



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

EMERSON RENATO MACIEL DA SILVA

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
APEÚ, NORDESTE PARAENSE**

**BELÉM - PA
2020**

EMERSON RENATO MACIEL DA SILVA

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
APEÚ, NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha da pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador(a): Dr. Edson José Paulino da Rocha

**BELÉM – PA
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d Silva, Emerson Renato Maciel da
Diagnóstico geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú,
Nordeste paraense / Emerson Renato Maciel da Silva. — 2020.
104 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal
do Pará, Belém, 2020.

1. Sazonalidade. 2. Caracterização fisiográfica. 3. Qualidade da
água. I. Título.

CDD 551.48098115

EMERSON RENATO MACIEL DA SILVA

**DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
APEÚ, NORDESTE PARAENSE**

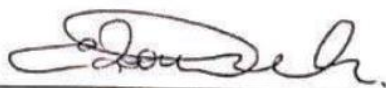
Dissertação aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

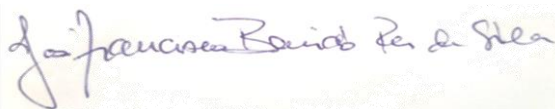
Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Aprovado em 27 de abril de 2020, Belém-PA.

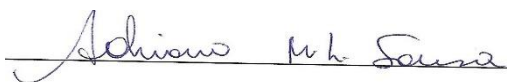
Banca Examinadora:



Prof. Edson José Paulino da Rocha – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. José Francisco Berredo Reis da Silva - Avaliador Interno
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Adriano Marlisom Leão de Sousa - Avaliador Interno
Doutor em Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal Rural da Amazônia



Profª. Silvana do Socorro Veloso Sodré - Avaliadora Externa
Doutora em Geoquímica Ambiental
Universidade Federal Rural da Amazônia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado saúde, e ter sido meu guia e minha força em todos os momentos;

A minha família, principalmente, minha mãe Venina Maciel da Silva e meu pai Renato Santiago da Silva, por todo apoio, confiança, amor concedido, conversas, ensinamentos e por sempre acreditarem em meu potencial;

As minhas irmãs pelo total incentivo e ajuda quando necessário. Em especial, a minha falecida irmã, Silma Venina Maciel que sempre demonstrou sentir orgulho por ser a pessoa que eu sou;

A minha noiva, que sempre esteve ao meu lado, sendo a cima de tudo uma grande companheira nos momentos de dificuldades, sempre com seu apoio, incentivo e amor;

Ao Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha, meu orientador no mestrado, sempre se disponibilizando em ajudar, e contribuindo com seu apoio total nas decisões que viessem contribuir para a melhora do nosso trabalho;

Ao meu grande amigo Prof. M.Sc. Ivan Carlos da Costa Barbosa por toda a paciência, apoio nas coletas de campo, ensinamentos (dentre todos, o mais especial a humildade) e por sempre demonstrar confiança e respeito pelo meu trabalho;

Ao Prof. Dr. Helder José Farias da Silva, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que contribuiu de maneira única com ensinamentos sobre linguagem de programação no RStudio, com sugestões, até mesmo correções e com muita paciência as inúmeras vezes em que pedia sua ajuda;

Ao Prof. Dr. Luiz Gonzaga da Silva Costa, pela confiança a mim depositada em participar do projeto intitulado “Projeto Rio Apeú: Restauração e Recomposição da Flora, Fauna e o Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Apeú, Pará” que deu origem a minha dissertação, ensinamentos e as oportunidades que me ajudaram a ter uma visão e postura profissional;

Aos responsáveis administrativos do campus UFRA de castanhal, por todo apoio logístico, Professor Raimundinho, seu Maradona, Lene, e todos os demais contribuintes do campus;

Aos membros da banca, por aceitarem o convite e contribuir para minha aprovação em mais uma etapa da minha vida. O Prof. Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva, que tive a honra de conhecer em uma das disciplinas do programa, que sem sombra de dúvidas contribuiu muito com a minha formação no programa; o Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Souza, que

além de ter sido meu professor na graduação também contribuiu com seus vastos conhecimentos em uma das disciplinas que tive a oportunidade de realizar junto ao programa do mestrado e, a Prof^a. Dr^a. Silvana do Socorro Veloso Sodré, além de ter aceitado compor a banca do presente trabalho, sempre me incentivou, deu conselho e apoio em minhas decisões, desde a época da graduação;

Ao meu grande amigo e profissional exemplar Afonso Granhen, que sempre me deu apoio em minhas decisões e conselhos visando meu crescimento profissional;

Aos meus amigos do Centro de Tecnologia Agropecuária, Alexandra Alves, Paula Nobre, Valdecir Pinheiro, Erica David, Patrícia Zandonadi, Dayves Costa e Larissa Manfredo, que dedicaram horas do seu tempo me ajudando e sendo companheiros nas análises e momentos de descontração que tivemos juntos;

Não poderia deixar de agradecer aos membros do “Time Apeú”, meus amigos, Diego Fabricio, Andrey Jr, Lucas July e Eduardo Marinho, que contribuíram de maneira significativa para realização das coletas de campo, análises e companheirismo, melhor equipe.

Aproveito para agradecer às minhas amigas Prof^a. Dr^a. Rosa Santa Rosa e a Dr^a. Luciana Santos (que sempre faço questão de deixar preocupada e agoniada com minha calma nos momentos de pressão), pessoas que tenho como exemplo de profissionais e que nunca mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso, seja em conversas, conselhos, total apoio em tudo;

A Universidade Federal do Pará e todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade de cursar o mestrado e que contribuíram com a minha formação, e me incentivaram ainda mais a seguir a carreira da docência;

A equipe da Biblioteca do Instituto de Geociências, por se disponibilizarem de maneira inigualável na orientação sobre os ajustes e formatações às normas da ABNT.

Aos amigos de infância e aos que fiz dentro da universidade, que sempre estiveram presentes e participaram de mais uma fase da minha vida.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o estado ambiental e a qualidade da água do rio Apeú frente aos tipos de uso e ocupação do solo, variação sazonal da precipitação e o grau de vulnerabilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú. Assim, para alcançar o objetivo foram realizadas a análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para sub-bacia do rio Apeú, a determinação do diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica através de fatores geoambientais e climáticos, assim como, a caracterização espacial e temporal da qualidade da água do Rio Apeú e a comparação dos resultados das análises físico-químicas segundo os padrões de qualidade estabelecidos em legislações específicas. Diante disso, foi avaliado o desempenho dos dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS, para sub-bacia em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA. Para a validação dos dados estimados pelo CHIRPS, foram calculados o Coeficiente de Correlação (r), Erro Percentual Médio (PBIAS), Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE) e o Índice de Concordância (d). Após a validação foram construídos mapas que mostrassem a espacialização da precipitação estimada pelo CHIRPS mediante a interpolação dos pontos de grades pertencentes a sub-bacia. Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Além disso, foi analisado o uso e ocupação do solo, a morfometria, a precipitação e a vulnerabilidade ambiental, por meio de geotecnologias. Por meio da morfometria observou-se que a SBHRA apresentar forma retangular e alongada, conferindo à sub-bacia baixa suscetibilidade a ocorrências de enchentes. Enquanto que o resultado de uso e ocupação mostraram que 55,25% da SBHRA é composta por vegetação densa e secundária, seguida por 27,04% representada por pastagem e culturas e 16,93% de solo exposto. A análise integrada das variáveis geoambientais analisadas, permitiram a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da SBHRA. Permitindo observar que, a SBHRA encontra-se com maiores graus de vulnerabilidades baixos e muito baixos (65,27%). Porém, é nítido por meio da representação cartográfica da vulnerabilidade, uma distribuição acentuada dos fragmentos de vulnerabilidade médio (22,47%), principalmente correlacionados as classes de vegetação rasteira, distribuídas quase sempre próximos às áreas de vegetação, seguida pela distribuição da vulnerabilidade alta (11,26%), correlacionada com às áreas antrópicas. Quanto a qualidade da água superficial do rio Apeú, foram quantificados os parâmetros físico-químicos pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), temperatura da água (Temp), turbidez (Turb), alcalinidade (ALC),

cloreto (Cl⁻) e dureza total (DT), em um período sazonal de quatro campanhas (período chuvoso e menos chuvoso) e avaliado a qualidade espacial e temporal das águas do rio, com auxílio da estatística descritiva e multivariada em 8 pontos amostrais. De acordo com os resultados obtidos por meio das análises físico-químicas, assim como a aplicação da estatística descritiva e multivariada, foi possível observar que em relação aos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005 os parâmetros apresentam-se dentro dos valores de referência. Através dos resultados, oriundos dos produtos científicos produzidos, constatou-se que a sub-bacia do rio Apeú apresenta mudanças de uso e ocupação do solo, refletidas principalmente na qualidade das águas superficiais, com alterações provocadas por pastagens nas áreas de nascentes, avanço da urbanização na área da bacia, demonstrando o não cumprimento de políticas ambientais como a proposta pela Lei Federal Nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro), assim como, a presença de áreas com vulnerabilidade médias e altas avançando em direção aos remanescentes florestais, principalmente na região norte da sub-bacia onde encontram-se os pontos de nascente, que se encontram as margens do rio Apeú, configurando uma situação de degradação ambiental dos recursos naturais nos limites da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.

Palavras-chave: Sazonalidade. Caracterização fisiográfica. Qualidade da água.

ABSTRACT

The present study aimed to assess the environmental status and water quality of the Apeú River in relation to the types of land use and occupation, seasonal variation in rainfall and the degree of environmental vulnerability in the hydrographic sub-basin of the Apeú River. Thus, in order to achieve the objective, the performance analysis of the CHIRPS product precipitation estimate for the Apeú sub-basin was carried out, as well as the determination of the environmental diagnosis of the hydrographic sub-basin through geoenvironmental and climatic factors, as well as the spatial characterization. and temporal water quality of the Apeú River and the comparison of the results of the physical-chemical analyzes according to the quality standards established in specific legislation. In view of this, the performance of the precipitation data estimated by the product CHIRPS was evaluated for the sub-basin in relation to the observational data from the INMET and ANA meteorological stations. To validate the data estimated by CHIRPS, the Correlation Coefficient (r), Average Percent Error (PBIAS), Root Mean Square Error (RMSE) and the Agreement Index (d) were calculated. After validation, maps were built to show the spatialization of precipitation estimated by CHIRPS by interpolating the grid points belonging to the sub-basin. In general, product data tended to overestimate the rainfall measured in the region of interest, especially in the rainy season, although there is a better adjustment to that observed in the less rainy period. In addition, soil use and occupation, morphometry, precipitation and environmental vulnerability were analyzed, through geotechnologies. Through morphometry, it was observed that the SBHRA has a rectangular and elongated shape, giving the sub-basin low susceptibility to the occurrence of floods. While the result of use and occupation showed that 55.25% of the SBHRA is composed of dense and secondary vegetation, followed by 27.04% represented by pasture and crops and 16.93% of exposed soil. The integrated analysis of the geoenvironmental variables analyzed, allowed the elaboration of the SBHRA environmental vulnerability map. Allowing to observe that, the SBHRA has higher degrees of low and very low vulnerabilities (65.27%). However, it is clear through the cartographic representation of the vulnerability, an accentuated distribution of the fragments of medium vulnerability (22.47%), mainly correlated to the classes of undergrowth, distributed almost always close to the vegetation areas, followed by the distribution of the high vulnerability (11.26%), correlated with the anthropic areas. As for the surface water quality of the Apeú River, the physical-chemical parameters pH, dissolved oxygen (OD), electrical conductivity (EC), water temperature (Temp), turbidity (Turb), alkalinity (ALC), chloride (Cl^-) and total hardness (DT), in a seasonal period of four campaigns (rainy and less rainy) and the

special and temporal quality of the river waters was evaluated, with the aid of descriptive and multivariate statistics at 8 sample points.. According to the results obtained through physical-chemical analysis, as well as the application of descriptive and multivariate statistics, it was possible to observe that in relation to the standards established by CONAMA Resolution 357/2005, the parameters are within the reference values. Through the results, derived from the scientific products produced, it was found that the sub-basin of the Apeú River presents changes in land use and occupation, mainly reflected in the quality of surface water, with alterations caused by pastures in the spring areas, urbanization in the basin area, demonstrating the non-compliance with environmental policies as proposed by Federal Law No. 12,651 / 2012 (Brazilian Forest Code), as well as the presence of areas with medium and high vulnerability advancing towards the forest remnants, mainly in northern region of the sub-basin where the spring points are located, which are on the banks of the Apeú River, configuring a situation of environmental degradation of natural resources at the limits of the hydrographic sub-basin of the Apeú River.

Keywords: Seasonality. Physiographic characterization. Water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 2

Figura 1- Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú e das estações meteorológicas da ANA e INMET.	28
Figura 2- Mapa de localização dos pontos de grade do CHIRPS na sub-bacia do rio Apeú. ..	31
Figura 3- Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (INMET*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018.	32
Figura 4- Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (ANA*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018.	33
Figura 5- Valores mensais médios da precipitação para a sub-bacia do rio Apeú estimada pelo CHIRPS, para o período de 1988 a 2018. As barbelas representam o \pm desvio padrão.	36
Figura 6- Espacialização da precipitação (período de 1988 a 2018), estimada pelo produto CHIRPS, usando a interpolação por krigagem universal. Precipitação acumulada média anual (a); precipitação acumulada média para o trimestre mais chuvoso (b)*; precipitação acumulada média para o trimestre menos chuvoso (c)**.	37

Capítulo 3

Figura 1- Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA	45
Figura 2- Mapa Hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	53
Figura 3- Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	54
Figura 4- Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	55
Figura 5- Descrição dos principais tipos de uso dos pontos de referência na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	58
Figura 6- Distribuição espacial da: a) precipitação acumulada média anual, b) variabilidade média mensal, c) período chuvoso (dezembro a maio) e d) período menos chuvoso (junho a novembro) na SBHRA.	60
Figura 7- Mapa de vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú – SBHRA.	63

Capítulo 4

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.....	72
Figura 2- Distribuição dos pontos amostrais.	74
Figura 3- Procedimentos de leituras In Situ dos parâmetros físico-químicos no rio Apeú.	75
Figura 4- Gráfico de anomalia de precipitação para os anos de coleta das amostras de água do rio Apeú.	82
Figura 5- Matriz de correlação entre os parâmetros analisados nas amostras de águas superficiais do rio Apeú.....	86
Figura 6- Gráfico de Scree plot, destacando os autovalores das componentes principais mais significativas.....	88
Figura 7- Representação gráfica em 2D dos Scores das PC1 x PC2 correspondente às amostras de águas superficiais do rio Apeú.....	89
Figura 8- Representação gráfica 2D dos Loadings correspondentes aos parâmetros estudados nas amostras de águas superficiais do rio Apeú: PC1 x PC2.	90
Figura 9- Imagens dos pontos amostrais responsáveis pela formação do Grupo 1.....	91
Figura 10- Dendrograma para as análises físico-químicas das amostras de águas superficiais do rio Apeú (MCH: período menos chuvoso; CH: período chuvoso).....	92

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1- Equações referentes aos parâmetros estatísticos de validação dos dados de precipitação utilizados neste estudo.	31
Tabela 2- Resumo de métricas estatísticas para avaliação de produtos de precipitação (CHIRPS) na escala temporal mensal (2003 a 2018) para as estações meteorológicas automática do INMET e da ANA em Castanhal-PA (sub-bacia do rio Apeú).	34
Tabela 3- Teste t de Student (com nível de confiança de 95%) dos valores observados (INMET/ANA) e estimado pela base de dados CHIRPS (para o período de 2003 a 2018).	35

Capítulo 3

Tabela 1- Principais índices das características morfométricas de uma bacia hidrográfica.	47
Tabela 2- Pontos de referência, suas descrições, coordenadas geográficas e campanhas de campo.	48
Tabela 3- Valores de referência do Índice Kappa.	49
Tabela 4- Graus de vulnerabilidades das variáveis geoambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.	50
Tabela 5- Média aritmética para as classes de vulnerabilidade ambiental.	51
Tabela 6- Valores dos índices morfométricos da sub-bacia do rio Apeú.	52
Tabela 7- Características do relevo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	53
Tabela 8- Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	57
Tabela 9- Descrição das principais classes por ponto de referência em relação a APP de 50m.	58
Tabela 10- Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.	62

Capítulo 4

Tabela 1- Campanhas de amostragem, com respectivos meses/anos e período sazonal.	73
Tabela 2- Pontos amostrais, suas referências e coordenadas.	74
Tabela 3- Resumo das metodologias analíticas utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras de água superficial do rio Apeú.	76
Tabela 4- Relação entre o coeficiente de variação (CV) e o grau de dispersão (GD).	77

Tabela 5- Estatística descritiva das amostras de água superficial do rio Apeú nos respectivos pontos amostrais e períodos sazonais.	79
Tabela 6- Matriz com os pesos (autovetores) de cada parâmetro e autovalores, proporção da variância explicada e variância acumulada.	87

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.2 Fundamentação teórica	18
1.2.1 Bacia Hidrográfica.....	19
1.2.2 Variação sazonal da precipitação	20
1.2.3 Histórico do uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú	21
1.2.4 Qualidade da água	22
1.3 Estrutura da dissertação	24
CAPÍTULO 2 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO PRODUTO CHIRPS PARA SUB-BACIA DO RIO APEÚ, CASTANHAL-PA	25
2.1 Introdução	26
2.2 Material e métodos	28
2.2.1 Caracterização da área de estudo.....	28
2.2.2 Produto CHIRPS	29
2.2.3 Análises estatísticas de validação	30
2.3 Resultados e discussão	32
2.4 Conclusão	38
CAPÍTULO 3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ ATRAVÉS DE FATORES GEOAMBIENTAIS E CLIMÁTICOS	42
3.1 Introdução	43
3.2 Material e métodos	45
3.2.1 Caracterização da área de estudo.....	45
3.2.2 Delimitação e características morfométricas da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú	46
3.2.3 Classificação do uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú	47
3.2.4 Dados de precipitação.....	49
3.2.5 Determinação da vulnerabilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.....	49
3.3 Resultados e discussão	51
3.3.1 Características morfométricas da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.....	51
3.3.2 Uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú	55
3.3.3 Análise da espacialização da precipitação na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú	59

3.3.4 Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.....	61
3.4 Conclusão	64
CAPÍTULO 4 CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO APEÚ, CASTANHAL – PA	69
4.1 Introdução	70
4.2 Material e métodos	72
4.2.1 Descrição da área de estudo.....	72
4.2.2 Amostragem, análises in situ e laboratoriais	73
4.2.3 Obtenção dos dados de precipitação.....	76
4.2.4 Tratamento estatístico dos dados	77
4.3 Resultados e discussão.....	78
4.3.1 Análise da estatística descritiva dos dados	78
4.3.2 Análise estatística multivariada dos dados	85
4.4 Conclusão	93
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO GERAL	99
REFERÊNCIAS	101

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, de forma global, observa-se uma intensificação de discussões a respeito do desenvolvimento sustentável, atrelada a conservação de recursos naturais, levando a indiscutível associação do mesmo à qualidade de vida. Diante disso, a água tem-se destacado nesse cenário, por ser um elemento essencial a toda forma de vida, além de ser um recurso fundamental ao desenvolvimento de atividades econômicas, e de ter importância dentro de atividades humanas como abastecimento público e industrial, irrigação agrícola, produções energéticas, recreação, bem como a preservação da vida aquática (RODRIGUES, 2008).

Nessa perspectiva, o crescimento populacional desordenado atrelado a pressões na utilização e conservação dos recursos hídricos faz com que a temática da qualidade de água tenha sido objeto de estudos no Brasil, assim como, no exterior (PIRES et al., 2015). Assim, Rodrigues (2008), descreve que a água sofre variações no tempo e espaço, decorrentes de efeitos externos e internos, sendo de fundamental importância para a qualidade das águas fatores como o clima, o solo da região e a vegetação circundante.

Por entender que a eficiência na gestão de recursos naturais deve levar em consideração a interligação dos mesmos, a Lei das Águas (BRASIL, 1997) estabelece em suas diretrizes a articulação da gestão hídrica com a gestão ambiental e com a gestão de uso do solo. Para isso, o entendimento da bacia hidrográfica como unidade de gestão assume papel importante (SWAROWSKY et al., 2011). Diante disso, para Santos (2004), é indiscutível a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, uma vez que ela é um sistema natural, bem delimitado no espaço e de fácil caracterização, podendo ser subdivididas em unidades menores, o que facilita, por razões técnicas e estratégicas, o seu planejamento.

A qualidade da água superficial é um bom indicador da tendência e do estado atual de uma microbacia. Sendo de fundamental importância para a qualidade da água a variação sazonal da precipitação e a variação da vazão espacialmente e temporalmente. Pois, influenciam diretamente nas concentrações de sais, sedimentos, nutrientes e outros produtos químicos e biológicos, sendo isto de crucial importância tendo em vista que essas variáveis são largamente utilizadas para a avaliação da qualidade da água (MEYBECK; HELMER, 1992; RODRIGUES, 2008).

Nesse contexto, a identificação dos impactos na qualidade da água, gerados por atividades realizadas na microbacia hidrográfica, resultam em um aspecto fundamental para o planejamento de um eficiente monitoramento da qualidade da água de uma determinada bacia.

Essa compreensão é importante para a seleção das variáveis a serem monitoradas, assim como de sua periodicidade e sazonalidade. Porém, é necessário compreender que, o termo qualidade da água, não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características são estipuladas diferentes finalidades para a água (LIMA, 1997; MERTEN; MINELLA, 2002; RODRIGUES, 2008).

A interferência do homem nesse contexto de alterações da qualidade da água, levando a poluição hídrica relacionada a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, influencia significativamente o potencial da qualidade da água, diminuindo a biodiversidade aquática (BORGES et al., 2003).

Nos últimos anos muitos estudos foram realizados na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú, tais como: Análise do Uso Do Solo e dos Recursos Hídricos na Microbacia do Igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará (SANTOS, 2006); Geoprocessamento Aplicado ao Mapeamento da Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental (JESUS, 2009); Dinâmica da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil (SOUZA et al., 2011); Caracterização do Conflito de Uso e Ocupação do Solo nas Áreas de Preservação Permanente do Rio Apeú, Nordeste Do Pará (SOUZA et al., 2012); Análise do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste Paraense, entre os anos de 1999 e 2014 (VALE; BORDALO; FONSECA, 2015); Análise Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental (VALE, 2017). Entretanto, nem um desses trabalhos referem-se à a análise do estado atual do uso e ocupação do solo, da vulnerabilidade ambiental, no comportamento da precipitação e suas influências no comportamento físico-químico da qualidade da água da sub-bacia do rio Apeú, portanto, o desenvolvimento deste trabalho é fundamental para ampliar o conhecimento do funcionamento/comportamento da bacia do rio Apeú.

