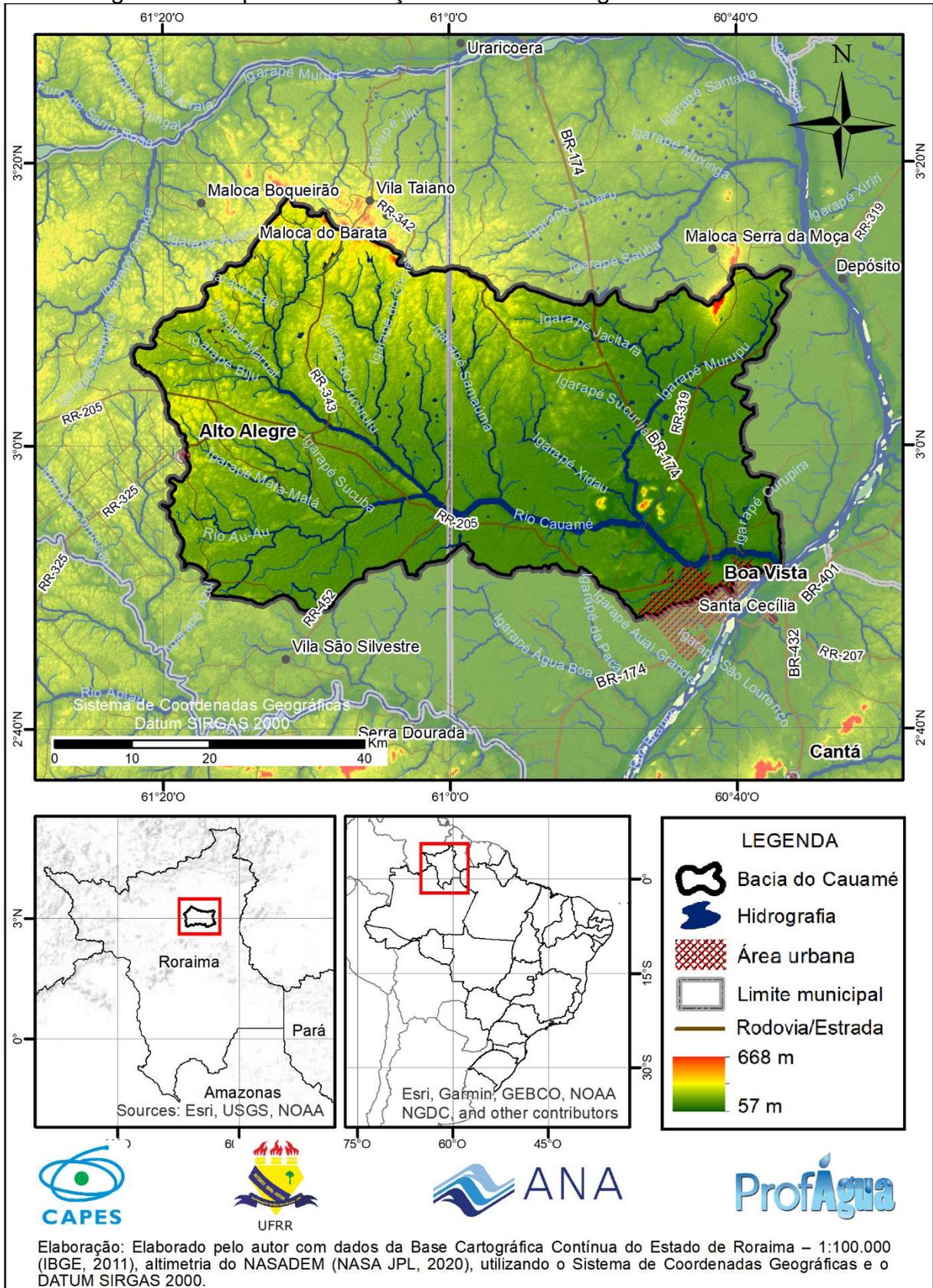


Elaboração: Elaborada pelo autor por registro fotográfico com auxílio de drone em altitude de ~310m próximo à latitude 02°56'13"N e longitude 60°37'43"O em 02/06/2019.

2.1.1 Localização e acesso

A região da bacia localiza-se entre as latitudes 02°47'N e 03°17'N e entre as longitudes 60°34'O e 61°22'O (Figura 03). A principal via terrestre na bacia é a rodovia federal BR-174, trecho que liga a cidade de Boa Vista-RR ao município de Pacaraima-RR na fronteira com a Venezuela. Outra importante rodovia é a estadual RR-205 que faz ligação entre Boa Vista e o município de Alto Alegre-RR. Além dessas vias principais há outras rodovias estaduais, RR-321, RR-319, RR-342 e RR-343, que se interligam com uma vasta malha de rodovias municipais (vicinais).

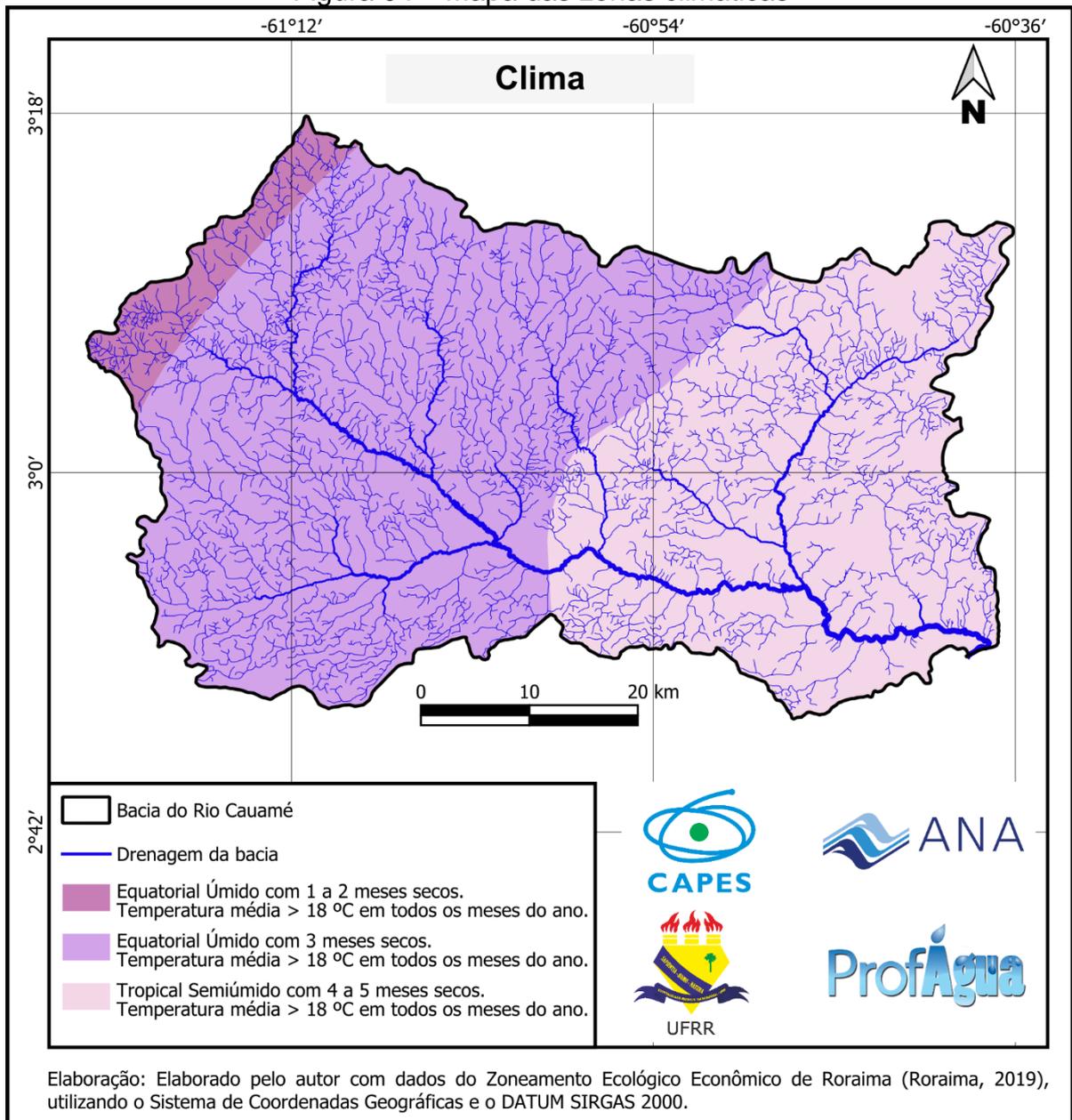
Figura 03–Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Rio Cauamé



2.1.2 Clima

De acordo com o mapeamento de Clima do estado de Roraima realizado por ocasião do Zoneamento Ecológico Econômico em escala 1:250.000 e considerando a classificação climática do IBGE (RORAIMA, 2019) a Bacia do Rio Cauamé está inserida em três zonas climáticas.

Figura 04 – Mapa das zonas climáticas



Na porção oeste clima Tropical Semiúmido com 4 a 5 meses secos e temperatura média maior que 18 °C em todos os meses do ano. Na porção leste,

exceto a extremidade, clima Equatorial Úmido com 3 meses secos e temperatura média maior que 18 °C em todos os meses do ano. Em uma faixa menor, na extremidade noroeste, clima Equatorial Úmido com 1 a 2 meses secos e temperatura média maior que 18 °C em todos os meses do ano. Como observamos na Figura 04.

Considerando dados da estação meteorológica 82024 - Boa Vista (INMET, 2020), a precipitação média anual é superior a 1.700 milímetros, concentrados entre os meses de maio a agosto.

2.1.3 Geologia

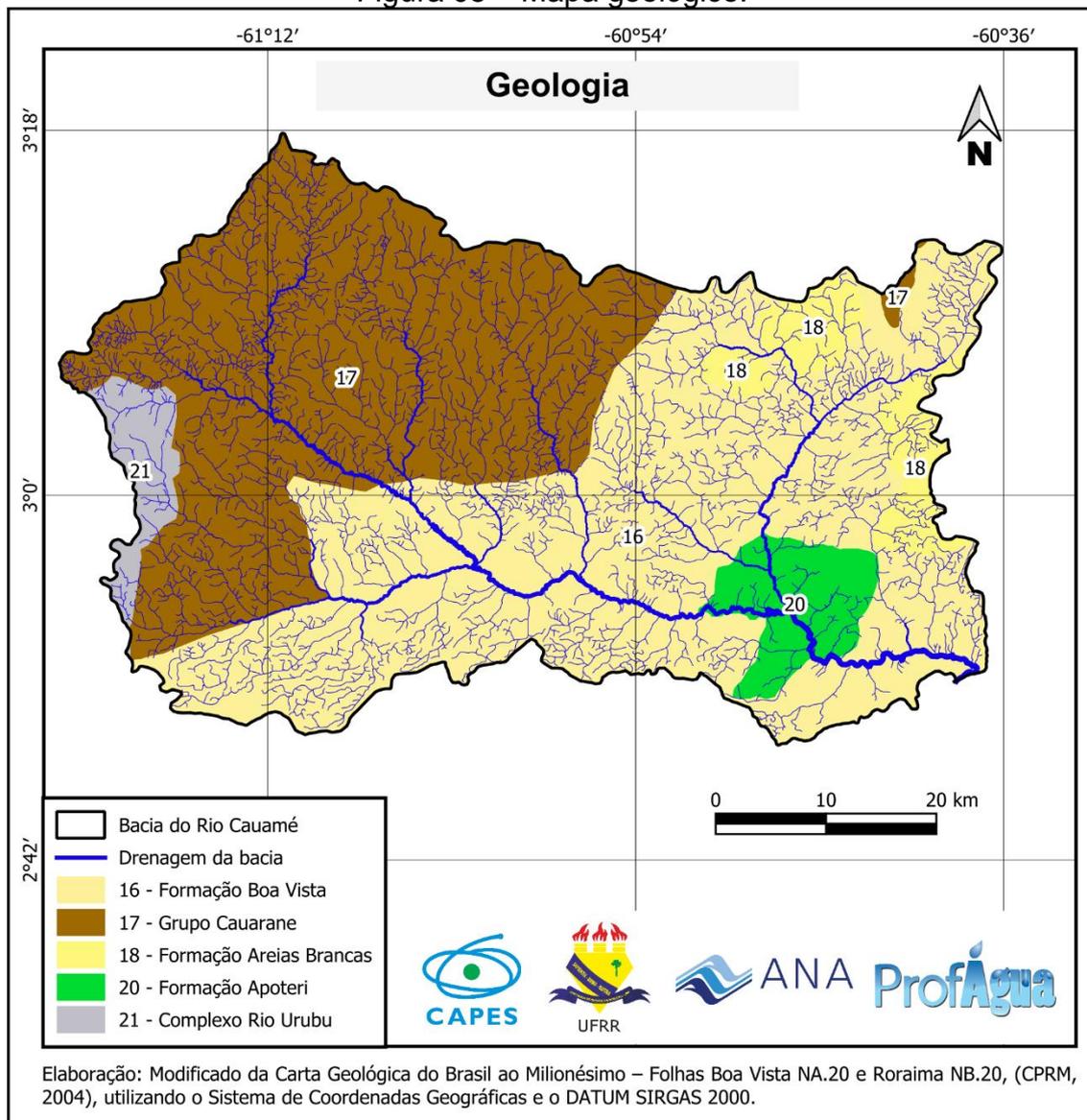
Em termos geológicos a região da bacia hidrográfica do rio Cauamé apresenta um conjunto litológico desde as eras do Paleoproterozoico ao Cenozoico.

No Paleoproterozoico destaca-se um conjunto de rochas supracrustais composto por paragneisses e quartzitos do grupo Cauarane. Além de gnaisses ortoderivados do complexo Rio Urubu.

O Mesozoico na área está representado por rochas oriundas de derrames basálticos da formação Apoteri, que estruturam modelados da serra Nova Olinda.

O Cenozóico esta representado por sedimentos areno-argilosos semi consolidados a inconsolidados da formação Boa Vista, bem como por depósitos de areias da formação Areias Brancas. Como obsevamos na Figura 05.

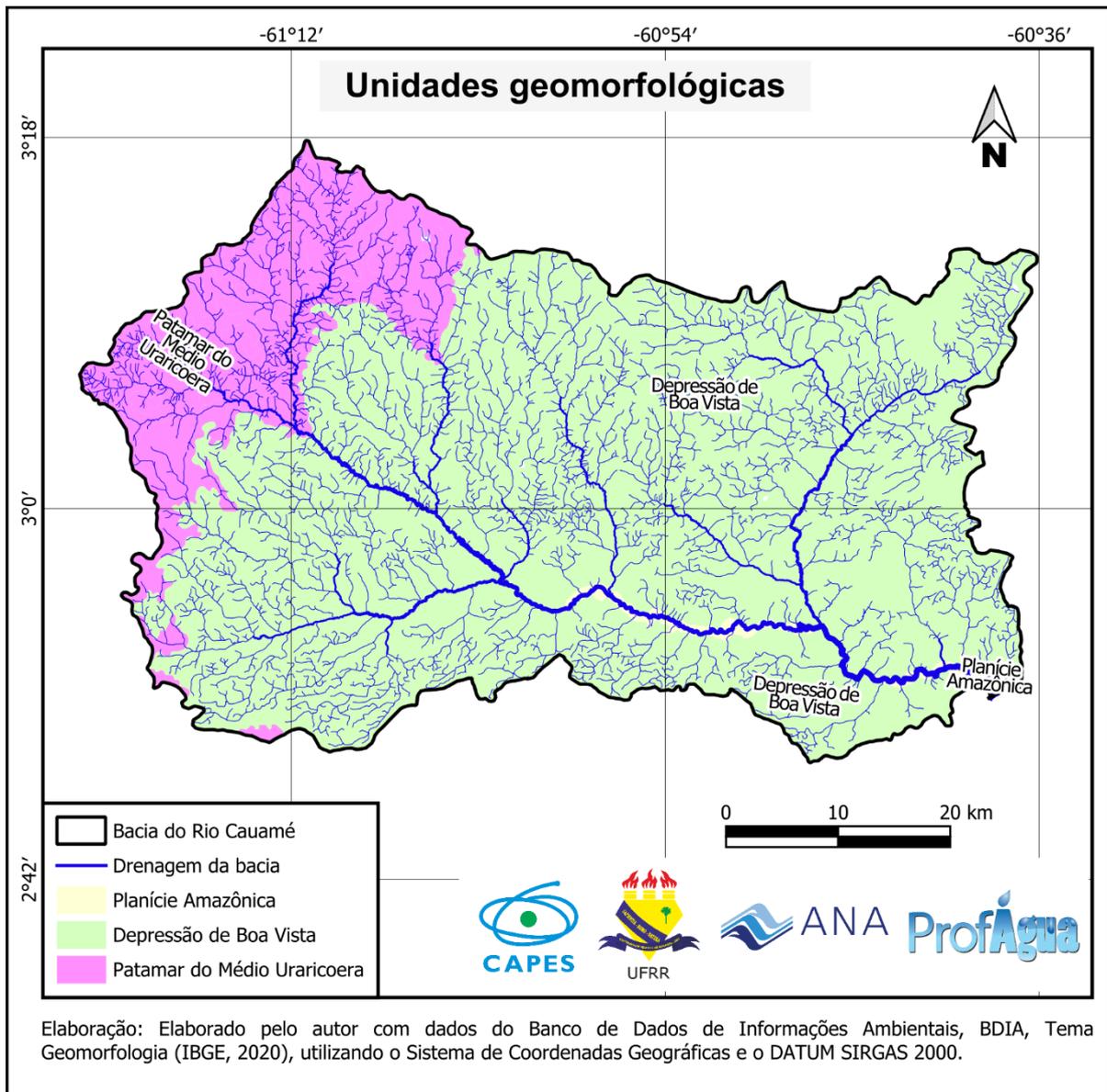
Figura 05 – Mapa geológico.



2.1.4 Compartimentação geomorfológica

A Bacia do Rio Cauamé está em sua maior parte localizada na unidade geomorfológica Depressão de Boa Vista (82,1% da área). Na porção noroeste o Rio Cauamé tem suas nascentes no Patamar do Médio Uraricoera (16,5% da área), cerca de 1,3% da área da bacia é classificada como Planície Amazônica, próximo à drenagem principal nos trechos de seu médio e baixo curso em área contínua à planície por onde corre o Rio Branco (Figura 06).

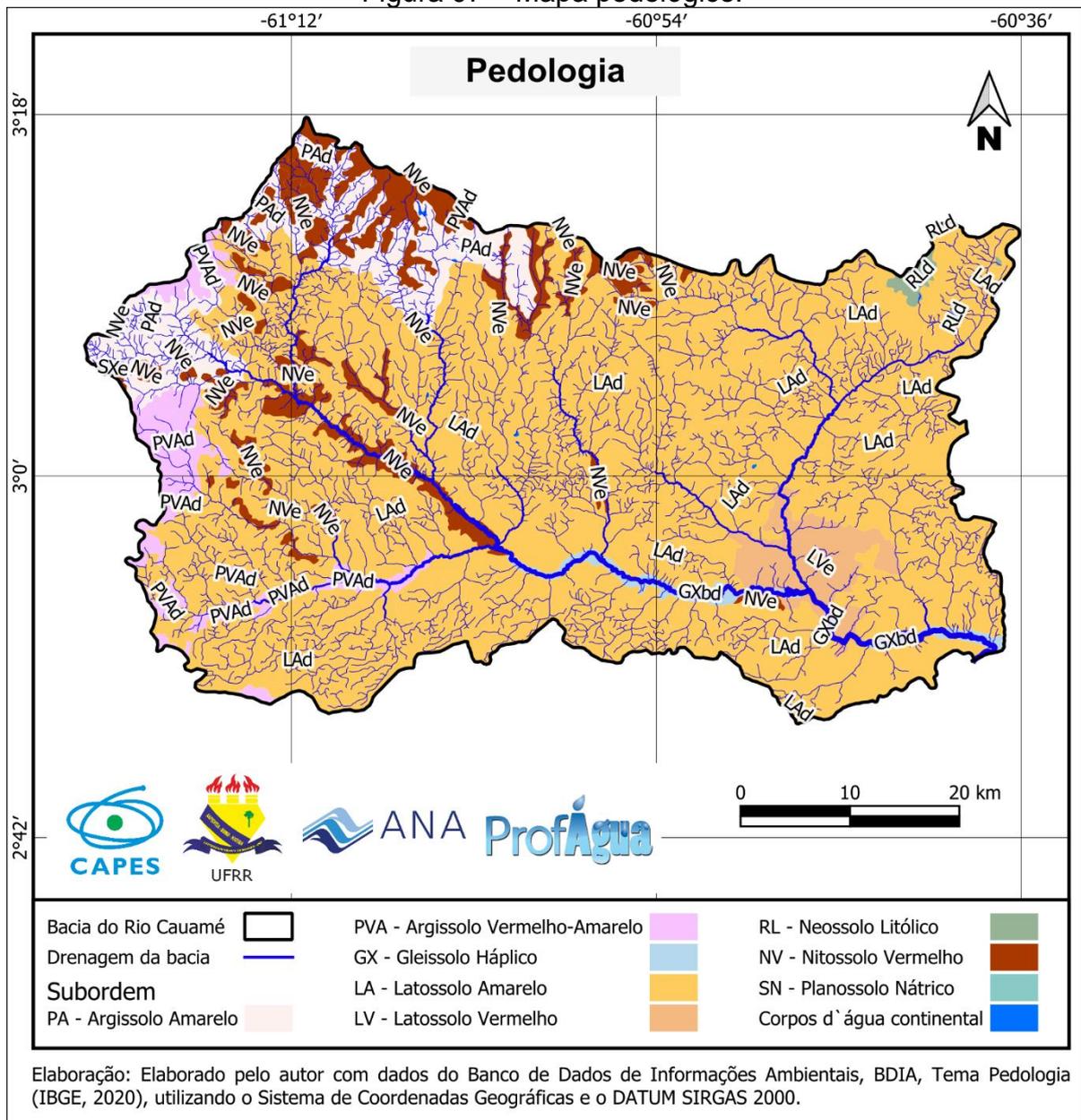
Figura 06 – Mapa das unidades geomorfológicas.



2.1.5 Pedologia

O solo predominante é o LAd Latossolo Amarelo distrófico que ocorre em 75,4% da área da bacia. Encontrado principalmente nas áreas centrais, sul e sudeste da bacia (Figura 07). Sua cor amarela é ligada a presença de goethita, um óxido de ferro hidratado, condizente com ambientes de avançado intemperismo e presença de umidade. Essa ordem de solo tem estrutura favorável à agricultura, apesar de sua baixa fertilidade natural. No caso da área de estudo limitações agrícolas são encontradas principalmente devido ao nível freático nas cheias.

Figura 07 – Mapa pedológico.



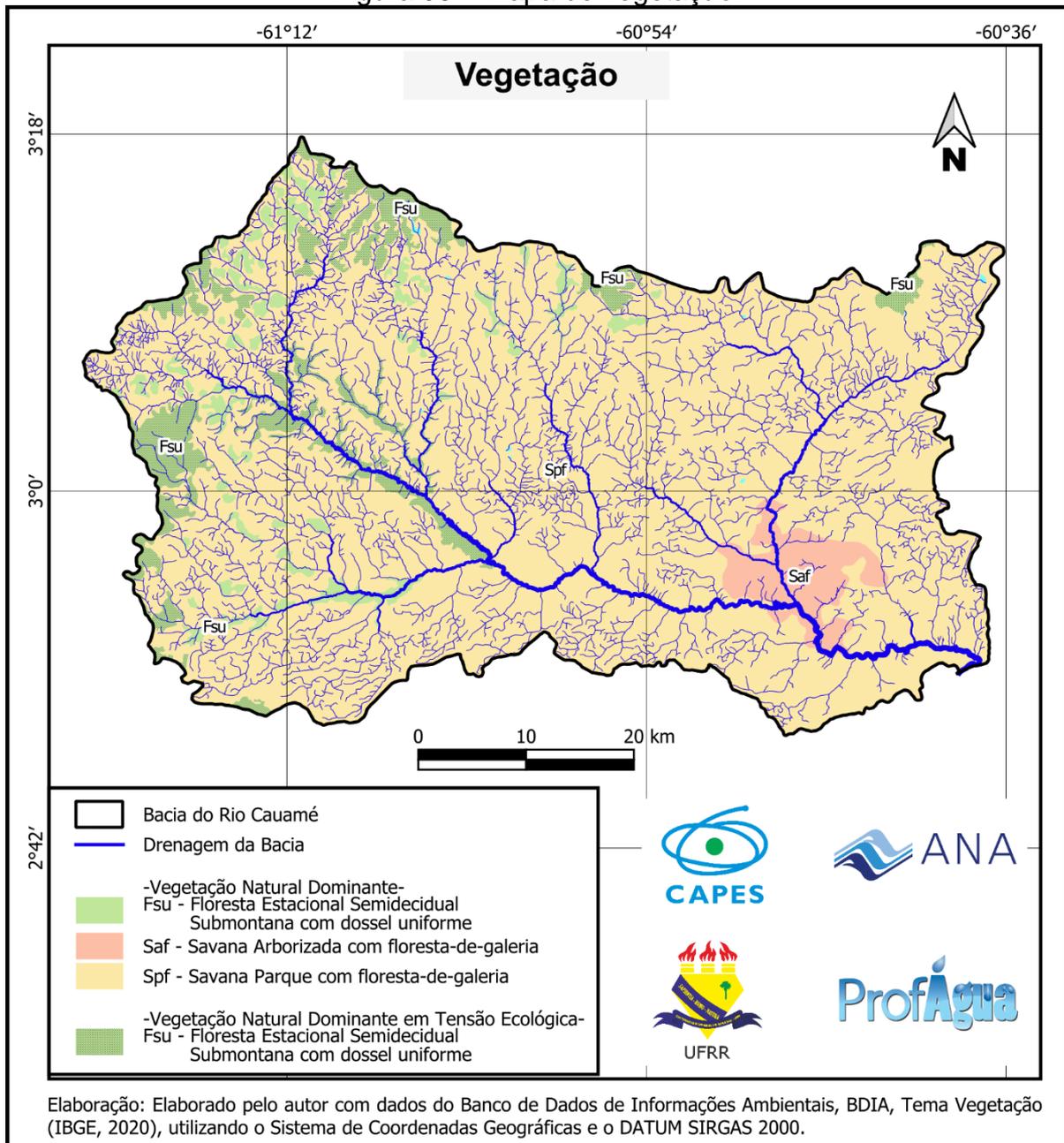
Outras classes de solo que ocorrem em menor proporção são:

- NVe - Nitossolo Vermelho eutrófico (8,6%). Encontrado principalmente nas regiões centro-norte e algumas partes do nordeste da bacia.;
- PAd - Argissolo Amarelo distrófico (7,1%). Está presente principalmente nas áreas norte e noroeste;
- PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (3,8%). Cobre uma área significativa nas regiões noroeste e oeste da bacia, estendendo-se até algumas partes do sudoeste;
- LVe - Latossolo Vermelho eutrófico (3,2%) Encontrado na porção sudeste da bacia, nas proximidades da foz do Igarapé Murupu;
- GXbd - Gleissolo Háptico distrófico (1,4%) Encontrado em porções menores na região central-sul, junto à drenagem principal da bacia;
- RLd - Neossolo Litólico distrófico (0,4%). Encontrado em pequenas áreas na porção nordeste da bacia;
- SXe - Planossolo Nátrico eutrófico (0,1%).