A bacia do rio Apeú por estar contida em grande parte na área urbana de Castanhal é representativa para avaliações das influências urbanas na qualidade da água do rio. É nesse sentido que, o entendimento sobre a qualidade da água, as alterações oriundas do uso e ocupação do solo, a vulnerabilidade ambiental, a influência da sazonalidade, estado atual e alterações dentro de uma bacia hidrográfica, como no caso da bacia hidrográfica do rio Apeú, motivou a elaboração do presente trabalho.

Pois, antes de desaguar no rio Inhangapi, e esse por sua vez desaguar no rio Guamá, o rio Apeú percorre trechos com áreas de pastagem, agrovilas, centro urbano em desenvolvimento (cidade de Castanhal) e áreas sob fortes influências antrópicas, como balneários e atividades

agrícolas. É comum ao longo do seu percurso visualizar a presença de estradas, pontes, áreas de plantio (mandioca, pimenta-do-reino, entre outros). Logo, espera-se que todas estas atividades humanas gerem impactos diretos e/ou indiretos na dinâmica da qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do rio Apeú.

Outra questão é a necessidade de documentar o processo de expansão do uso e ocupação do solo na bacia do rio Apeú e sua influência na qualidade da água. Associada a estas alterações antrópicas é necessário investigar o clima da região de estudo, pois a variação sazonal (período chuvoso e menos chuvoso) afeta diretamente a entrada e diluição de substâncias químicas no corpo hídrico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água superficial do rio Apeú frente ao estado ambiental e condições climáticas na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento da precipitação, oriundos do produto CHIRPS, na sub-bacia do rio Apeú, Castanhal-PA;
- Determinar o diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú através de fatores geoambientais e climáticos;
- Avaliar comparativamente a qualidade da água superficial do rio Apeú segundo os padrões de qualidade estabelecidos em legislações específicas.

1.2 Fundamentação teórica

Neste capítulo, serão apresentados os elementos teóricos que fundamentaram a pesquisa, estando dividido em quatro seções. A primeira seção traz um conhecimento básico sobre bacia hidrográfica, apresentando as principais características e sua importância. A segunda seção traz um conhecimento básico sobre a dinâmica e o regime da chuva na região amazônica, apresentando os principais sistemas e mecanismos climáticos que modulam a precipitação local. A terceira seção será fundamentada pelos conceitos e definições sobre o

uso e ocupação do solo na região amazônica, suas principais consequências e influências na qualidade das águas em uma bacia hidrográfica. Na quarta secção será apresentado conhecimentos sobre a qualidade das águas superficiais, principais parâmetros, alterações e consequências sócio-ambientais.

1.2.1 Bacia Hidrográfica

O conceito de bacia hidrográfica é constituído por um conjunto de terras drenadas por um canal principal e seus afluentes, em que o escoamento superficial converge para um único ponto no exutório, caracterizado como a unidade mais importante quanto aos estudos qualitativos e quantitativos da água, assim como, dos fluxos de sedimentos e nutriente (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002). A bacia hidrográfica, segundo a Lei das Águas 9.433/1997, é definida com a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH).

A bacia hidrográfica é contornada por um divisor que divide as precipitações que caem nas demais bacias ao seu lado e encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. Sendo seu terreno delimitado por dois divisores de água, os divisores topográficos, que refere-se a topografia e fixam a área da qual provém o deflúvio superficial da bacia, e o divisor freático determinado pela estrutura geológica dos terrenos e influenciado pela topografia, que estabelece os limites dos reservatórios de água subterrânea (VILLELA; MATTOS, 1975).

Desde a década de 1980 debates e estudos sobre a utilização da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial, visando à gestão de recursos hídricos, vem se expandindo dentre pesquisadores, profissionais da área de recursos hídricos e pela administração pública (BORDALO; COSTA, 2012). As bacias hidrográficas amazônicas apresentam características muito distintas, pois possuem rios extensos com grandes volumes hídricos e situam-se na Zona Climática Tropical, favorecida pelos elevados índices de precipitação (BORDALO et al., 2012).

A ideia de uma gestão ambiental, em específico de bacias hidrográficas, configura-se como importante exemplo de desenvolvimento instrumental metodológico e prático, em busca de uma relação sociedade e natureza, com uma perspectiva inter e multidisciplinar, rompendo com os valores positivistas, levando à um desenvolvimento de maneira sustentável da bacia (FERREIRA; LIMA; CORRÊA, 2017).

Dessa forma, Nogueira, Costa e Pereira (2015), relatam que a bacia hidrográfica constitui-se a mais eficiente unidade de planejamento quanto à exploração e uso dos recursos naturais, já que seus limites são imutáveis em relação aos planejamentos humanos, facilitando a observação referente as alterações naturais ou antrópicas na área.

Com isso, por conta de uma gestão inadequada das bacias hidrográficas, observa-se problemas sérios de disponibilidade de água, seja em níveis quantitativos e qualitativos à sociedade, levando a crise hídrica. Assim, lidar com esses problemas, buscando uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos, é de fundamental importância para o crescimento ambiental responsável (FERREIRA; LIMA; CORRÊA, 2017).

1.2.2 Variação sazonal da precipitação

A precipitação é entendida como toda água oriunda do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre em diferentes formas, tais como, chuva, neblina, granizo, neve, orvalho e geada. Porém, para os estudos hidrológicos, a chuva é considerada como o principal tipo de precipitação devido a sua influência no escoamento (BERTONI; TUCCI, 2009). Pois, Caram (2010), descreve que a precipitação que atinge a superfície terrestre, dependendo do tipo de uso e cobertura do solo, pode se transformar em escoamento superficial, infiltrar-se no solo ou reter-se em depressões.

Em seu estudo sobre o ciclo hidrológico da Amazônia, Marengo (2006), destaca que esse ciclo exerce papel fundamental na emissão de vapor de água para a atmosfera, culminando para a formação de chuva, exercendo assim, influência sobre a umidade atmosférica, precipitação e no escoamento superficial. E por ser responsável pelas alterações nas demais variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa e no vento, a precipitação torna-se alvo de estudos e investigações, tornando-a a variável climática mais importante da região tropical (MORAES et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2010).

O clima amazônico é caracterizado por variações das atividades convectivas tropical e da precipitação de forma espacial e temporal (SOUZA et al., 2009). Apresentando aproximadamente uma precipitação média de 2.300 mm ano⁻¹ (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998), com o período mais chuvoso entre os meses de outubro a maio, com acumulados mensais e anuais de aproximadamente 600 mm e 2.100 mm para os estados da porção oriental, onde localiza-se o estado do Pará (FIGUEROA; NOBRE, 1990; ALBUQUERQUE et al., 2010).

A variação da precipitação no estado do Pará possui uma sazonalidade caracterizada por um período chuvoso, que ocorre normalmente na maioria das localidades nos meses de

dezembro a maio, e um menos chuvoso compreendidos entre os meses de junho a novembro. Sendo que, no mês de dezembro marca o início da estação chuvosa e o mês de maio marca o fim do período chuvoso, ou seja, início do período menos chuvoso (MORAES et al., 2005; AMANAJAS; BRAGA, 2012).

A análise da precipitação na região amazônica, assim como, no estado do Pará necessita de conhecimentos e entendimento dos mecanismos de interação oceano-atmosfera de grande escala, tais como, o ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), as fases do gradiente meridional inter-hemisféricos de anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA et al., 2000; SOUZA et al., 2009). Ambos os mecanismos são influenciados pelas mudanças nos padrões de circulação associadas às células de Walker e Hadley (SOUZA; AMBRIZZI, 2003; SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2004; SOUZA; ROCHA, 2006), interferindo assim na posição e intensidade das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), refletindo na distribuição de chuva na região (SOUZA et al., 2009).

1.2.3 Histórico do uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

O município de Castanhal, encontra-se na região nordeste paraense, a uma distância aproximadamente de 68 quilômetros da capital paraense, Belém. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, ocupa uma área de 1.028,889 km² (IBGE, 2016). Em 2011, por meio da Lei Complementar N° 76, de 28 de dezembro de 2011, foi incluso à Região Metropolitana de Belém (IPEA, 2012).

Se território é predominantemente ocupado por perímetros urbanos e agrovilas, dentre as quais a Pesquisa Mensal de Comércio – PMC destaca, Campinas, Boa Vista, Macapazinho, Castelo Branco, Bacabalzinho e Itaqui (PMC, 2015). Possui o núcleo urbano relativamente simples, com pequenos centros como Jaderlândia e distrito do Apeú, com uma área central bem definida, representada pelas atividades de comércio e serviços para onde os fluxos convergem (RIBEIRO et al., 2015).

Uma análise do crescimento urbano e ocupação de Castanhal foi realizada por Ribeiro et al. (2015), nos anos de 1984, 1994, 2006 e 2013. De 1984 a 2013, o núcleo urbano avançou da sua concentração as margens da Rodovia BR-316 em direção ao norte da Rodovia PA-136 e PA-320. Sendo essa expansão caracterizada pela construção de conjuntos habitacionais, o crescimento da população de baixa renda e a especulação imobiliária através de loteamentos

particulares (RIBEIRO et al., 2015). E nos últimos 20 anos, de 1970 a 2007, a população urbana teve um aumento de 67,71% para 90,48% (BAHIA; GARVÃO, 2015).

Diante disso, vale ressaltar que entende-se por uso e ocupação do solo/terra o processo de alteração do espaço por ações antrópicas ou pela cobertura natural. Desse modo, estudos sobre a dinâmica do uso e ocupação do solo tornam-se fundamentais para auxiliar os gestores nas tomadas de decisão e com isso evitam uso exploratório, a degradação ambiental dos recursos hídricos e da biodiversidade (SILVA et al., 2016).

Diante dessas problemáticas, técnicas de sensoriamento remoto e utilização de Sistemas de Informações Geográficas tem contribuído de formas significativas na elaboração de matérias cartográficas que auxiliem na análise de tais mudanças (ALVES et al., 2018). Um exemplo desta aplicação e utilização das referidas técnicas é o “Projeto TerraClass”, que foi idealizado e desenvolvido, com objetivo de realizar o mapeamento e monitoramento do uso e cobertura do solo, na região amazônica, promovendo diagnósticos e o acompanhamento dessas alterações em diversos municípios (COUTINHO et al., 2013; CAMPOS et al., 2016; ALVES et al., 2018).

A urbanização e industrialização alteram o tipo de uso e ocupação do solo, e quando inseridos em uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionadas as alterações na qualidade das águas de rios e reservatórios, por meio dos lançamentos inadequados de efluentes domésticos, industriais e agrícolas (AMARAL et al., 2007).

O estudo integrado da avaliação físico-química e química da água, correlacionado com a avaliação das principais classes de uso e ocupação do solo, em uma bacia hidrográfica, contribuem para melhores tomadas de decisão que venham preservar e melhorar a qualidade ambiental dos corpos hídricos (NOGUEIRA; COSTA; PEREIRA, 2015). Estudos como de Moura, Boaventura e Pinelli (2010), onde verificaram “A Qualidade de Água como Indicador de Uso e Ocupação do Solo: Bacia do Gama – Distrito Federal”, demonstraram essa relação, uma vez que, no resultado de sua pesquisa toda alteração na ocupação de uma bacia é refletida na qualidade de água dos corpos hídricos que drenam a área.

1.2.4 Qualidade da água

Ao referir-se ao conceito de qualidade da água deve-se atentar para diferença entre qualidade e contaminação, uma vez que, ambos estão interligados. Só que, a qualidade da água está relacionada as alterações à sua composição oriundos dos efeitos naturais ou de ações antrópicas. Enquanto que, a poluição está associada a alterações em suas características físicas,

químicas e biológicas, ocasionadas em específico por atividades antrópicas, comprometendo a disponibilidade presentes e futuras dos recursos hídricos (BILICH, 2007).

De acordo com a resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, a qualidade das águas é representada por características, em geral mensuráveis, de natureza física, química e biológicas, as quais devem estar de acordo com os padrões estabelecidos pelas legislações vigentes (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

Dentre essas características, serão mensuradas neste trabalho as concentrações dos parâmetros físico-químicos e químicos: potencial hidrogeniônico, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura da água, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, cloreto e dureza total.

O potencial hidrogeniônico, ou pH, é o parâmetro que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água ou solução aquosa, sendo determinado pelas concentrações de íons de hidrogênio presentes no meio (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000; OBIEFUNA; SHERIFF, 2011).

A turbidez pode ser definida e entendida como a interferência à passagem de luz através de um líquido resultante das concentrações de sólidos em suspensão presentes no corpo hídrico. Além da ocorrência natural, ações antrópicas como lançamentos de esgotos domésticos ou industriais podem contribuir para a intensificação da turbidez nos corpos hídricos (BRASIL, 2014).

As concentrações de oxigênio dissolvido nas águas resultam de diversos processos. Os quais podem contribuir para o seu acréscimo/aumento (fotossíntese e reaeração atmosférica) ou diminuição de sua concentração (decomposição e respiração). A sua determinação em corpos hídricos funciona como um indicador primário da qualidade da água, e uma vez que sua concentração caia abaixo de valores aceitáveis estabelecidos nas legislações citadas, compromete a saúde de ecossistemas aquáticos e promove restrições quanto ao uso para diferentes fins, por exemplo, potabilidade (JANZEN; SCHULTZ; LAMON, 2008).

A condutividade elétrica é a capacidade ou facilidade com que a água conduz corrente elétrica. Está associada diretamente com a quantidade de substâncias dissolvidas, que se dissociam no corpo hídrico na forma de ânions e cátions (CETESB, 2009; OBIEFUNA; SHERIFF, 2011).

Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano,

período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2009).

A alcalinidade é definida como a quantidade de íons na água capazes de neutralizar íons hidrogênio. Caracterizando a capacidade da água de neutralizar os ácidos, em outras palavras, expressa a capacidade de tamponamento da água. Corpos hídricos com valores elevados de alcalinidade não sofrem variações bruscas de pH, mesmo com recebimento de contribuições fortemente ácidas ou alcalinas (BRASIL, 2014).

Em águas o cloreto é o ânion Cl^- , resultante do processo de percolação da água através de solos e rochas (CETESB, 2009). Normalmente, também são oriundos da dissolução de minerais, deposição de esgotos domésticos ou industriais e, em regiões costeiras, advindos da intrusão de águas do mar (BRASIL, 2014).

A dureza representa a concentração de cátions multivalentes presentes na água e, caracteriza-se como a sua dificuldade em dissolver sabão, ou seja, fazer espuma (ALENCAR, 2007; BRASIL, 2014). A origem da dureza das águas pode ser natural, que ocorre por dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio, ou antropogênica, resultantes do lançamento de efluentes industriais. Sendo o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) os principais cátions associados a este fenômeno e, em menores ocorrências, alumínio (Al^{3+}), ferro (Fe^{2+}), estrôncio (Sr^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) (BRASIL, 2014).

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos. O capítulo 1, consiste em uma introdução geral e uma revisão de literatura, necessária ao desenvolvimento dos demais capítulos; O capítulo 2, voltado aos conhecimentos climáticos da região de estudo, associado à validação dos dados de precipitação, uma das variáveis essenciais para o presente trabalho; O capítulo 3, em um estudo sobre o diagnóstico ambiental da área de estudo através dos fatores geoambientais e climáticos; Capítulo 4, demonstrando a variação espacial e sazonal da qualidade da água superficial do rio; O capítulo 5; com as considerações finais da pesquisa.

CAPÍTULO 2 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO PRODUTO CHIRPS PARA SUB-BACIA DO RIO APEÚ, CASTANHAL-PA¹

Resumo

A precipitação é entendida como toda água oriunda do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre e estudos sobre o comportamento e distribuição da precipitação em bacias hidrográficas são fundamentais para o conhecimento dos processos hidrológicos de uma região ou bacia hidrográfica. Assim, o presente estudo, tem como objetivo avaliar os dados de precipitação do produto CHIRPS, para sub-bacia do rio Apeú em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA, localizada no município de Castanhal, estado do Pará, para um período de dezesseis anos. O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú que está localizada na região nordeste do Estado do Pará. Para a validação dos dados do CHIRPS, foram calculados o Coeficiente de Correlação (r), Erro Percentual Médio (PBIAS), Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE) e o Índice de Concordância (d). Após a validação foram construídos mapas que mostrassem a espacialização da precipitação do CHIRPS mediante a interpolação dos pontos de grades pertencentes a sub-bacia. Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Contudo, os resultados mostraram que o CHIRPS conseguiu reproduzir com fidelidade a variabilidade sazonal da precipitação na região de interesse, com correlações significativas. Entretanto, são necessárias mais avaliações utilizando dados de superfície de outras fontes de dados, de forma a compor uma grade mais homogênea e corroborar com a metodologia apresentada.

Palavra-chave: CHIRPS; precipitação; sensoriamento remoto.

Abstract

Precipitation is understood as all water coming from the atmospheric environment that reaches the earth's surface, and studies on the behavior and distribution of precipitation in watersheds are fundamental to the knowledge of the hydrological processes of a region or watershed. Thus, in the present study, the objective is to evaluate the performance of data estimated by the CHIRPS product for the Apeú River sub-basin in relation to the observational data of INMET and ANA meteorological stations, located in the municipality of Castanhal, State of Pará, by a period of sixteen years. The work was carried out in the Apeú River sub-basin, which is located

¹ Artigo aceito pela Revista Brasileira de Geografia Física, Qualis B2 (Ciências Ambientais).

in the Northeast region of Pará State. For validation of data estimated by CHIRPS, it was calculated correlation coefficients (r), Mean Percentage Error (PBIAS), Root Mean Square Error (RMSE) and Concordance Index (d). After validation, maps were constructed showing the spatialization of CHIRPS estimated precipitation through the interpolation of the grid points belonging to the sub-basin. In general, the product data tended to overestimate the rainfall measured in the region of interest, especially in the rainy season, although there is a better fit after the less rainy period. However, the results shown by CHIRPS have faithfully reproduced a seasonal variability of the region of interest with negative correlations. Despite that, it's necessary more evaluations using surface data from other data sources to compose a more homogeneous class and corroborate with the presented methodology.

Keyword: CHIRPS; precipitation; remote sensing.

2.1 Introdução

A precipitação é entendida como toda água oriunda do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre em diferentes formas, tais como, chuva, neblina, granizo, neve, orvalho e geada. Porém, para os estudos hidrológicos, a chuva é considerada como o principal tipo de precipitação e uma das variáveis climatológicas mais importantes na determinação das condições climáticas locais (BERTONI; TUCCI, 2009; SILVA et al., 2019). Além disso, por ser uma variável que exerce influência em diversas áreas de atividades humanas, na modulação de estações chuvosas e secas, na conservação dos ecossistemas e no regime de vazão de rios. Assim, essa variável meteorológica é de suma importância para estudos climáticos e hidrológicos (FISCH et al., 1998; SODRÉ; RODRIGUES, 2013; SOARES et al., 2016).

Além disso, a hidrologia aplicada abrange diferentes estudos sobre a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e mudanças no uso e cobertura de bacias hidrográficas. Neste sentido, estudos sobre o comportamento e distribuição da precipitação em bacias hidrográficas são fundamentais para o conhecimento dos processos hidrológicos de uma região (SILVA, 2014), uma vez que, as elevadas taxas de precipitação na região Amazônica e volumes intensos de águas dos rios fazem parte do ciclo hidrológico da região (SERRÃO et al., 2019). Pois a bacia hidrográfica constitui-se a mais eficiente unidade de planejamento quanto à exploração e uso dos recursos naturais, já que seus limites são imutáveis em relação aos planejamentos humanos, facilitando a observação referente as alterações naturais ou antrópicas na área (NOGUEIRA et al., 2015).

De acordo com o estudo de Amanajás e Braga (2012), a região amazônica é caracterizada por três padrões ou estações (chuvosa, de transição e menos chuvosa) que definem o regime de precipitação. A estação chuvosa, se estende de janeiro a abril, e é influenciada diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A estação de transição, é configurada pelas chuvas de maio a agosto, e apresenta relação com sistemas de grande e mesoescala, tal como a ZCIT e as Linhas de Instabilidade. A estação menos chuvosa, se estende de setembro a dezembro e está associada aos efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul e aos sistemas frontais decorrentes do Sul e Sudeste do Brasil.

Dessa forma, informações e conhecimentos dos dados de precipitação, favorecem a avaliação dos seus impactos sobre o meio ambiente (WANDERLEY et al., 2013). Necessitando assim, de uma confiabilidade dos dados, que proporcionem resultados significativos nas análises temporais e espaciais da precipitação (COSTA et al., 2012). O que, para Amazônia, diante da baixa resolução espacial climatológica e pouca disponibilidade de estações meteorológicas, com nem uma ou pouca representatividade, acaba comprometendo a confiabilidade dos resultados (LOPES et al., 2013).

Neste contexto, uma alternativa para contornar essa situação, é a utilização de metodologias que utilizam o sensoriamento remoto para estimar valores de precipitação por meio de sensores orbitais e modelos atmosféricos (SANTOS, 2017; COSTA et al., 2019). Assim, a utilização desses conjuntos de dados de precipitação, de fontes como, CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP), Climate Research Unit (CRU), Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e o Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS), tem permitido a obtenção de dados para quase todo o globo, com resoluções espaciais de aproximadamente $0,05^\circ$ (JOYCE et al., 2004; FUNK et al., 2015; COSTA et al., 2019).