2.1.6 Vegetação

A vegetação predominante é a Spf Savana Parque com floresta-de-galeria que ocorre em 86,05% da área, encontrada extensivamente na região central da bacia e presente de forma menos expressiva na porção oeste e noroeste. Ocorrem também a Fsu Floresta Estacional Semidecidual Submontana com dossel uniforme (10,68%), presente principalmente nas porções oeste e noroeste da bacia e a Saf Savana Arborizada com floresta-de-galeria em 3,2% da área concentrada numa área próxima da foz do Igarapé Murupu. Conforme podemos observar na Figura 08.

Figura 08 – Mapa de vegetação.



2.1.7 Demografia e socioeconomia

As áreas urbanas das sedes dos municípios de Boa Vista e Alto Alegre situam-se parcialmente na região da bacia do Rio Cauamé (Figura 10). Essas áreas concentram as maiores densidades populacionais. Em Boa Vista, as maiores densidades populacionais coincidem com a área circundante de uma das principais nascentes do Igarapé Caraná (afluente da margem direita do Rio Cauamé), apresentando densa ocupação humana ao longo de praticamente todo seu curso (Figura 09).

Totalizando os dados censitários de 2010 verifica-se que a área da bacia era ocupada por uma população de aproximadamente 148 mil pessoas.

Figura 09—Área urbana da cidade de Boa Vista no entorno do Igarapé Caraná.

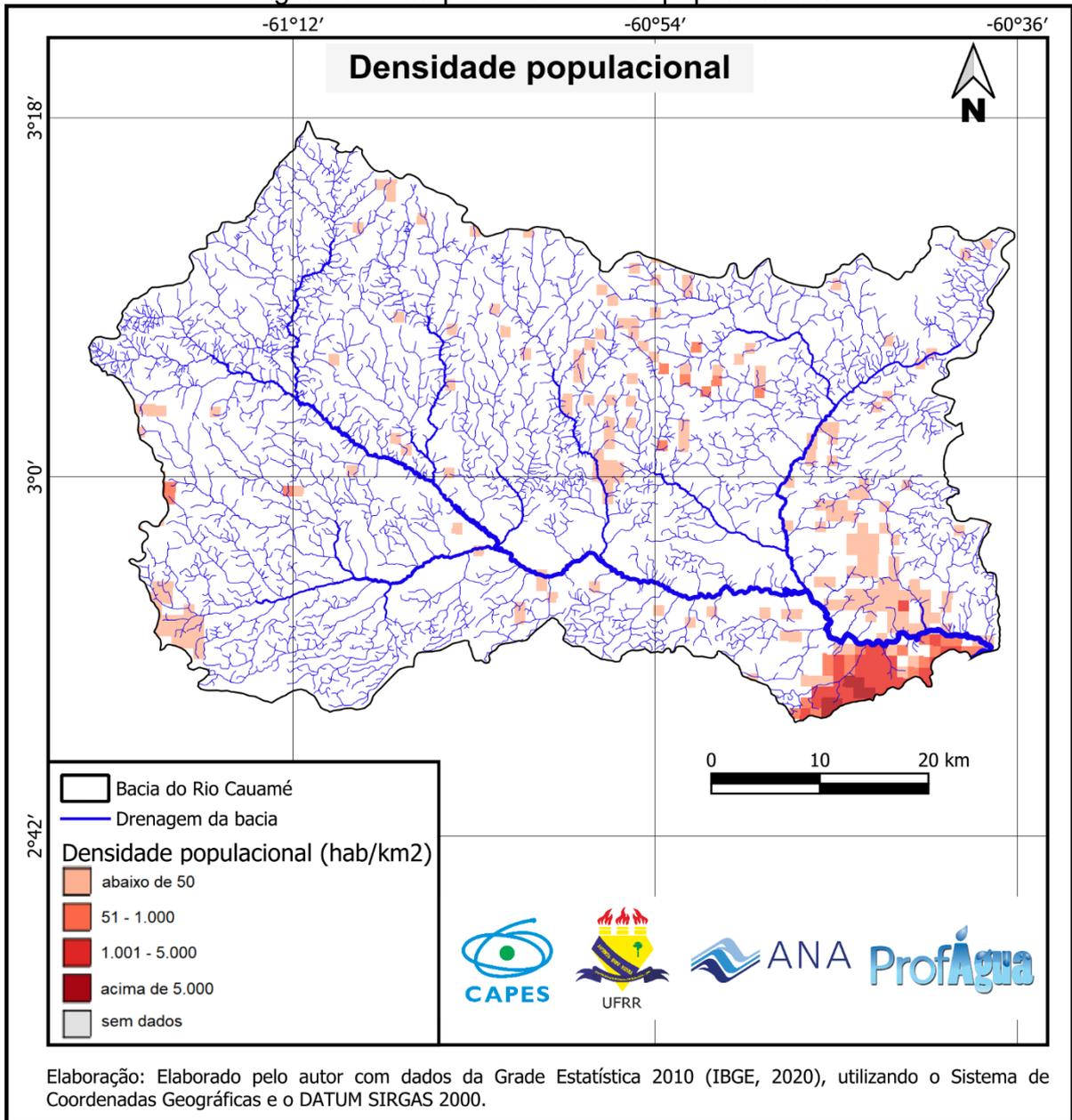


Elaboração: Elaborada pelo autor por registro fotográfico com auxílio de drone em altitude de ~333m próximo à latitude 02°51'10"N e longitude 60°43'53"O em 02/06/2019.

É importante ressaltar que além das ocupações urbanas, no interior da bacia se localiza a Terra Indígena Sucuba, parte da Terra Indígena Raimundão, em seu

entorno/limite as terras indígenas Boqueirão, Barata, Truaru e Serra da Moça, e assentamentos rurais com destaque para o PA Nova Amazônia.

Figura 10 – Mapa de densidade populacional.



2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

Os dados foram obtidos através de técnicas de geoprocessamento e de produtos de sensoriamento remoto, imagens ópticas e SAR (radar de abertura sintética) e modelo digital de elevação (Quadro 01).

Foram utilizados como insumos imagens ópticas do sensor OLI embarcado no satélite LANDSAT 8; imagens ópticas dos sensores MSI da missão SENTINEL-2 embarcados nos satélites SENTINEL-2A e SENTINEL-2B e imagens ópticas dos sensores REIS instalados nos satélites da constelação RapidEye. As cenas LANDSAT e SENTINEL são fornecidas gratuitamente através de suas plataformas na *Web* e as cenas RapidEye são disponibilizadas prontas para uso pelo Geoportal do Ministério do Meio Ambiente. A cobertura RapidEye para todo o Brasil foi adquirida pelo Governo Federal e é disponibilizado acesso para órgãos públicos e entidades de pesquisa. A aquisição das cenas considerou prioritariamente a ausência da cobertura de nuvens.

As imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) utilizadas são oriundas do sensor PALSAR embarcado no satélite ALOS. As cenas são disponibilizadas no site da Agência Aeroespacial Japonesa – JAXA. Este sensor disponibiliza imagens de interferometria para aplicações planimétricas e também o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução horizontal de 12,5 m.

As imagens SAR, além de não sofrerem interferência da cobertura de nuvens, permitiram boa visualização dos elementos de relevo.

A Agência Espacial Americana – NASA, publicou em março de 2020 dados do mais recente reprocessamento dos dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), os dados foram aprimorados com o uso de algoritmos e dados que não estavam disponíveis no momento do lançamento dos dados da SRTM original. O resultado é um novo MDE o NASADEM (NASA JPL, 2020), que embora tenha resolução menor (30m) que o MDE PALSAR se mostrou mais consistente e gerando resultados mais precisos.

As imagens ópticas foram pré-processadas, sendo realizada a correção atmosférica pelo método DOS1 (*Dark Object Subtraction 1*) implementado no *Semi Automatic Classification Plugin* (SCP), instalado no QGis e apto a processar cenas Landsat e Sentinel. Foi verificado o georreferenciamento das cenas, não tendo se mostrado necessário nenhum ajuste, a seguir foi realizada operação de recorte da área de interesse, ajuste de contraste e empilhamento das bandas espectrais com

utilização do *software* ENVI. Com o empilhamento de todas as bandas foi possível experimentar várias composições durante a interpretação visual das imagens. As composições de bandas que envolvem matrizes com diferentes resoluções espaciais foram submetidas à operação de *Pan Sharpening*, para aproveitar a melhor resolução espacial em conjunto com as bandas espectrais de interesse, mesmo que estas tenham resolução espacial inferior.

O MDE foi utilizado para elaboração de mapa hipsométrico e de declividade, utilizando sombreamento de relevo (*Shaded relief*) para facilitar a visualização das feições do relevo. O MDE também foi processado para geração de curvas de nível compatíveis com a escala 1:25.000.

Para geração da rede de drenagem o MDE foi processado seguindo as seguintes etapas, através dos comandos da ferramenta *Hydrology* da extensão *Spatial Analyst Tools* do *software* ArcGis: comando *Fill Sinks* para eliminar as depressões (células de cota inferior cercadas por outras de cota maior); comando *Flow Direction* para gerar a matriz de direções dos fluxos; comando *Flow Accumulation* para gerar a matriz com valores de fluxo acumulado e comando *Watershed* que utilizou as matrizes anteriormente geradas para delimitar automaticamente as sub-bacias.

Devido às características e resolução do MDE a rede de drenagem e os limites de sub-bacias gerados automaticamente foram sobrepostos às imagens ópticas, mapas hipsométrico e de declividade, curvas de nível, e imagens SAR, para realizar digitalização manual, utilizando tablet de desenho digital, realizando interpretação visual visando alcançar como resultado uma rede de drenagem ainda mais precisa, topologicamente consistente e compatível com escala 1:25.000.

Quadro 01 – Insumos de sensoriamento remoto.

Plataforma	Sensor	Insumo	Resolução
LANDSAT-8	OLI	Imagem óptica	15 m (PAN)
SENTINEL-2	MSI	Imagem óptica	10 m
RapidEye	REIS	Imagem óptica	5 m
ALOS	PALSAR	Modelo Digital de Elevação	12,5 m
ALOS	PALSAR	Interferometria	12,5 m
Endeavour	SAR	Modelo Digital de Elevação - NASADEM	30 m

Elaboração: Elaborado pelo autor.

2.3 ESCALA DE MAPEAMENTO

A definição da escala de mapeamento é um aspecto crucial no planejamento e execução de projetos cartográficos, pois determina o nível de detalhamento espacial necessário para atender aos objetivos do estudo. Neste trabalho, foi adotada a escala de 1:25.000 para a análise morfométrica da Bacia do Rio Cauamé, baseada na alta resolução dos insumos de sensoriamento remoto utilizados e nos padrões de exatidão cartográfica.

Para mapear e analisar a morfometria da bacia, foram empregados diversos insumos de sensoriamento remoto, cujas características são detalhadas no Quadro 01. A escolha da escala de 1:25.000 se justifica pela necessidade de um detalhamento espacial que permita uma análise precisa dos parâmetros morfométricos. De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2015), a resolução espacial dos dados de sensoriamento remoto deve ser pelo menos metade da menor dimensão cartográfica a ser representada no mapa. Assim, a resolução de 5 metros do RapidEye, por exemplo, é equivalente a 0,20 mm no mapa, o que está bem abaixo do limite de 1 mm, indicando uma alta precisão e detalhamento adequado para esta escala. A importância dessa relação entre a resolução dos dados e a escala de mapeamento não pode ser subestimada, pois garante que as informações obtidas sejam representadas de forma precisa e útil para as análises subsequentes.

A precisão posicional dos insumos utilizados também é um fator determinante na escolha da escala. As imagens RapidEye possuem uma precisão horizontal de aproximadamente 10 metros (Planet Labs Inc., 2016), enquanto os Modelos Digitais de Elevação (MDE) derivados do ALOS PALSAR têm uma precisão vertical de cerca de 5 metros (Japan Aerospace Exploration Agency, 2014). Além disso, as imagens LANDSAT-8 têm uma precisão horizontal de cerca de 12 metros (USGS, 2019), e as imagens SENTINEL-2 apresentam precisão horizontal de aproximadamente 12,5 metros (European Space Agency, 2015). Estas precisões estão dentro dos limites aceitáveis para a escala de 1:25.000, onde 1 mm no mapa representa 25 metros no terreno (Lillesand, Kiefer e Chipman, 2015). Este nível de precisão é essencial para garantir a confiabilidade dos dados cartográficos e a acurácia das análises realizadas.

Os erros horizontais e verticais são considerações fundamentais ao determinar a adequação dos insumos para a escala escolhida. No caso das imagens RapidEye, a precisão horizontal de 10 metros significa que os deslocamentos posicionais não

excederão 0,4 mm na escala do mapa, enquanto para o ALOS PALSAR, a precisão vertical de 5 metros garante que as variações altimétricas sejam representadas com uma acurácia dentro de 0,2 mm no mapa. Esses valores estão bem dentro dos parâmetros definidos pela literatura, assegurando que os produtos cartográficos derivados sejam de alta qualidade e precisão.

A conformidade com o Decreto nº 89.817, de 1984, que estabelece as normas técnicas da cartografia nacional, também reforça a adequação dos procedimentos adotados (BRASIL, 1984). No entanto, a validação dos dados em campo seria necessária para realizar o enquadramento ao respectivo Padrão de Exatidão Cartográfica, o que está fora do escopo deste trabalho. Portanto, assumimos que os dados seguem os padrões esperados, mas reconhecemos a necessidade de validação futura a depender do finalidade de aplicação desses dados pelo usuário final.

Além disso, a escolha da escala de 1:25.000 foi também influenciada pela necessidade de um balanço adequado entre a área coberta e o nível de detalhe necessário para a análise morfométrica. A resolução dos insumos, como mencionado, é suficientemente alta para garantir que detalhes cruciais da morfologia da bacia hidrográfica sejam capturados e representados com precisão no mapa. Este nível de detalhe é crucial para análises que exigem uma compreensão profunda das características físicas e geomorfológicas da área estudada.

Portanto, a adoção da escala de 1:25.000 foi uma decisão fundamentada tanto na resolução e precisão dos dados de sensoriamento remoto disponíveis quanto nos padrões de exatidão cartográfica estabelecidos pela legislação vigente. Esta escolha garante que as representações cartográficas produzidas são suficientemente detalhadas e precisas para suportar as análises morfométricas e geográficas necessárias para a gestão e estudo da Bacia do Rio Cauamé.

2.4 OTTOCODIFICAÇÃO

O método funciona através da atribuição de códigos numéricos a diferentes níveis de bacias hidrográficas. Cada nível de codificação representa uma subdivisão hierárquica das bacias, começando com as maiores bacias e progressivamente subdividindo-as em unidades menores. A estrutura hierárquica permite a agregação e desagregação dos dados de acordo com a necessidade de análise, facilitando a gestão integrada dos recursos hídricos.

Para implementar a ottocodificação, primeiramente, é necessário identificar as grandes bacias hidrográficas principais do continente, como a Bacia Amazônica e a Bacia do Prata. Cada uma dessas bacias recebe um código numérico único. Por exemplo, a Bacia Amazônica é designada com o código "4". Em seguida, essa bacia principal é subdividida em suas sub-bacias principais, que também recebem códigos numéricos adicionais. A Bacia do Rio Negro, uma sub-bacia da Bacia Amazônica, recebe o código "8", formando o código "48" quando combinada com o código da Bacia Amazônica.

Dentro de cada sub-bacia, identificam-se os principais afluentes, que recebem códigos adicionais. Por exemplo, o Rio Branco, um dos principais afluentes do Rio Negro, recebe o código "4", resultando no código "484". Este processo de subdivisão e codificação continua até que todas as sub-bacias e afluentes estejam codificados, permitindo uma análise detalhada e hierárquica das bacias hidrográficas.

Após a digitalização manual dos trechos de drenagem, utilizando uma mesa digitalizadora, procede-se à digitalização dos limites da bacia hidrográfica e de suas sub-bacias. Este processo começa pelo limite da bacia no nível 5 da ottocodificação, e a partir daí, realiza-se a ottocodificação e a delimitação das sub-bacias correspondentes até o nível 8, seguindo os procedimentos propostos por Pfafstetter (1989) e adotados pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

2.4.1 Níveis 1, 2, 3, 4 e 5

O primeiro nível da codificação se refere à divisão das bacias e regiões hidrográficas do continente sul americano. No caso da área de estudo, está inserida

na Bacia Hidrográfica do Amazonas, recebendo como primeiro dígito o algarismo 4, conforme pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Codificação de Otto Pfafstetter no nível 01.

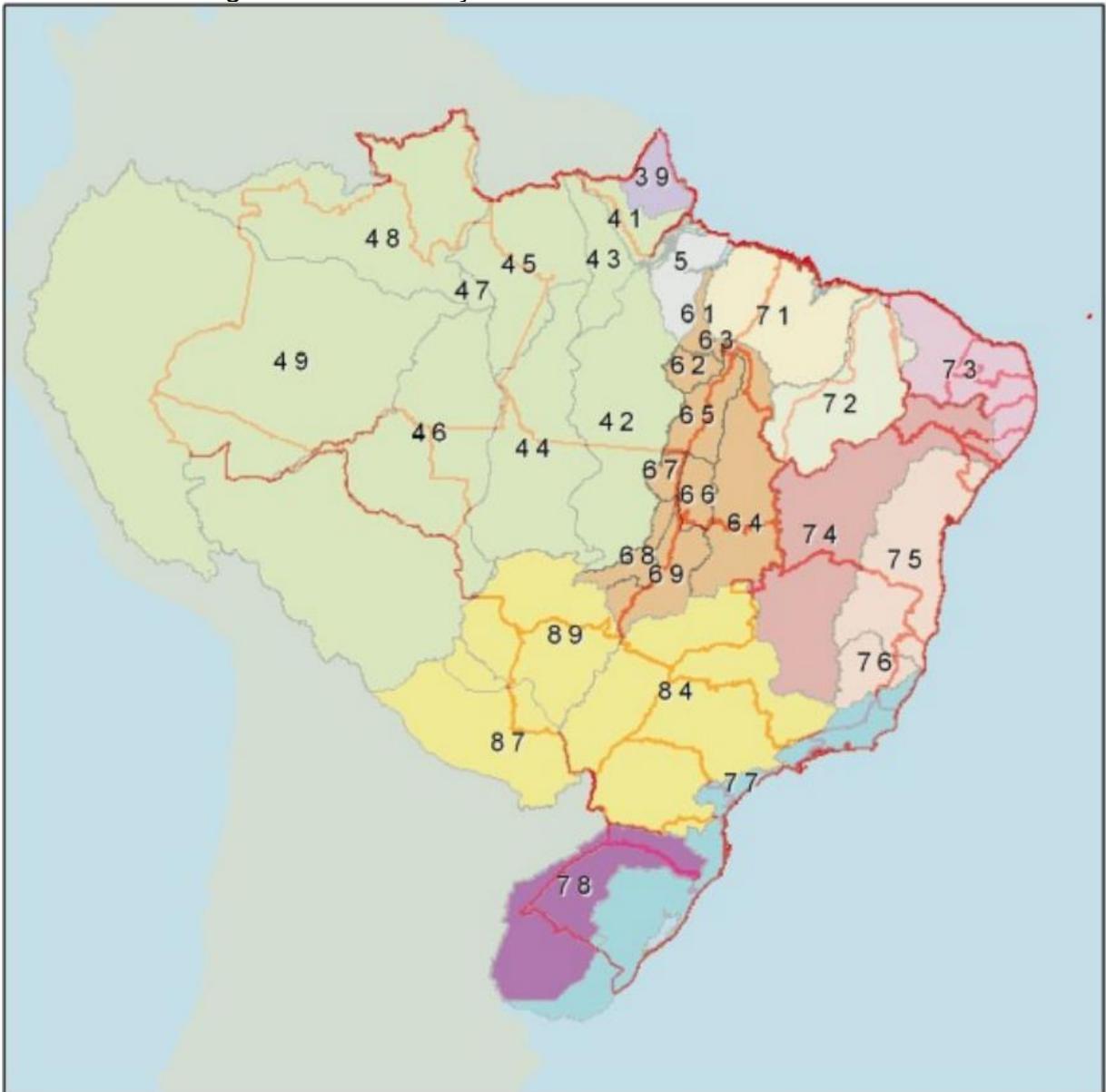


Fonte: Material didático sobre Codificação de Bacias Hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter - Aplicação na ANA, (ANA, 2012).

Já no segundo nível recebe o algarismo 8, e corresponde então a Bacia do Rio Negro, código 48, por ser uma das 4 maiores sub-bacias da bacia do Amazonas e

dentre essas se encontrar na quarta posição (considerando jusante para montante). Como pode ser observado na Figura 15.

Figura 12 - Codificação de Otto Pfafstetter no nível 02.



Fonte: Material didático sobre Codificação de Bacias Hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter - Aplicação na ANA, (ANA, 2012).

No terceiro nível verificamos que a bacia do rio Cauamé está inserida na bacia do Rio Branco, sendo que este recebe o algarismo 4, por ser um dos 4 maiores afluentes do Rio Negro e ser o segundo em posição, recebendo o código 484.

Seguindo para o quarto nível de codificação verificamos que a bacia do Rio Cauamé está inserida na interbacia que recebe nesse nível o algarismo 7, identificada como interbacia 4847, que recebe fluxo de água das bacias do rio Tacutu e Rio Uraricoera. Passando a drenagem principal a ser chamada de Rio Branco.

Subdividindo-se a interbacia 4847 para obtenção do nível 5, verificamos que a bacia do Rio Cauamé recebe o algarismo 4, por ser um dos 4 maiores afluentes dessa interbacia e ser o segundo em posição (de jusante para montante). Sendo então codificada como 48474.

Após a digitalização manual dos trechos de drenagem, utilizando mesa digitalizadora, foi realizada a digitalização dos limites da bacia hidrográfica do Rio Cauamé e de suas sub-bacias. Iniciando pelo limite da bacia no nível 5 da ottocodificação e a partir de então realizando a ottocodificação e a delimitação das sub-bacias correspondentes, até o nível 8, seguindo os procedimentos propostos por Pfafstetter (1989) e adotado como método de codificação oficial pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Foi verificada a consistência topológica dos trechos de drenagem para garantir a exata conexão dos vértices, a não ocorrência de duplicações, de geometrias inválidas, não ocorrência de intercepções bem como a correta direção das feições e a atribuição do trecho de origem e trecho de destino, para que seja possível implementação de algoritmos de rede e demais processamentos com exatidão. A reambulação foi realizada utilizando-se Cartas Topográficas e mapeamentos online (Google Maps, Bing Maps, Open topo maps).

Quanto aos polígonos das sub-bacias o tratamento topológico, além da ottocodificação, foi verificada a não sobreposição, não ocorrência de fendas, não conter geometrias inválidas, não ocorrência de duplicatas e a garantia de que os limites não interceptam as feições dos trechos de drenagem.

2.5 MORFOMETRIA

Após a consolidação das camadas de trecho de drenagem e sub-bacias otocodificadas, foi realizado o cálculo dos parâmetros descritos no Quadro 02. Esses parâmetros incluem diversas métricas morfométricas essenciais, como a área da bacia, o perímetro, o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade, a densidade de drenagem, a extensão média dos canais, entre outros. Cada um desses parâmetros proporciona análises importantes sobre as características físicas e geomorfológicas da bacia hidrográfica, permitindo uma compreensão detalhada e abrangente do comportamento hidrológico da região.

O processo de cálculo envolveu o uso de ferramentas de geoprocessamento em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Utilizando algoritmos específicos para análise de rede de drenagem e delimitação de sub-bacias, foi possível automatizar o cálculo das métricas morfométricas, garantindo precisão e eficiência. Os parâmetros calculados foram integrados ao banco de dados geográfico na forma de atributos alfanuméricos, associados às respectivas camadas vetoriais de trecho de drenagem e sub-bacias.

Além dos parâmetros principais descritos no Quadro 02, foram realizados cálculos auxiliares necessários para complementar a análise morfométrica. Esses cálculos incluíram a determinação da ordem dos cursos d'água segundo o método de Strahler, a identificação de pontos de confluência e a medição de distâncias ao longo dos trechos de drenagem. Essas informações adicionais foram fundamentais para uma compreensão mais profunda das dinâmicas de fluxo e da estrutura da rede de drenagem.

Os dados alfanuméricos resultantes foram registrados nas camadas vetoriais do banco de dados geográfico, permitindo a integração e visualização em um ambiente SIG. Esta abordagem facilitou a manipulação e análise dos dados, proporcionando uma base robusta para a realização de estudos hidrológicos e de gestão de recursos hídricos. A consolidação e o cálculo preciso desses parâmetros são cruciais para apoiar decisões informadas sobre a gestão sustentável das bacias hidrográficas.

Quadro 02 – Parâmetros morfométricos estudados.

Parâmetro	Descrição	Fórmula
Coeficiente de compacidade (Kc)	Relaciona o perímetro da bacia com um círculo de área igual à da bacia.	$Kc = 0,282 \frac{\text{perímetro}}{\sqrt{\text{área}}}$
Índice de circularidade (Ic)	Relaciona a área da bacia com seu perímetro.	$Ic = 12,57 \frac{\text{área}}{\text{perímetro}^2}$
Amplitude altimétrica (H)	É a diferença entre a maior cota encontrada na bacia e a cota de seu exutório.	$H = \text{maior cota} - \text{cota do exutório}$
Orientação da bacia	É a direção predominante para onde os trechos de drenagem seguem.	<i>Orientação = média das direções das drenagens</i>
Densidade de Drenagem (Dd)	Relaciona o somatório do comprimento de todos os cursos d'água (Rede de Drenagem) com a área da bacia.	$Dd = \frac{\text{comp.total}}{\text{área}}$
Extensão média do Escoamento superficial	É a distância média percorrida pelas águas do interflúvio até o canal permanente.	$l = \frac{\text{área}}{4 * \text{comp. do rio principal}}$
Sinuosidade do curso d'água (sin)	É a relação entre o comprimento do rio principal (linha reta entre exutório e nascente mais distante) e o comprimento do rio principal medido pela linha do talvegue.	$\text{sin} = \frac{\text{comprimento}}{\text{comp. do talvegue}}$
Extensão média dos canais	É calculada pela média aritmética dos comprimentos dos trechos de drenagem da bacia.	<i>Extensão = média do comprimentos das drenagens</i>
Área de drenagem	Está relacionada com o potencial hídrico da bacia, foi calculada pela ferramenta <i>Calculate geometry (Arcgis)</i> .	
Relação de relevo (Rr)	Refere-se a razão entre a Amplitude Altimétrica (H) e o Comprimento da bacia (Lb).	$Rr = \frac{H}{Lb}$
Índice de rugosidade (Ir)	Produto da Amplitude Altimétrica (H) pela Densidade de Drenagem (Dd). Descreve a relação entre a declividade e o comprimento das vertentes. Calcula-	$Ir = H * DD.$

Elaboração: Elaborado pelo autor.

2.6 DEFINIÇÃO DAS CLASSES PARA APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A escolha do número de classes é um ponto de partida essencial. Uma fórmula amplamente utilizada é a Regra de Sturges, que define o número de classes (k) como: $k=1+3.322\log N$ onde N é o número total de observações Sturges (1926)

A definição adequada das classes para apresentação de dados é uma etapa crucial na análise estatística e na visualização de informações. O objetivo é organizar os dados em categorias que facilitem a interpretação e a comunicação dos resultados. Existem diversos métodos para determinar o número de classes e seus intervalos, sendo o método de Jenks (JENKS, 1967) uma escolha popular devido à sua eficácia em maximizar a variância entre as classes e minimizar a variância dentro das classes.

Uma vez determinado o número de classes, é necessário definir os valores de cada classe. O método de Jenks, também conhecido como Método de Quebras Naturais, é especialmente eficaz para dados não uniformemente distribuídos. Este método busca minimizar a variância dentro das classes e maximizar a variância entre as classes, tornando as classes o mais homogêneas possível (JENKS, 1967).

O algoritmo de Jenks é iterativo e segue os passos de Inicialização: define-se o número de classes e então aplica intervalos arbitrários; Realocação: redistribui-se os valores de forma que a soma das variâncias dentro das classes seja minimizada; Ajuste: os limites das classes são ajustados iterativamente para reduzir a variância dentro das classes.

Este processo é repetido até que os intervalos das classes se estabilizem e a variação total intra-classe seja minimizada. O resultado são classes que refletem de maneira mais precisa a estrutura dos dados, facilitando a interpretação e a visualização (SLATER, 1981).

A aplicação prática do método de Jenks envolve o uso de softwares estatísticos ou de sistemas de informação geográfica (SIG), como o QGIS ou ArcGIS, que possuem ferramentas integradas para calcular as quebras naturais. Estes programas implementam o algoritmo de Jenks e permitem ao usuário definir rapidamente as classes de uma forma otimizada. A utilização de ferramentas SIG não só automatiza o processo de classificação, mas também oferece visualizações imediatas dos resultados, permitindo ajustes e refinamentos iterativos conforme necessário.

A definição de classes para apresentação dos dados é um processo fundamental para a clareza e eficácia na comunicação de resultados estatísticos. Métodos como a Regra de Sturges oferecem formas simples de determinar o número de classes, enquanto o método de Jenks proporciona uma técnica robusta para definir os valores das classes, otimizando a variância entre e dentro das classes. A escolha do método apropriado depende das características do conjunto de dados e do objetivo da análise.

Para a produção dos mapas com os resultados das análises utilizamos a Regra de Sturges para definir o número de classes e o método de Jenks para definir os valores das classes. Para algumas variáveis não utilizaremos esse método, são casos em que já há classes bem estabelecidas para o tipo de informação, como classes de relevo, por exemplo. Outro exemplo é a representação das orientações (azimutes) que variam de 0 a 360° e tendem a ser melhor interpretadas quando as classes coincidem com os quadrantes.

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise da similaridade morfométrica entre as sub-bacias foi utilizada estatística multivariada com os métodos de análise de agrupamentos (*clusters*) e análise de componentes principais (ACP).

A ACP analisou a covariância entre os parâmetros morfométricos estudados para cada sub-bacia, identificando quais dos parâmetros podem explicar a maior parte da variância, sendo estes então os que serão utilizados na análise de agrupamentos.

A análise de agrupamentos foi realizada pelo método de agrupamento em árvore (*tree clustering*).

A sequência de análises possibilitou a definição de agrupamento de sub-bacias por similaridade morfométrica.

Os procedimentos foram realizados com o auxílio do pacote de software estatístico R, desenvolvido pelo R Core Team (2020), utilizando a interface RStudio versão 1.3.1073, onde os dados dos parâmetros morfométricos foram carregados como *dataset* e executadas as análises citadas.

2.8 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS *WEB*

Após a conclusão dos cálculos e ajustes dos vetores dos trechos de drenagem e dos limites das sub-bacias, os dados foram organizados para compor o Banco de Dados que alimenta a aplicação SIG *WEB* baseada na plataforma I3Geo.

Foram gerados arquivos nos formatos vetoriais (shapefile e kml) que podem ser baixados no site para uso em aplicativos SIG *desktop*. As camadas possuem em seus atributos alfanuméricos todos os dados dos parâmetros morfométricos calculados, bem como a ottocodificação e no caso dos trechos de drenagem, também os identificadores que possibilitar rotear a rede hidrológica.

Para implementação da plataforma on-line foram utilizadas duas formas de hospedagem. Uma é hospedagem compartilhada, com servidor *Web* padrão, com implementação da plataforma *Wordpress* para funcionando como *homepage/blog* e disponibiliza informações multimídia relacionadas à Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé, servindo como ponto de interação e divulgação dos temas relacionados à presente pesquisa. A partir dessa página há direcionamento para a aplicação SIG *WEB* no ambiente I3Geo.

Uma segunda hospedagem utilizada esta consiste na modalidade Servidor Virtual Privado, do inglês *Virtual Private Server (VPS)*, configurada com o Sistema Operacional UBUNTU na versão 14.04, onde está instalada a plataforma I3Geo e os demais serviços necessários para seu correto funcionamento. As VPS possuem excelente performance e a capacidade de total personalização, necessária para implementação o SIG *WEB*.

O domínio riocauame.com.br foi registrado e é utilizado para acesso à hospedagem do site. O site utilizando a plataforma *Wordpress* e a VPS configurada com o I3Geo estão ativos e podem ser acessados pelo link disponível na página SIG *WEB* do site www.riocauame.com.br.

O servidor VPS utilizado dispõe de processador de dois núcleos com velocidade total de 2,4 GHz, memória de 1 Gb, espaço em disco (*Solid State Disk*) de 20 Gb e largura de banda de 1000 Gb.

O servidor de hospedagem compartilhada possui espaço em disco (*Solid State Disk*) de 10 Gb, capacidade para 1 site, largura de banda de 100 Gb, 1 banco MySQL,

disponibilidade de uma conta de e-mail. Utiliza como servidor *Web* o Apache 2.4, PHP na versão 7.2.

As duas hospedagens são fornecidas pela empresa Hostinger, multinacional do ramo de hospedagem de sites, com filial no Brasil.

Foi utilizada a versão 7.0.10 do I3Geo, implementada no servidor seguindo a sequência de comandos disponível na página da versão 7 do I3Geo no Portal do Software Público Brasileiro (I3Geo, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise morfométrica da Bacia Hidrográfica englobou um conjunto amplo de parâmetros associados em uma quantidade relativamente grande de sub-bacias, levando a adotar a apresentação dos resultados na forma de mapas mostrando a variação dos valores dos parâmetros morfométricos para as sub-bacias em maior nível de detalhe. É inviável a tabulação desses resultados no corpo desse documento, entretanto os produtos gerados, as camadas vetoriais disponibilizadas, levam consigo todos os parâmetros calculados associados às respectivas feições, possibilitando a utilização desses dados para demais análises e implementações que se baseiem no conjunto de dados.

Não nos coube no escopo dessa pesquisa a discussão detalhada das características morfométricas da Bacia do Rio Cauamé e de suas sub-bacias, nos reservando ao foco da criação e disponibilização de um amplo conjunto de dados devidamente sistematizados, que podem compor com diversas outras pesquisas que vem sendo realizadas na bacia, notadamente no âmbito do PROFÁGUA – UFRR, um diagnóstico atual e tecnicamente consistente englobando os mais variados temas de análise.

3.1 ANÁLISE DO RELEVO

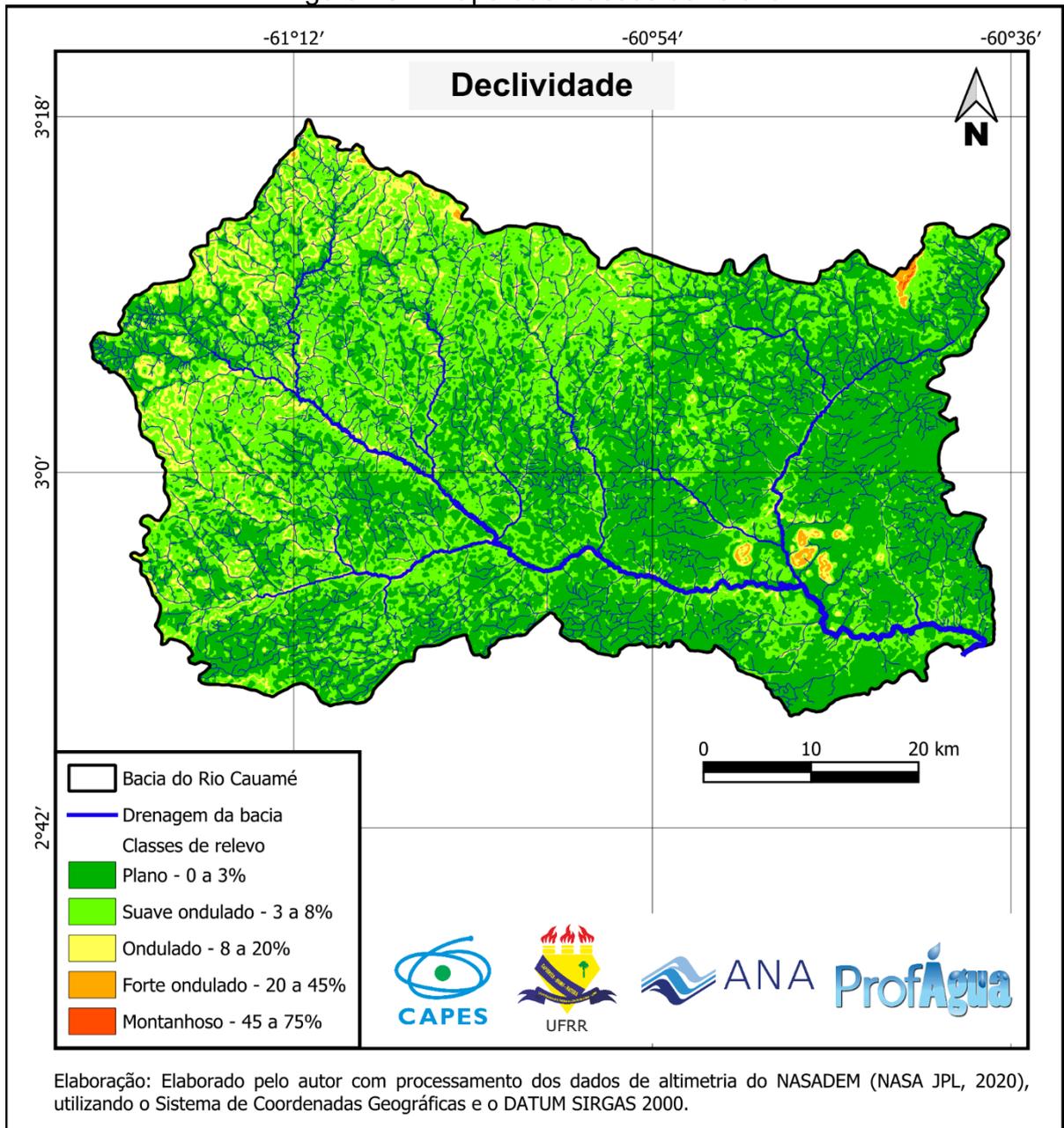
A classe de declividade predominante na área da bacia é Plano, presente de forma predominante na região centro-sul e leste da bacia, ocorrendo em 53,53% do total, seguido da ocorrência de declividade da classe Suave ondulado presente principalmente nas regiões oeste e noroeste da bacia, totalizando com 39,58% da área. Com menos expressão se apresenta 6,46% da área classificada como relevo Ondulado, ocorrendo em regiões pontuais nas proximidades da foz do Igarapé Murupu e a nordeste da bacia, em seu limite, temos 0,40% da área classificada como relevo Forte ondulado e apenas 0,03% da área na classe Montanhoso, com ocorrência pontual no nordeste da bacia. Não se classificando áreas com relevo Escarpado no interior da bacia. Como observa-se na Figura 13.

As extensas áreas aplainadas condicionam a ocorrência de um grande número de lagos e áreas úmidas.

As áreas de relevo Ondulado, Forte ondulado e montanhoso ocorrem principalmente nas regiões da Serra do Murupu, que atinge 457m de altitude e fica no limite nordeste da bacia; na Serra do Tabalo, que atinge 393m, fica no limite noroeste da bacia no ponto mais a montante do Rio Cauamé; na serra da região do Taiano, também no limite noroeste da bacia, atingindo 349m, localizada nas proximidades da nascente do igarapé Pascoal e na Serra Nova Olinda, morros e morrotes na região do Monte Cristo, atingindo aproximadamente 200m, localizada nas proximidades da foz do igarapé Murupu.

Considerando uma abordagem de análise da aptidão agrícola, as classes de declividade nos indicam os graus de limitação por susceptibilidade à erosão e os graus de limitação por impedimentos à mecanização (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). As classes Plano e Suave ondulado, maior parte da área da bacia, indicam pouca susceptibilidade à erosão e ligeira ou nula limitação por impedimento à mecanização.

Figura 13 – Mapa das classes de relevo.



3.2 COMPRIMENTO ACUMULADO DA DRENAGEM

A rede de drenagem resultante soma 3.771,62 km, englobando os trechos temporários e perenes, totalizam 4.539 trechos com comprimento médio de 0,83 km.

Para cada trecho de drenagem foi calculado o comprimento acumulado, correspondente a soma dos comprimentos de todos os trechos à montante. Esse atributo é utilizado em diversas metodologias de análise facilita o cálculo de diversos outros parâmetros e tem forte correlação com a área drenada. O comprimento acumulado pode, por exemplo, ser utilizado para aprimorar a apresentação cartográfica, atribuindo graduação de espessura e ou cor para a representação dos trechos de drenagem. Como observa-se na Figura 14.

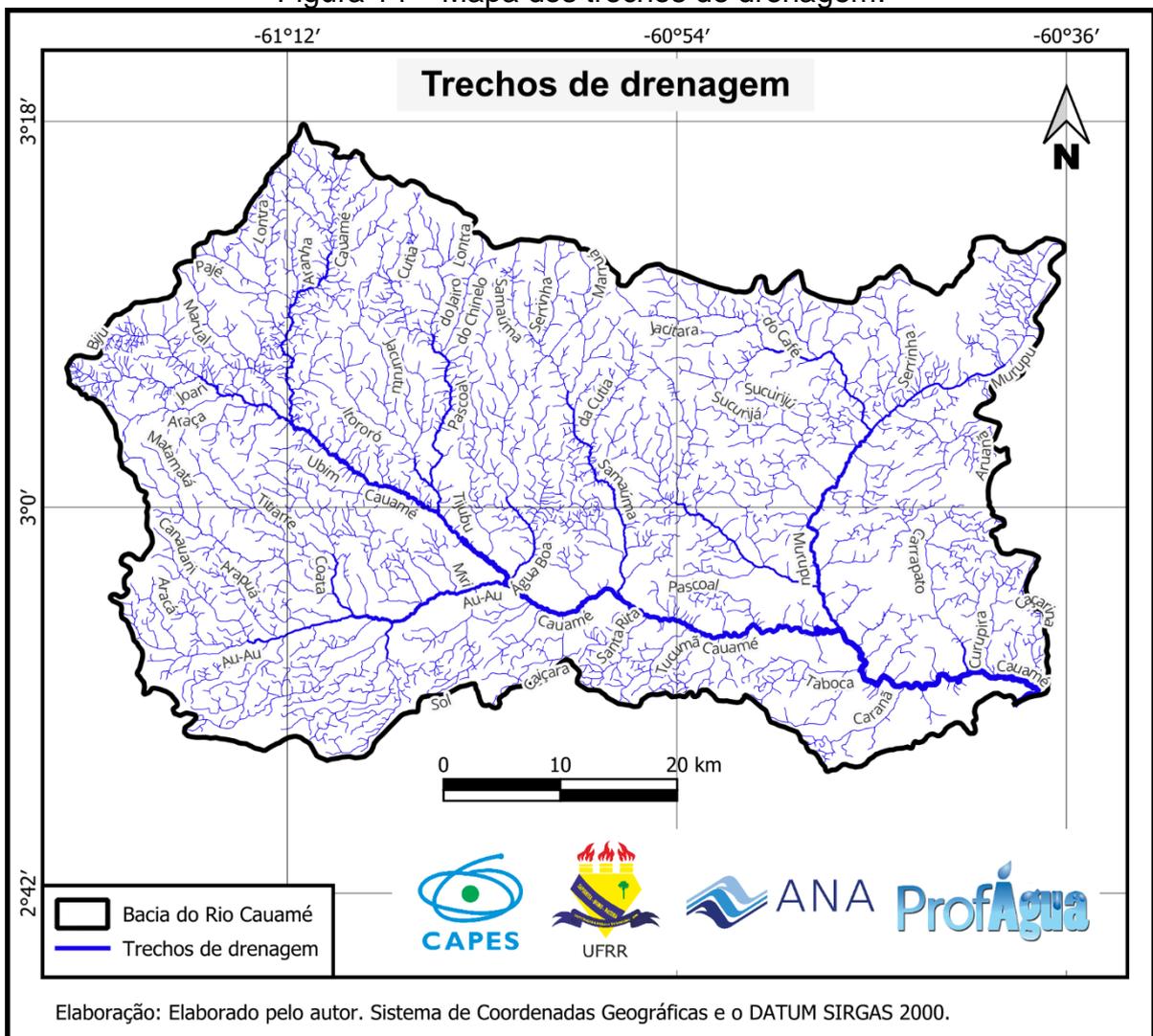
Os principais afluentes do Rio Cauamé são:

- **Igarapé Murupu** - afluente da margem esquerda do Rio Cauamé que drena uma sub-bacia com área de 789,75 km², seu canal principal e seus afluentes totalizam uma rede de drenagem com 878,36 km. Os principais tributários são o Igarapé Chidaua e Igarapé Jacitara;
- **Igarapé Samaúma** - afluente da margem esquerda do Rio Cauamé que drena uma sub-bacia com área de 233,99 km², seu canal principal e seus afluentes totalizam uma rede de drenagem com 303,71 km. Os principais tributários são o Igarapé da Cutia e Igarapé Marruá;
- **Igarapé Au-Au** - afluente da margem direita do Rio Cauamé que drena uma sub-bacia com área de 615,71 km², seu canal principal e seus afluentes totalizam uma rede de drenagem com 734,68 km. Os principais tributários são o Igarapé Sol, Igarapé Sucuba, Igarapé Matamatá, e Igarapé Canauani;
- **Igarapé Pascoal** - afluente da margem esquerda do Rio Cauamé que drena uma sub-bacia com área de 232,11 km², seu canal principal e seus afluentes totalizam uma rede de drenagem com 294,34 km. Os principais tributários são o Igarapé Itororó e Igarapé do Jairo.

As feições dos trechos de drenagem receberam a identificação equivalente a otocodificação da sub-bacia que os contém, além do atributo nominal, quando existente, obtido pela reambulação, atributos do encadeamento de rede, e demais atributos que se fizeram necessários calcular para definição dos parâmetros morfométricos.

A camada de feições dos trechos de drenagem fica disponível para visualização no SIG WEB e também com opção de download nos formatos *shapefile* e *kml*.

Figura 14 – Mapa dos trechos de drenagem.

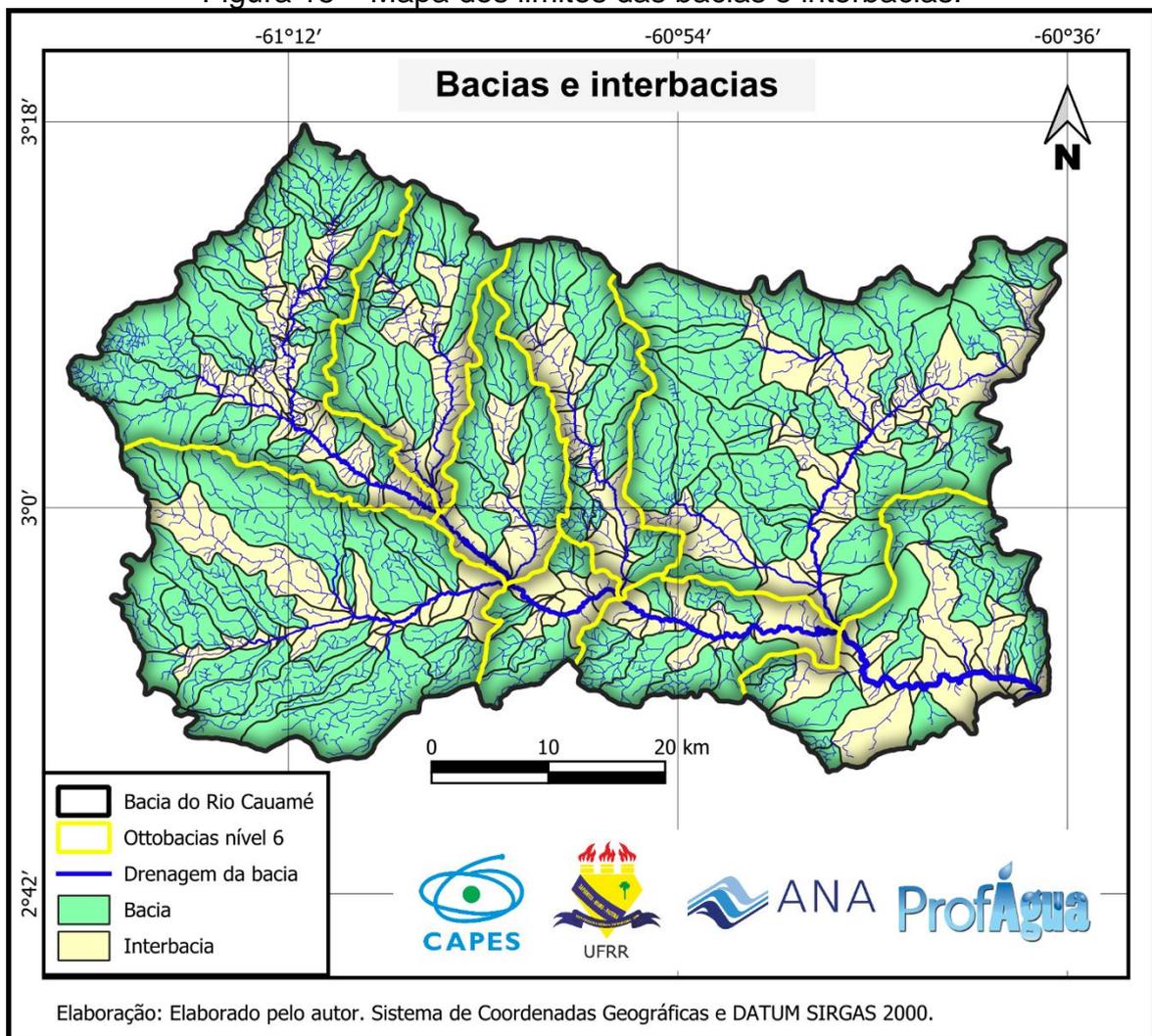


3.3 OTTOCODIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS

Efetuada o processo de ottocodificação foram delimitadas 297 sub-bacias no nível mais elevado de codificação. A bacia do Rio Cauamé é de nível 5, tendo sido gerada uma camada contendo uma única feição, com o limite da bacia e seus atributos calculados. A delimitação resultou numa área de 3.138,26 km² com perímetro de 316,86 km. No nível seguinte, sexto nível, resultou em 9 sub-bacias, que podem ser nomeadas também como bacias (não recebe drenagem de qualquer outra área de drenagem) e interbacias (recebe fluxo de água de bacias a montante).