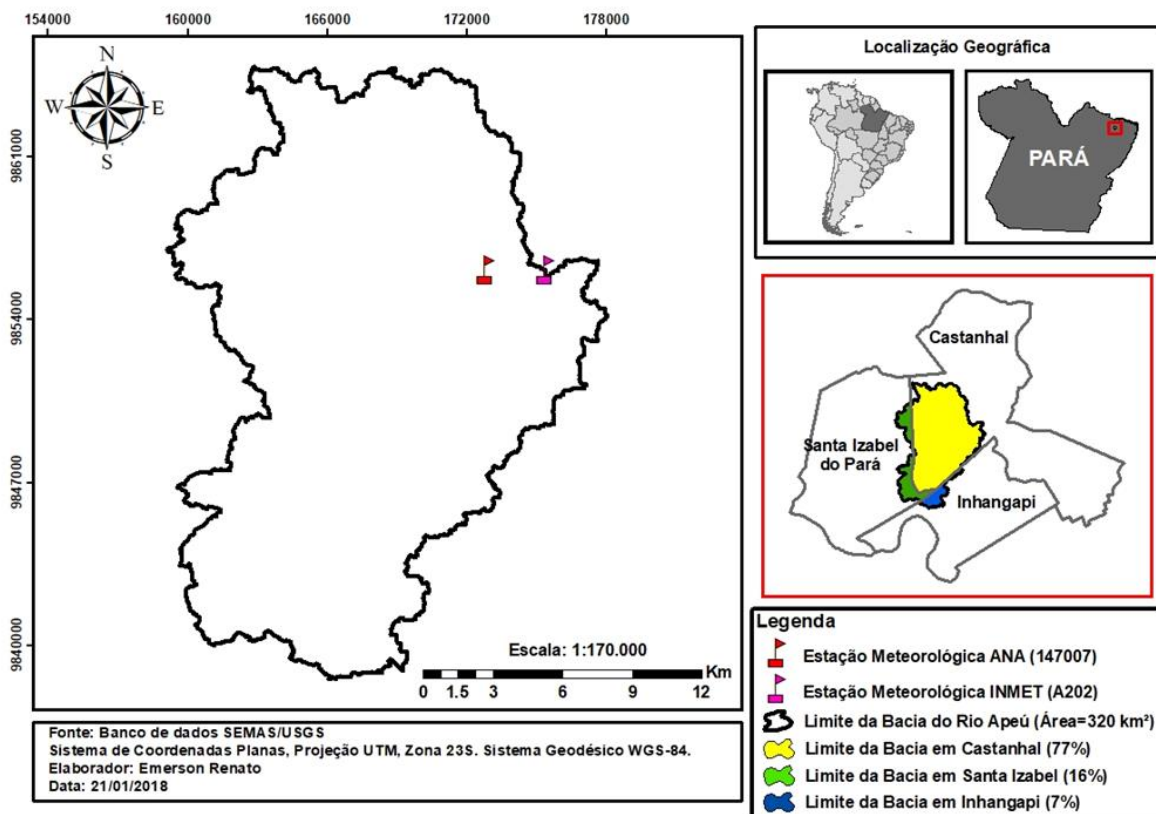
Diante disso, o presente estudo, tem como objetivo avaliar os dados de precipitação do produto CHIRPS, para sub-bacia do rio Apeú em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA, localizada no município de Castanhal, estado do Pará, para um período de dezesseis anos.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Apeú está localizada na região nordeste do Estado do Pará (Figura 1), situada entre as coordenadas $1^{\circ}13'10''$ e $1^{\circ}29'37''$ de latitude Sul e $48^{\circ}04'42''$ e $47^{\circ}53'30''$ de longitude Oeste, ocupa uma área de aproximadamente 320 km² (JESUS, 2009; SOUZA, 2011; VALE, 2017). Segundo Souza (2011) e Vale (2017), 77% da área da bacia encontra-se no município de Castanhal, 16% em Santa Izabel do Pará e 7% em Inhangapi. Formada pelo igarapé Apeú, caracterizado como um curso de águas claras, tem sua nascente situada na fazenda Buriti ($1^{\circ}13'3,8''$ S e $47^{\circ}58'46,5''$ W), no município de Castanhal, e sua foz no rio Inhangapi, município de Inhangapi.

Figura 1- Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú e das estações meteorológicas da ANA e INMET.



De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima do tipo Af – Clima Tropical Úmido, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio,

superior a 18°C, com ocorrência de precipitação todos os meses do ano e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013).

2.2.2 Produto CHIRPS

Desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB), o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) é uma base de dados de precipitação, composta por diferentes fontes de informação, tais como, The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology (CHPClim); Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (Thermal Infrared, TIR), geoestacionárias quase globais da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Centro de Previsão Climática (CPC); National Climatic Data Center Climáticos (NCDC); Coupled Forecast System da NOAA, versão 2 (CFSv2) e dados observacionais de estações meteorológicas (FUNK et al., 2015).

O produto CHIRPS apresenta como características resolução espacial de 0,05°, o que corresponde a aproximadamente 5 km, com uma cobertura geográfica de 50° S a 50° N e conta com uma base de dados de 1981 até os dias atuais (com dados diários, pentadados e mensais), sendo que no presente trabalho foram utilizados os dados mensais. Os dados do CHIRPS são disponibilizados de forma gratuita no site <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, nos formatos NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. Neste trabalho seus dados foram utilizados com intuito de analisar a distribuição espacial da precipitação sobre a sub-bacia do rio Apeú e comparados com os dados das Estação Meteorológica Automática (PA_A202) do município de Castanhal-PA do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e a Estação Meteorológica da Agência Nacional de Águas – ANA (147007) (Figura 1).

Para a comparação dos dados do CHIRPS, foi utilizado uma série temporal de dezesseis anos (2003 a 2018), que corresponde ao período comum para as fontes de dados INMET, ANA e CHIRPS. Embora, para análise individual do produto CHIRPS tenha sido utilizado um período de 1988 a 2018, devido a disponibilidades de seus dados até os dias atuais.

2.2.3 Análises estatísticas de validação

Uma vez obtidos os dados, os mesmos foram submetidos a procedimentos de organização, tabulações, verificações de dados discrepantes e faltantes, a fim de serem analisados utilizando o software livre R.

Os dados de chuva do CHIRPS foram extraídos do ponto de grade mais próximo à posição das estações meteorológica automática de Castanhal-PA. Enquanto que a análise da precipitação do produto CHIRPS frente aos dados observados em superfície foram avaliados de acordo com os parâmetros estatísticos: Coeficiente de Correlação, Erro Percentual Médio, Erro Quadrático Médio e o Índice de Concordância de Wilmott (Tabela 1).

A determinação do Coeficiente de Correlação (r) tem por finalidade medir quão bem o produto de precipitação por satélite corresponde ao observado. O mesmo varia de -1 a $+1$, de tal maneira que o maior grau de correlação entre as variáveis é quando r for mais próximo de ± 1 e, quando as variáveis não apresentam nenhuma correlação o r é igual a zero. O Erro Percentual Médio, do inglês, Percent Bias – PBIAS, reflete quão bem a média da precipitação estimada por satélite corresponde à média do observado. Em outras palavras, está associado à precisão do modelo, onde o melhor valor de PBIAS é zero. Os valores positivos indicam viés de superestimação, enquanto valores negativos indicam viés de subestimação do modelo em termos percentuais.

Para verificar a acurácia da precipitação obtida por satélite em relação aos dados observados, determina-se o Erro Quadrático Médio da Raiz ou Root Mean Square Error (RMSE), os valores de RMSE menores indicam melhores ajustes. Com relação ao Índice de Concordância (d) desenvolvido por Willmott (1981, 2012) que consiste de uma medida padronizada do grau de erro de precisão do modelo e varia entre 0 e 1. Um valor de 1, indica uma combinação perfeita e 0, indica nenhum acordo. Além disso, aplicou-se o teste t de Student para testar a hipótese de que as médias entre os dados estimados e observados não apresentam diferença entre si. As equações dos referidos parâmetros podem ser verificados na Tabela 1, enquanto que os detalhes podem ser encontrados em Willmott et al. (1985), Silva et al. (2016), Santos et al. (2017), Bayissa et al. (2017).

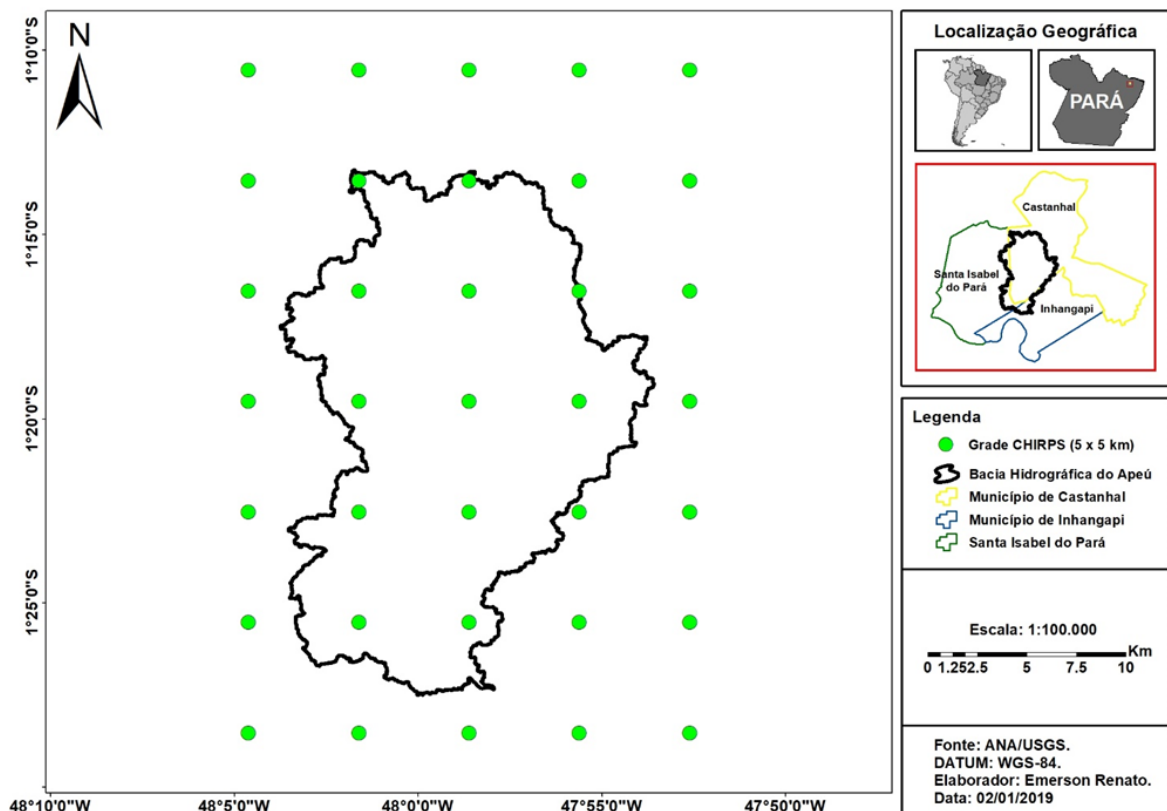
Tabela 1- Equações referentes aos parâmetros estatísticos de validação dos dados de precipitação utilizados neste estudo.

Parâmetros Estatísticos	Equações
Coefficiente de Correlação (r)	$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2][\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]}}$
Erro Percentual Médio (PBIAS)	$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)}$
Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$
Índice de Concordância (d)	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$

Nota: O: dados observados pelas estações do INMET ou ANA; S: dados estimados pelo produto CHIRPS. \bar{O} e \bar{S} : médias dos referidos dados observados e estimados.

Após a validação foram construídos mapas que mostrassem a espacialização da precipitação estimada pelo CHIRPS mediante a interpolação dos pontos de grades pertencentes a sub-bacia do rio Apeú (Figura 2). Para isso, foi utilizado como método de interpolação a krigagem universal e o semivariograma Linear with Linear drift (linear com desvio linear), com auxílio do software livre Quantum Gis (versão 2.18).

Figura 2- Mapa de localização dos pontos de grade do CHIRPS na sub-bacia do rio Apeú.

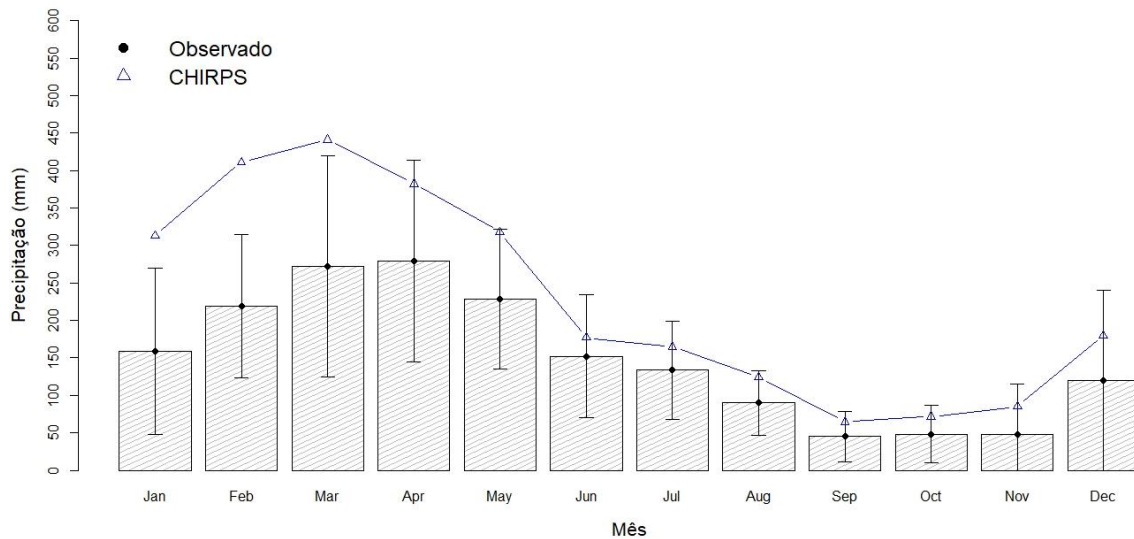


Fonte: Autoria própria.

2.3 Resultados e discussão

Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as médias mensais das estações meteorológicas automáticas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA) e dos dados do produto CHIRPS extraídos do pixel mais próximo à localização das estações meteorológica de Castanhal-PA. Nas referidas figuras é possível observar que, a precipitação média acumulada mensal estimada pelo produto orbital apresentou um comportamento sazonal similar aos dados observados em superfície, onde os meses de dezembro a maio representam o período chuvoso e de junho a novembro o período menos chuvoso, concordando com a variabilidade observada para a região em estudos anteriores (MORAES et al., 2005; AMANAJAS; BRAGA, 2012).

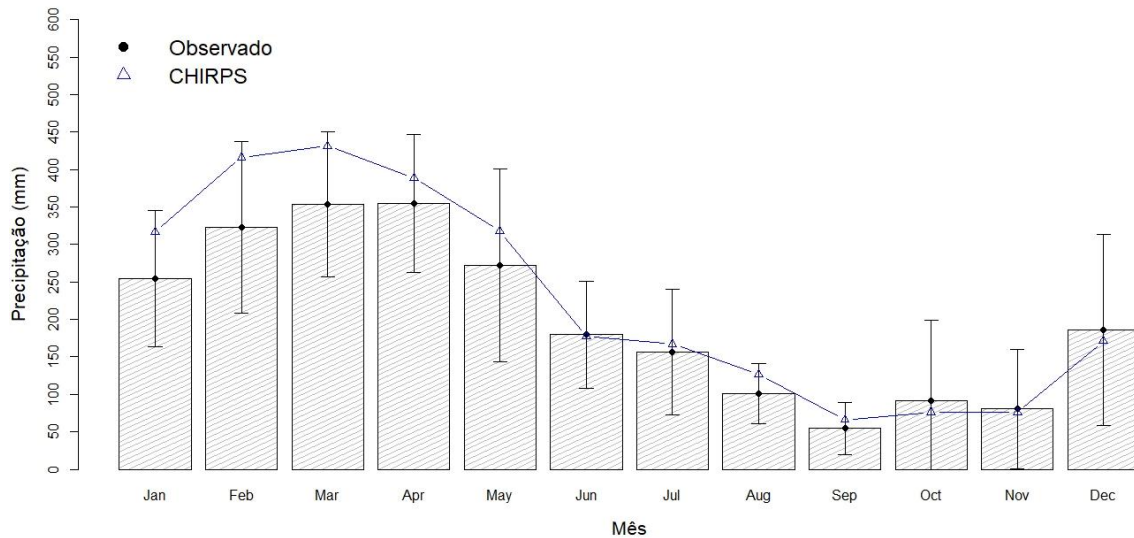
Figura 3- Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (INMET*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018.



Nota: *Estação meteorológica automática de Castanhal-PA (lat: 1°18'S; long: 47°55'W; alt: 65m) da rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Fonte: Autoria própria.

Figura 4- Ciclo anual de precipitação média acumulada observada (ANA*) e estimada pelo produto CHIRPS, para o período de 2003 a 2018.



Nota: *Estação meteorológica de Castanhal-PA (lat: -1,30 S; long: -47,94 W) da rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA).

Fonte: Autoria própria.

Porém, nas figuras é possível verificar que no período chuvoso o produto CHIRPS tem um comportamento que superestima a precipitação, enquanto que, no período menos chuvoso o mesmo apresenta um melhor ajuste ao observado. Em termos de validação, na Tabela 2, temos os resultados das estatísticas avaliativas. Nota-se que, os dados do CHIRPS tendem a superestimar cerca de 52% a precipitação média acumulada observada do INMET e cerca de 13,4% da precipitação observada da ANA. Enquanto que, analisando os erros relativos (PBIAS) nos períodos sazonais, temos que o produto superestima cerca de 60% da precipitação no período chuvoso e aproximadamente 33% no período menos chuvoso (INMET) e para os dados da ANA o produto superestima 17,1% no período chuvoso e 3,7% no menos chuvoso. Outros estudos sobre validação dos dados do CHIRPS para o Brasil e Nordeste brasileiro também obtiveram superestimação e subestimação em seus resultados (PAREDES-TREJO, BARBOSA; KUMAR, 2017; COSTA et al., 2019). Santos et al. (2019), também descrevem que nos resultados encontrados para região nordeste brasileira, o produto CHIRPS tende a superestimar e subestimar a precipitação, por outro lado, não ultrapassando os 5 mm (de acordo com o RMSE).

Partindo do pressuposto de que a radiação infravermelha é convertida em temperatura de alvos (conhecida como temperatura de brilho) e que, na região Amazônica no período chuvoso temos a formação de muitas nuvens, essa conversão representa a temperatura do topo das nuvens, e com baixas temperaturas nos topos das nuvens é caracterizado como condições

de precipitação. Assim, o grande número de nuvens formadas no período chuvoso influencia a estimação por sensoriamento remoto, uma vez que, o produto CHIRPS utiliza da determinação por infravermelho, resultando na superestimação encontrada no período chuvoso (BERNARDI, 2016).

Tabela 2- Resumo de métricas estatísticas para avaliação de produtos de precipitação (CHIRPS) na escala temporal mensal (2003 a 2018) para as estações meteorológicas automática do INMET e da ANA em Castanhais-PA (sub-bacia do rio Apeú).

Base de dados	PBIAS (%)	r	RMSE (mm)	d	MAE	R ²
Anual						
CHIRPS/INMET	52.2	0.95	98.45	0.81	78.1	0.91
CHIRPS/ANA	13.4	0.99	43.98	0.97	33.15	0.97
Período chuvoso (dezembro a maio)						
CHIRPS/INMET	60	0.86	136.19	0.52	127.89	0.73
CHIRPS/ANA	17.1	0.96	60.61	0.85	54.55	0.91
Período menos chuvoso (junho a novembro)						
CHIRPS/INMET	32.8	0.99	28.96	0.9	28.31	0.98
CHIRPS/ANA	3.7	0.96	13.94	0.98	11.74	0.91

Fonte: Autoria própria.

Em termos de correlação, a precipitação média acumulada anual apresentou maior coeficiente de correlação ($r=0,99$) entre o produto CHIRPS e os dados da ANA, sendo o maior valor encontrado para o período menos chuvoso ($r=0,99$) entre o observado (INMET) e CHIRPS, e o menor para o período chuvoso ($r=0,86$) também em relação aos dados observados pelo INMET. Mas, em geral as correlações entre o produto estimador e o observado foram aceitáveis e com grau de precisão do modelo mais próximo ao ideal, entre o produto CHIRPS e os dados da ANA, no período menos chuvoso ($d=0,98$), seguido pela média acumulada anual ($d=0,97$) e o menor valor para o período chuvoso ($d=0,85$). Outras pesquisas mostraram boas correlações para o CHIRPS, tais como, de Paredes-Trejo, Barbosa e Kumar (2016), que realizaram a validação do produto CHIRPS para o Nordeste brasileiro, e encontraram correlações do mesmo com os dados observados de 0,94, assim como, Costa et al. (2019) que, realizaram a validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil, obtendo uma associação de aproximadamente 95,4 % com o observado.

Além disso, de acordo com o teste t de Student (Tabela 3), as diferenças, associadas ao período menos chuvoso, não foram significativas ao nível de 5% de significância ($p\text{-valor} > 0,05$), em ambas as relações observado e estimado, ou seja, há evidências de que os valores de precipitação entre o produto e as estações não diferem (médias iguais). Porém, é notória a diferença significativa entre os meses da estação chuvosa, para os dados do INMET e CHIRPS,

estando associado ao resultado de superestimação para esse período e, em apenas dois meses do período chuvoso (fevereiro e março) dos dados da ANA e CHIRPS, demonstrando assim um melhor ajuste do produto CHIRPS ao observado com os dados da Agência Nacional de Águas. Da mesma maneira Cavalcante et al. (2020) e Rivera et al. (2018), descrevem uma correlação significativa entre os resultados do produto CHIRPS e os dados observados.

Tabela 3- Teste t de Student (com nível de confiança de 95%) dos valores observados (INMET/ANA) e estimado pela base de dados CHIRPS (para o período de 2003 a 2018).

Período	p-valor CHIRPS/INMET	p-valor CHIRPS/ANA
Janeiro	0,0007*	0,0804
Fevereiro	0,0001*	0,0451*
Março	0,0012*	0,0246*
Abril	0,0141*	0,2561
Maio	0,0094*	0,2476
Junho	0,3388	0,9150
Julho	0,1592	0,6966
Agosto	0,0314*	0,0881
Setembro	0,0709	0,3095
Outubro	0,0812	0,6012
Novembro	0,1327	0,8485
Dezembro	0,1378	0,7157

Nota: *valores de $p < 0,05$ indicam que existem diferenças significativas entre as médias dos valores observados (INMET/ANA) e o estimado (CHIRPS).