As subdivisões foram sucessivas até se alcançar o oitavo nível, quando se verificou que na escala adotada (1:25.000) não havia mais viabilidade para subdivisões (Figura 15). Para cada nível foi gerada uma camada em formato *shapefile* e *kml*, com as feições equivalentes e seus atributos, estando disponíveis para download no site e acessíveis pelo SIG *WEB*.

Figura 15 – Mapa dos limites das bacias e interbacias.



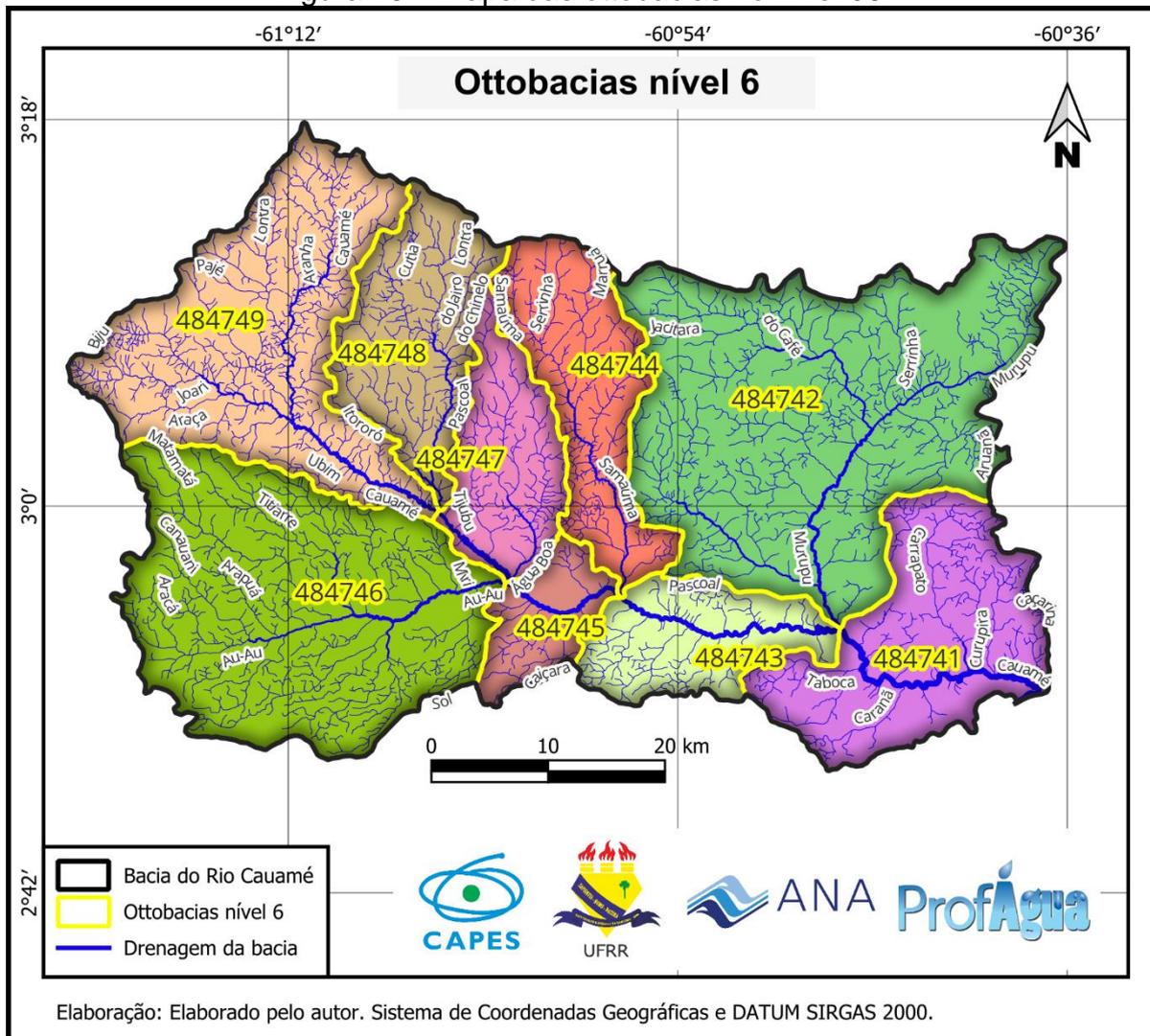
Os processamentos e digitalizações executados permitiram delimitar a bacia do rio Cauamé, 48474, e realizar subsequentemente as divisões das sub-bacias nos níveis seguintes.

3.3.1 Nível 6

No sexto nível de codificação verificamos que os quatro maiores afluentes do Rio Cauamé são o Igarapé Murupu, Igarapé Samaúma, Igarapé Au-Au e o Igarapé Pascoal, considerando suas posições, receberam respectivamente os algarismos 2, 4, 6 e 8, sendo então codificados como 484742, 484744, 484746 e 484748.

As áreas restantes formam as interbacias desse nível e a bacia com as nascentes mais a montante (código 9), recebendo conforme sua posição os algarismos ímpares, 1, 3, 5, 7 e 9. Conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Mapa das ottobacias no nível 06.

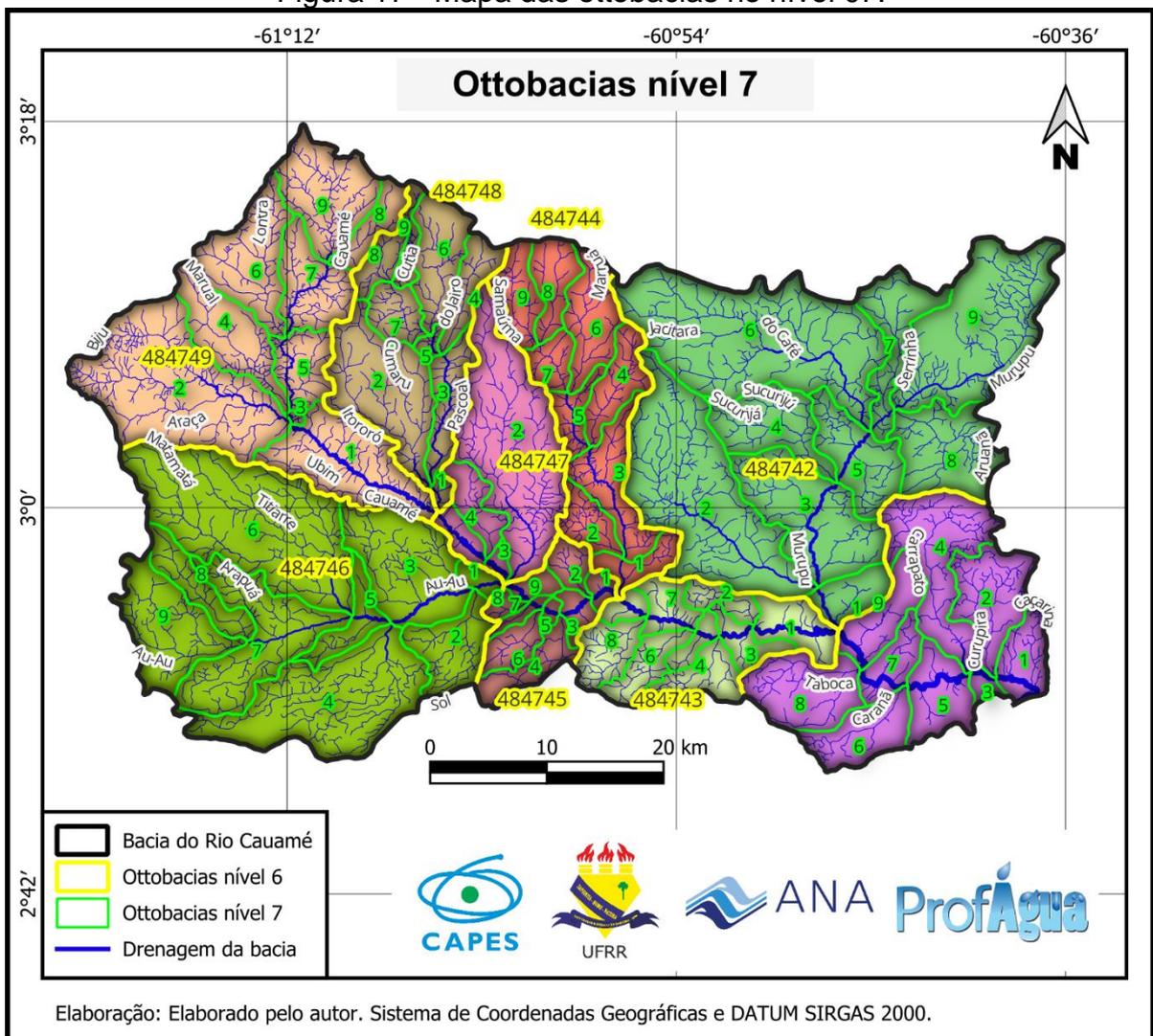


3.3.2 Nível 7

Para compor o sétimo nível passamos a dividir as bacias e interbacias descritas no nível 6.

As sub-bacias 484741, 484742, 484743, 484744, 484745, 484746, 484748 e 484749 foram divididas em 9 sub-bacias, tipicamente, enquanto a 484747 devido suas características e pela escala trabalhada foi dividida em 5 sub-bacias. Totalizando 77 sub-bacias no nível sete. Conforme pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Mapa das ottobacias no nível 07.



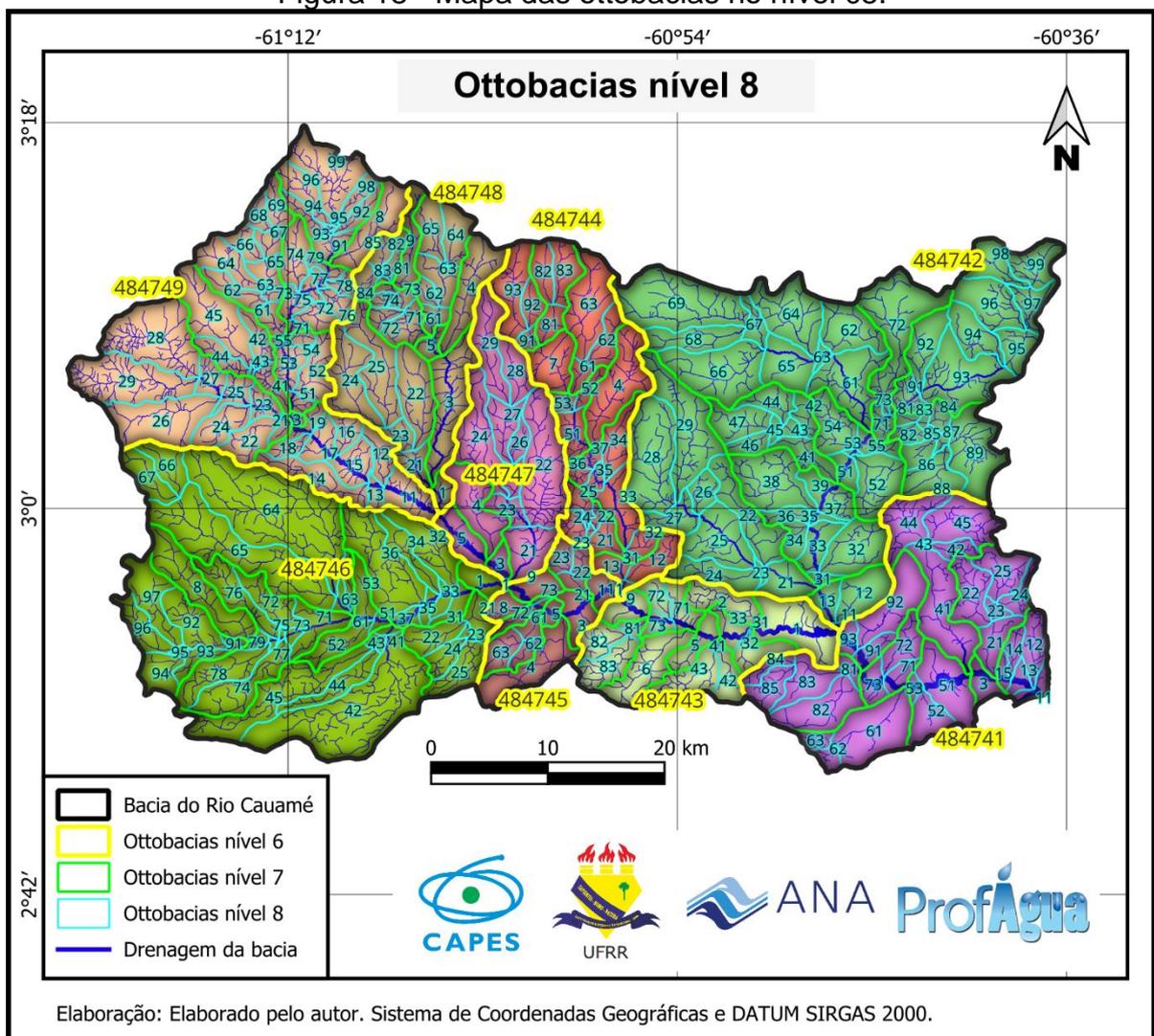
3.3.3 Nível 8

As 77 sub-bacias do nível 7 foram divididas para compor o oitavo nível. Muitas dessas ao serem analisadas não puderam ser divididas tipicamente em 9 sub-bacias, sendo divididas até o limite que o detalhamento dos dados permitiu. Sendo que 27 sequer foram divididas, tendo mantido o código do sétimo nível.

No oitavo nível ficaram estabelecidas 270 sub-bacias, e totalizando 297 sub-bacias no nível mais elevado (sétimo e oitavo) (Figura 18).

Essas 297 sub-bacias serviram como base para o cálculo dos parâmetros morfométricos.

Figura 18 - Mapa das ottobacias no nível 08.



3.4 MORFOMETRIA

Apresentamos os resultados do cálculo dos parâmetros morfométricos, tendo como base as 297 sub-bacias no nível mais detalhado de codificação. Embora esses resultados sejam mostrados em mapas das sub-bacias, seu cálculo envolveu dados dos trechos de drenagem.

Os parâmetros têm correlação com o comportamento hidrológico das sub-bacias e podem ser utilizados para análises pontuais de um determinado trecho de drenagem, bem como compor análises em conjunto a outros temas, como vegetação, solos, precipitação, etc.

Essa pesquisa não se propõe a esgotar as possibilidades de análises morfométricas, notadamente por serem inúmeros os parâmetros que podem ser considerados. O conjunto de parâmetros escolhido possibilita o entendimento básico das sub-bacias e atende ao objetivo de realizar a compartimentação proposta.

Devido ao elevado número de sub-bacias, a apresentação dos dados como mapas se mostrou adequada a nos dar uma percepção geral, porém estudos detalhados podem ser realizados acessando aos arquivos disponibilizados para download como Banco de Dados Geográfico e pela visualização através da interface online do SIG *WEB*.

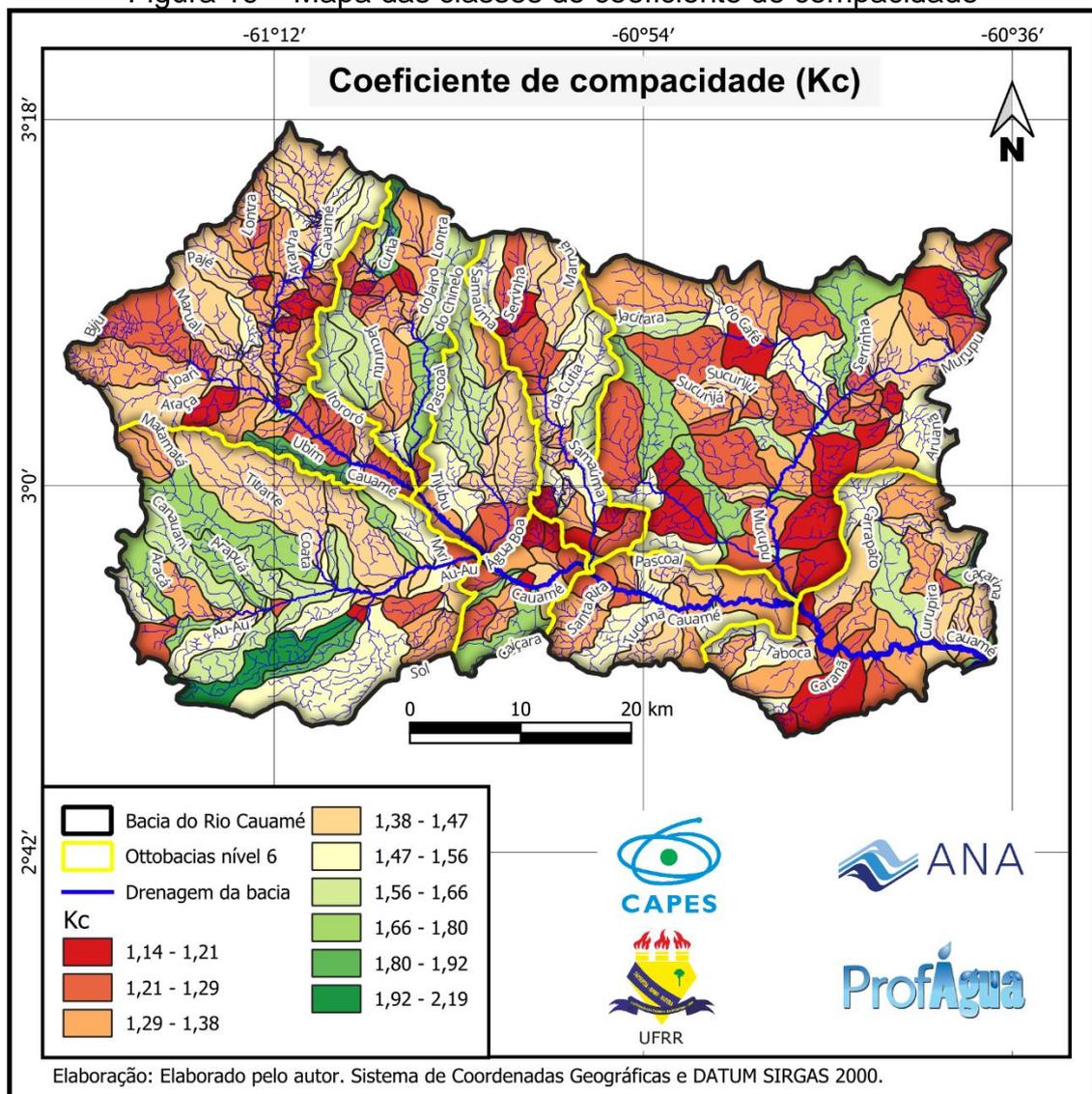
Para a elaboração dos mapas coropléticos com as variáveis por sub-bacia definimos o número de classes adotando a Regra de Sturges. Aplicada ao nosso caso onde se apresentam 297 sub-bacias temos como resultado a definição de nove classes para representar os resultados das variáveis. Para a definição dos intervalos das classes foi aplicado o método de Jenks, para cada variável em análise. Adotamos como padrão uma rampa de cores de vermelho para verde, com amarelo na zona intermediária. Essas cores foram escolhidas por serem fáceis de se distinguir e por se confundirem menos com outros elementos representados nos mapas. Adotamos o sentido da rampa de cores com o verde para valores mais favoráveis e vermelho para menos favoráveis, porém a análise de cada variável deve ser mais ampla, por vezes não se trata de índices dicotômicos, valores menos favoráveis conforme um contexto, podem ser favoráveis em outro.

3.4.1 Coeficiente de compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade é uma medida da circularidade da bacia, uma relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual. Como resultado o coeficiente tem sempre valor maior que 1. O valor 1 corresponderia a uma bacia perfeitamente circular.

Bacias mais circulares tendem a ter menor tempo de concentração (intervalo necessário, a partir do início de uma precipitação, para que toda bacia contribua para a vazão no exutório) e por consequência uma maior tendência de haver picos de enchente. É comum interpretar valores até 1,25 como alta propensão a grandes enchentes; de 1,25 – 1,50 com tendência mediana a grandes enchentes; e $> 1,50$ como bacia não sujeita a grandes enchentes. Os valores encontrados variam de 1,14 até 2,19 tendo como valor médio 1,40 e mediana 1,38. Conforme pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 – Mapa das classes do coeficiente de compacidade



3.4.2 Índice de circularidade (Ic)

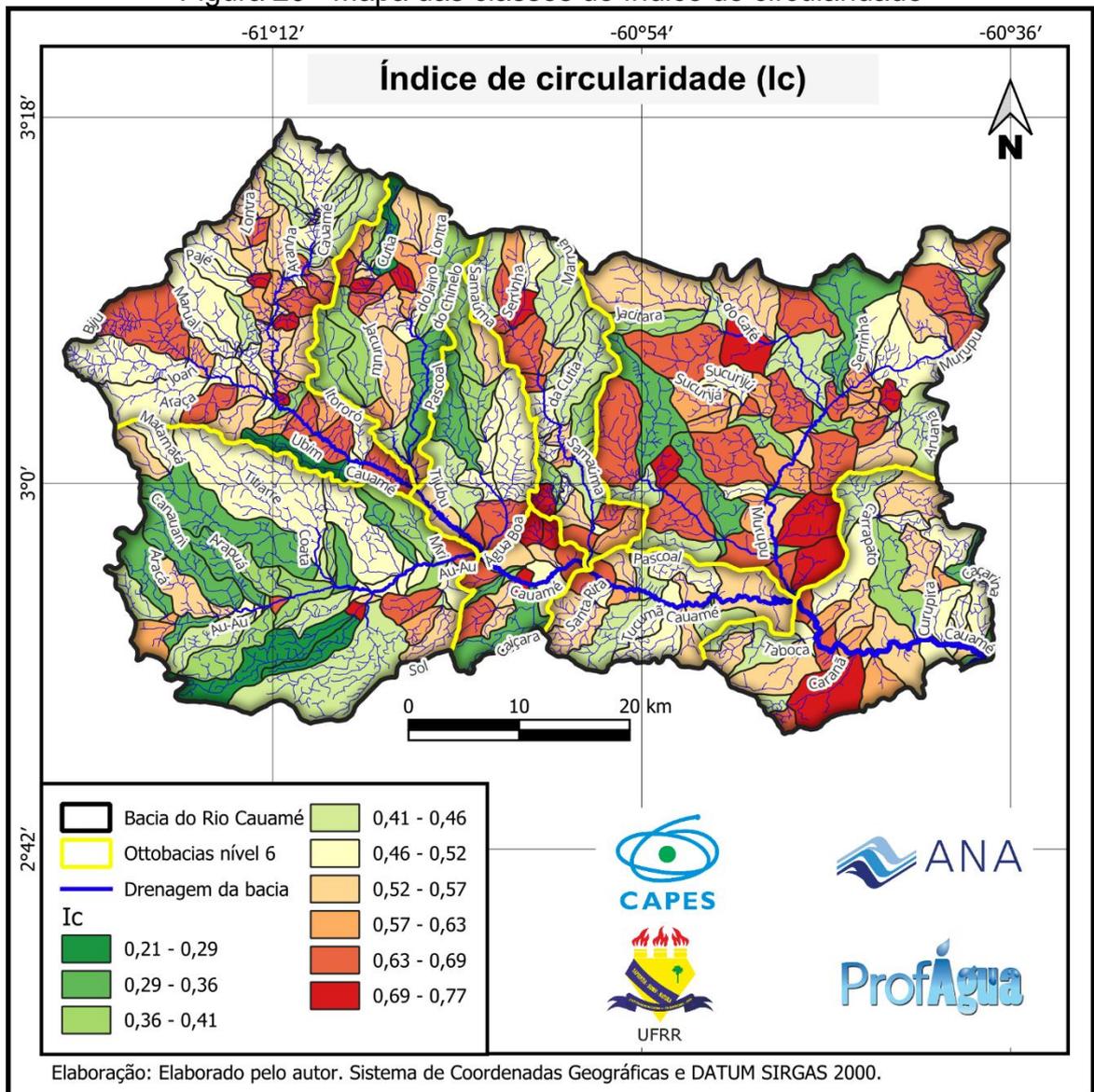
O Índice de Circularidade assemelhasse ao coeficiente de compacidade, ao determinar quanto a forma da bacia se aproxima ao círculo, porém é calculado relacionando-se o perímetro e a área da bacia.

Para o índice de circularidade interpreta-se que valores próximos a 01 indicam semelhança ao círculo e valores menores bacias mais alongadas.

Foram encontrados valores no intervalo de 0,21 até 0,77 tendo como média 0,52 e mediana também 0,52. Conforme pode ser observado na Figura 20.

É comum classificar valores menores que 0,51 como bacias mais alongadas e valores maiores como tendendo a circular, e mais favoráveis a processos de inundação (picos de cheias).