Fonte: Autoria própria.

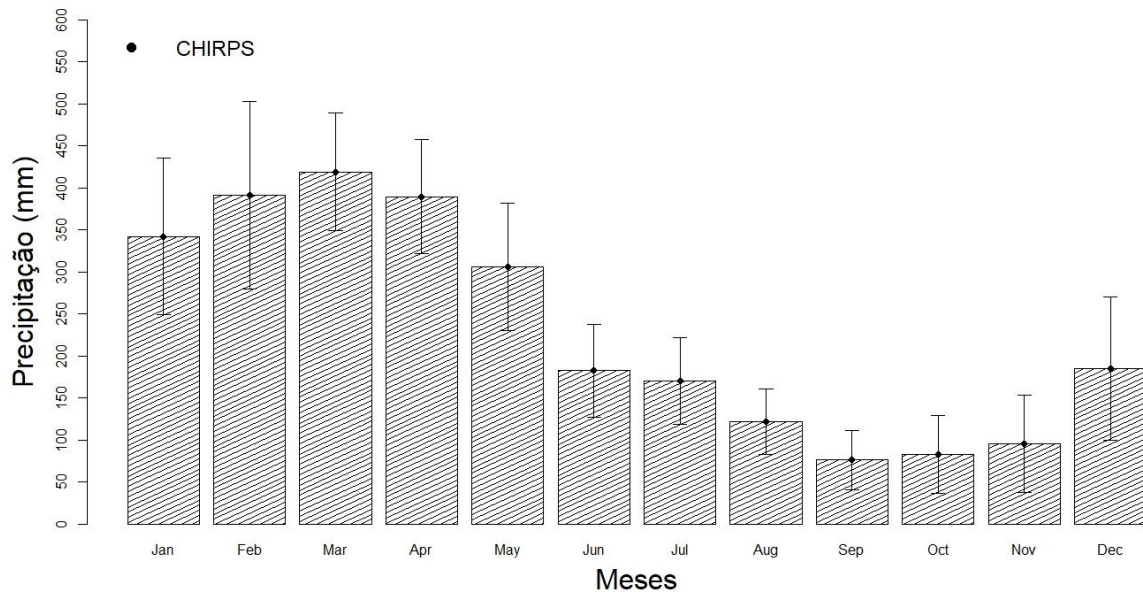
Para analisar a variabilidade espaço-temporal da precipitação do CHIRPS, determinaram-se os valores mensais acumulados médios (Figura 5) e mapas de espacialização (Figura 6) para sub-bacia do rio Apeú, para o período de 1988 a 2018 (período disponível para esta fonte de dados). Pela Figura 5, observou-se que a precipitação mensal apresentou forte sazonalidade, durante os meses de dezembro a maio (período chuvoso), a precipitação mensal foi acima de 180 mm mês^{-1} com o máximo em março da ordem de $419 \pm 70 \text{ mm mês}^{-1}$. Enquanto os meses de junho a novembro são menos chuvosos com precipitações menores que 200 mm mês^{-1} , com mínimo de $76 \pm 35 \text{ mm mês}^{-1}$ em setembro.

Esta variação é coerente com a distribuição regional da precipitação para o setor costeiro da Amazônia Oriental (MANAJAS; BRAGA, 2012; MENEZES et al., 2015). O trimestre de fevereiro, março e abril (FMA) se constitui no chuvoso, com média de $400 \pm 16 \text{ mm mês}^{-1}$. Esse padrão de precipitação está relacionado com a atuação e deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas que atua nos trópicos durante a estação chuvosa. Sobre o Atlântico, a ZCIT desloca-se ao sul, cerca de 4° , nos meses de março-abril, caracterizando assim o período chuvoso devido ao transporte de umidade trazida pelos

ventos alísios de nordeste para a região, aliado as características de relevo e a presença dos Vórtices Ciclones em Altos Níveis (VCAN) (FISCH et al., 1998; MOLION; BERNARDO, 2002; MARENGO et al., 2004; MANAJAS; BRAGA, 2012).

Enquanto o trimestre de setembro, outubro e novembro (SON) foi o menos chuvoso (MENEZES et al., 2015), com média de 85 ± 9 mm mês⁻¹. Esse comportamento é ocasionado pela ausência de sistemas precipitantes de grande escala, resultando em uma atmosfera local livre para a entrada dos ventos alísios, inibindo a formação de nuvens para o interior do continente, resultando em poucas chuvas, sendo essas chuvas formadas principalmente por sistemas locais e pelas diferenças de temperatura da superfície associadas a grande porção de água que cerca a região (SANTOS et al., 2017).

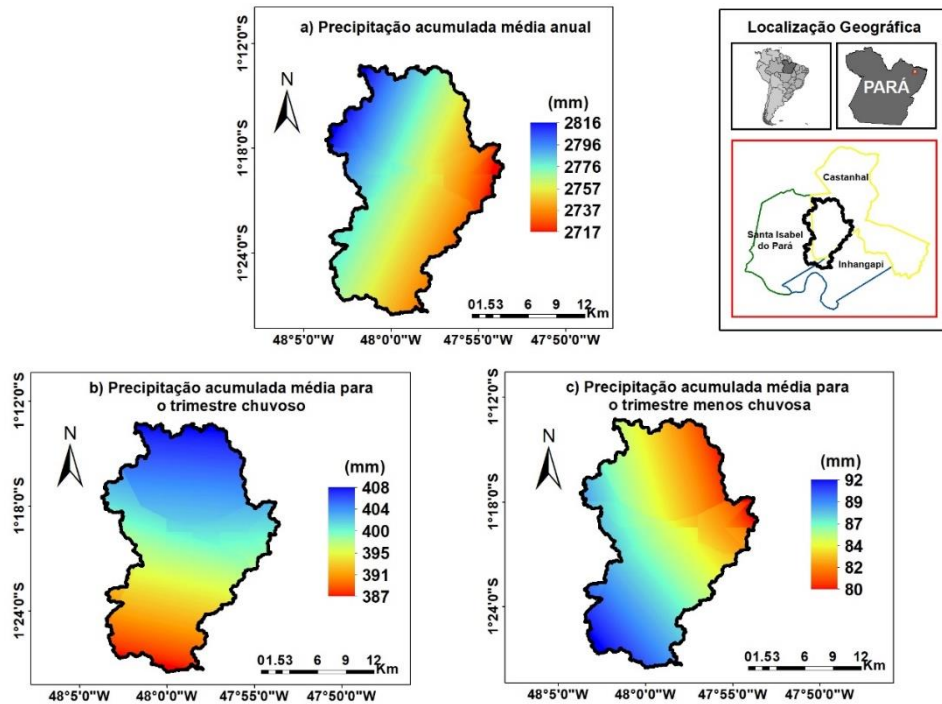
Figura 5- Valores mensais médios da precipitação para a sub-bacia do rio Apeú estimada pelo CHIRPS, para o período de 1988 a 2018. As barbelas representam o \pm desvio padrão.



Fonte: Autoria própria.

Para compreender a variabilidade espacial do processo de precipitação na região de interesse, os dados mensais foram reagrupados em intervalos de tempo anuais e sazonais, trimestre chuvoso (FMA) e trimestre menos chuvoso (SON), conforme Figura 6 (FERREIRA et al., 2015; MENEZES et al., 2015).

Figura 6- Espacialização da precipitação (período de 1988 a 2018), estimada pelo produto CHIRPS, usando a interpolação por krigagem universal. Precipitação acumulada média anual (a); precipitação acumulada média para o trimestre mais chuvoso (b)*; precipitação acumulada média para o trimestre menos chuvoso (c)**.



Nota: *janeiro, fevereiro e março; **setembro, outubro e novembro.

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os maiores acumulados médios anuais de precipitação, superiores a 2800 mm ano^{-1} , encontram-se na região noroeste da sub-bacia do rio Apeú, e os menores estendem-se ao nordeste e sudeste $<2776 \text{ mm ano}^{-1}$ (Figura 6a). Entre o período de fevereiro a abril temos uma variação do mínimo de 387 mm mês^{-1} (ao Sul da sub-bacia) em direção ao máximo valor de 408 mm mês^{-1} , ao Norte da sub-bacia (Figura 6b). Enquanto o período compreendido entre setembro e novembro, caracteriza-se como trimestre menos chuvoso, observa-se que nesse período os maiores valores de chuva (superiores a 90 mm mês^{-1}) apresentam-se no sudoeste da sub-bacia, conforme observado pela Figura 6c, e os menores valores (menores que 87 mm mês^{-1}) encontram-se a nordeste da Sub-Bacia.

Em termos médios, o produto CHIRPS, capturou com boa precisão a variação sazonal da sub-bacia do rio Apeú, isto é, a alternância entre estações chuvosa e menos chuvosa foi bem representada e estimou de forma bastante razoável a precipitação sobre a sub-bacia. Em alguns períodos, observou-se superestimativa enquanto em outras subestimativas da precipitação.

Uma possível explicação, de acordo com Paredes-Trejo, Barbosa e Kumar (2016), é que o desempenho do produto depende em grande parte das características do terreno, biomas, e sistemas de precipitação convectivos dominantes na região. Além disso, nos estudos de Pereira et al. (2013) e Costa et al. (2019), descrevem que isso ocorre por dois motivos, o primeiro está

associado ao fato da região norte brasileira apresentar ocorrências de grandes atividades convectivas, e o segundo refere-se a distribuição de estações meteorológicas na região norte, que possui apenas 8 estações para a geração dos dados do INMET/CPTEC, onde apenas uma está localizada no município de Castanhal-PA e uma da ANA, enquanto os dados do CHIRPS se referem às médias dos pixels de sua resolução espacial.

2.4 Conclusão

Neste estudo avaliou-se o processo de precipitação com foco na avaliação dos dados de precipitação do produto CHIRPS em comparação com dados observados de estações meteorológica de superfície, respectivamente, situadas no município de Castanhal-PA, Brasil, compreendendo o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018 a partir de estatísticas de desempenho.

Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Contudo, os resultados mostraram que o CHIRPS conseguiu reproduzir com boa precisão a variabilidade sazonal da precipitação na região de interesse, com correlações significativas. Entretanto, são necessárias mais avaliações utilizando dados de superfície de outras fontes de dados, de forma a compor uma grade mais homogênea e corroborar com a metodologia aqui apresentada.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará, em parceria com a EMBRAPA e MPEG pela oportunidade de integrar o corpo discente do Mestrado em Ciências Ambientais, assim como, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** [online], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 19 jul. 2019.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia** [online], v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862012000400006>. Acesso: 23 ago. 2019.
- BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. Evaluation of Satellite-Based Rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the upper blue Nile basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v.9, p.669, 2017.
- BERNARDI, E. C. S. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no Estado do Rio Grande do Sul**. 2016. 166f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2016.
- CAVALCANTE, R. B. L.; FERREIRA, D. B. S.; PONTES, P. R. M.; TEDESCHI, R. G.; COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research** v.238, p.1-12, 2020.
- COSTA, H. C.; MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R. Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.5, p.87-10, 2012.
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; DA SILVA, V. V. da. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia** v.24, p.228-243, 2019.
- FERREIRA, D. B. S.; SOUZA, E. B. de.; MORAES, B. C. de.; MEIRA FILHO, L. G. Spatial and temporal variability of rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. **The Scientific World Journal** [online] 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/209783>.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica** [online] v.28, 1998. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282126>. Acesso: 21 mai. 2019.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with Stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data** v.2, p.1-21, 2015.
- JESUS, A. A. S. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA, 2009.

- JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; P. X. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. **Journal of Hydrometeorology**, v.5, p.487-503, 2004.
- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia** v.12, p.84-102, 2013.
- MARENGO, J. A.; FISCH, G.; MORALES, C.; VENDRAME, I.; DIAS, P. C. Diurnal variability of rainfall in southwest Amazonia during the LBA-TRMM field campaign of the austral summer of 1999. **Acta Amazônica** v.34, p.593-603, 2004.
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.16, p.64-71, 2015.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, p.1-10, 2002.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v.35, p.207-214, 2005.
- NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. 2015. 56f. Monografia (TCC) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, 2015.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.139, p.26-40, 2017.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, p.139-148, 2013.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. Disponível: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 11 mai. 2019.
- RIVERA, J.A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research** [online] v.213, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023>. Acesso: 11 mar. 2020.
- SANTOS, M. R. S.; VITORINO, M. I.; PIMENTEL, M. A. S.; SOUTO, J. I. O. Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. **Caminhos de Geografia**, v.18, p.49-58, 2017.
- SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: Validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, p.1721-1729, 2017.

SANTOS, S. R. Q.; CUNHA, A. P. M. A.; RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, p.80-100, 2019.

SERRÃO, E. A. O.; SILVA, M. T.; SOUSA, F. A. S.; ATAIDE, L. C. P.; SANTOS, C. A.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. N. Influência do uso e cobertura da terra na variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração no Sudeste da Amazônia, utilizando o modelo SWAT. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, [online], v.10, p.134-148, 2019. Disponível: DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0011>. Acesso: 11 mar. 2020.

SILVA, M. K. A. **Modelagem hidrológica aplicada ao estudo da vazão da bacia hidrográfica do rio Araguari - MG, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa**. 2014. 196 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2014.

SILVA, C. B.; SILVA, M. E. S.; AMBRIZZI, T.; TOMMASELLI, J. T. G.; PATUCCI, N. N.; MATAVELI, G. A. V.; LIMA, B. S.; CORREA, W. C. Precipitação na América do Sul – dados obtidos em estações meteorológicas automáticas e sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, p.54-79, 2019.

SILVA, H. J. F. da.; SANTOS, M. S.; CABRAL JUNIOR, J. B.; SPYRIDES, M. H. C. Modeling of reference evapotranspiration by multiple linear regression. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** [online], v.6, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/2237-2202.20160005>. Acesso: 22 jul. 2019.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient.**, v.9, p.141-150, 2011.

VALE, J. R. B. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental**. 2017. [11], 130f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém – PA, 2017.

WANDERLEY, H. S.; SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P. D.; DELGADO, R. C. Precipitation variability in the 'Sertão' of San Francisco in the State of Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.790-795, 2013.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, [online], v.2, 1981. Disponível: <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>. Acesso: 15 mai. 2019.

WILLMOTT, C. J. *et al.* Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, [online], v.90, 1985. Disponível: <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>. Acesso: 13 ago. 2019.

WILLMOTT, C. J.; ROBESON, S. M.; MATSUURA, K. A refined index of model performance. **Int. Journal of Climatology**, [online], v.32, 2012. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.2419>. Acesso: 14 ago. 2019.

CAPÍTULO 3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ ATRAVÉS DE FATORES GEOAMBIENTAIS E CLIMÁTICOS²

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo analisar o uso e ocupação do solo, a morfometria, a precipitação e a vulnerabilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú, por meio de geotecnologias. O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú que está localizada na região nordeste do Estado do Pará. Foram utilizados os softwares livres QGIS (para o PDI, elaboração dos mapas temáticos) e o RStudio para extração dos dados de precipitação. Por meio da morfometria a SBHRA apresentar forma retangular e alongada, conferindo à sub-bacia baixa suscetibilidade a ocorrências de enchentes. Enquanto que o resultado de uso e ocupação mostraram que 55,25% da SBHRA é composta por vegetação densa e secundária, seguida por 27,04% representada por pastagem e culturas e 16,93% de solo exposto. A análise integrada das variáveis geoambientais analisadas, permitiram a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da SBHRA. Permitindo observar que, a SBHRA encontra-se com maiores graus de vulnerabilidades baixos e muito baixos (65,27%). Porém, é nítido por meio da representação cartográfica da vulnerabilidade, uma distribuição acentuada dos fragmentos de vulnerabilidade médio (22,47%), principalmente correlacionados as classes de vegetação rasteira, distribuídas quase sempre próximos às áreas de vegetação, seguida pela distribuição da vulnerabilidade alta (11,26%), correlacionada com às áreas antrópicas. Assim, conclui-se que estudos relacionados a vulnerabilidade ambiental favorecem as tomadas de decisões frente a conservação e sustentabilidade dos recursos naturais, levando em consideração a capacidade de suporte de cada variável dentro do ecossistema, relacionadas principalmente as características específicas de cada ambiente natural.

Palavras-chave: morfometria; uso do solo; precipitação; vulnerabilidade ambiental.

Abstract

The present work had as objective to analyze the use and occupation of the soil, the morphometry, the precipitation and environmental vulnerability in the hydrographic sub-basin of the Apeú River through geotechnologies. The work was developed in the hydrographic sub-basin of the Apeú River which is located in the northeast region of Pará. Free software QGIS (for the PDI, preparation of thematic maps) and RStudio were used for extracting precipitation data. Through morphometry, SBHRA has a rectangular shape and elongated, giving the sub-

² Artigo aceito pela Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Qualis B1 (Ciências Ambientais).

basin low susceptibility to occurrences of floods. While the result of use and occupation showed that 55.25% of SBHRA is composed of dense vegetation and secondary followed by 27.04% represented by pasture and crops and 16.93% exposed soil. The analysis integration of the geoenvironmental variables analyzed, allowed the elaboration of the vulnerability map SBHRA's environmental policy. Allowing to observe that, SBHRA is with higher degrees of low and very low vulnerabilities (65.27%). However, it is clear through the cartographic representation of the vulnerability, a marked distribution of fragments of average vulnerability (22.47%), mainly correlated to the classes of undergrowth distributed almost always close to the vegetation areas followed by the distribution of high vulnerability (11.26%), correlated with the areas anthropic. So, it is concluded that studies related to environmental vulnerability favor decisions regarding the conservation and sustainability of natural resources taking into account the support capacity of each variable within the ecosystem, mainly related to the specific characteristics of each natural environment.

Keywords: morphometry; use of the soil; precipitation; environmental vulnerability.

3.1 Introdução

As atividades naturais ou antrópicas são responsáveis por promover alterações e mudanças contínuas ao meio ambiente e seus recursos naturais, provenientes principalmente pelas formas de uso da terra. Para que se percebam essas mudanças, de acordo com Rodrigues et al. (2019) é necessário se atentar de maneira sistêmica para as vertentes ambientais, sociais e econômicas, objetivando a identificação, o monitoramento a eliminação ou minimização dos fenômenos associados à tais alterações.

Partindo desse pressuposto e, por entender que a eficiência na gestão de recursos naturais deve levar em consideração a interligação dos mesmos, a Lei das Águas (BRASIL, 1997) estabelece em suas diretrizes uma associação entre as gestões ambientais, hídricas e de uso do solo, fazendo com que a bacia hidrográfica assuma um papel crucial como unidade de gestão (SWAROWSKY et al., 2011). Assim, por apresentar componentes que apresentam uma interação e correlacionam-se como a cobertura vegetal, clima, geologia, geomorfologia e rios e, por qualquer impacto em um desses componentes resultarem em alterações ao ambiente, torna-se indiscutível a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e estudos ambientais (SANTOS, 2004; FAUSTINO et al., 2014).

A quantidade de água que chega aos afluentes e rio principal de uma bacia hidrográfica depende fundamentalmente do tamanho da área ocupada pela bacia, do regime de precipitação

e da sua espacialização, assim como, das perdas provenientes da evapotranspiração e infiltração. Além disso, a presença da vegetação exerce um papel fundamental em uma bacia hidrográfica, auxiliando nos processos de interceptação da água da chuva, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração que resulta no abastecimento dos lençóis freáticos e corpos d'água (FAUSTINO et al., 2014).

Para Silva et al. (2017), a análise de uso e ocupação do solo, associada as características morfométricas e a precipitação, proporcionam informações a respeito do diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica, uma vez que, medidas de proteção à vegetação e de manejo adequado do uso e ocupação do solo favorecem a conservação dos recursos hídricos de uma bacia, seja quantitativamente ou qualitativamente. Além do mais, Santos et al. (2012) e Silva et al. (2016), descrevem que a avaliação do comportamento hidrológico associado ao aumento ou diminuição de impactos ambientais em bacias hidrográficas são obtidas por meio das características morfométricas.

Diante dessas perspectivas, aliadas ao avanço das técnicas de sensoriamento remoto e utilização do geoprocessamento, o levantamento de dados relacionados à precipitação, morfometria e do uso e ocupação do solo, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e de imagens SRTM (do inglês, Shuttle Radar Topography Mission), tem contribuído para a extração dessas informações ambientais, favorecendo a interpretação do espaço geográfico e na obtenção de informações espaciais importantes à conservação e gestão dos recursos naturais (FRAGA et al., 2014; SILVA et al, 2016; ALVES et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019).

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho analisar o uso e ocupação do solo, a morfometria, o comportamento da precipitação e a vulnerabilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú, localizada no nordeste do estado do Pará, por meio de geotecnologias, com intuito de fornecer subsidio à gestão dos recursos hídricos, a pesquisadores e demais interessados de áreas correlatas.

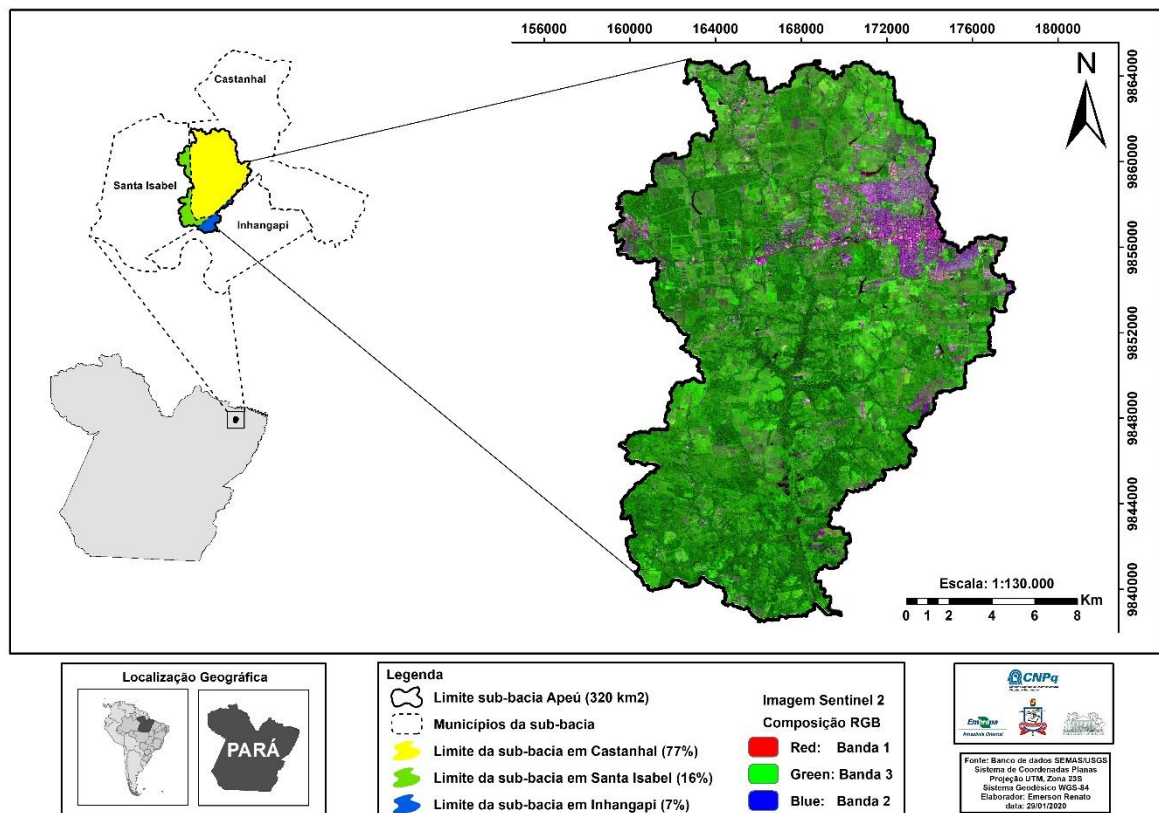
3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do rio Apeú (SBHRA) está localizada na região nordeste do Estado do Pará (figura 1), ocupando uma área de aproximadamente 320 km² (VALE, 2017). Esta sub-bacia situa-se entre os municípios de Castanhal, Santa Isabel do Pará e Inhangapi, sendo sua maior área (aproximadamente 77%) situada no município de Castanhal (SOUZA, 2011; VALE, 2017).

A SBHRA apresenta em sua área diferentes logradouros, tais como, vilarejos, povoados, fazendas, agrovilas, etc, onde são desenvolvidas atividades rurais e urbanas, tendo como destaque a agricultura, a pecuária e a extração mineral. Recentemente os loteamentos residenciais vem configurando-se como principal causador da transformação da paisagem nos limites da sub-bacia (VALE et al., 2017).

Figura 1- Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima do tipo Af – Clima Tropical Úmido, caracterizada por ocorrências de precipitação durante todos os meses do ano

e sem estação seca. Possui uma média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superior a 18°C (ALVARES et al., 2013).

3.2.2 Delimitação e características morfométricas da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

A delimitação da SBHRA foi realizada a partir dos dados georreferenciados do relevo da área em questão, os quais são derivados de produtos da missão SRTM, com resolução espacial de 30m, disponibilizado de forma gratuita na base de dados da missão SRTM pela Earth Resources Observation and Science/United States Geological Survey (EROS/USGS). Assim, para realizar o processamento utilizou-se a ferramenta TauDEM (do inglês, Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), versão 5.3, que se constitui em uma extensão gratuita que pode ser instalada no programa QGIS®.

De posse da delimitação da sub-bacia e dos demais resultados, oriundos desse processo, foram obtidas as variáveis utilizadas para determinação dos índices morfométricos da SBHRA.

A morfometria é o ramo da morfologia que analisa o relevo por meio de um conjunto de variáveis e índices quantitativos (FLORENZANO, 2008). Assim, a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica é definida como o estudo morfométrico de bacias hidrográficas. Sendo de fundamental importância para o entendimento do comportamento hidrológico de uma bacia, uma vez que, as variáveis morfométricas caracterizam-se como bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (VALE, 2017).

As características morfométricas podem ser divididas em: características da rede de drenagem, do relevo e geométricas (TONELLO, 2005). A análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú foi desenvolvida com base nas características geométricas, de relevo e dos canais de drenagem. Assim, na tabela 1 encontra-se a divisão dos índices morfométricos e respectivas descrições das equações.

Tabela 1- Principais índices das características morfométricas de uma bacia hidrográfica.

Índices morfométricos	Equações	Descrição	Fonte
Características Geométricas			
Coefficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	P = Perímetro (km) A = Área da bacia (km ²)	Vilela e Mattos (1975)
Fator de forma (F)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	A = Área da bacia (km ²) L = Comprimento da bacia (km)	Horton (1945)
Características de Relevo			
Amplitude altimétrica (Hm)	$Hm = Amáx - Amín$	A _{máx} = Altitude máxima (m) A _{mín} = Altitude mínima (m)	Strahler (1952)
Declividade	-	%	Embrapa (2013)
Características da Rede de Drenagem			
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt = Comprimento total de todos os canais de drenagem (km) A = Área da bacia (km ²)	Horton (1945)
Ordem dos cursos de água	-	Rank hierárquico	Strahler (1952)

Fonte: Adaptado de Tonello (2005).

3.2.3 Classificação do uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

A classificação é um dos processos fundamentais no processamento digital de imagens, com uma frequente utilização em mapeamentos temáticos, em específico, na elaboração de mapas de uso e ocupação do solo. O processo de classificação de imagens pode ser realizado de algumas maneiras, entre as quais tem-se, a classificação visual, automática ou semi-automática (a classificação automática pode ser supervisionada ou não-supervisionada) e a classificação pixel-a-pixel ou contextuais, quando realiza-se a segmentação da cena (RIBEIRO et al., 2009).

Para realizar a discriminação dos tipos de uso e ocupação do solo, presentes na SBHRA, foram obtidas imagens do produto do sensor MSI, satélite Sentinel-2, que possui como características ser de órbita heliossíncrona circular, com resolução radiométrica de 12 bits, resolução temporal de 10 dias, resolução espectral de 13 bandas e uma resolução espacial de 10 metros. Seus dados são disponibilizados de maneira gratuita no site da USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), e a cena selecionada data do dia 25 de junho de 2018, tendo como critério de seleção a época de menor cobertura de nuvens, pois favorece os processos de classificação da imagem.

A imagem foi submetida ao método de classificação supervisionado, para o qual, o analista necessita ter conhecimento prévio sobre os alvos para fornecer amostras ao sistema/software (RODRIGUES et al., 2016). Assim, foi realizado o levantamento de oito pontos de referência, por meio de um GPS (Garmin, GPSMAP®, série 78), em quatro campanhas entre os anos de 2018 e 2019 (tabela 2).

Tabela 2- Pontos de referência, suas descrições, coordenadas geográficas e campanhas de campo.

Pontos de referência	Descrições prévias dos alvos	Latitude (S)	Longitude (W)	Campanhas (mês/ano)
P1	Fazenda 01	1°13'41"	47°58'46.7"	Setembro/2018
P2	Fazenda 01	1°13'43.2"	47°58'19.8"	
P3	Balneário Apeú	1°17'57.4"	47°59'6.3"	Novembro/2018
P4	Fazenda 02	1°19'37.7"	47°58'42.1"	
P5	Agrovia Boa Vista	1°21'12.5"	47°59'11.8"	Fevereiro/2019
P6	Agrovia Macapazinho	1°23'24.5"	47°59'10.0"	
P7	Bar e lanchonete	1°26'56.3"	47°58'38.4"	Abril/2019
P8	Ponte Exutório	1°27'18.6"	47°58'16.1"	

Fonte: Autoria própria.

De posse da imagem, todos os procedimentos de Processamento Digital de Imagens (PDI) foram realizados no software livre QGIS (versão 3.4). Inicialmente a imagem foi submetida aos processos de correções atmosférica e radiométrica, necessários para reduzir os ruídos causados principalmente por agentes atmosféricos durante o processo de captação de informações, por meio do complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP).

Posteriormente as correções, a imagem foi submetida ao processo de classificação, para o qual foi utilizado o complemento dzetsaka: Classification tool, que possui como principais características a simplicidade e agilidade aliadas à um excelente produto de classificação. Para a classificação foram coletadas um total de 170 amostras (30 amostras para as classes de vegetação densa, vegetação secundária, vegetação rasteira, solo exposto e 50 amostras para classe de corpos d'água), referente as principais classes a serem discriminadas no mapa de uso e ocupação do solo, e aplicado o modelo de classificação mistura gaussianas. A validação da classificação foi realizada com base no índice de Kappa, proposto por Landis et al. (1997), com uma variação da acurácia da classificação de 0 a 1, sendo que cada intervalo do índice possui uma concordância em relação a classificação realizada (tabela 3).

Tabela 3- Valores de referência do Índice Kappa.

Índice Kappa	Concordância
<0,00	Péssima
0,00 a 0,20	Ruim
0,20 a 0,40	Razoável
0,40 a 0,60	Bom
0,60 a 0,80	Muito Bom
0,80 a 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis et al. (1997).

3.2.4 Dados de precipitação

Com o intuito de obter informações sobre o comportamento e a espacialização do quantitativo de precipitação dentro dos limites da SBHRA, para o presente trabalho foram utilizados dados mensais do produto CHIRPS disponíveis de maneira gratuita nos respectivos sites: ftp://chg-ftpout.geog.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/tifs/ e earlywarning.usgs.gov/fews/datadownloads/Global/CHIRPS%202020. O produto CHIRPS é desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB), com resolução espacial de aproximadamente 5 km (0,05 ° x 0,05 °) e um produto que mescla dados estimados por satélite e observacionais por estações, com dados diários, pentadados e mensais (FUNK et al., 2015).

Para poder realizar a comparação e relação entre as classes de uso do solo e morfometria com o comportamento da precipitação na sub-bacia, foram adquiridos os valores de precipitação do produto CHIRPS para os respectivos anos das campanhas mencionadas anteriormente (2018 e 2019). Para extração dos valores de precipitação foi utilizado linguagem de programação R, por meio do software livre Rstudio. De posse dos valores extraídos, no software livre QGIS (versão 3.4), foi realizada a interpolação por Krigagem da precipitação acumulada média, assim como, para os respectivos períodos chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro).

3.2.5 Determinação da vulnerabilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

Tendo como objetivo obter informações a respeito do atual comportamento, em função dos processos de uso e ocupação do solo, na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú (SBHRA), foi elaborado o mapa de vulnerabilidade ambiental da SBHRA. Para o qual, foram utilizados além

das informações de mapa do uso e ocupação do solo, morfometria (em específico as informações de declividades) e a precipitação, os dados de tipo de vegetação, geologia e pedologia.

De acordo com Costa et al. (2006), a importância do tipo de vegetação está relacionada a estrutura das redes e teias alimentares, além do estágio de fitossucessão e a biodiversidade (dados obtidos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO). Enquanto que as variáveis tipo do solo e geologia, obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do projeto RADAM, relacionam-se com a morfogênese e pedogênese. Por outro lado, a declividade fornece informações a respeito da susceptibilidade à erosão, que tende a ser maior à medida que se aumenta a inclinação do relevo, associando-se a importância da utilização dos dados de precipitação e sua contribuição as alterações do relevo (CREPANI et al., 2001), que foram obtidos através do produto CHIRPS (para os anos de 2018 a 2019).

O cruzamento das variáveis, citadas anteriormente, foi efetuada no software livre QGIS (versão 3.4), por meio da técnica de álgebras de mapas, para identificação da intensidade e distribuição da vulnerabilidade ambiental na área da SBHRA. Onde, a operação dos dados foi realizada com base no modelo estabelecido por Crepani et al. (2001), onde o grau de vulnerabilidade atribuído para cada variável é distribuído em uma escala de 1,0 a 3,0. Onde valores de 1,0 indicam um ambiente estável; valores próximos de 2,0 indicam situações intermediárias, ou seja, ambientes com equilíbrio/intermediário; e a instabilidade está associada ao valor 3,0, indicando ambientes instáveis, caracterizados pelas alterações do relevo (tabela 4).

Tabela 4- Graus de vulnerabilidades das variáveis geoambientais da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.

Pedologia	GV*	Uso do Solo**	GV	Precipitação (mm/ano)	GV	Declividade	GV
Latossolo	1	VD	1	3400-3600	2	0-2	1
Geologia		VS	1,5	Vegetação		2-6	1,5
Grupo Barreiras	2	VR	2	Floresta Densa Aluvial	1	6-20	2
Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica	3	SE	3	Vegetação Secundária	1,5	20-50	2,5
				Área Antropizada	3		

Nota: *GV: Grau de vulnerabilidade; **VD: vegetação densa, VS: Vegetação secundária, VR: Vegetação rasteira, SE: Solo exposto.

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Após o cruzamento das variáveis geoambientais selecionadas (pedologia, geologia, declividade, uso do solo, precipitação e tipo de vegetação), foi calculada a média aritmética dos valores de vulnerabilidade de cada variável. Este resultado aritmético foi organizado em cinco classes de vulnerabilidade ambiental, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5- Média aritmética para as classes de vulnerabilidade ambiental.

Média		Vulnerabilidade Ambiental
↑ VULNERABILIDADE	2,7 – 3,0	Muito alta
	2,3 – 2,6	Alta
	1,8 – 2,2	Média
	1,4 – 1,7	Baixa
	1 – 1,4	Muito baixa
	ESTABILIDADE ↓	

Para o cálculo final da vulnerabilidade ambiental foi aplicado o método de ponderação de fatores, permitindo ao analista determinar importância relativa de cada fator dentro da área de estudo (COSTA et al., 2006). Ainda segundo Costa et al. (2006), o maior peso atribuído a variável uso do solo em relação as demais, está associado ao objetivo de demonstrar melhor as especificidades de uma determinada área em relação ao grau e tipo de antropização, conforme demonstrado na equação abaixo:

$$\text{Vulnerabilidade Ambiental} = 0,1 * \text{Pedologia} + 0,1 * \text{Precipitação} + 0,1 * \text{Vegetação} + 0,1 * \text{Declividade} + 0,1 * \text{Geologia} + 0,50 * \text{Uso do Solo}$$

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Características morfométricas da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

As características morfométricas da SBHRA são apresentadas na tabela 6. Nota-se que os resultados apresentaram similaridade com os obtidos por Vale (2017), que desenvolveu o trabalho de análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, visando o subsídio ao planejamento ambiental da sub-bacia.

Diante disso, pode ser observado na tabela 6, que a sub-bacia do rio Apeú possui uma área de aproximadamente 320 Km² e ocupa um perímetro de 152,54 quilômetros, tendo como curso principal o igarapé Apeú, que segundo a classificação hierárquica proposta por Strahler (1952), é de 5ª ordem. O

processo de classificação dos cursos d'água da rede de drenagem de uma bacia é denominado de hierarquia fluvial e, tem como finalidade facilitar os estudos morfométricos sobre a respectiva bacia (VILELA FILHO et al., 2005; MENDES, 2018).

Tabela 6- Valores dos índices morfométricos da sub-bacia do rio Apeú.

Índices	Resultados	Unidades
Área total (A)	320	Km ²
Perímetro total (P)	152,54	Km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,47	-*
Fator de forma (Kf)	0,23	-
Amplitude altimétrica (Hm)	65	m
Densidade de drenagem (Dd)	0,47	Km/Km ²
Hierarquia	5ª Ordem	-
Padrão de drenagem	Dendrítica	-

Nota: *Índices adimensionais.

Fonte: Autoria própria.

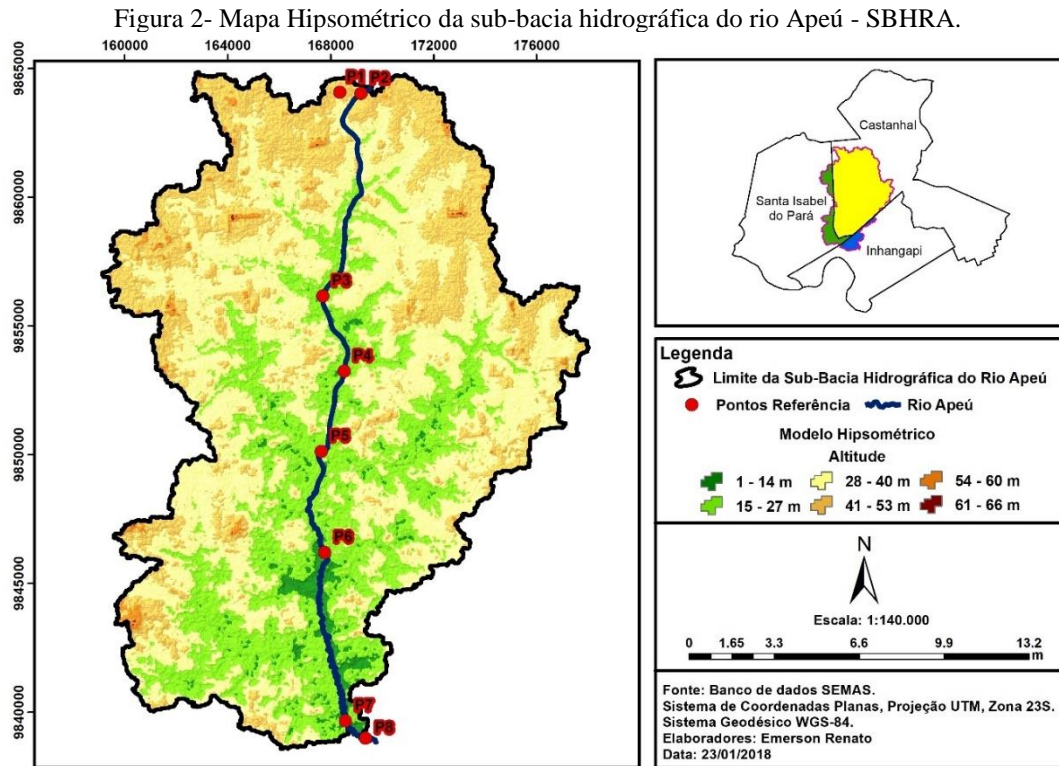
Por meio do coeficiente de compacidade e o fator de forma encontrados para a sub-bacia do rio Apeú, respectivamente 1,47 e 0,23, demonstra-se que a bacia apresenta forma retangular e alongada, conferindo à sub-bacia baixa suscetibilidade a ocorrências de enchentes, excluindo casos de eventos extremos de precipitação. Ao analisar o coeficiente de compacidade e o fator de forma da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, no município de Capitão do Poço, noroeste do Estado do Pará, Rodrigues et al. (2016) encontraram um formato mais alongado favorecendo o escoamento na bacia.

Para uma bacia ou sub-bacia, o sistema de drenagem é constituído pelo canal principal e seus afluentes. O padrão de drenagem vai depender da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia, clima e irá influenciar no comportamento hidrológico de toda área da sub-bacia. Assim, o padrão encontrado para a sub-bacia do rio Apeú é o dendrítico. Este tipo de drenagem é característico de um controle estrutural realizado por sedimentos horizontais ou rochas cristalinas homogêneas (SUMMERFIELD, 1991).

Conforme Christofolletti (1980), a associação entre a vegetação, o clima e a sua composição litológica resultam na densidade de drenagem, e influência diretamente na dinâmica de uma bacia hidrográfica. Este índice, segundo Villela et al. (1975), varia de 0,5 km/km² (bacias mal drenadas) a 3,5 km/km² (bacias bem drenadas). A sub-bacia hidrográfica do rio Apeú apresenta uma drenagem pobre, com uma densidade de drenagem de 0,47 km/km², ou seja, possui capacidade mediana de gerar novos cursos d'água, caracterizando um escoamento superficial razoavelmente baixo (VILLELA et al., 1975; BELTRAME, 1995; LOLLO, 1995).

Segundo Mendes (2018) as características morfométricas relacionadas ao relevo são importantes por estarem diretamente ligadas as características do escoamento superficial e da drenagem de uma bacia. Pois o conhecimento do escoamento é de elevada significância quanto ao ciclo hidrológico, por referir-se ao transporte da água na superfície terrestre, sabendo que normalmente os

estudos hidrológicos referem-se ao aproveitamento da água superficial e a proteção quanto aos efeitos desse deslocamento (MENDES, 2018). Assim, é possível observar na figura 2 a hipsometria da sub-bacia do rio Apeú e, que as partes mais elevadas da sub-bacia encontram-se em suas cabeceiras e extremidades, favorecendo o escoamento das partes mais altas para o leito principal que é o rio Apeú.



Fonte: Autoria própria.

A tabela 7 apresenta a porcentagem de ocorrência para cada faixa de altitude na área em estudo. É possível verificar que cerca de 64,45% do relevo do local atinge até 40 m de altitude. Em termos de características de relevo a bacia do rio Apeú apresenta altitude mínima (Amín) de 1 m e altitude máxima (Amáx) de 66 m. A amplitude altimétrica (Hm) calculada é de 65 m, o que indica que esta sub-bacia apresenta relevo plano.

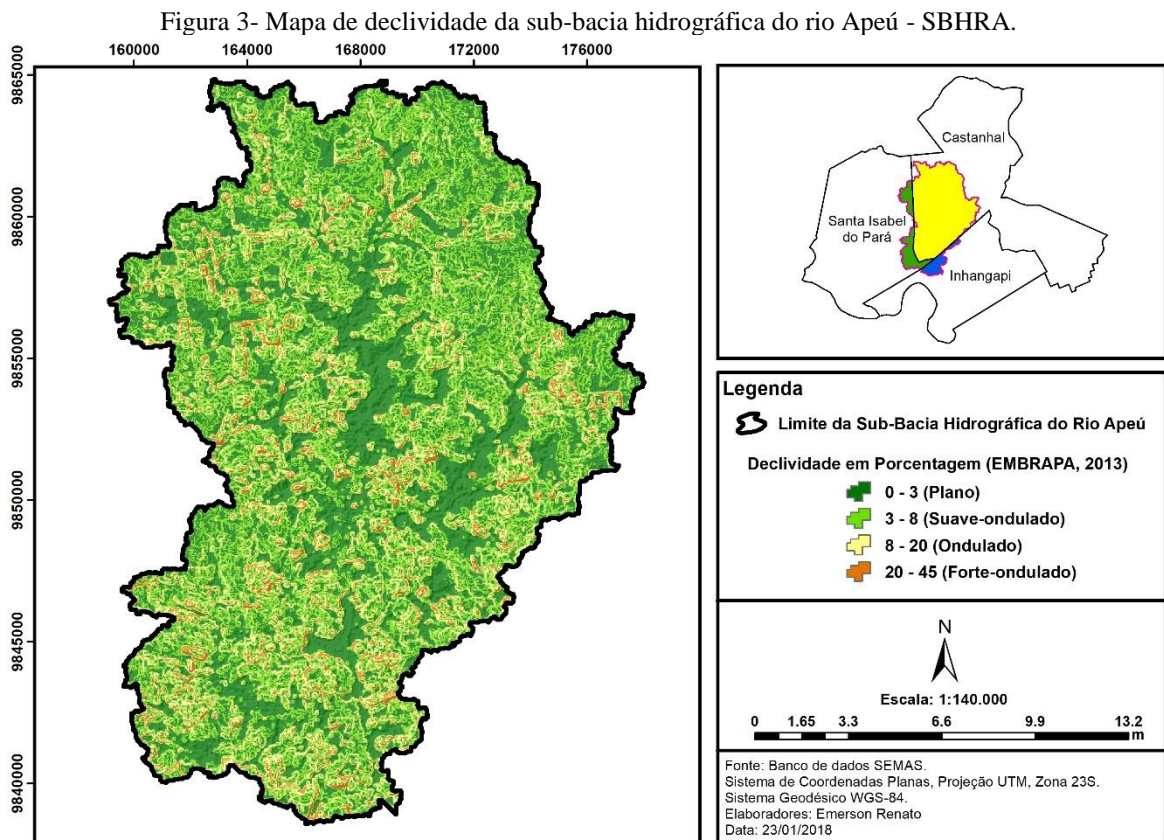
Tabela 7- Características do relevo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.