Figura 20 - Mapa das classes do índice de circularidade



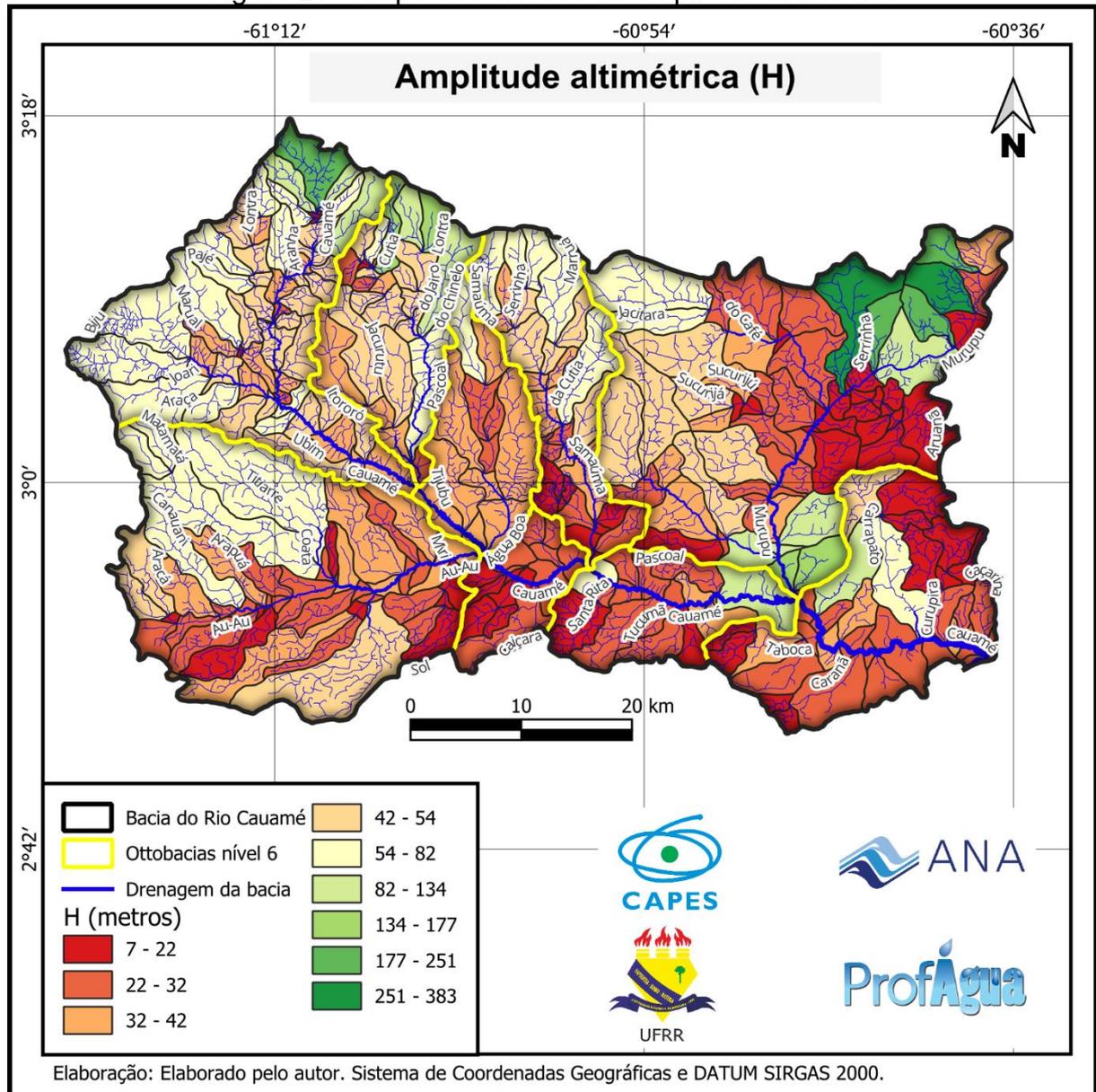
3.4.3 Amplitude altimétrica (H)

Caracteriza-se pela diferença entre a maior e menor cota da sub-bacia. Mostra a dispersão das altitudes e a variação do relevo. Indica o desnível médio da bacia.

Os resultados apresentaram valor mínimo de 7 metros e máximo de 383 metros, predominando amplitudes entre 7 e 82 metros. O valor médio foi 44 metros e a mediana 33 metros (Figura 21).

Bacias com maiores amplitudes tendem a apresentar maior intensidade de escoamento. Grandes amplitudes podem interferir inclusive no regime de precipitações e a depender do estudo realizado pode ser necessário considerar as diferenças na evapotranspiração, decorrentes dessas altitudes.

Figura 21 - Mapa das classes da amplitude altimétrica

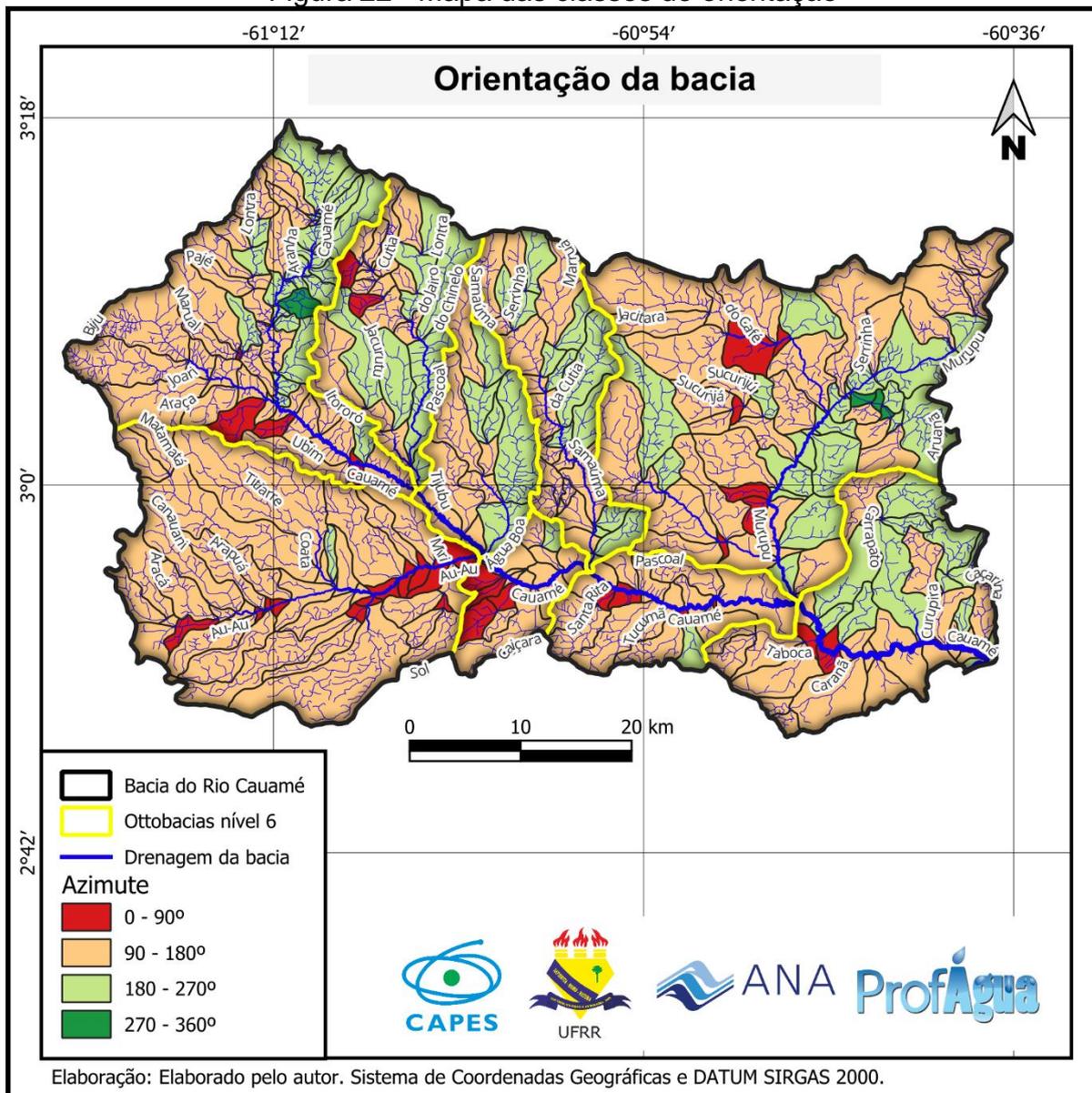


3.4.4 Orientação da bacia

É resultado da média das direções dos trechos de drenagem, indicando o azimute predominante para onde ocorre o fluxo hídrico. Semelhante à análise de relevo quanto a orientação das vertentes, porém a análise de relevo pode não ficar evidente, principalmente em áreas de relevo plano.

Predominam as direções entre 90° e 180° , coincidindo com o vetor de direção sudeste formado entre as nascentes principais e o exutório da bacia. O valor médio encontrado foi 153° e a mediana 149° (Figura 22).

Figura 22 - Mapa das classes de orientação

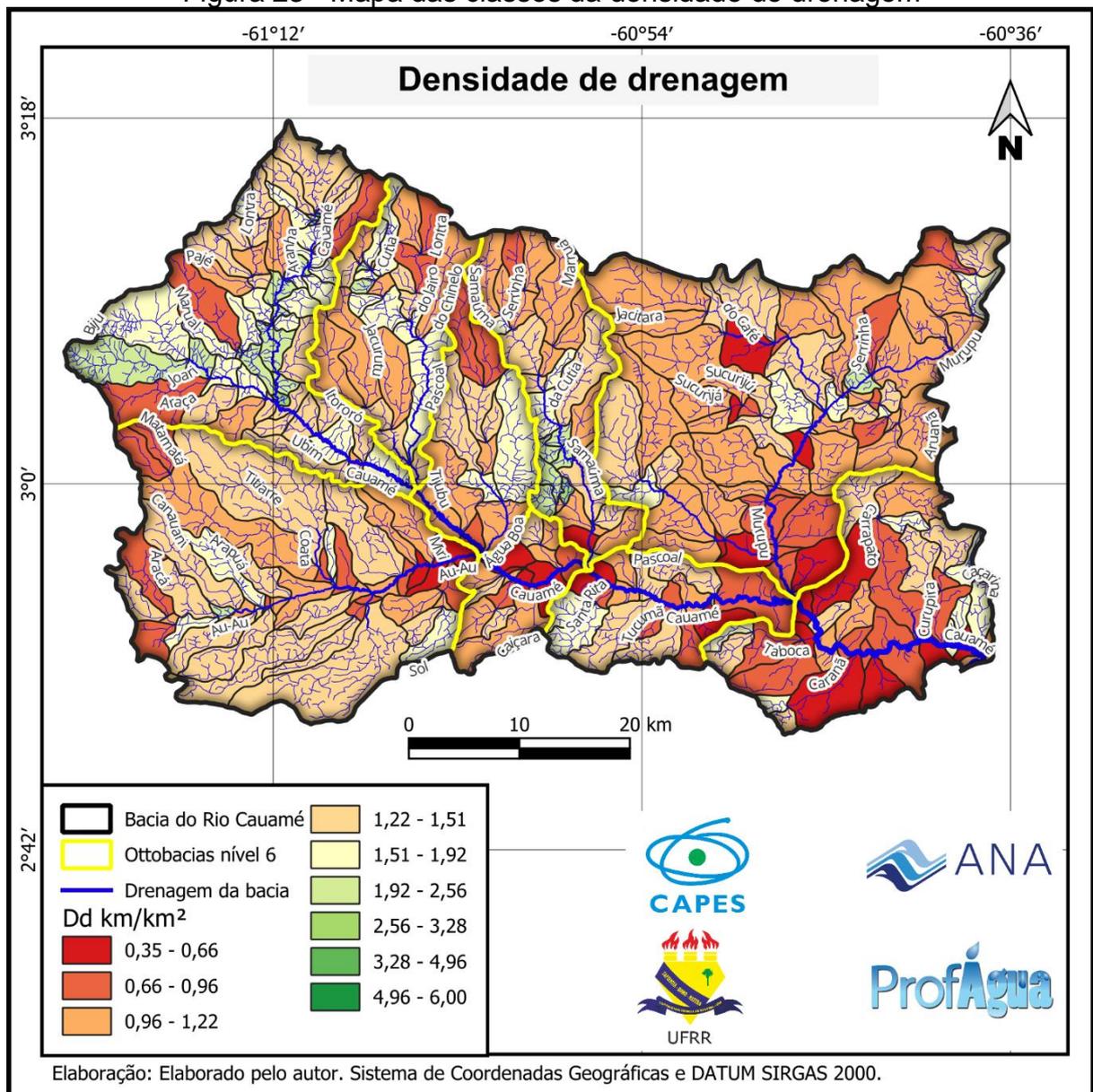


3.4.5 Densidade de drenagem (Dd)

É indicativo das características geológicas e do relevo da bacia. Possibilita dimensionar a eficiência da concentração do escoamento superficial. Quanto maior a densidade maior a capacidade de escoar rapidamente no exutório.

É fundamental para avaliação de semelhanças de escoamento entre bacias de diferentes áreas. Expressa em km/km^2 , geralmente admite-se que valores baixos em torno de 0,50 classifica a bacia como fracamente drenada e valores maiores que 3,50 ocorrem em bacias excepcionalmente bem drenadas. Foram encontrados valores entre 0,35 e 6,0, apresentando média 1,3 e mediana 1,22 (Figura 23).

Figura 23 - Mapa das classes da densidade de drenagem

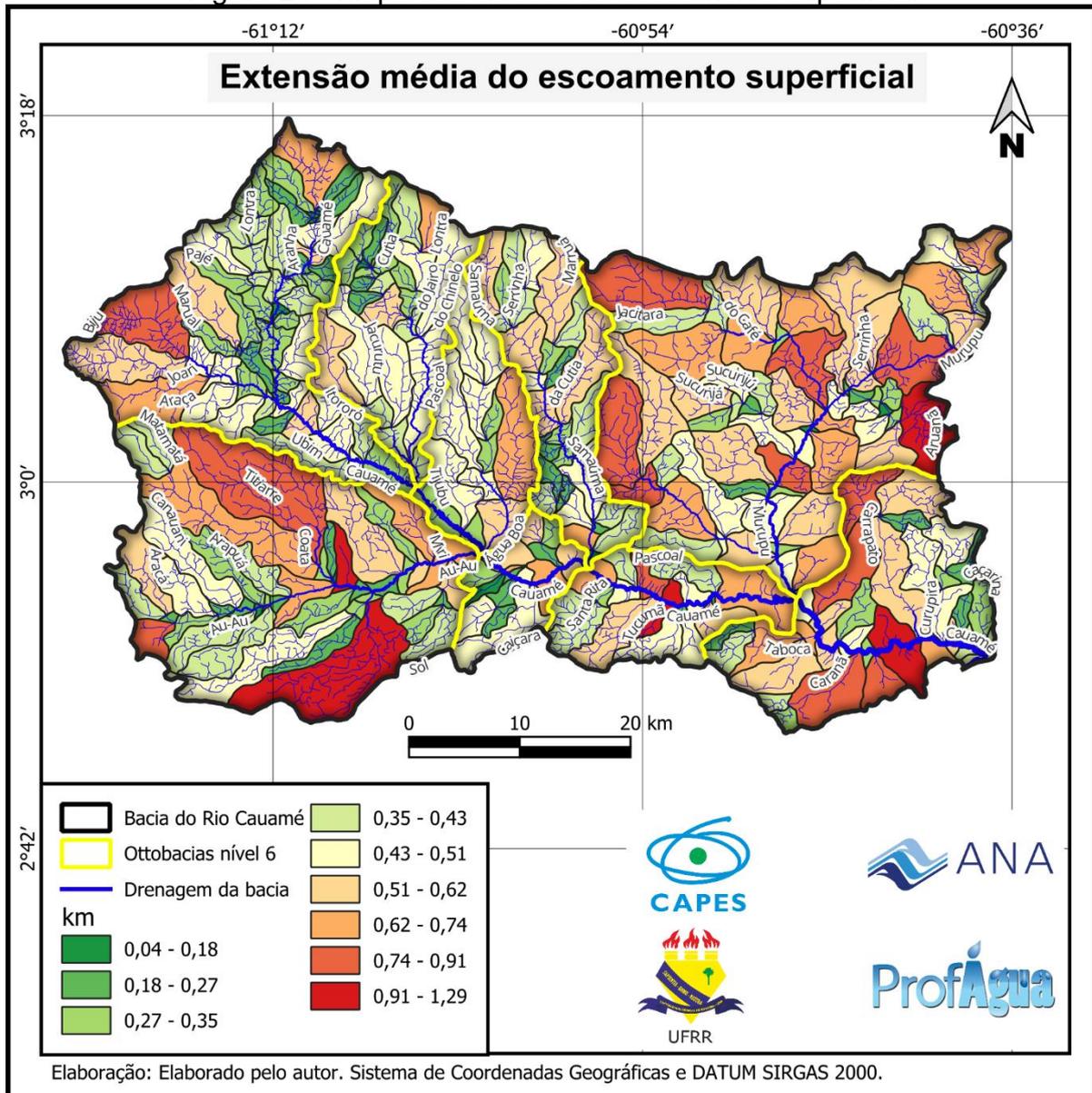


Os resultados indicam que a bacia do Rio Cauamé tem drenagem satisfatória em sua maior parte. Algumas partes, como por exemplo na região do Igarapé Caraná e próximo a foz do Murupu encontramos valores menores, indicando áreas fracamente drenadas. Ao contrário, na porção noroeste da bacia, encontramos algumas áreas excepcionalmente bem drenadas.

3.4.6 Extensão média do escoamento superficial

Podendo também ser chamado de extensão do percurso superficial. É a distância média percorrida pelas águas do interflúvio até o canal permanente. Valores menores indicam que as águas precipitadas na bacia logo estarão no leito de algum curso d'água, caracterizando drenagem superficial mais eficiente. Os valores encontrados variam de 0,04 km até 1,29 km, com média 0,44 km e mediana 0,41 km (Figura 24).

Figura 24 - Mapa das classes do escoamento superficial



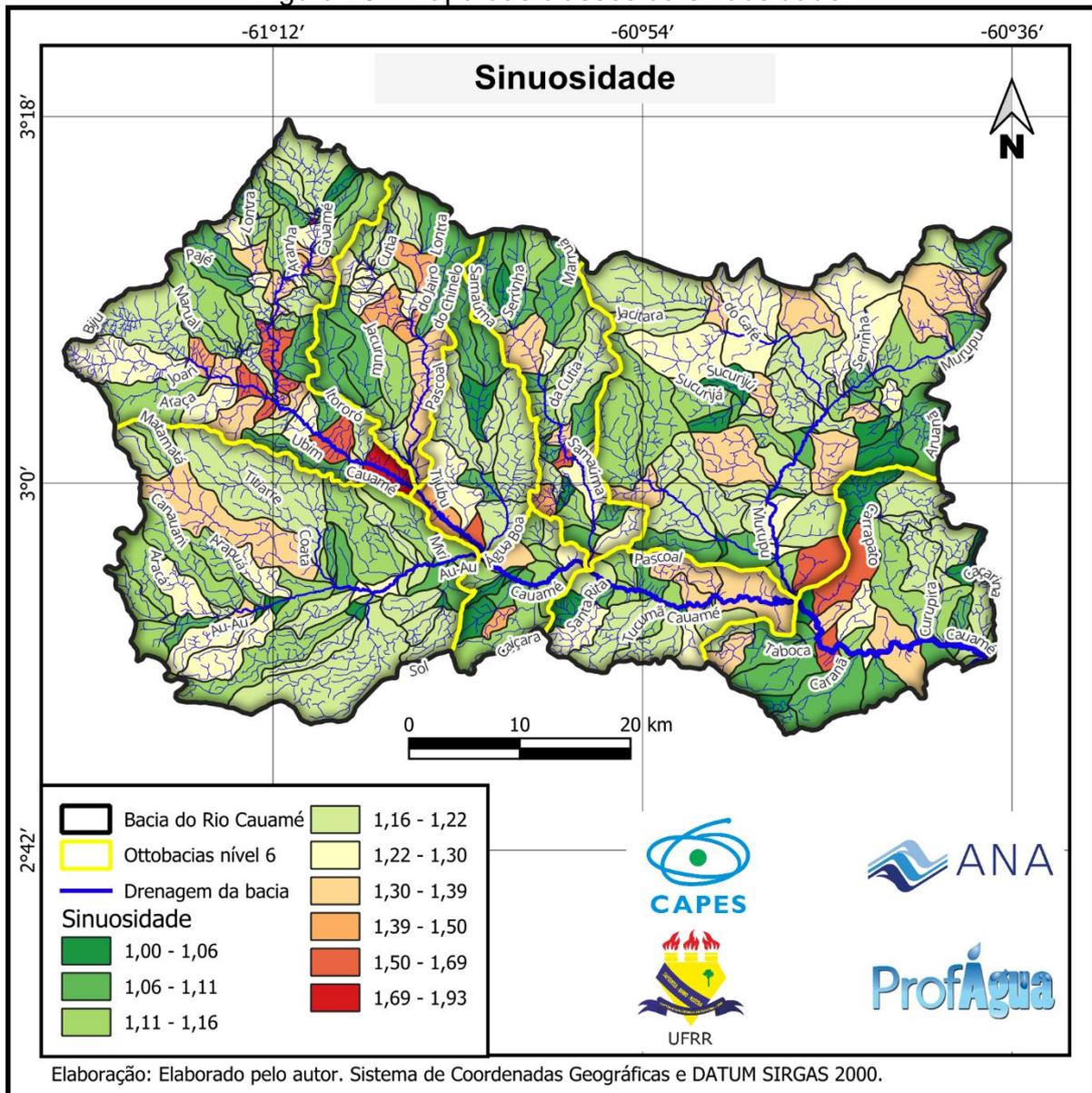
Os valores encontrados indicam que em média as sub-bacias analisadas tem curta extensão de escoamento superficial, indicando drenagem rápida e com efeitos das precipitações logo percebidos nos canais principais. Contudo devemos observar que boa parte das sub-bacias que apresentam valores maiores, embora menos numerosas, são caracterizadas por apresentarem maior área superficial. Essas extensões de escoamento superficial maiores têm papel fundamental para a recarga dos aquíferos.

3.4.7 Sinuosidade do curso d'água (sin)

O índice resultante expressa a tortuosidade do curso d'água, valores mais próximos a unidade indicam trechos mais retilíneos enquanto valores maiores indicam cursos mais meandrantés. Essas características influenciam na velocidade de escoamento do canal principal. É comum classificar drenagens com valores superiores a 2 como tortuosas.

O valor médio encontrado foi 1,20 e mediana 1,17. Revelando a prevalência de canais pouco tortuosos (Figura 25).

Figura 25 - Mapa das classes da sinuosidade.

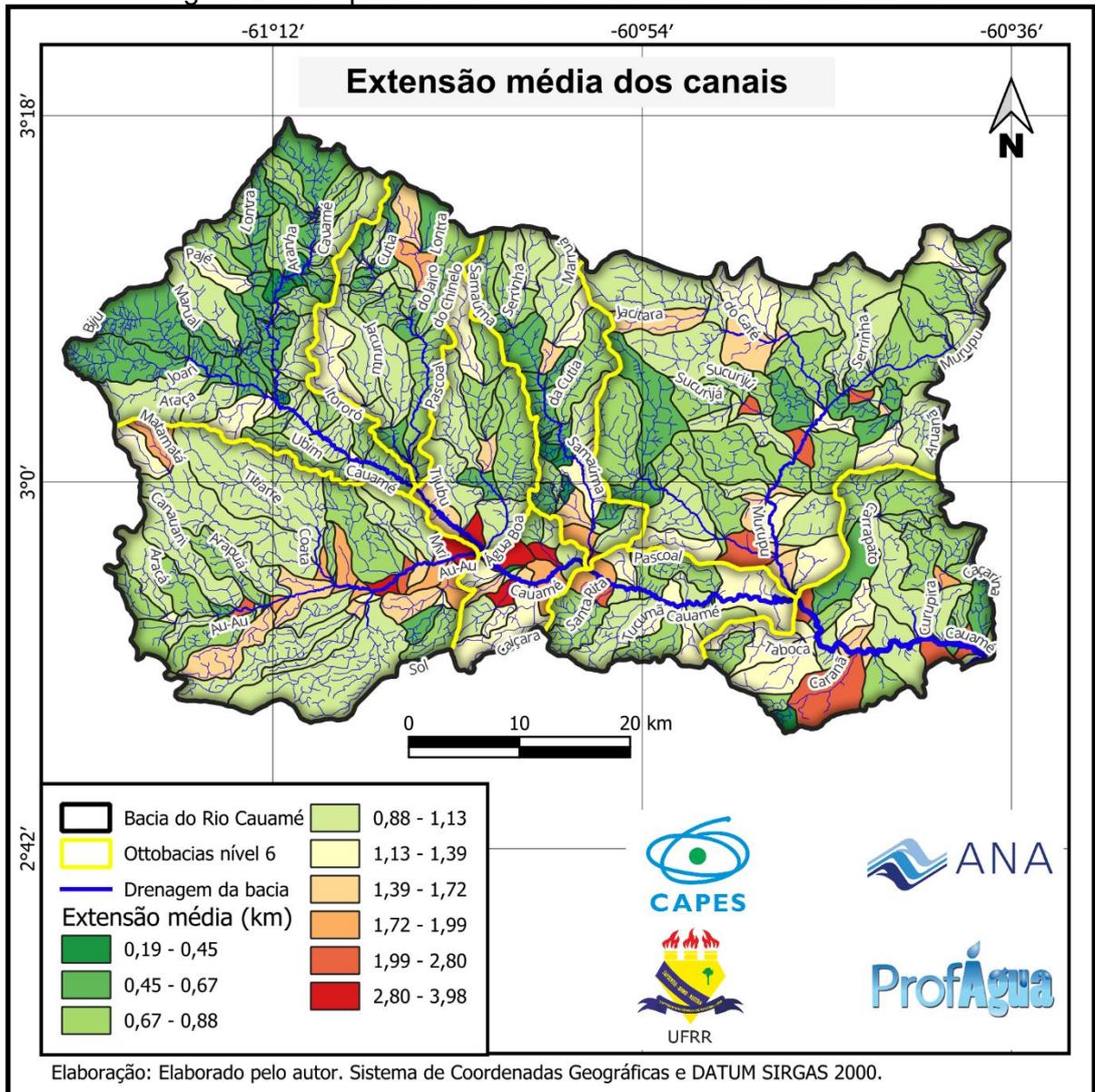


3.4.8 Extensão média dos canais

Calculado efetuando a média aritmética dos comprimentos dos trechos de drenagem na sub-bacia, embora possa carregar um viés para bacias pequenas e com poucos canais, nos dá uma boa visão do grau de ramificação da drenagem.

O valor médio encontrado foi de 1,0 km e mediana 0,9 km. Predominam extensões médias entre 0,87 km e 1,49 km (Figura 26).

Figura 26 - Mapa das classes da extensão média dos canais

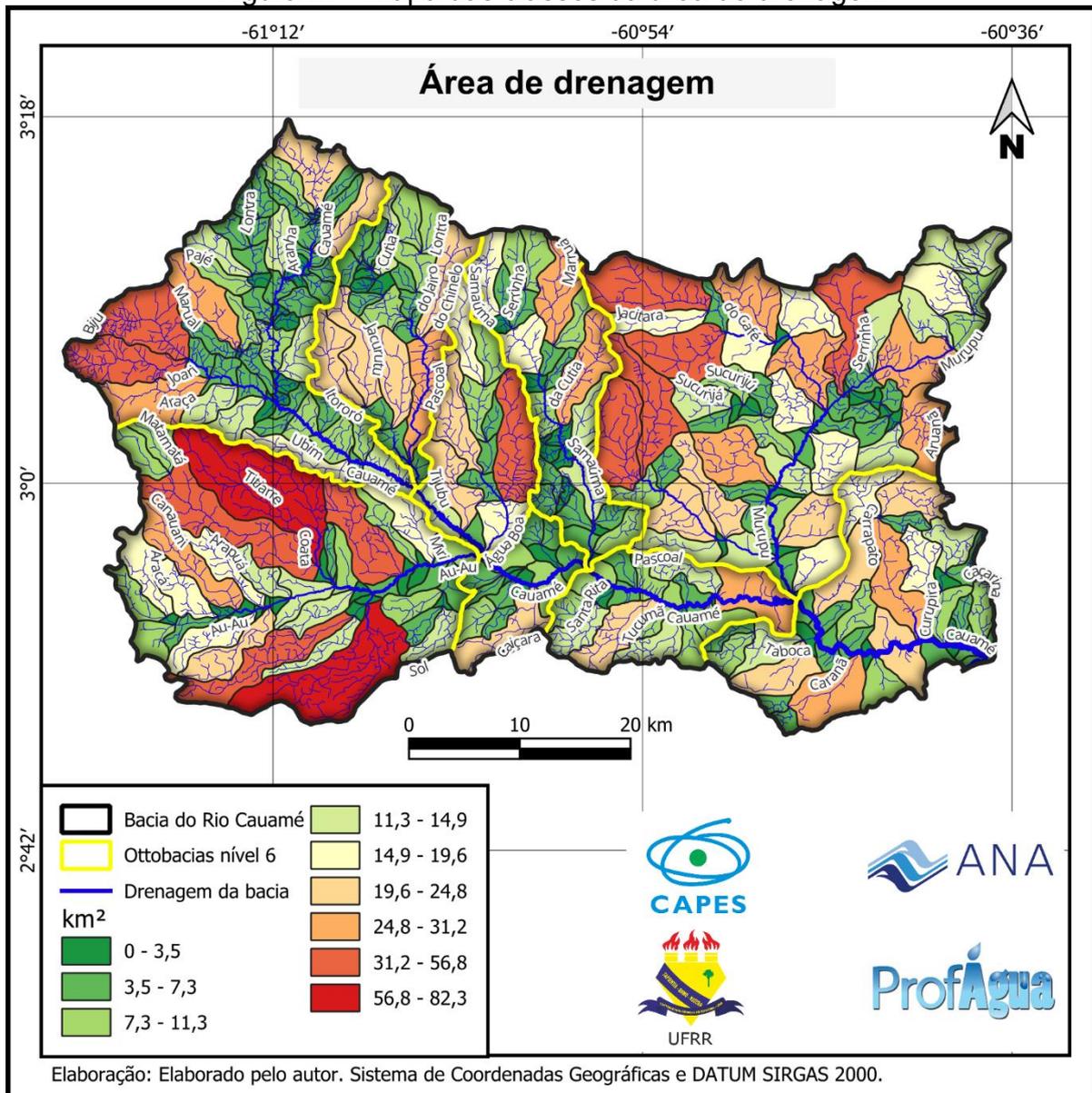


3.4.9 Área de drenagem

É o parâmetro mais básico e fundamental para as análises morfométricas. Serve como base para o cálculo de vários outros parâmetros e define o potencial hídrico da bacia. A metodologia de ottocodificação resulta em uma grande variação dos valores de área das bacias e interbacias em um mesmo nível. No entanto, continua sendo um parâmetro essencial para a ponderação de qualquer estudo ou ação relacionada às bacias.

O valor médio encontrado foi de 10,5 km² e mediana de 6,7 km² (Figura 27).

Figura 27 - Mapa das classes da área de drenagem

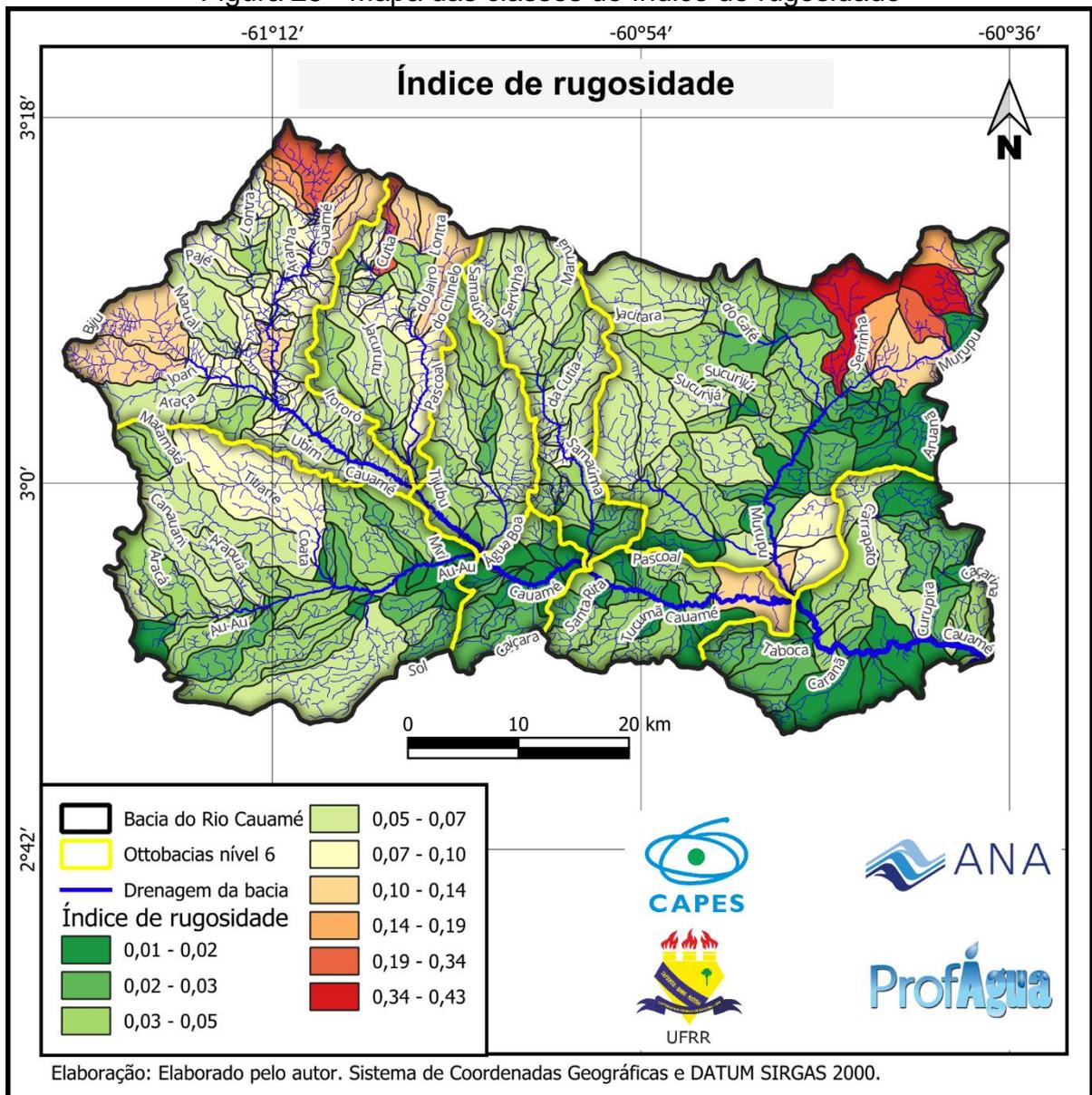


3.4.10 Índice de rugosidade

Esse indicador relaciona as declividades com os comprimentos dos canais. Relevo mais dissecado e canais mais entalhados estão relacionados a valores maiores do índice, indicando também a presença de vertentes mais íngremes e longas. Associa-se também a um maior risco de degradação da bacia.

Os valores encontrados variam entre 0,007 e 0,426, obtendo a média 0,053 e mediana 0,043 (Figura 28).

Figura 28 - Mapa das classes do índice de rugosidade

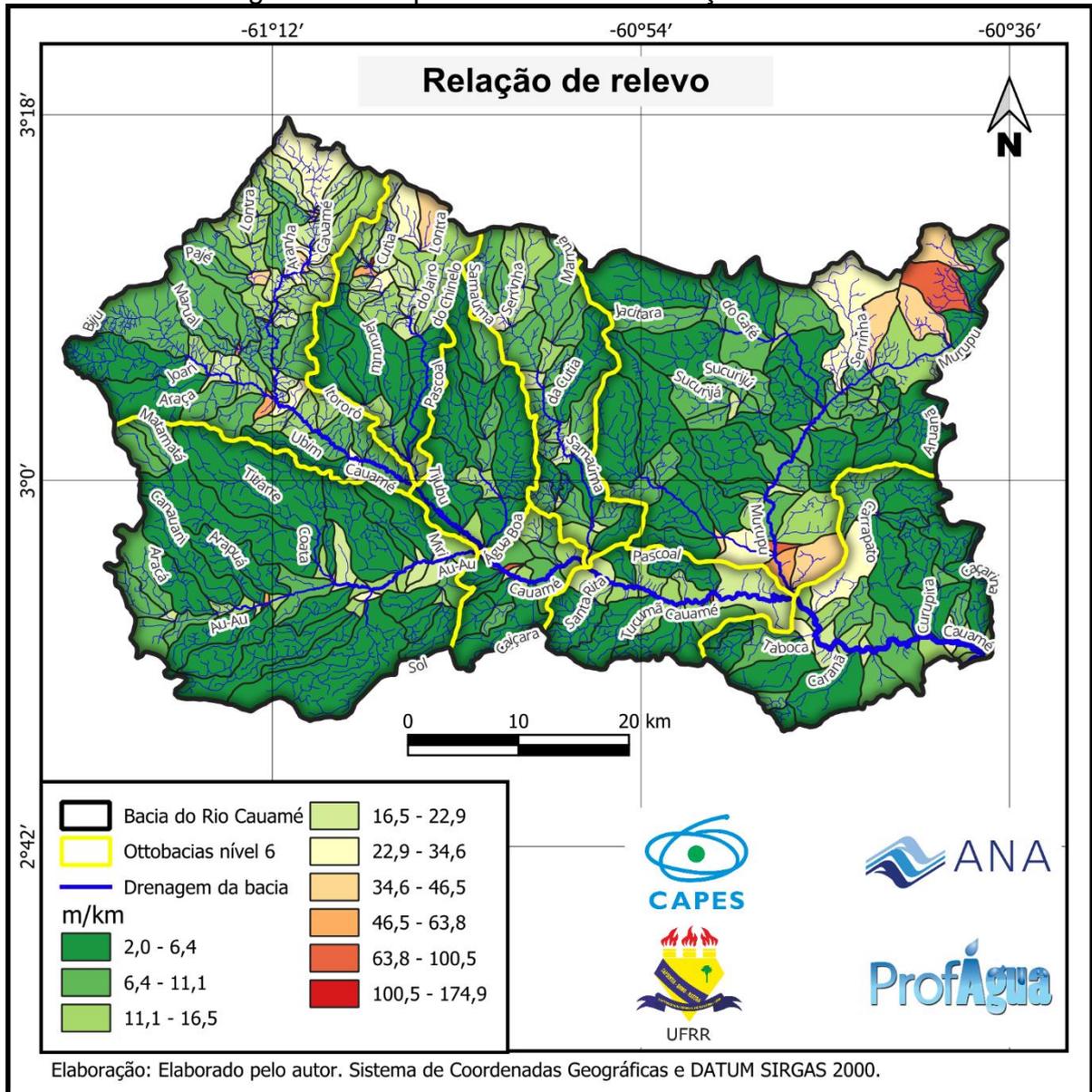


3.4.11 Relação de relevo

Relaciona a amplitude altimétrica da bacia com comprimento do seu canal principal. Valores maiores indicam um maior desnível entre a cabeceira e o exutório, conseqüentemente uma maior declividade média. É expressa em metros por quilômetro.

Os valores encontrados estão entre 2 e 175 m/km, contudo há uma ampla predominância de valores entre 2 e 12 m/km. O valor médio é de 15 m/km e a mediana 10 m/km (Figura 29).

Figura 29 - Mapa das classes da relação de relevo

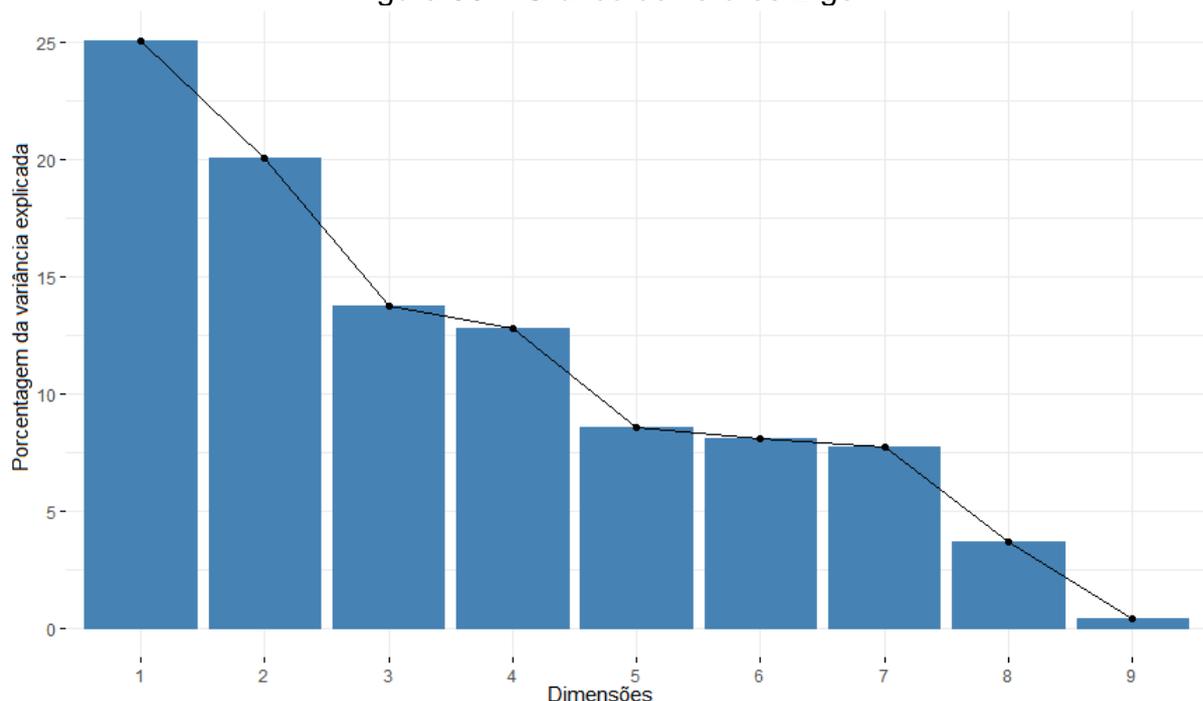


3.5 COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS

A Análise das Componentes Principais (ACP) possibilitou um melhor entendimento da variância nos dados. Ao analisar o conjunto de parâmetros morfométricos (variáveis), nos deparamos com a problemática da compreensão de suas múltiplas dimensões, o que não seria simples de entender em um plano cartesiano, por exemplo. A abordagem da análise multivariada nos possibilitou analisar conjuntamente as variáveis em um número menor de dimensões. Podemos então plotar em um único plano as variáveis: densidade de drenagem, Índice de rugosidade, amplitude altimétrica, orientação da bacia, relação de relevo, sinuosidade, índice de circularidade, extensão média dos canais e extensão média do escoamento superficial.

Nessa análise não foram utilizados dois dos parâmetros morfométricos estudados, o coeficiente de compacidade (KC), por ser matematicamente idêntico ao índice de circularidade (ic), apenas resultando em valores em outra escala e a área de drenagem também não foi utilizada como variável, por possuir valores muito dispersos e por ser um parâmetro utilizado para calcular diversos outros parâmetros, o que poderia enviesar a análise estatística.

Figura 30 – Gráfico de valores Eigen.

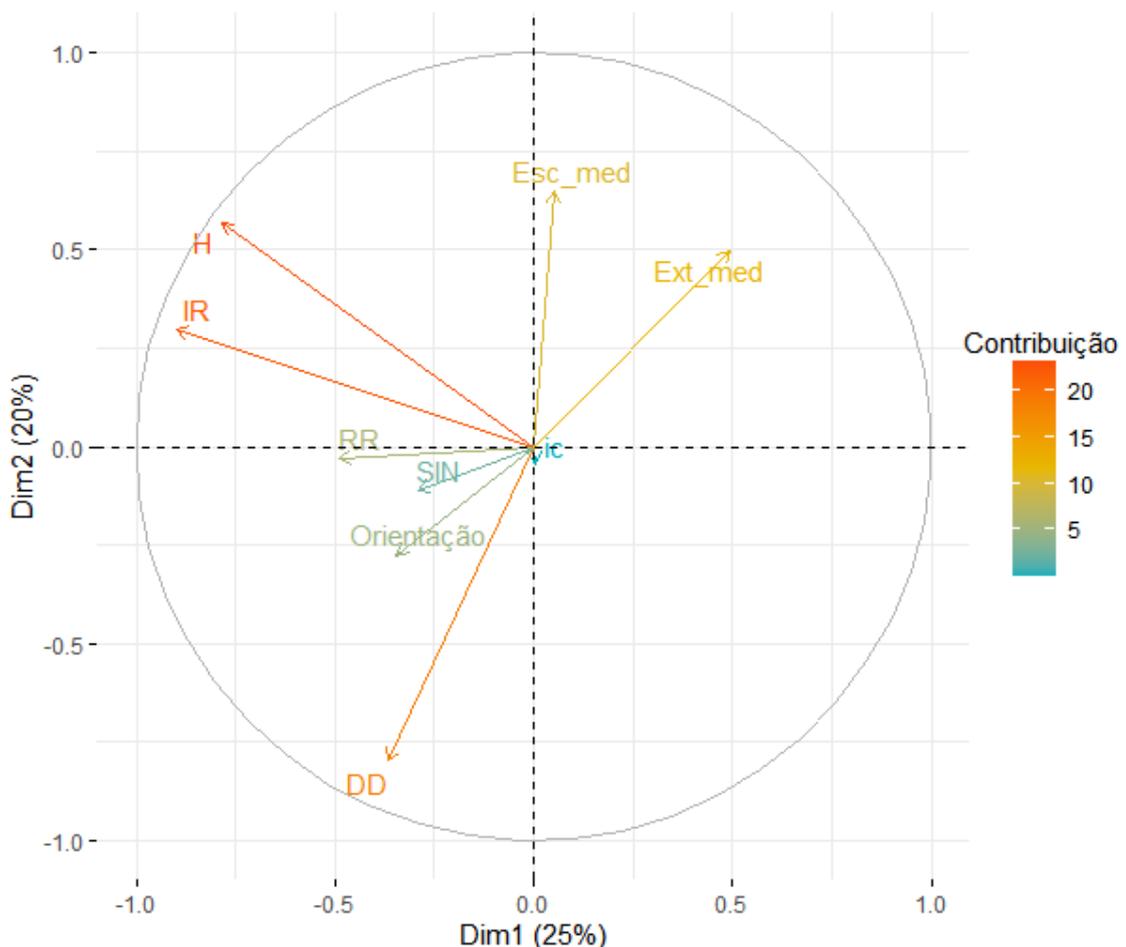


Elaboração: Elaborado pelo autor.

A inércia das primeiras dimensões mostra se há fortes relações entre as variáveis e sugere o número de dimensões que devem ser estudadas (Figura 30). As primeiras duas dimensões de análise expressam 45,08% da inércia total do conjunto de dados; isso significa que 45,08% da variabilidade total da nuvem dos indivíduos (ou variáveis) é explicada pelo plano. Sendo que 71,57% da variância pode ser explicada com as primeiras 4 dimensões. Como se observa na Figura 30.

Analisando o gráfico de sedimentação (Figura 31) podemos notar que as variáveis se correlacionam em 3 principais grupos, extensão média dos canais (Est_med) e extensão média do escoamento superficial (Esc_med) não são pouco divergentes e contribuem para boa parte da expressão da variância; o índice de rugosidade (IR) e a amplitude altimétrica (H) tem boa correlação e forte contribuição no plano; divergindo de Esc_med e Ext_med fica a densidade de drenagem, com forte contribuição.

Figura 31 – Gráfico de sedimentação.



Elaboração: Elaborado pelo autor. DD - densidade de drenagem, IR - Índice de rugosidade, H - amplitude altimétrica, Orientação - orientação da bacia, RR - relação de relevo, SIN - sinuosidade, ic - índice de circularidade, Ext_med - extensão média dos canais e Esc_med - extensão média do escoamento superficial.

As demais variáveis são menos expressivas, sendo possível verificar que as citadas servem bem para indicar a variabilidade morfométrica na bacia estudada. Em termos práticos verifica-se a viabilidade da utilização de um conjunto menor de parâmetros para fins de planejamentos, desenho de experimentos, planos de amostragem, entre outras possibilidades.

Analisando o gráfico de sedimentação (Figura 31) entendemos que a densidade de drenagem tem correlação negativa com a extensão média dos canais e com a extensão média do escoamento superficial, indicando que bacias com maior densidade de drenagem possuem trechos de drenagem mais curtos e menor extensão média do escoamento superficial, sendo que a correlação é mais forte entre DD e Ext_med. Outra correlação relevante é a encontrada entre o índice de rugosidade e a amplitude altimétrica. Nesse caso uma correlação positiva, indicando que bacias com maior amplitude altimétrica apresentam maior índice de rugosidade. O índice de circularidade possui correlação negativa com essas duas variáveis, indicando que quando maior o IR e H menor o IC. Entretanto o índice de circularidade não mostrou ter grande contribuição para explicar a variância do conjunto de dados.

3.6 SIMILARIDADE E COMPARTIMENTAÇÃO MORFOMÉTRICA

A análise de agrupamento hierárquico organizada a partir da matriz de distâncias (similaridade) permitiu inferir um agrupamento adequado (clusters) com 3 grupos de sub-bacias (Figuras 32 e 33).

Na Figura 33 podemos verificar para cada sub-bacia qual a similaridade com as demais. Sub-bacias em ramos mais próximos são mais similares que as que estão em ramos mais distantes. Entre os grupos 01 e 02 há mais similaridades que entre esses e o grupo 03, pois se dividem em uma ramificação inferior à que os separa do grupo 03.

Conhecer a similaridade entre as sub-bacias proporciona, além da possibilidade de agrupamento, outras análises e percepções difíceis de se realizarem analisando o extenso conjunto dos dados.

Podemos resumir as principais características que agrupam a morfometria das sub-bacias calculando os valores médios dos parâmetros mais relevantes, conforme podemos ver no Quadro 03.

Quadro 03 – Valor médio, por grupo, dos principais parâmetros.

GRUPO	Amplitude altimétrica	Dens. de drenagem	Ext. média do escoamento superficial	Ext. média dos canais	Índice de Rugosidade
01	29,07	0,85	0,45	1,76	0,024
02	35,43	1,46	0,43	0,84	0,050
03	171,91	1,00	0,53	1,02	0,172

Elaboração: Elaborado pelo autor. Vermelho maiores médias. Azul menores médias.