Intervalos de Altitude	Nº de ocorrências	Porcentagem de ocorrência (%)
1 – 14 m	299	15.48
15 – 27 m	350	18.12
28 – 40 m	596	30.85
41 – 53 m	506	26.19
54 – 60 m	133	6.88
61 – 66 m	48	2.48
Total	1.932	100%

Fonte: Autoria própria.

Para Castro et al. (2001), a importância da altitude de uma bacia está diretamente relacionada à quantidade de radiação que a bacia recebe, refletindo na evapotranspiração, temperatura e precipitação. Assim, a análise hipsometria de uma bacia hidrográfica é um fator muito importante, pois as informações das altitudes iram contribuir para o entendimento da dinâmica da temperatura (evapotranspiração) e nos efeitos da precipitação (escoamento superficial e infiltração) na região onde se encontra a bacia (VILLELA et al., 1975).

A figura 3 apresenta a declividade da sub-bacia do rio Apeú. Por meio do mapa percebe-se que a sub-bacia em sua grande maioria é plana e suave-ondulada com declividades variando de 0 a 45 %, de acordo com os limites estabelecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), nas regiões com maior declividade os valores variam de 8 a 20% (ondulado) e 20 a 40% (forte-ondulado). Logo, espera-se uma menor velocidade de escoamento e tempo de concentração (Tc) maior (MENDES, 2018).



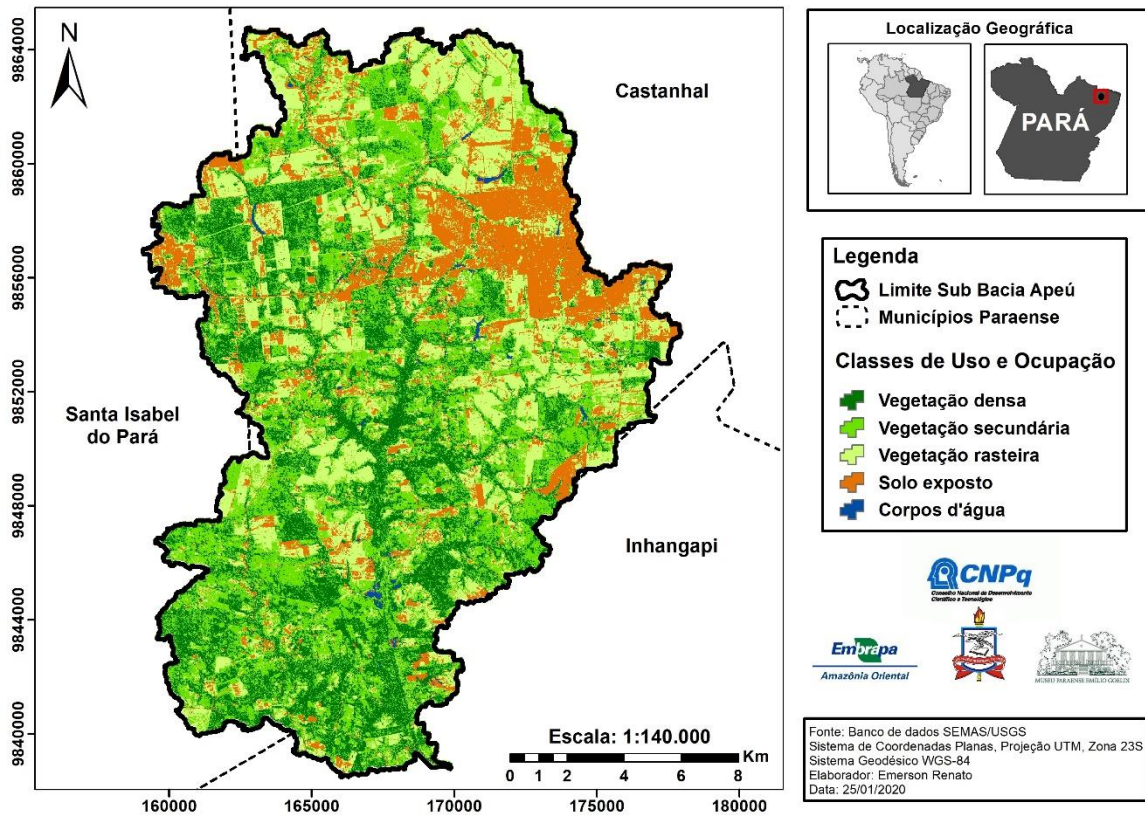
Fonte: Autoria própria.

Para realizar o planejamento e manejo adequado do uso e ocupação em uma bacia é fundamental o conhecimento das áreas elevadas e declivosas (SANTOS et al., 2007). Partindo desse ponto de vista, Feitosa et al. (2011) elucidam que a bacias com baixas declividades contribuem para uma maior resistência à ação da precipitação, levando à maior estabilidade do solo e a diminuição dos riscos de erosão.

3.3.2 Uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

A figura 4 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo presente na SBHRA. É importante ressaltar que o resultado referente à validação da classificação apresentou índice Kappa de aproximadamente 0,90, demonstrando uma alta precisão no processo de classificação da imagem de satélite. Foram identificadas cinco classes de uso e ocupação na ABHRA, são estas: vegetação densa, vegetação secundária, vegetação rasteira (formada por pastagens e culturas), solo exposto (composta por áreas urbanas e solo sem cobertura vegetal) e corpos d'água (lagos e açudes).

Figura 4- Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.



Fonte: Autoria própria.

Uma análise qualitativa do mapa (figura 4) mostra que a vegetação rasteira (pastagem e culturas) e solo exposto (área urbana e solo sem cobertura vegetal) são usos com presenças acentuadas na bacia. As visitas em campo comprovaram as informações expostas no mapa, onde foi possível observar uma vasta presença de pastagem, principalmente na região norte/nordeste da bacia, assim como o destaque para grande presença de área urbana oriunda do núcleo urbano do município de Castanhal-PA.

A classe de solo exposto, referente a área urbana, são reflexos do histórico de ocupação (final da década de 80 e início da década de 90) oriundos da construção dos primeiros conjuntos habitacionais às margens da Avenida Barão do Rio Branco que, atualmente promove o acesso ao distrito do Apeú ao centro urbano de Castanhal. Outros aspectos que contribuíram para o crescimento das áreas urbanas nos limites da sub-bacia são resultados das vendas de propriedades rurais, levando aos pequenos produtores se estabelecerem em habitações nas áreas periféricas dos pequenos centros urbanos de Santa Izabel e Castanhal, principalmente, nos atuais distritos de Apeú e Americano, o que acarretou no crescimento da área urbana destes municípios (VALE et al., 2017).

O avanço das áreas urbanas, normalmente sem o acompanhamento de infraestrutura, reflete na capacidade de infiltração de água no solo, levando ao aumento do escoamento superficial, a concentração das enxurradas e a ocorrência de cheias. Além disso, a urbanização afeta o ciclo hidrológico, interferindo no armazenamento e nos percursos das águas (CHRISTOFOLETTI, 2012).

A presença da pastagem está associada à principal atividade econômica desenvolvida na área da sub-bacia, em destaque a pecuária do gado de corte e produção de leite, pois a maioria das fazendas (cerca de 80%) tem estas práticas como principal atividade produtiva (VALE et al., 2017). Os referidos autores ainda descrevem que as principais culturas desenvolvidas na sub-bacia são de culturas temporárias como o feijão, a mandioca, o milho, e de culturas perenes como o mamão, a pimenta-doreino e o dendê.

As classes de vegetação densa e vegetação secundária apresentaram-se com maior predominância na área em estudo em relação as demais, principalmente na porção sul da bacia e no trecho do rio, como mostra a figura 4. Em relação à vegetação densa e secundária, apesar de serem visivelmente mais presentes, é possível observar que são suprimidas pelas classes de vegetação rasteira e solo exposto, o que se configura em um cenário ambientalmente preocupante. Conforme resultados encontrados nas pesquisas de Rodrigues et al. (2019) e Alves et al. (2019), uma vez que, a presença de vegetação favorece a proteção dos recursos hídricos e do solo frente a contaminação, descompactação de partículas do solo e processos erosivos.

Também foi realizada uma análise quantitativa sobre as formas de uso e ocupação da sub-bacia, conforme apresentado na tabela 8, corroborando ao descrito na análise qualitativa do uso e ocupação.

Tabela 8- Quantificação das classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.

Classes de Uso e Ocupação	Área (km²)	Área (%)
Vegetação densa	70,01	22,94
Vegetação secundária	98,61	32,31
Vegetação rasteira	82,52	27,04
Solo exposto	51,66	16,93
Corpos d'água	2,40	0,79
Total	305,20	100

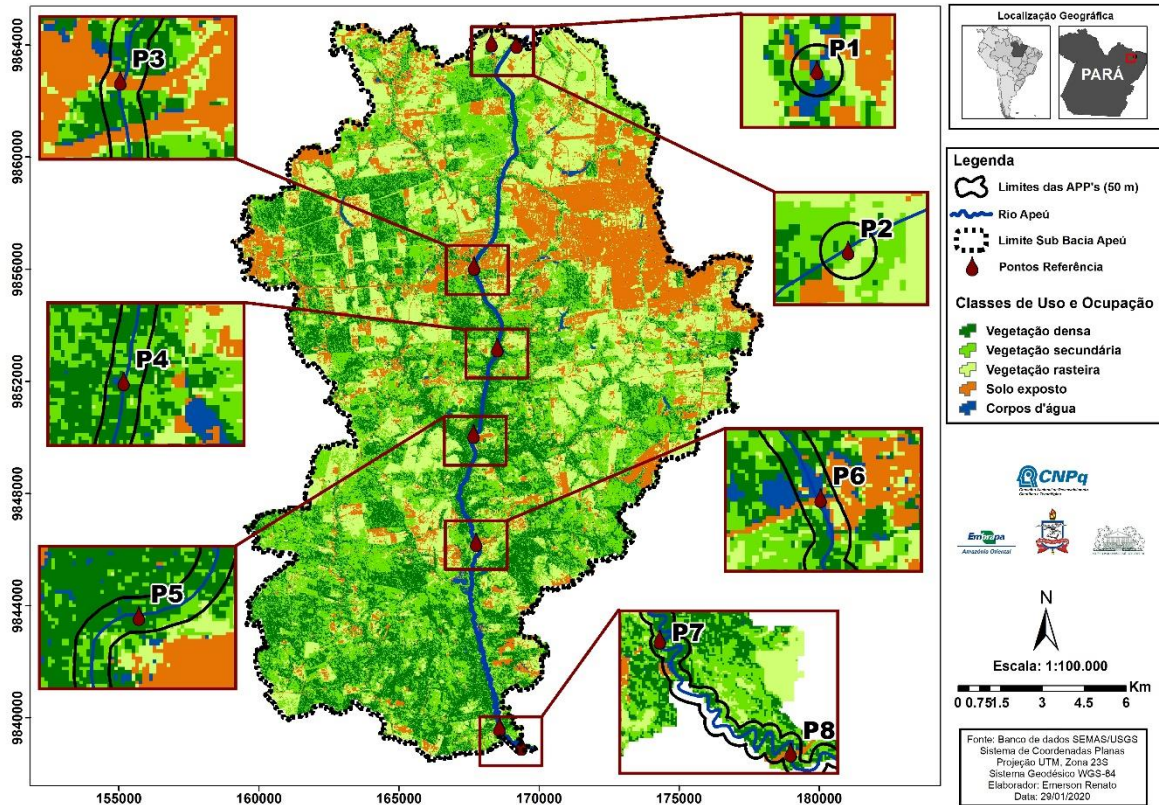
Fonte: Autoria própria.

Segundo o Novo Código Florestal é recomendado que a área de vegetação em uma propriedade ocupe aproximadamente 20% do valor da área (BRASIL, 2012). Dessa maneira, por meio da tabela 8 e figura 4, pode-se afirmar que a sub-bacia do rio Apeú não apresenta déficit de vegetação, isto porque apresenta uma área de vegetação densa de aproximadamente 22,94% e vegetação secundária de 32,31%. Isso demonstra que a sub-bacia apresenta áreas em processos de sucessão, pois de acordo com a Resolução N° 243 de 2010, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2010), a vegetação secundária resulta dos processos naturais de sucessão, após a remoção/supressão total ou parcial da vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais. Supressão essa, encontrada em trabalhos já realizados na sub-bacia do Apeú, como de Vale et al. (2017) e Vale (2017), em que através da análise multitemporal do uso e ocupação observaram uma redução da vegetação de 49,93% (em 1985), para 36,58% (em 2000) e 20,21% (em 2015).

Porém, analisando a tabela 8, observa-se que as classes de vegetação rasteira (pastagem e culturas) e solo exposto (área urbana e solo sem cobertura vegetal) somam aproximadamente 44% da área da bacia, situadas predominantemente na porção norte/nordeste da bacia (regiões em que possuem nascentes). Caracterizando-se como áreas com ausência de vegetação, comprometendo a qualidade ambiental do ambiente resultando na degradação ambiental do mesmo (RODRIGUES et al., 2019).

Na figura 5 é apresentado o resultado do mapeamento das áreas de preservação permanente (APP) na bacia, levando em consideração os pontos de referências levantados em campo. Foi utilizado como referência os limites propostos pelo Código Florestal, que estabelece em suas diretrizes limites de APP para nascentes um raio de 50 metros e para cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de larguras uma APP de 50 metros (BRASIL, 2012).

Figura 5- Descrição dos principais tipos de uso dos pontos de referência na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA.



Fonte: Autoria própria.

Verifica-se nos pontos 1 e 2 regiões críticas (com menos cobertura vegetal) e uma predominância de vegetação as margens do rio Apeú a partir do quarto ponto de referência seguindo em direção à foz do rio Apeú no município de Inhangapi (tabela 9). Silva et al. (2017), ponderam que a vegetação exerce influência direta na qualidade das águas, nos arredores da bacia e áreas próximas aos cursos d’água.

Tabela 9- Descrição das principais classes por ponto de referência em relação a APP de 50m.

Pontos de referência	Classes de Uso e Ocupação nas APP's
P1	VR+SE
P2	VS+VR+SE
P3	SE
P4	VD+VS
P5	VD+VS
P6	VS+VR+SE
P7	VD+VS
P8	VD+VS

Nota: VD: Vegetação densa; VS: Vegetação secundária; VR: Vegetação rasteira; SE: Solo exposto.

Fonte: Autoria própria.

Nos pontos de referência 1 e 2 encontram-se as nascentes pertencentes ao curso d'água do rio Apeú. Observa-se, por meio da figura 5 e da tabela 9, a presença das classes de vegetação rasteira (VR) e solo exposto (SE) nos limites da área de preservação permanente, onde deveria ser composta por vegetação (mata ciliar/ripária), respeitando as normas do código florestal.

Seguindo a direção do fluxo do rio Apeú encontra-se o terceiro ponto de referência, localizado no distrito do Apeú, com presença de remanescentes florestais, mas, são suprimidos pela classe de solo exposta (SE), principalmente pela presença da urbanização. Em contrapartida, observa-se que no ponto 4, apesar de haver uma predominância de vegetação densa e secundária (VD e VS), em sua margem esquerda encontram-se presenças de vegetação rasteira e solo exposto próximos à área de APP.

Nos pontos 5 e 6 são observados em seus limites de APP's que as margens direitas de ambos os pontos apresentam maior presença das classes de vegetação densa e secundária, enquanto que em suas margens esquerdas é notória a presença da classe de vegetação rasteira e solo exposto. Resultados discriminados pelas campanhas de campo, onde a classe de solo exposto e vegetação rasteira do ponto 5 é constituída por grameiras e plantação de mandioca. Enquanto que, no ponto 6 a classe de solo exposto vista na margem esquerda refere-se ao núcleo urbano da agrovila de Macapazinho.

Em relação aos pontos 7 e 8, ambos possuem em seus limites de APP maior porcentagem das classes de vegetação densa e vegetação secundária. O que além de estar em concordância com o código florestal, favorece a conservação dos corpos hídricos.

A conservação e proteção das APP's às margens dos corpos hídricos de uma bacia hidrográfica garantem a estabilização das margens dos rios, contribuindo no controle da qualidade da água por auxiliarem no controle do escoamento superficial, que causa erosão e arraste de nutrientes e sedimentos para os cursos d'água (EUGENIO et al., 2011; SILVA et al., 2017).

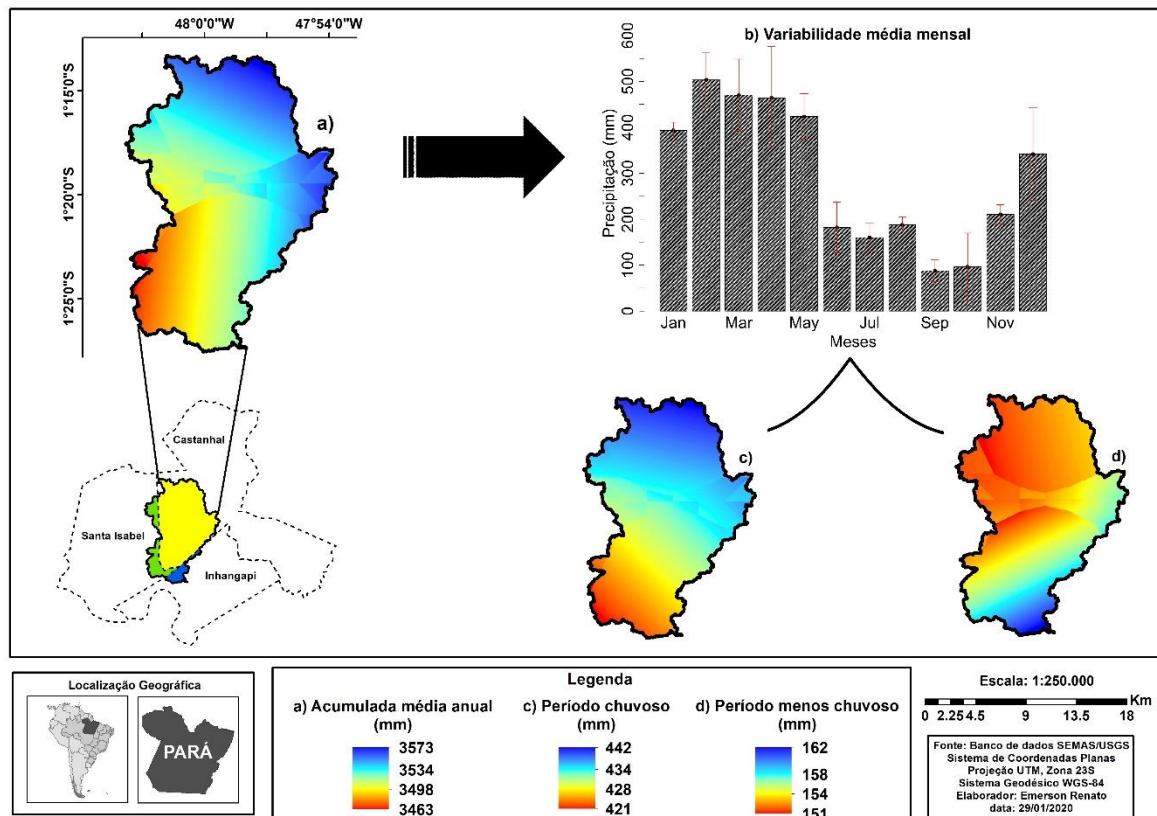
3.3.3 Análise da espacialização da precipitação na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

A integração dos objetivos relativos à conservação dos recursos naturais, biodiversidade e meio ambiente são apontadas por Silva et al. (2015), tendo em vista o planejamento e gerenciamento do uso e cobertura do solo objetivando a preservação e manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

Diante desse ponto de vista, associado aos aspectos e características descritos anteriormente, nesta secção do presente trabalho, será apresentado a integração das variáveis

morfométricas, do uso e ocupação do solo e da precipitação (distribuição espacial) na SBHRA. Assim, é apresentado na figura 6, a distribuição da precipitação acumulada média anual, considerando o período de 2018 a 2019 (referentes às campanhas de campo), assim como, a espacialização da precipitação dos períodos chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro) da região de estudo.

Figura 6- Distribuição espacial da: a) precipitação acumulada média anual, b) variabilidade média mensal, c) período chuvoso (dezembro a maio) e d) período menos chuvoso (junho a novembro) na SBHRA.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a precipitação acumulada média anual (figura 6a), tem uma distribuição dos maiores valores de precipitação nas porções norte e nordeste da sub-bacia, principalmente nas regiões de cabeceiras (presença das nascentes), atingindo valores superiores a 3.500 mm (máximo de 3.573 mm) e mínimos de 3.463 mm ao sul-sudeste da sub-bacia. Ao analisar a figura 2, referente a hipsometria da sub-bacia, observa-se as maiores altitudes nas mesmas porções onde encontram-se os maiores índices de precipitação e que, apresentam baixa presença de vegetação, composta principalmente pelas classes de vegetação rasteira e solo exposto (figura 4).