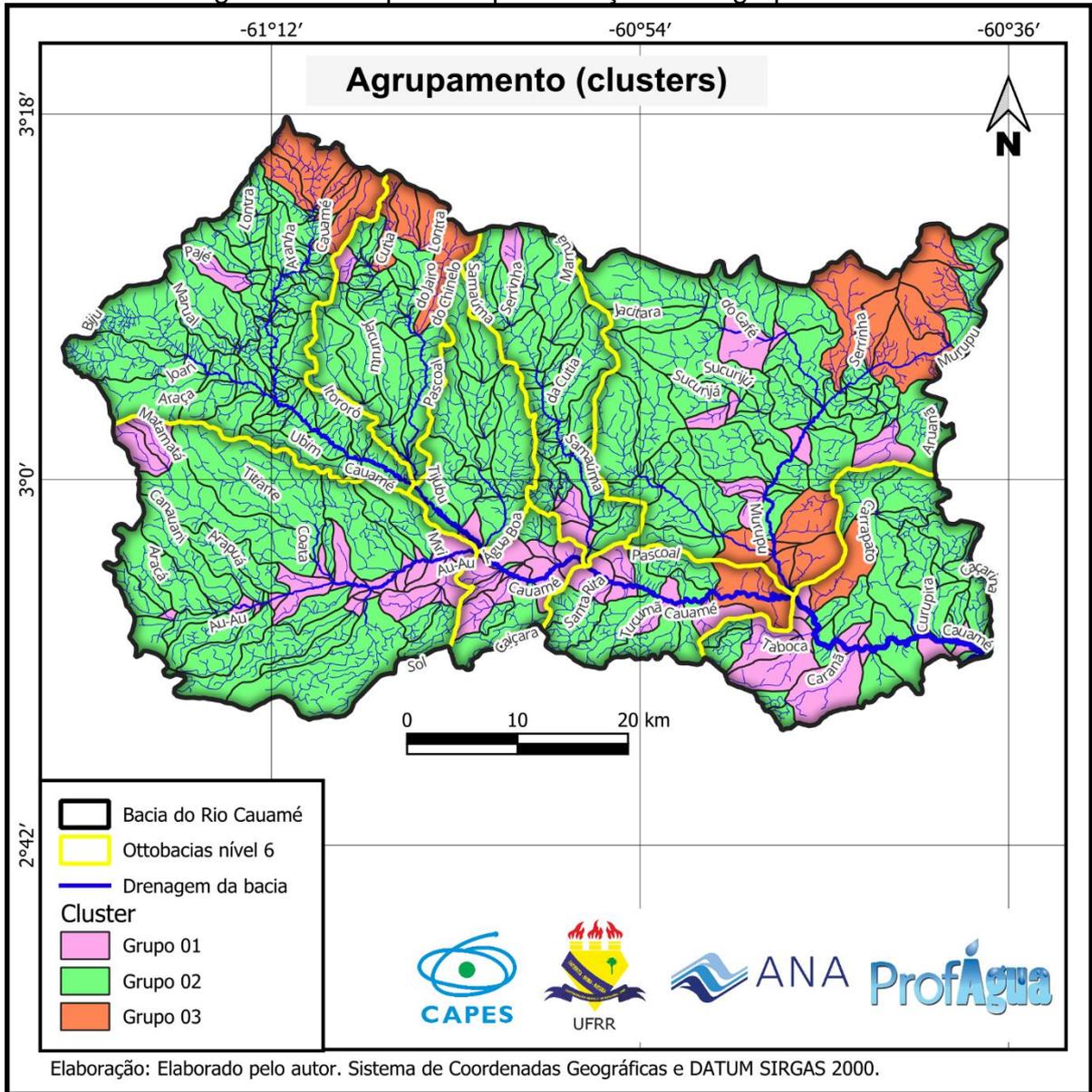
Tomando como base o agrupamento definimos a compartimentação morfométrica pelo mesmo critério. Embora fosse desejável que os compartimentos se dessem somente em áreas contínuas, tratando-se de morfometria observamos grande similaridade em bacias que estão separadas geograficamente, admitimos então que os grupos de sub-bacias sejam entendidos como compartimentos morfométricos da bacia do Rio Cauamé.

Podemos resumir as principais características dos grupos e descrever dessa forma os compartimentos:

- **Bacias com maior extensão média dos canais** – equivalente ao grupo 01, formado por 61 sub-bacias. Além de ter maior extensão média dos canais, destaca-se por possuir menor densidade de drenagem, menor amplitude altimétrica e menor índice de rugosidade.
- **Bacias com maior densidade de drenagem** – equivalente ao grupo 02, formado por 214 sub-bacias. Além de possuir maior densidade de drenagem, destaca-se por ter menor extensão média do escoamento superficial e menor extensão média dos canais.
- **Bacias com maior amplitude altimétrica** – equivalente ao grupo 03, formado por 22 sub-bacias. Além da maior amplitude altimétrica, destaca-se por possuir a maior extensão média do escoamento superficial e maior índice de rugosidade.

•
A espacialização dos compartimentos pode ser analisada na Figura 31 que mostra o mapa de representação dos agrupamentos.

Figura 32 – Mapa de representação dos agrupamentos.



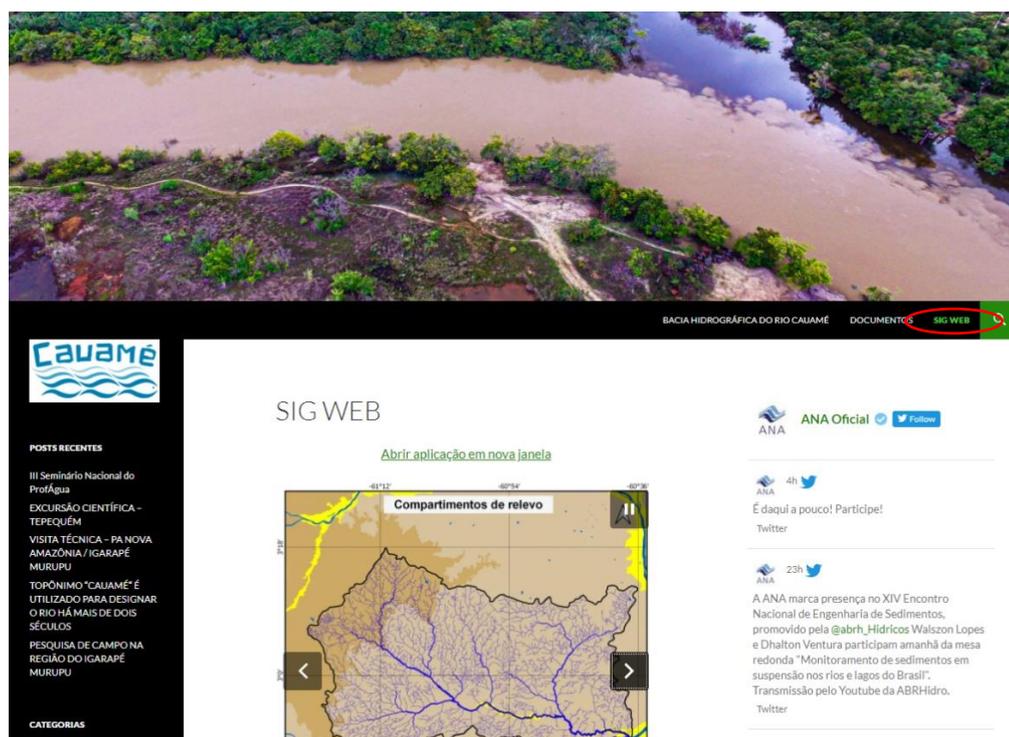
3.7 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

Um banco de dados geográfico, em síntese é um conjunto de dados, dotados de componente espacial, organizados e com pouca redundância do qual através de diversos sistemas é possível acessar e realizar visualizações ou processamentos. Todas os dados gerados durante o trabalho são atrelados a sua respectiva feição geográfica, foram checados topologicamente e consistidos. Formando dois principais conjuntos: uma camada de feições lineares armazenando os trechos de drenagem e seus atributos e uma camada de polígonos que armazena as sub-bacias e seus atributos.

A otocodificação das feições contidas nas camadas permite facilmente realizar filtros para se extrair o nível desejado, do quinto ao oitavo nível.

As formas de acesso aos dados se dá através de download disponível na página SIG WEB do site www.riocauame.com.br; (Figura 34) através da funcionalidade de download do próprio SIG WEB ou através do acesso online por webservice nos padrões *Open Geospatial Consortium* – OGC, disponibilizado pelo SIG WEB, desta forma podendo ser aproveitado como camada por outros projetos baseados em WEB e acessados por softwares SIG, como ArcMap ou QGIS.

Figura 34 – Tela do site www.riocauame.com.br, destacando link de acesso ao SIG WEB.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

3.8 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS WEB

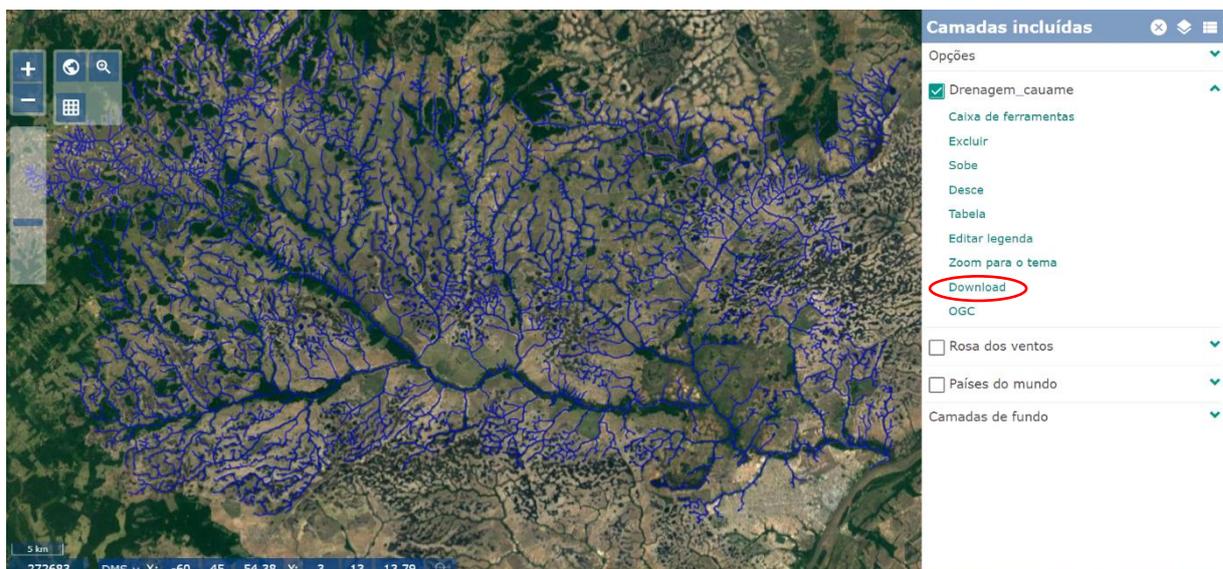
O servidor VPS foi configurado com o sistema operacional Ubuntu 14, instalados os requisitos básicos para funcionar como servidor web, como Apache e PHP. Em seguida foi implementada a versão 7 do SIG WEB I3Geo. O I3Geo foi configurado e personalizado, ficando apto a armazenar camadas, disponibilizar visualização e geoprocessamento online.

Estão disponíveis atualmente as camadas que compõe o banco de dados elaborado durante essa pesquisa e o sistema está preparado para receber outros bancos de dados.

O acesso pode ser realizado atualmente através do link disponível na página SIG WEB do site www.riocauame.com.br (Figura 35).

Foi realizado um backup de todos os arquivos do I3Geo, podendo ser facilmente implementado em outro servidor. Como pretende-se transferir todo o sistema para hospedagem da UFRR para que seja dada continuidade nas atualizações e mantido pelo Instituto de Geociências.

Figura 35 – Tela da aplicação SIG WEB, destacando a funcionalidade de download das camadas.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

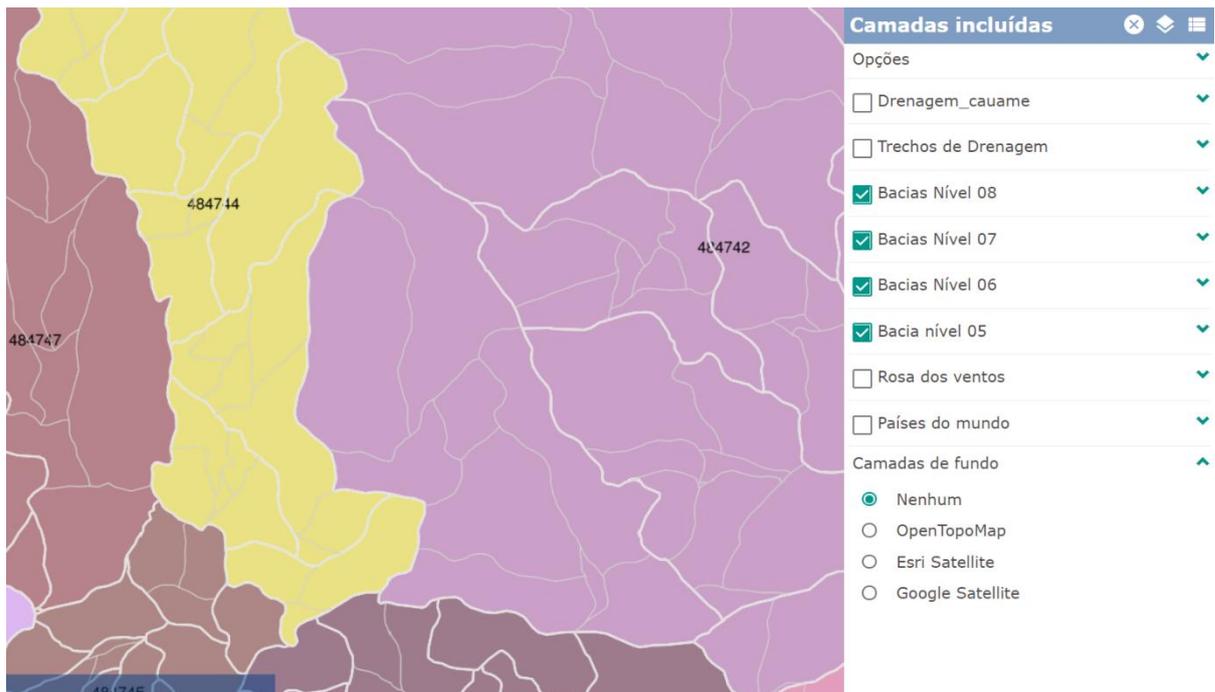
Apresenta-se a seguir algumas telas mostrando funções do SIG WEB. A plataforma conta com um bom número de ferramentas de geoprocessamento, de visualização de dados, de análises, além do sistema administrativo para se configurar

a interface. Por ser um sistema aberto há grande possibilidade de que numa implementação para atender demanda específica, é possível o desenvolvimento de ferramentas e rotinas específicas para prover as soluções.

Uma das funções fundamentais de um SIG é a capacidade de organizar os diversos temas e informações. No I3Geo o painel Camadas incluídas (Figura 36), traz as funcionalidades que cumprem essa tarefa. Nesse painel é possível ativar ou desativar as camadas de interesse, ordenar sua exibição, realizar download da camada, personalizar a simbologia cartográfica, entre outras funções.

O painel Camadas incluídas (Figura 36), assim como os demais painéis, é exibido ao clicar no ícone correspondente, e ao fechar o painel, é liberada maior área para exibição dos dados.

Figura 36 – Tela da aplicação SIG *WEB*, mostrando o painel Camadas incluídas.



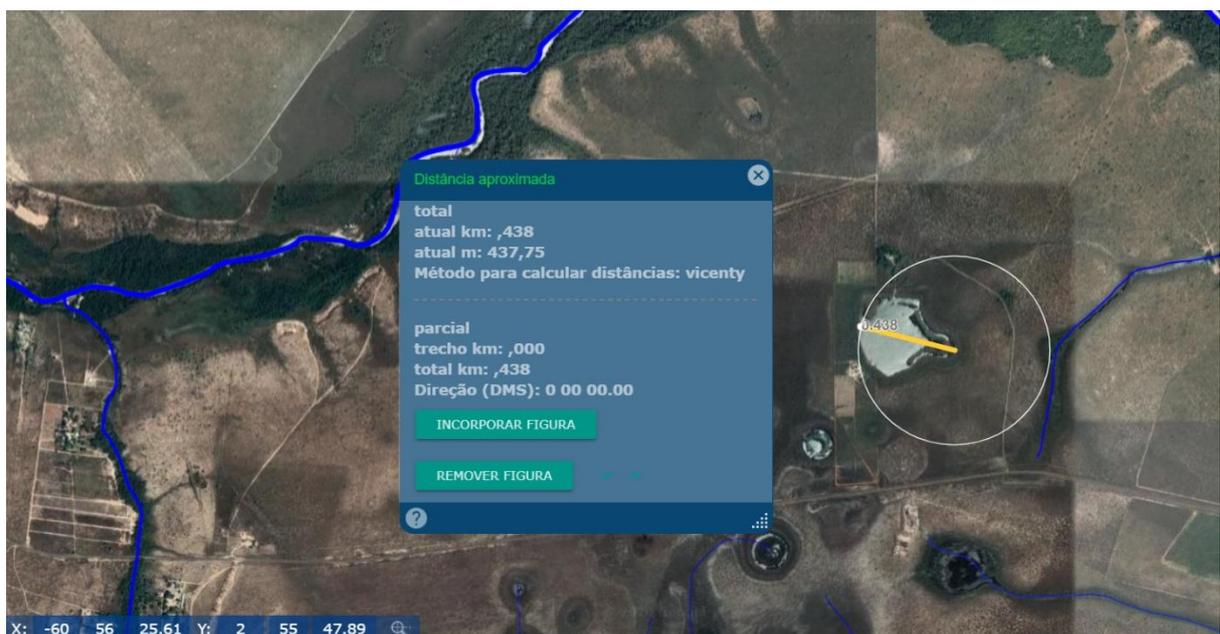
Elaboração: Elaborado pelo autor.

Outro painel importante no SIG *WEB* é o Caixa de ferramentas, que traz diversas funções de análise, cálculo, processamento, etc. Ao abrir o painel as ferramentas mais destacadas são as de medida de distância, de área e a de seleção de feições. Um conjunto de menus e sub menus levam às demais ferramentas e funções, que também podem ser localizadas através de busca textual.

Na parte inferior esquerda da aplicação encontramos uma barra que mostra uma escala gráfica a escala numérica atual e as coordenadas apontadas pelo cursor (Figura 40). As coordenadas podem ser visualizadas em vários formatos, bastando fazer a opção no menu junto à escala. Na mesma posição em que se mostra a escala numérica é possível digitar e definir uma escala para visualização, assim também funciona com as coordenadas, pode-se digitar a coordenada e comandar o enquadramento e a marcação do ponto.

Medir uma distância sobre mapa, tanto em papel como em mapas digitais, é uma das principais funções e atende aos mais variados fins, como navegação, planejamento, orçamentos, definição de limites, etc. Essa função se encontra bastante acessível no SIG WEB, ficando em destaque ao acessar o painel Caixa de ferramentas ou pelo caminho: Caixa de ferramentas → Análise → Medir/Calcular → Distância. O uso dessa ferramenta é bastante intuitivo, bastando clicar em dois pontos para medir um seguimento, ou uma sequência de pontos para medir um caminho. Essa ferramenta além da distância, mostra como resultado também a direção do segmento. Para facilitar a visualização ao traçar um seguimento é traçado automaticamente um círculo inscrito nesse raio. Na Figura 37 podemos ver como exemplo a medição de um eixo referente a um lago que fica na bacia do Rio Cauamé, resultando numa distância de aproximadamente 438 metros.

Figura 37 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta Medir distância.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

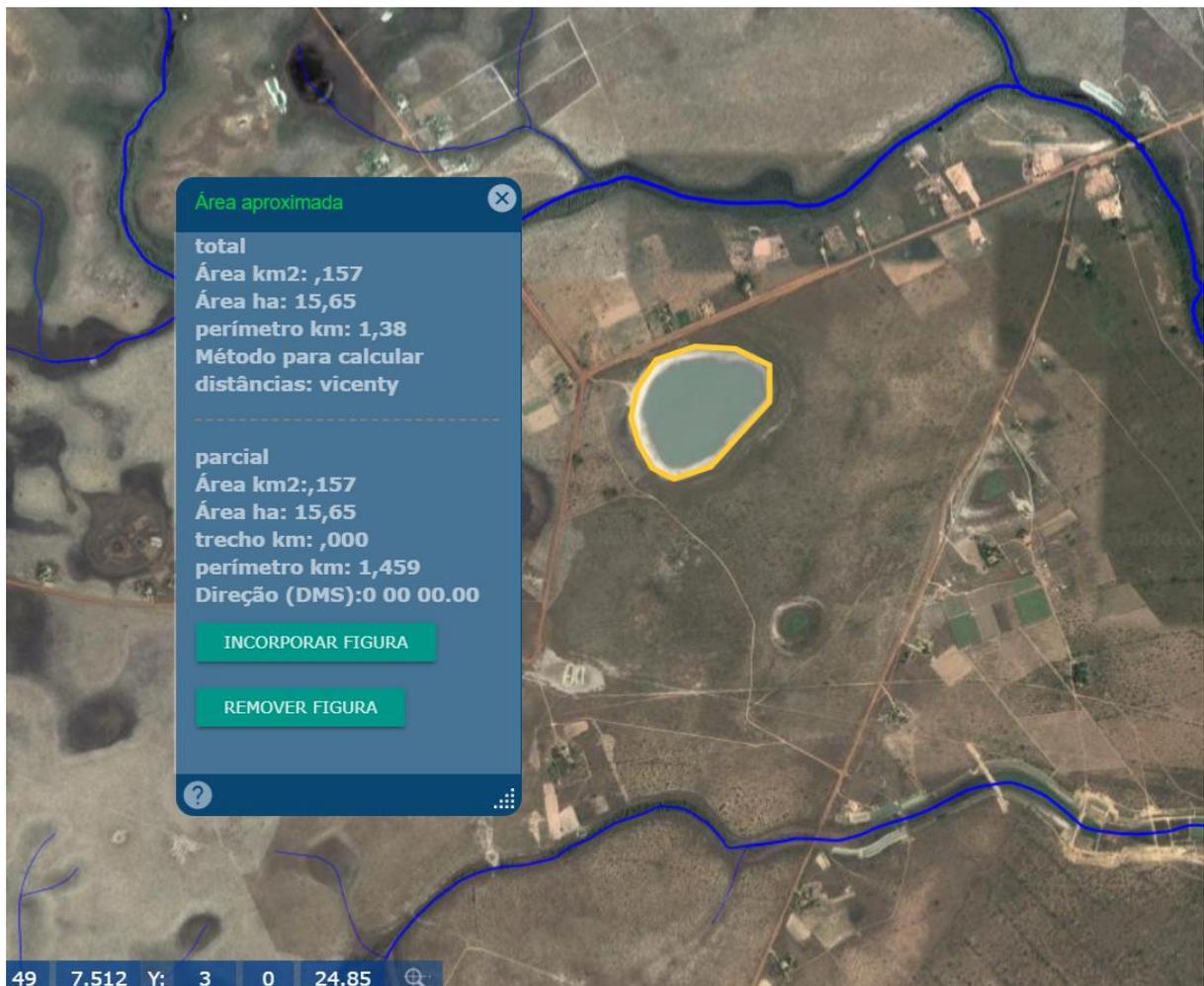
Junto à medição de distâncias, a medição de área é uma das ferramentas mais úteis, sendo um grande diferencial dos SIG em ambiente computacional, trazendo enorme vantagem em relação aos cálculos em papel.

A interface do I3Geo apresenta essa ferramenta em destaque ao acessar o painel Caixa de ferramentas e também pode ser acessada pelo caminho: pelo caminho: Caixa de ferramentas → Análise → Medir/Calcular → Área.

Ao realizar cálculo de área a ferramenta mostra também o resultado do cálculo do perímetro, outra informação de grande importância. Na Figura 38 podemos verificar o exemplo de cálculo da área do Lago Azul, que fica na sub-bacia do Igarapé Murupu, resultando numa área de aproximadamente 15,6 ha e perímetro de 1,38 km.

Para realizar a operação basta indicar os vértices que formam o polígono, iniciando e encerrando no mesmo ponto.

Figura 38 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta Medir área.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

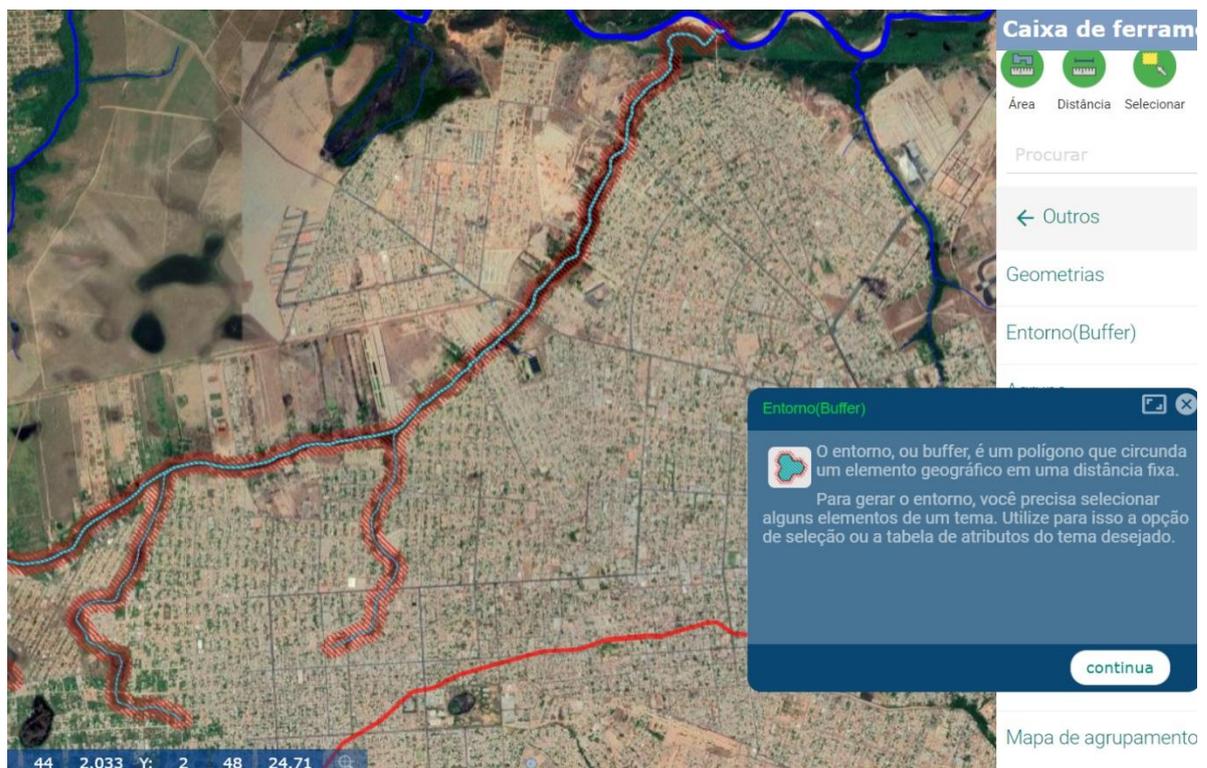
Uma ferramenta de geoprocessamento amplamente utilizada, principalmente na área ambiental é o cálculo do entorno ou *buffer*. O entorno é traçado definindo-se uma distância, que será delimitada a partir de um eixo, ou de uma borda. É a ferramenta ideal para delimitar área de preservação permanente de mata ciliar, por exemplo. É muito útil para se definir uma área da qual se deseja uma proteção especial, ou na qual haja incidência de algum tipo de risco.

Para acessar a ferramenta é preciso seguir o seguinte caminho: Caixa de ferramentas → Análise → Outros → Entorno(*buffer*). É importante ressaltar que para realizar esse procedimento anteriormente deve-se utilizar a ferramenta de seleção para indicar sobre quais feições o entorno será calculado. Ao acessar a ferramenta, já com as feições selecionadas, indica-se em qual camada estão as feições de interesse e qual será a distância do entorno.

Após definido o entorno é possível cruzamento com outras camadas. Por exemplo o cruzamento com uma camada de dados demográficos para realizar uma estimativa da população que vive no entorno definido.

Para demonstração foi definido um entorno de 100 metros a partir dos trechos de drenagem do Igarapé Caranã (Figura 39).

Figura 39 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta Entorno ou buffer.



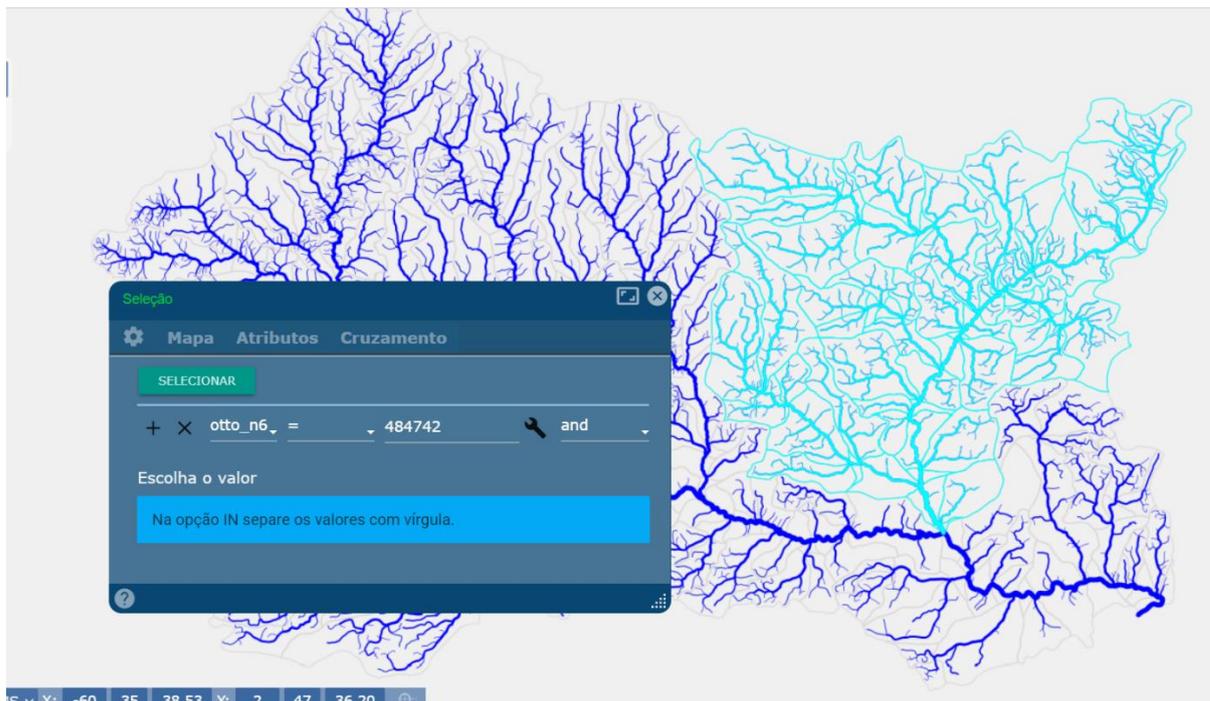
Elaboração: Elaborado pelo autor.

Para se realizar alguns processamentos, ou para extrair algumas informações é preciso antes selecionar uma feição, ou conjunto de feições. A interface do SIG WEB coloca em destaque a ferramenta “Selecionar”, podendo ser acessada logo que aberto o painel Caixa de ferramentas e pode também ser acessada pelo caminho: Caixa de ferramentas → Operações sobre o mapa ou tema → Mapa → Selecionar.

Ao abrir a ferramenta “Selecionar” é preciso indicar um ou mais temas que terão feições selecionadas e optar por selecionar clicando sobre as feições no mapa, selecionar as feições visíveis na tela ou desenhar um retângulo para selecionar. Outra abordagem é a seleção por atributo, definindo-se uma ou mais expressões condicionais para compor um filtro e selecionar as feições de interesse. Na ferramenta selecionar há também a função Cruzamento, que é útil para por exemplo utilizar um conjunto de polígonos selecionados para realizar a seleção de um conjunto de pontos contidos por esses polígonos.

No exemplo mostrado na Figura 40 foi realizada seleção por atributo das feições de sub-bacias no nível 8, que no nível 06 são codificadas 484742 (sub-bacia do Igarapé Murupu). Após selecionadas as sub-bacias a função Cruzamento foi utilizada para selecionar os trechos de drenagem que estavam contidos pelos polígonos das sub-bacias selecionadas.

Figura 40 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta Seleção por atributo.

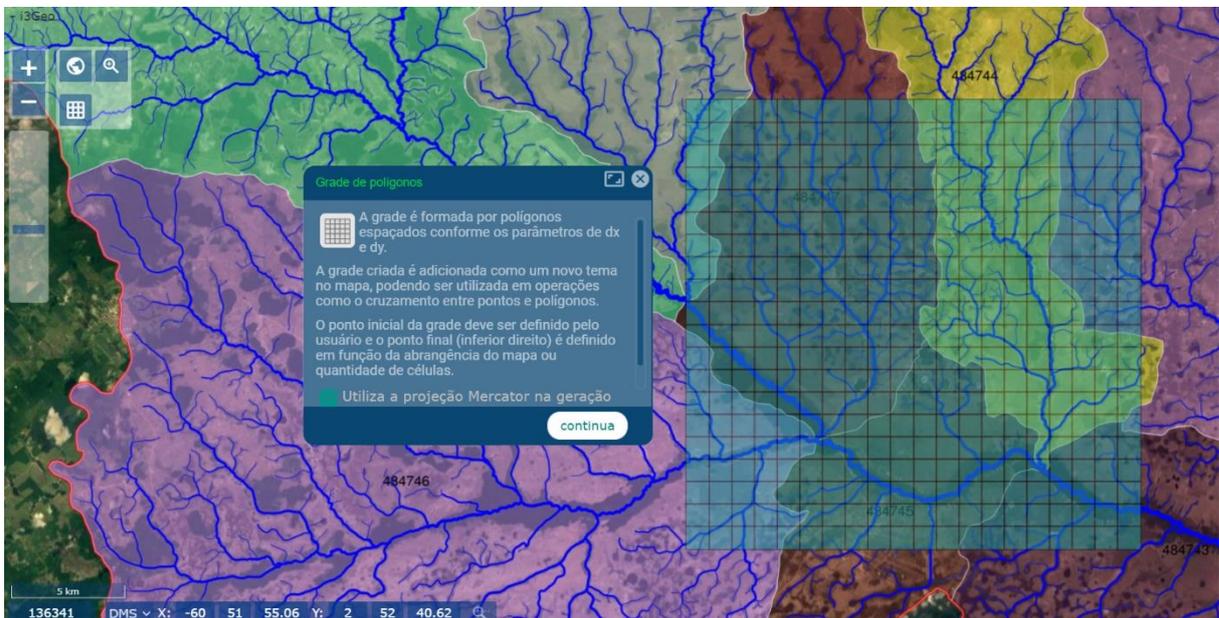


Elaboração: Elaborado pelo autor.

A ferramenta que se mostra a seguir não é de utilização cotidiana, porém de grande utilidade. Alcançar os resultados obtidos por essa ferramenta, de forma manual, pode se tornar uma tarefa exaustiva. A geração de uma grade georreferenciada de polígonos é bastante útil para definição de plano amostral, por exemplo. Define-se o intervalo no eixo X e o intervalo no eixo Y, o número de parcelas e indica-se a posição de onde se inicia a grade. Resultando numa grade de polígonos como a mostrada na Figura 41.

A ferramenta de geração de Grade de polígonos pode ser acessada pelo caminho: Caixa de ferramentas → Análise → Grade → Grade de polígonos.

Figura 41 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta de geração da Grade de polígonos.

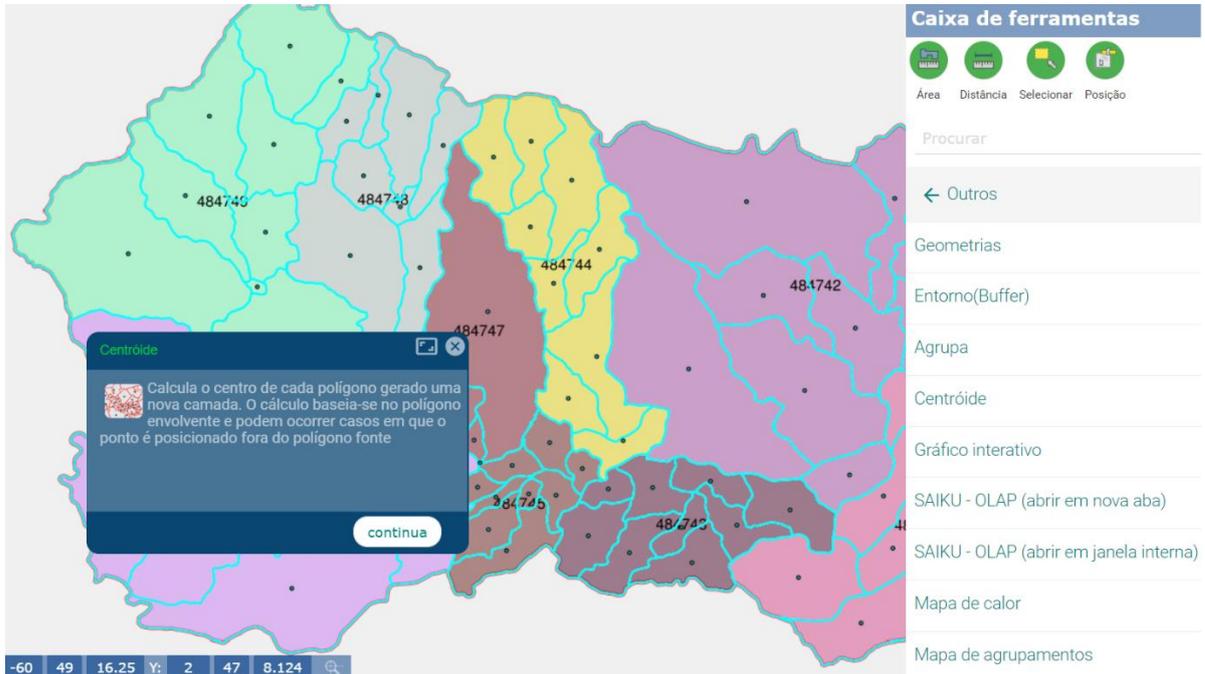


Elaboração: Elaborado pelo autor.

Outra ferramenta que não tem uso frequente, mas de grande utilidade é a ferramenta de cálculo do Centróide do polígono. A partir de uma camada de polígonos podemos gerar uma camada de pontos, com seus centroides. A depender o tema estudado uma camada de pontos pode ser mais representativa que a de polígonos, servindo também como passo intermediário para geração de mapas de kernel.

Essa ferramenta pode ser acessada pelo caminho: Caixa de ferramentas → Análise → Outros → Centróide. Para executar a ferramenta basta indicar qual a camada de polígonos será alvo da operação e como resultado temos uma camada de pontos equivalentes aos centros geométricos dos polígonos, como podemos observar no resultado do uso dessa ferramenta, mostrado na Figura 42, tendo sido gerados os centróides dos polígonos das sub-bacias no nível 07.

Figura 42 – Tela da aplicação SIG WEB, mostrando o funcionamento da ferramenta de cálculo do Centróide.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

Outra praticidade implementada no I3Geo é a geração automatizada de mapas para impressão. O usuário pode dar saída em um leiaute para impressão em formato PDF, JPG, etc. Existe um leiaute pré-definido no sistema que pode ser personalizado conforme a demanda de utilização.

A função pode ser acessada pelo caminho: Caixa de ferramentas → Operações sobre o mapa ou tema → Mapa → Imprime o mapa. Como exemplo de utilização foi gerado um mapa das sub-bacias do Rio Cauamé no nível 06, como visto na Figura 43.

Figura 43 – Aspecto do mapa gerado de forma automática pelo SIG WEB.



Elaboração: Elaborado pelo autor.

3.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao estudar a Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé nos deparamos com a sua grandeza e complexidade. Essa grandeza não se refere somente à sua extensa área geográfica, mas também na sua diversa paisagem, na sua variada composição socioeconômica, na sua capacidade de prestar serviços ambientais e mesmo em uma região do país de esparsa densidade demográfica ser uma bacia que em 2010 já abrigava mais de 148 mil habitantes, equivalente à um terço da população do Estado de Roraima na época, abrangendo dois municípios de Roraima, inclusive parte de suas áreas urbanas.

A importância dessa Bacia no contexto regional é evidente e sabidamente vem sendo dada importância a estudos que abrangem sua área, principalmente no âmbito do Mestrado Profissional ProfÁgua – UFRR. Esse conjunto de estudos propicia uma nova e ampla visão sobre esse território, formando um diagnóstico acurado e sem precedentes.

Essa pesquisa vem contribuir com uma parte desse diagnóstico ao propor realizar a análise e a compartimentação morfométrica da bacia e junto à análise entregando um Banco de dados Geográfico e um Sistema de Informações Geográficas WEB. Numa escala de detalhe até então não disponível.

A gestão da bacia certamente tem uma barreira a menos para avançar na implementação de todos os instrumentos de gestão dos recursos hídricos da Bacia do Rio Cauamé.

Os resultados nos revelaram uma paisagem onde predomina relevo com pouca declividade, concentrando-se em algumas regiões, como na Serra do Murupu, Região da Serra Nova Olinda, região do Monte Cristo as maiores declividades. De forma semelhante ao que se encontrou na caracterização geomorfológica, de solos e de vegetação. Uma região predominante onde ocorrem as pequenas declividades, os Latossolos Amarelo distróficos e a vegetação Savana Parque com floresta-de-galeria. As paisagens mais diversas têm ocorrência nos locais de relevo mais declivoso.

O conjunto de parâmetros morfométricos estudados nos possibilitou aferir onde e em que proporção ocorrem essas variações na Bacia. A análise multivariada desse conjunto de dados nos possibilitou hierarquizar a similaridade entre as sub-bacias e agrupá-las formando três compartimentos morfométricos: As Bacias com maior

extensão média dos canais, Bacias com maior densidade de drenagem, Bacias com maior amplitude altimétrica. Esses compartimentos trazem como nomenclatura parâmetros que mais se destacaram para fins de agrupamento, mas que trazem consigo um conjunto de características em comum que permitiram entender a variação da morfometria das sub-bacias.

O compartimento Bacias com maior densidade de drenagem equivale à paisagem predominante, enquanto os outros compartimentos agrupam as sub-bacias com características morfométricas mais diversificadas.

Essa compartimentação é um ponto de partida para se pensar a gestão da bacia. Entendendo como se dá a diversidade de características morfométricas. Não se pode ter uma mesma estratégia de monitoramento, fiscalização, de práticas conservacionistas, etc. que atenda a bacia do Rio Cauamé como um todo, sem considerar suas diversidades.

O volume de dados produzido evidenciou a necessidade da sistematização e consolidação em um Banco de Dados Geográfico. De outra forma, esses dados seriam volumosamente apresentados no corpo desse trabalho e muito provavelmente seriam de difícil acesso para continuidade de novas pesquisas e para utilização pelos atores da gestão dos recursos hídricos. Entregar como produto um Banco de Dados mostra-se uma maneira bastante segura de que os que precisarem desses resultados não terão dificuldade em acessar e utilizar.

Um passo além da organização do Banco de Dados Geográfico é a implementação do SIG WEB para que esses dados tenham efetivamente utilidade prática. Mesmo quem não tenha a habilidade técnica de processar um Banco de Dados Geográfico utilizando um SIG convencional, pode realizar diversas operações no SIG WEB implementado, pois é uma interface bastante intuitiva e que dispensa instalação de software.

Considerando o objetivo principal dessa pesquisa, verificamos que foi possível caracterizar a morfometria de todas as sub-bacias componentes da bacia do Rio Cauamé, sendo plenamente atendido. Subsidiariamente foram gerados os parâmetros morfométricos das sub-bacias; as sub-bacias foram otocodificadas; foi possível analisar a similaridade morfométrica entre as sub-bacias e agrupá-las em compartimentos morfométricos e foi exitosa a criação do Banco de Dados Geográfico acessado por ambiente de Sistema de Informação Geográfica Web.

Como perspectiva para futuras pesquisas verifica-se que haveria um grande ganho em qualidade e nível de detalhamento possível, a utilização de Modelo Digital do Terreno (MDT), que atribui as elevações somente em relação ao solo, sem interferência da vegetação ou edificações, com resolução compatível com maior escala, sendo desejável a possibilidade de utilizar escala 1:5.000, devido a partes da bacia serem ocupadas por áreas urbanas e pela grande extensão de áreas com pouca declividade.

Quanto ao Banco de Dados Geográfico e ao SIG WEB, há de se ter uma constante atualização quanto as mais novas e eficientes tecnologias, pois se modificam em grande velocidade e certamente ao concluir essa pesquisa, já existem diversas alternativas para essa implementação.

Conclui-se que a análise e compartimentação morfométrica em conjunto com a organização de um Banco de Dados Geográfico e a implementação do SIG WEB representam uma possibilidade de grande avanço na qualidade da gestão dos recursos hídricos na Bacia do Rio Cauamé. Ainda que sejam produtos precursores, comparativamente, verifica-se que mesmo bacias onde já há implementação de comitê, muitas vezes não se tem qualquer avanço quanto a implementação de um sistema de informação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Codificação de Bacias Hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter - Aplicação na ANA**: Apostila. Brasília, DF, 2012. 50 p. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/104/1/apostila.pdf>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: Relatório Pleno. Brasília, DF, 2017. 169 p. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf.
- ALMEIDA, L.; VALDÉS, J. C. S. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, Curitiba, PR, v. 20, n. 1, p. 129-137, jan./jun. 2017.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.
- BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 jun. 1984. Seção 1, p. 8884.
- CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al. (Ed.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005. p. 1-44. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/bdados/cap1.pdf> >. Acesso em: 10 set. 2019.
- CHEREM, L.F.S.; MAGALHÃES JR., A.P.; FARIA, S.D. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas – região central de Minas Gerais, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p.11-21, 2011.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 185 p. 1980.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 30 de 11 de dezembro de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 mar. 2003.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**: folhas NA.20-Boa Vista e NB.20-Roraima. Brasília, DF, 2004. 1 mapa. Escala 1: 1.000:000.
- EMBRAPA. Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial: Estudo de Caso no Alto e Médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Campinas, SP, 2012. 35 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/960720/analise-morfometrica-de-bacia-hidrografica-subsidio-a-gestao-territorial-estudo-de-caso-no-alto-e-medio-mamanguape>.

European Space Agency (ESA). **Sentinel-2 User Handbook**. Paris: ESA, 2015. Disponível em: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.

FARIA, M. M.; ARAÚJO, W. F.; GONÇALVES, R.; WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Carrapato, Boa Vista, Roraima. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 19, n. 2, p. 9-22, mai./ago. 2017.

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Riacho Jucurutu. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, RN, v. 2, n. especial, p. 1120-1129, 2016.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Voorheesville, New York, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

I3Geo. **Interface integrada para internet de ferramentas de geoprocessamento**. Versão 7.0. Portal do Software Público Brasileiro, Brasília, 2017. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/i3geo/>. Acesso em: set. 2020.

IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em www.bdiaweb.ibge.gov.br/. Acesso em set. 2020.

IBGE. **Base Cartográfica Contínua do Estado de Roraima – 1:100.000**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc100/roraima/. Acesso em: set. 2020.

IBGE. **Grade Estatística 2010**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em www.mapasinterativos.ibge.gov.br/grade. Acesso em set. 2020.

IBGE. **Mapeamento Clima do Brasil - 1:5.000.000**, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em set.2020.

INMET. **Dados meteorológicos da estação 82024**, Banco de Dados Meteorológicos do INMET, Brasília, 2020. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em set. 2020.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). **ALOS PALSAR Product Specifications**. Tokyo: JAXA, 2014. Disponível em: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/PALSAR_product.htm.

JENKS, G. F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. **International Yearbook of Cartography**, v. 7, p. 186-190, 1967.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7ª ed. Wiley, 2015.

MACEDO, R. R.; MENDES, R. L. R.; COSTA, T. Sistema de Informação Geográfica (SIG) aplicado à gestão de recursos naturais. Atlas do aproveitamento de água da chuva nas ilhas de Belém – Iniciativas, demandas e potencialidades. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro-RJ, n.32, p. 1-38, jan./jun. 2018.

MORETTI, E. **Manual de usuário do software i3Geo versão 1.0 para versão 4.6 do i3Geo**. 2012. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/articles/0000/5891/manual_de_usuario_do_i3geo.pdf>. Acesso em: 09 set. 2019.

NASA JPL. **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001** [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Sioux Falls, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001. Acesso em set. 2020.

NASCIMENTO, F. I. C.; SANTOS, W. L.; LIRA, E. M.; ARCOS, F. O. Caracterização morfométrica como Base para o Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - Acre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 6, n. 2, p. 170-183, 2013.

NETO, R. A. R.; COSTA, J. A. V. Mapeamento de unidades geomorfológicas da Bacia do Rio Cauamé-RR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, p. 3-10, 2010.

OLIVEIRA, J. S.; CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Cauamé em decorrência da expansão urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, RR, v. 8, n. 1, p. 61-80, 2014.

PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, RS, v. 9, n. 2, p. 21-33, jul./dez. 2012.

PFRAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1989.

Planet Labs Inc. **RapidEye Satellite Imagery Product Specifications**. San Francisco: Planet Labs, 2016. Disponível em: https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1610.06_Spec_Sheet_RapidEye_Imagery.pdf.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. Disponível em <https://www.R-project.org/>, Acesso em set. 2020.

RORAIMA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento. Zoneamento Ecológico-Econômico de Roraima: **Mapa das Zonas Climáticas**. Boa Vista, RR, 2019. Disponível em: <https://zee-rr.institutopiatam.org.br>, Acesso em set. 2020.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65p.

SEGUEL, I. A. R.; QUEZADA, C. A. R.; CONTRERAS, H. E. F.; REYES, P. Z. V. Diseño colaborativo de una plataforma SIG WEB de humedales urbanos del área metropolitana de Concepción (URBANCOST). **Revista Urbano**, Concepción, Chile, v. 21, n.37, p. 32-43, mai./out. 2018.

SILVA, B. F.; SANTOS, K. A. Análise físico-funcional da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia/GO. **Rev. Geogr. Acadêmica**, Boa Vista, RR, v. 10, n. 1, p. 44-55, 2016.

SIQUEIRA, V. A. et al. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an opensource environment. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 21, n.1, p. 274-287, jan./mar. 2016.

SLATER, P. B. The Determination of Grouping Algorithms for Data Display and Data Analysis: An Essay Review. **Journal of Classification**, v. 6, n. 1, p. 157-178, 1981.

SODRÉ, R. V. R.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MACHADO, W. P.; OLIVEIRA, S. N.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Classificação de bacias de drenagem do Alto Jequitai (Minas Gerais) a partir da Análise de Principais Componentes e Análise de Grupos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, DF, v. 8, n. 2, p. 73-86, 2007.

SOUZA, S. O.; VALE, C. C.; NASCIMENTO, F. H. Bacia do Rio Peruíbe (BA): Ensaio de classificação morfométrica por meio de dados SRTM. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, MG, v. 14, n. 47, p. 208-222, 2013.

STURGES, H. A. The Choice of a Class Interval. **Journal of the American Statistical Association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Sioux Falls: U.S. Geological Survey, 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook>.