Rocha et al. (2001), descrevem que a relação entre a precipitação e infiltração na área da bacia de drenagem é influenciada pela declividade associada à cobertura vegetal, uso do solo

e que analisadas em conjunto estabelecem informações a respeito do grau de erosão presentes na bacia. Dessa maneira, com as informações de altitudes, declividade, uso e ocupação e precipitação, sugere-se que a parte norte da SBHRA pode apresentar condições desfavoráveis a infiltrações, favorecendo assim o escoamento superficial, resultando em erosão e carreamento de sedimentos e nutrientes às nascentes, assim como a supressão da vegetação remanescente.

Em relação ao comportamento da precipitação do período chuvoso (figura 6c), observa-se um comportamento análogo ao regime anual. Porém, o quantitativo da precipitação não apresentou diferenças significativas dentro da área da sub-bacia, com máximos e mínimos apresentando uma variação de 21 mm. Tal comportamento de maior precipitação, associada com o uso predominante da classe de solo exposto, ao norte da sub-bacia, ressaltam a sobrecarga aos remanescentes florestais, principalmente nas áreas de nascentes presentes na sub-bacia.

Vale ressaltar que mesmo a porção sul da sub-bacia apresentando maiores porcentagens de classes de vegetação, todos os efeitos e alterações descritos ao norte (cabeceiras) serão refletidos nas partes mais baixas da bacia. Assim como, reflexos nos corpos hídricos e no seu tributário principal. Partindo desse conhecimento, até o presente momento foi observado que os valores elevados de precipitação se concentram ao norte da sub-bacia, nas regiões de maiores altitudes, fazendo com que efeitos ocorridos à montante sejam refletidos a jusante da sub-bacia.

Além disso, o comportamento da precipitação no período menos chuvoso (Figura 6d) apresenta configuração oposta ao período chuvoso, isto é, os maiores acumulados de precipitação ao sul, com máximos de 162 mm, enquanto que os menores ao norte (mínimos de 151 mm). Essa distribuição favorece a análise não apenas da espacialização do acumulado médio, pois apesar de apresentar menor precipitação ao norte, a espacialização do período chuvoso e menos chuvoso permite um melhor conhecimento do comportamento da precipitação ao longo dos meses na sub-bacia, favorecendo as tomadas de decisões quanto à gestão e planejamento da sub-bacia.

3.3.4 Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú

Para que a análise de vulnerabilidade ambiental seja atrelada ao planejamento ambiental é essencial um estudo sistêmico de suas variáveis, proporcionando o conhecimento das áreas que necessitam maior preservação ou restrições e que carecem de ações diferenciadas por parte dos órgãos públicos (TROMBETA et al., 2014). Partindo desse posicionamento, as classes de vulnerabilidade ambiental da SBHRA e suas respectivas áreas estão distribuídas na tabela 10.

É possível observar que a classe com maior representatividade é a vulnerabilidade baixa, aproximadamente 39,85%, seguida das vulnerabilidades muito baixa e média, respectivamente 25,42% e 22,47%. Enquanto que 12,26% da área da SBHRA é representada pela classe de vulnerabilidade alta. Somando-se a vulnerabilidade muito baixa, baixa e média, observa-se que a maior parte da sub-bacia, cerca de 87,74%, está classificada dentro dessas classes de vulnerabilidade. Ou seja, a SBHRA correlaciona-se em sua maioria com áreas de menores riscos aos efeitos antrópicos (TREVISAN et al., 2018).

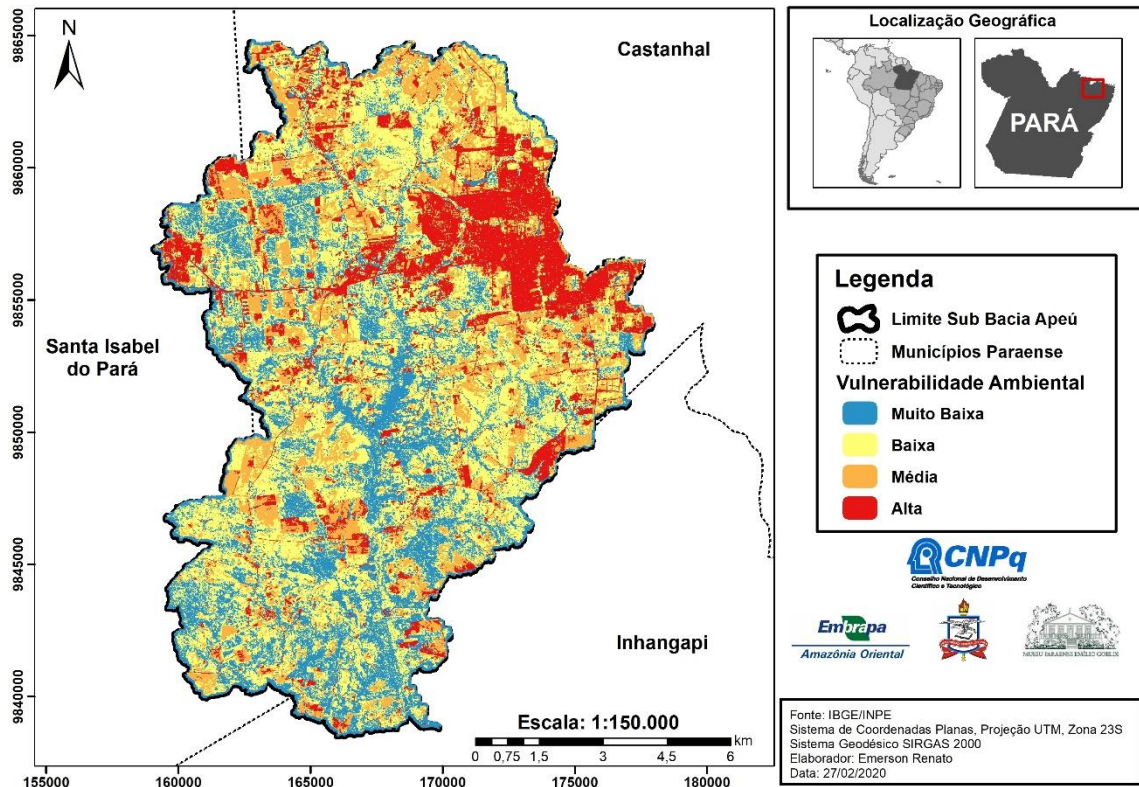
Tabela 10- Vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA

Vulnerabilidade Ambiental		
Classes	Área (km²)	Frequência (%)
Muito baixa	79,18	25,42
Baixa	124,14	39,85
Média	70,01	22,47
Alta	38,18	12,26
Total	311,51	100

Fonte: Autoria própria.

Por meio da espacialização das classes de vulnerabilidade ambiental da SBHRA (figura 7), observa-se que as áreas de vulnerabilidade muito baixa e baixa (aproximadamente 65,27% da área da SBHRA), distribuem-se conforme as classes de vegetação densa e secundária (com graus de vulnerabilidade baixos, respectivamente 1 e 1,5), apresentadas no mapa de uso e ocupação do solo (figura 4) e da tabela 8, que representam as maiores porcentagens de ocupação na área da SBHRA, representando aproximadamente 55,25% da área total da sub-bacia. Feições distribuídas principalmente nas regiões planas e próximas ao corpo hídrico principal (rio Apeú), caracterizadas principalmente pelo tipo de vegetação Floresta densa aluvial (GV=1) remanescentes florestais em estágios de sucessão ecológica ao sul da SBHRA (GV=1,5), ou seja, distribuem-se em áreas com menores ações antrópicas.

Figura 7- Mapa de vulnerabilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú – SBHRA.



Fonte: Autoria própria.

A categoria vulnerabilidade ambiental média, representando 21,88% da área da sub-bacia, está distribuída principalmente no compartimento de coberturas de vegetação rasteiras, que apresenta grau de vulnerabilidade 2, destacando-se as pastagens e culturas presentes nos limites da SBHRA (figura 4). Classes que exercem maior pressão sobre as unidades remanescentes de vegetação secundárias e as margens dos corpos hídricos, sendo amplamente distribuída nas partes de maiores declividades/altitudes da SBHRA (grau de vulnerabilidade 2,5), promovendo principais alterações sobre as unidades geoambientais, e que já se apresentam mais próximas as áreas de influências antrópicas.

Nas áreas de vulnerabilidade alta, aproximadamente 12,26%, destacam-se a localização das unidades geológicas da Cobertura Detrito Laterítica Pleistocênica (grau de vulnerabilidade 3) e dos núcleos urbanos da cidade de Castanhal e agrovilas, caracterizadas principalmente pela classe de uso e ocupação de solo exposta (GV=3) na SBHRA, composta pelas áreas urbanas e solos sem cobertura vegetal. Também caracterizada pelas classes de área antropizada, que possui grau de vulnerabilidade 3, e são situados principalmente à norte/nordeste da bacia, conforme mapa de uso e ocupação e de vulnerabilidade ambiental. Aspectos que resultam numa pressão negativa as características ambientais da sub-bacia e nas unidades geoambientais e, que

evidenciam a correlação, mas acentuada às áreas de altos riscos aos efeitos da ocupação antrópica (COSTA et al., 2006; TREVISAN et al., 2018).

3.4 Conclusão

A determinação do índice de vulnerabilidade ambiental permitiu analisar o estado atual, em relação as alterações causadas pelas ações antrópicas na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú (SBHRA), além de correlaciona-la com as informações morfométricas, de uso e ocupação do solo e da precipitação, encontradas na área de estudo.

A associação e discussão integrada apresentadas no presente trabalho, para a SBHRA, contribuem de maneira significativas para os conhecimentos das características do comportamento da precipitação, afetando principalmente as áreas ao norte/nordeste da SBHRA, que apresentaram maiores alterações por conta dos tipos de uso e ocupação do solo, assim como, maiores altitudes e maiores índices de precipitação (no período em estudo de 2018 a 2019). Foi possível também observar, que em muito dos pontos de referências, os limites de APP's não eram preservados, contribuindo assim para a degradação e alteração dos recursos naturais da SBHRA, em destaque a degradação do rio Apeú (corpo hídrico principal da sub-bacia).

As informações apresentadas inicialmente, cruzadas com as variáveis geologia, pedologia e tipo de vegetação, permitiram a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da SBHRA. Diante disso, é possível observar que, em termos quantitativos (frequência), a SBHRA apresenta 65,27% de sua área com distribuição de vulnerabilidades baixos e muito baixos. Porém, é nítido por meio da representação cartográfica da vulnerabilidade, uma distribuição acentuada dos fragmentos de vulnerabilidade médio, principalmente correlacionados as classes de pastagens e culturas, distribuídas quase sempre próximos às áreas de vegetação secundária ou densa, seguida pela distribuição da vulnerabilidade alta, correlacionada com às áreas antrópicas (núcleos urbanos), caracterizando a necessidade de ações frente a esses avanços de instabilidades ambientais na SBHRA.

Além disso, discussões e estudos relacionados a vulnerabilidade ambiental favorecem as tomadas de decisões frente a conservação e sustentabilidade dos recursos naturais, levando em consideração a capacidade de suporte de cada variável dentro do ecossistema, relacionadas principalmente as características específicas de cada ambiente natural. Fortalecendo a utilização, indiscutível, da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.1-18, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, W. S.; MORAIS, W. A.; MARTINS, A. P.; AQUINO, D. S.; PEREIRA, M. A. B.; SALEH, B. B. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.03, p.1093-1113, 2019.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. 1 ed. Florianópolis: UFSC, 1995.

BRASIL. **Lei n.9433** de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF: DOU, 1997.

BRASIL. **Lei n.12651** de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. Brasília, DF: DOU, 2012.

CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa – MG: Centro de Produções Técnicas, 2001. 84p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 31-45.

CONAMA. Resolução n.423 de 12 de abril de 2010. **Dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica**. Brasília,DF: CONAMA, 2010.

COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. S.; MEDEIROS, C. N. Determinação da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando Sistemas De Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.2, p.119-127, 2006.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília,DF: EMBRAPA, 2013.
- EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; PIMENTEL, L. B.; MOULIN, J. V. Identificação das áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Cerne**, v.17, n.4, p.563-571, 2011.
- FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v.26, n.2, p.18-30, 2014.
- FEITOSA, T. B.; IOST, C. Dinâmica hidrossedimentológica de duas sub-bacias hidrográficas localizadas no Estado do Tocantins. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambiental**, v.9, n.2, p.21-129, 2011.
- FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia. **Nativa**, v.02, n.04, p.214-218, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n04a05>.
- FUNK, C. PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with Stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v.2, p.150066, 2015.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **International Biometric Society**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.
- LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995, 267f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- MENDES, A. T. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.03, p.973-986, 2018.
- RIBEIRO, B. M. G.; KUX, H. J. H. Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo: métodos de análise de expansão urbana. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais[...]**. Natal, 2009. p. 7893-7900.
- ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4 ed. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2001.

RODRIGUES, B. M.; OSCO, L. P.; ANTUNES, P. A.; RAMOS, A. P. M. Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.03, p.738-753, 2019.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.3, p.143-150, 2016.

RODRIGUES, M. T.; CARDOSO, L. G.; CAMPOS, S.; RODRIGUES, B. T.; BARROS, Z. X. Comportamento do Software Terraview na Classificação Supervisionada em Diferentes Bacias. **Energ. Agric**, v.31, n.3, p.282-290, 2016.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do Córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.931-940, 2007.

SANTOS, D. B.; VIDOTTO, M. L.; BERTINATTO, R.; SOUZA MARCON, G. R.; FRIGO, E. P. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.2, p.7-18, 2012.

SILVA, C. J. da; SOUZA, K. N. S.; IKEDA-CASTRILLON, S. K.; LOPES, C. R. A. S.; NUNES, J. R. S.; CARNIELLO, M. A.; MARIOTTI, P. R.; LAZARO, W. L.; MORINI, A.; ZAGO, B. W.; FAÇANHA, C. L.; ALBERNAZ-SILVEIRA, R.; LOUREIRO, E.; VIANA, I. G.; OLIVEIRA, R. F.; CRUZ, W. J. A.; ARRUDA, J. C.; SANDER, N. L.; FREITAS JUNIOR, D. S.; PINTO, V. R.; LIMA, A. C.; JONGMAN, R. H. G. Biodiversity and its drivers and pressures of change in the wetlands of the Upper Paraguay–Guaporé Ecotone, Mato Grosso (Brazil). **Land Use Policy**, v.47, p.163-178, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.004>.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n.02, p.627-642, 2016.

SILVA, M.S.; BUENO, I. T.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; BORGES, L. A. C.; CALEGARIO, N. Avaliação da cobertura do solo como indicador de gestão de recursos hídricos: um caso de estudo na sub-bacia do Córrego dos Bois, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.3, p.445-452, 217. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017149673>.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient**, v.9, n.2, p.141-150, 2011.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.11, p.1117-1142, 1952.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology: an introduction of the study of landforms**. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

SWAROWSKY, A.; DAHLGREN, R. A.; TATE, K. W.; HOPMANS, J. W.; O'GEEN, A. T. Catchment-Scale Soil Water Dynamics in a Mediterranean-Type Oak Woodland. **Vadose Zone Journal**, v.10, p.800-815, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/vzj2010.0126>.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. xiv, 69f. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; DIAS, L. C. C.; GONÇALVES, J. C. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de São Carlos – SP. **Rev. RAEGA**, v.44, p.272-288, 2018.

TROMBETA, L.R.; GARCIA, R.M.; NUNES, R.S.; GOUVEIA, I.C.M.C.; LEAL, A.C. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno de Prudentino de Geografia**, n. 36, Volume especial, p.159-173, 2014.

VALE, J. R. B. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental**. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. Análise multitemporal do uso da terra e da cobertura vegetal entre 1985 e 2015 na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste Paraense. **Revista GeoAmazônia**, v.5, n.10, p.23-40, 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1975.

VILELA FILHO, L. R.; VITTE, A. C. A utilização de técnicas morfométricas do relevo aplicadas na determinação da fragilidade ambiental: o caso da bacia do córrego Proença, município de Campinas (SP). *In*: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10. **Anais[...]**. São Paulo: USP, 2005. p. 16272-16284.

CAPÍTULO 4 CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO APEÚ, CASTANHAL – PA

Resumo

O objetivo deste trabalho buscou-se quantificar os parâmetros físico-químicos das águas superficiais do rio Apeú e avaliar suas variações por meio da espacialidade e sazonalidade, com auxílio da estatística descritiva e multivariada. E com isso, verificar se os resultados atendem os padrões da Resolução 357/2005 do CONAMA. Através das análises descritivas, foi possível observar variações espaciais (relacionadas aos pontos amostrais) e sazonais (relacionados as coletas). Quanto a variação espacial, os parâmetros pH, Temp, Turb e DT destacaram-se em relação aos demais, principalmente nos pontos P1 e P2, sendo os valores de pH mais baixos, maiores valores observados da temperatura da água e menores valores de turbidez, em relação aos demais pontos distribuídos ao longo do rio Apeú. Quanto a sazonalidade, em específico aos efeitos da precipitação sobre os parâmetros, foi possível verificar que os parâmetros que tiveram comportamentos mais distintos em relação a este fenômeno foram o OD, CE, ALC, Cl⁻ e DT. Por outro lado a análise de componentes principais demonstrou a caracterização espacial e sazonal dos parâmetros físico-químicos das amostras de água do rio Apeú, levando a formação de dois grupos distintos, Grupo 1 (formado pelos pontos P1 e P2, principalmente pelo parâmetro temperatura) e o Grupo 2 (formado pelos pontos P3 a P8, principalmente pela contribuição do pH, OD, CE, Turb, ALC, Cl⁻ e DT. De acordo com os resultados obtidos por meio das análises físico-químicas, assim como a aplicação da estatística descritiva e multivariada, foi possível observar que em relação aos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357 os parâmetros apresentam-se dentro dos valores de referência.

Palavras-chave: sazonalidade; estatística descritiva; análise multivariada.

Abstract

The objective of this work was to quantify the physical-chemical parameters of the surface waters of the Apeú River and to evaluate their variations through spatiality and seasonality, with the aid of descriptive and multivariate statistics. And with that, check if the results meet the standards of CONAMA Resolution 357/2005. Through descriptive analyzes, it was possible to observe spatial (related to sample points) and seasonal (related to collections) variations. As for the spatial variation, the parameters pH, Temp, Turb and DT stood out in relation to the others, mainly at points P1 and P2, with lower pH values, higher observed values of water temperature and lower turbidity values, in relation to the other points distributed along the Apeú

River. As for seasonality, in specific to the effects of precipitation on the parameters, it was possible to verify that the parameters that had more different behaviors in relation to this phenomenon were OD, CE, ALC, Cl⁻ and DT. On the other hand, the principal component analysis demonstrated the spatial and seasonal characterization of the physical-chemical parameters of the water samples from the Apeú river, leading to the formation of two distinct groups, Group 1 (formed by the points P1 and P2, mainly by the temperature parameter) and Group 2 (formed by points P3 to P8, mainly due to the contribution of pH, OD, CE, Turb, ALC, Cl⁻ and DT. According to the results obtained through the physical-chemical analyzes, as well as the application of descriptive and multivariate statistics, it was observed that in relation to the standards established by CONAMA Resolution 357, the parameters are within the reference values.

Keywords: seasonality; descriptive statistics; multivariate analysis

4.1 Introdução

Atualmente observa-se uma intensificação de discussões a respeito do desenvolvimento sustentável, atrelada a conservação de recursos naturais, levando a indiscutível associação do mesmo à qualidade de vida. Diante disso, a água tem-se destacado nesse cenário, por ser um elemento essencial a toda forma de vida, além de ser um recurso fundamental ao desenvolvimento de atividades econômicas, e de ter importância dentro de atividades humanas como abastecimento público e industrial, irrigação, produções energéticas, recreação, bem como a preservação da vida aquática (RODRIGUES, 2008).

A bacia hidrográfica, que se constitui em um sistema integrado e interdependente e contempla inúmeras atividades (agrícolas, industriais, entre outras), tem-se configurado como principal fonte de estudos relacionados a qualidade da água, uma vez que toda atividade ou alteração em uma bacia, de origem antrópica ou natural, refletem na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, onde a avaliação de parâmetros físico-químicos permitem interpretar, integral ou parcialmente, as influências de tais alterações (SANTOS, 2004; TUCCI, 2004; SOUZA et al., 2020).

No que refere-se aos estudos hidrológicos envolvendo bacias hidrográficas é de fundamental importância conhecimentos sobre as características físicas, geológicas e de vegetação, com intuito de compreender de maneira mais eficiente a interrelação entre esses fatores, assim como, os conhecimentos das características hidrológicas, tais como, escoamentos superficiais, subsuperficiais e profundos, evapotranspiração, infiltração e precipitação, e assim

correlaciona-los com as variáveis influenciadoras da qualidade e quantidade das águas (CARDOSO et al., 2006; LIMA, 2008; MAGALHÃES, 2017). Assim, segundo Silva et al. (2008), a variação sazonal da precipitação influencia diretamente nas concentrações dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água.

Nesse contexto, a identificação dos impactos na qualidade da água, gerados por atividades realizadas em microbacias, sub-bacias ou bacias hidrográficas, resultam em um aspecto fundamental para o planejamento de um eficiente monitoramento da qualidade da água de uma determinada bacia. Essa compreensão é importante para a seleção das variáveis a serem monitoradas, assim como de sua periodicidade e sazonalidade. Porém, é necessário compreender que, o termo qualidade da água, não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características são estipuladas diferentes finalidades para a água (LIMA, 1997; MERTEN; MINELLA, 2002; RODRIGUES, 2008).

Nesse sentido, podem ser mencionados dois importantes instrumentos reguladores que auxiliam no planejamento e gestão dos recursos hídricos no Brasil. Como instrumento que auxilia na classificação e enquadramento dos corpos d'água e preconizam valores de referência de acordo com o destino a ser dado a suas águas, temos a Resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. O segundo é a Lei nº 9.433/97, denominada de Lei das Águas, que estabelece a política nacional das águas e a participação das comunidades nas tomadas de decisões.

Nos últimos anos estudos foram realizados na sub-bacia hidrográfica do rio Apeú, tais como: Análise do Uso Do Solo e dos Recursos Hídricos na Microbacia do Igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará (SANTOS, 2006); Geoprocessamento Aplicado ao Mapeamento da Estimativa de Perda de Solos por Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental (JESUS, 2009); Dinâmica da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil (SOUZA et al., 2011); Caracterização do Conflito de Uso e Ocupação do Solo nas Áreas de Preservação Permanente do Rio Apeú, Nordeste Do Pará (SOUZA et al., 2012); Análise do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste Paraense, entre os anos de 1999 e 2014 (VALE; BORDALO; FONSECA, 2015); Análise Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental (VALE, 2017). Entretanto, nem um desses trabalhos referem-se à avaliação da qualidade físico-químico da água, seja espacialmente ou sazonalmente, portanto, o desenvolvimento deste trabalho é fundamental para ampliar o conhecimento do funcionamento/comportamento da qualidade físico-química das águas

superficiais da sub-bacia do rio Apeú e sua relação com a dinâmica sazonal dos parâmetros físico-químicos da água.

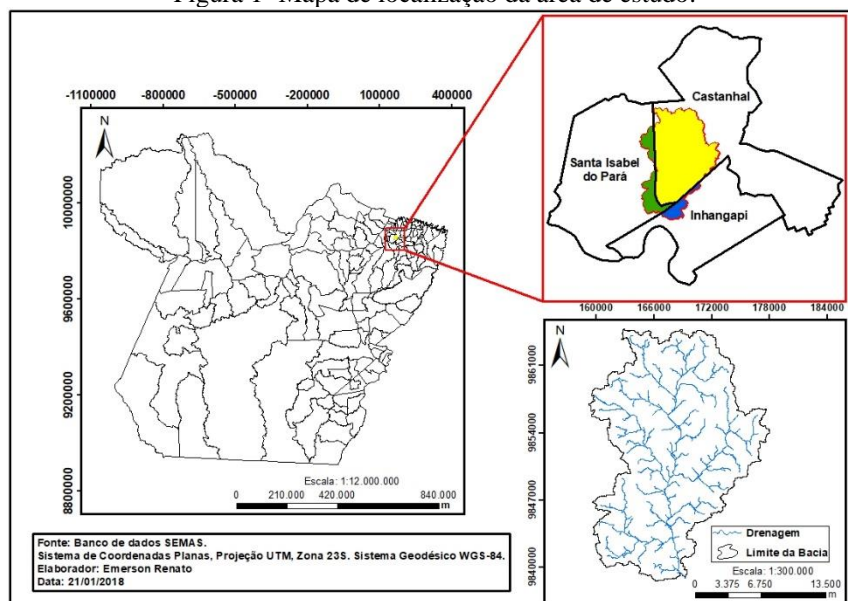
Nesse contexto, como objetivo deste trabalho buscou-se quantificar os parâmetros físico-químicos das águas superficiais do rio Apeú e avaliar suas variações por meio da espacialidade e sazonalidade, com auxílio da estatística descritiva e multivariada. E com isso, verificar se os resultados atendem os padrões de enquadramento dos corpos d'água de classe 2 através da Resolução Nº 357 de maio de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho é a sub-bacia hidrográfica do rio Apeú, encontra-se situada na região de nordeste paraense (Figura 1), entre as coordenadas geográficas $1^{\circ}13'10''$ e $1^{\circ}29'37''$ de latitude Sul e $48^{\circ}04'42''$ e $47^{\circ}53'30''$ de longitude Oeste (JESUS, 2009; SOUZA, 2011; VALE, 2017). Segundo Souza (2011) e Vale (2017), ela ocupa uma área de aproximadamente 320 km^2 pertencente aos municípios de Castanhal (77% da área da sub-bacia), Santa Izabel do Pará (16%) e Inhangapi (7%). Formada pelo rio Apeú com sua nascente situada na fazenda Buriti ($1^{\circ}13'3,8'' \text{ S}$ e $47^{\circ}58'46,5'' \text{ W}$), no município de Castanhal, e sua foz no rio Inhangapi.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.



A região onde situa-se a sub-bacia apresenta como característica climática, segundo a classificação de Köppen, o clima do tipo Af – Clima Tropical Úmido, com média da temperatura do ar superior a 18°C no mês mais frio, e não apresenta meses sem ocorrência de precipitação, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013).

4.2.2 Amostragem, análises in situ e laboratoriais

Para a caracterização físico-químicas das águas superficiais, da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú - SBHRA, foram selecionados oito pontos de amostragem. Essa amostragem teve como base a sazonalidade da região, ou seja, período chuvoso e menos chuvoso, em um total de quatro campanhas (Tabela 1).

Tabela 1- Campanhas de amostragem, com respectivos meses/anos e período sazonal.

Campanhas	Mês/Ano	Dias	Período Sazonal
1ª Campanha	Setembro/2018	17 a 20	Menos chuvoso
2ª Campanha	Novembro/2018	26 a 30	Menos chuvoso
3ª Campanha	Fevereiro/2019	11 a 13	Chuvoso
4ª Campanha	Abril/2019	10 a 12	Chuvoso

Fonte: Autoria própria.

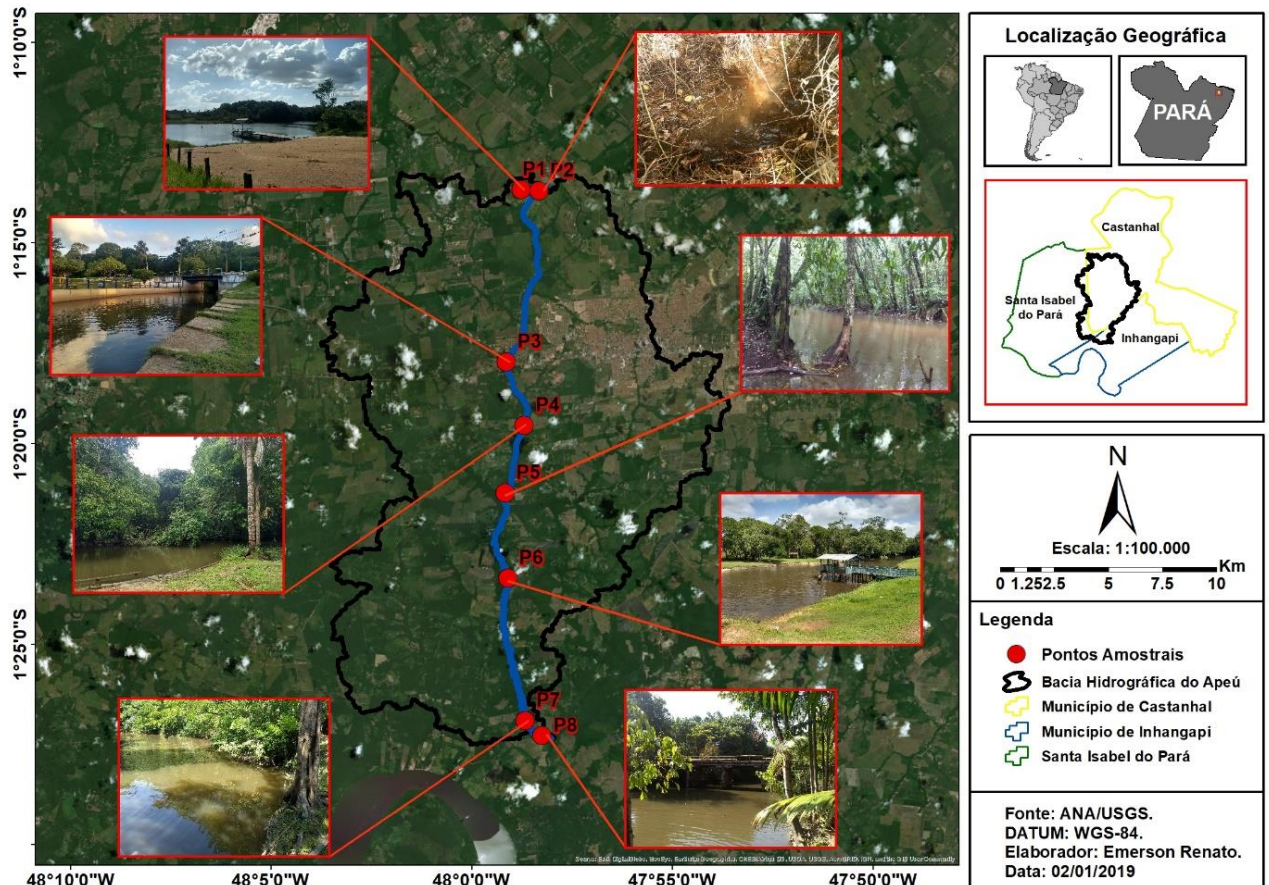
Foram selecionados pontos localizados no tributário principal da SBHRA, o rio Apeú. Foram tomados como critérios de seleção pontos que favorecessem uma representação das características físicas da sub-bacia, como os pontos P1 e P2 que são nascentes e os demais pontos com ocupações diferenciadas ao longo do rio, percorrendo trechos com balneários, agrovilas, fazendas, etc. As coordenadas e descrição prévia dos respectivos pontos de coleta são apresentados na Tabela 2 e o mapa a baixo mostra a distribuição dos oito pontos amostrais (Figura 2).

Tabela 2- Pontos amostrais, suas referências e coordenadas.

Pontos Amostrais	Referências	Latitude (S)	Longitude (W)
P1	Fazenda 01	1°13'41"	47°58'46.7"
P2	Fazenda 01	1°13'43.2"	47°58'19.8"
P3	Balneário Apeú	1°17'57.4"	47°59'6.3"
P4	Fazenda 02	1°19'37.7"	47°58'42.1"
P5	Agrovila Boa Vista	1°21'12.5"	47°59'11.8"
P6	Agrovila Macapazinho	1°23'24.5"	47°59'10.0"
P7	Bar e Lanchonete	1°26'56.3"	47°58'38.4"
P8	Ponte Foz	1°27'18.6"	47°58'16.1"

Fonte: Autoria própria.

Figura 2- Distribuição dos pontos amostrais.



Fonte: Autoria própria.

Em cada ponto foram coletadas amostras de água superficial em garrafas de polipropileno, previamente descontaminadas, através de imersão por 24 horas, com solução de ácido nítrico 10% (HNO_3 10%). As amostras coletadas foram transportadas em caixas de isopor e mantidas sob refrigeração (± 2 °C) até o momento das análises químicas (ANA, 2011; APHA,

2005) no Laboratório de Análises Físico-Químicas e Químicas do Centro de Tecnologia Agropecuária (CTA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

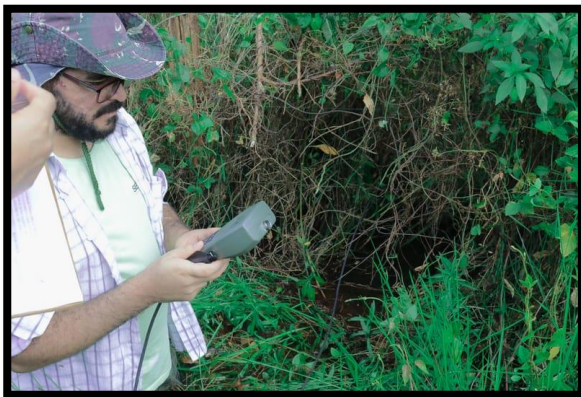
Foram medidos in situ, através de um sonda multiparâmetro (Hanna[®], modelo HI 9829), os valores de pH (adimensional), oxigênio dissolvido (em miligramas por litro – mg L⁻¹), condutividade elétrica (em microsiemens por centímetro – $\mu\text{S cm}^{-1}$) e temperatura da água (em graus Celsius - °C), em amostras de água superficial (até 30 cm de profundidade). Através de um turbidímetro de campo (Instrutherm[®], modelo TD-300) foi medida a turbidez (em unidade de turbidez – uT ou NTU) da água superficial. Todos os equipamentos foram previamente calibrados e todas as análises foram realizadas em triplicata (Figura 3).

Figura 3- Procedimentos de leituras In Situ dos parâmetros físico-químicos no rio Apeú.

Leituras com a sonda



Leituras com turbidímetro



Fonte: Autoria própria.

Em laboratório foram realizadas as análises dos parâmetros químicos nas amostras obedecendo os métodos de análise do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Para a determinação do cloreto foi utilizado o método 4500B, o método utilizado para a determinação da dureza total foi o 2340C e para alcalinidade o método 2320B.

Para os métodos descritos acima foram adotados métodos clássicos de análise volumétrica, em específico, a técnica de titulação. A qual tem como princípio a determinação de um composto de concentração desconhecido (analito) por meio da adição de uma substância de concentração conhecida (o titulante), que pode ser uma solução preparada por uma substância padrão primário ou padronizada (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). A Tabela 3 demonstra o resumo das metodologias utilizadas.

Tabela 3- Resumo das metodologias analíticas utilizadas na determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras de água superficial do rio Apeú.

Parâmetros	Abreviações	Metodologia	LQ*	Unidades
Potencial Hidrogeniônico	pH		0,01 a 14,00	-
Oxigênio Dissolvido	OD	Instrumental (Sonda Hanna [®] , modelo HI 9829)	0,01 a 50,00	mg L ⁻¹
Condutividade Elétrica	CE		0 a 200.000,00	µS cm ⁻¹
Temperatura da água	Temp		-5,00 a 55,00	°C
Turbidez	Turb	Instrumental (Turbidímetro Instrutherm [®] , modelo TD-300)	± 0,5	NTU
Alcalinidade	ALC	APHA-2320B	-	mg L ⁻¹ de CaCO ₃
Cloreto	Cl ⁻	APHA-1500B	-	mg L ⁻¹
Dureza Total	DT	APHA-2340C	-	mg L ⁻¹ de CaCO ₃

Nota: *LQ: Limite de quantificação.

Fonte: Autoria própria.

Foram obedecidos os prazos de validades para as análises químicas, uma vez que a alcalinidade apresenta prazo de validade de 24 horas. Assim, sua determinação foi realizada imediatamente após a coleta. Para determinação de cloreto o prazo é de 28 dias e para determinação de dureza total de seis meses (devido adição de 1 mL de solução de ácido nítrico 1:1).

4.2.3 Obtenção dos dados de precipitação

Para o presente estudo, foram utilizados dados oriundos do produto CHIRPS, para realização do gráfico de anomalia mensal de precipitação para os anos de coleta (2018 e 2019), assim como, os dados diários de precipitação (CHIRPS) referente a cada coleta, além disso

foram obtidos os dados diários dos três dias antecedentes aos dias da coleta, afim de ter informações que auxiliem na explicação da variação dos parâmetros físico-químicos.

O produto CHIRPS é desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB). É uma base de dados de precipitação disponibilizados de forma gratuita no site <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, nos formatos NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. Possui com principais características resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km), com alcance geográfica de 50° S a 50° N e conta com uma base de dados de 1981 até os dias atuais (com dados diários, pentadados e mensais) (FUNK et al., 2015).

4.2.4 Tratamento estatístico dos dados

Foram realizadas análises estatísticas descritivas dos dados, tais como, identificar os valores mínimo e máximos, média, desvio padrão, coeficiente de variação e análise do grau de dispersão dos dados, tendo como base a metodologia proposta por França (2009) (Tabela 4).

Tabela 4- Relação entre o coeficiente de variação (CV) e o grau de dispersão (GD).

Coeficiente de Variação (CV)	Grau de Dispersão (GD)
<0,50	Baixo
0,50 – 1,00	Médio
1,00 – 1,20	Alto
>1,20	Elevado

Fonte: Adaptado de França (2009).

Além da análise descritiva, foi realizada análise multivariada nos dados. Essa análise tem como primíssima a utilização de um arcabouço de métodos estatísticos que, permite simultaneamente a utilização de todos os parâmetros estatísticos no entendimento da variação do conjunto de dados analisados (COSTELLO et al., 2005). Dentre as técnicas mais comuns podemos citar a análise fatorial, regressão e correlação múltipla, análise conjunta, correlação canônica, análise de agrupamentos e escalonamento, análise discriminante múltipla e análise multivariada de variância e covariância.

Atualmente, objetivando entender o comportamento dos parâmetros de qualidade da água, as análises multivariadas têm se tornado amplamente utilizada no campo científico (ARRUDA et al., 2015; CRUZ et al., 2016; GUTIERREZ et al., 2017; CECCONELLO et al., 2018; CABRAL et al., 2019; BRITTO et al., 2020). Para o presente trabalho foi aplicada a

análise multivariada fatorial, em específico análise de componentes principais e dos fatores comuns, objetivando a redução das variáveis e a identificação de parâmetros alternativos, que contenham informações mais significativas dos dados originais analisados, destacando os parâmetros mais importantes na explicação da variação dos dados (MINGOTI, 2005; BRITTO et al., 2020).

Inicialmente é feita a análise de normalidade dos dados, necessária para utilização da estatística multivariada, e conseqüentemente determinada a matriz de correlação de Pearson, transformando a matriz original em uma matriz que permita selecionar os parâmetros que tenham maior correlação entre si e contribuam para a explicação da variação dos dados (WANG et al., 2011).

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Análise da estatística descritiva dos dados

Na Tabela 5 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos obtidos por meio das determinações in situ e laboratoriais. Assim como, os Valores Máximos Permitidos (VMP) da Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005). Vale ressaltar que foi determinado a média dos resultados dos parâmetros obtidos nas campanhas, do período menos chuvoso e também do chuvoso, assim foram trabalhados com os valores dos parâmetros físico-químicos de cada período sazonal.

Posteriormente, foi analisado o grau de dispersão entre as variáveis, com intuito de obter valores possíveis de serem analisados espacialmente e sazonalmente. Essa análise, proposta por França (2009), é uma relação do desvio padrão dividido pela média que permite comparar a variação do conjunto de observações e classificar o grau de dispersão dos parâmetros analisados (BRITTO et al., 2020).

Tabela 5- Estatística descritiva das amostras de água superficial do rio Apeú nos respectivos pontos amostrais e períodos sazonais.

Pontos	pH		OD (mg L ⁻¹)		CE (µS cm ⁻¹)		Temp (°C)		Turb (NTU)		ALC (mg L ⁻¹)	
	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH
P1	5,25	5,62	4,47	5,15	35,68	82,00	29,41	28,08	4,02	6,88	7,87	3,98
P2	4,67	4,77	2,44	3,72	28,88	88,17	26,83	26,67	2,59	4,32	10,49	3,14
P3	5,97	6,09	7,16	6,13	49,22	93,83	26,56	26,39	16,09	20,17	10,50	6,52
P4	5,86	5,96	6,91	4,71	53,40	84,33	26,27	26,20	13,25	19,49	12,46	6,79
P5	5,79	5,99	5,39	4,10	65,93	80,17	26,33	25,81	20,17	14,12	11,81	6,46
P6	6,12	5,96	6,58	2,55	86,83	133,83	26,11	25,80	14,54	11,74	17,39	7,95
P7	5,82	6,32	6,26	2,98	52,73	107,67	26,46	25,83	6,55	13,70	13,77	6,79
P8	5,92	5,86	6,21	2,72	48,30	129,17	26,21	25,83	7,45	14,92	13,45	6,85
Mín-Máx	4,67-6,12	4,77-6,32	2,44-7,16	2,55-6,13	28,88-86,83	80,17-133,83	26,11-29,41	25,80-28,08	2,59-20,17	4,32-20,17	7,87-17,39	3,14-7,95
MG±DVG	5,67±0,48	5,82±0,47	5,68±1,57	4,01±1,27	52,62±17,84	99,90±21,36	26,77±1,09	26,32±0,78	10,58±6,30	13,17±5,52	12,22±2,82	6,06±1,62
CVG	0,08	0,08	0,28	0,32	0,34	0,21	0,04	0,03	0,60	0,42	0,23	0,27
VMP	6,0 a 9,0		≥6,0 mg L ⁻¹		-		-		100 NTU		-	

Pontos	Cl- (mg L ⁻¹)		DT (mg L ⁻¹)		PRP (mm)	
	MCH	CH	MCH	CH	MCH	CH
P1	8,61	7,89	5,00	8,00	93,97	104,64
P2	7,17	7,23	5,00	6,33	93,97	104,64
P3	9,74	6,90	9,33	8,67	95,64	102,00
P4	9,74	7,89	8,67	9,33	105,06	113,99
P5	10,22	9,21	10,00	10,67	112,64	95,51
P6	11,00	7,07	11,00	13,00	112,64	95,51
P7	9,70	8,22	8,67	10,67	119,37	95,12
P8	9,87	7,73	7,67	10,33	118,43	108,99
Mín-Máx	7,17-11,00	6,90-9,21	5,00-11,00	6,33-13,00	-	-
MG±SDG	9,51±1,15	7,77±0,74	8,17±2,19	9,63±2,02	-	-
CVG	0,12	0,10	0,27	0,21	-	-
VMP	250 mg L ⁻¹		-		-	

Nota: **MCH**: Menos chuvoso; **CH**: Chuvoso; **PRP**: Precipitação; **MG**: média geral para os 8 pontos amostrais; **SDG**: desvio padrão geral para os 8 pontos amostrais; **CVG**: coeficiente de variação geral para as amostras. *VMP: Valores Máximos Permitidos pela Resolução 357/2005.

Fonte: Autoria própria

Quanto ao grau de dispersão, observou-se que em nem um dos parâmetros obteve-se grau de dispersão elevados, ou seja, não foi obtido valores de Coeficiente de Variação (CV) acima de 1,2, todos encontraram-se dentro dos limiares de 0,5 a 1,0, se comparados a Tabela 4 (baixo ou médio).

Através das análises descritivas (Tabela 5), é possível observar variações espaciais (relacionadas aos pontos amostrais) e sazonais (relacionados aos períodos menos chuvoso e chuvoso). Quanto a variação espacial, os parâmetros pH, temperatura da água (Temp), turbidez (Turb) e dureza total (DT) destacam-se em relação aos demais, principalmente nos pontos P1 e P2 em relação aos demais pontos distribuídos ao longo do rio Apeú.

O potencial hidrogeniônico (pH) quantifica a quantidade de prótons de H^+ no corpo hídrico, representando características ácidas ou alcalinas do ambiente aquático (SANTOS et al, 2018). De acordo com a Tabela 5, observamos que as águas do rio Apeú estão, na maioria dos pontos e períodos, abaixo dos valores permitidos pela Resolução do CONAMA 357/2005, para os quais as águas doces classe 2 devem apresentar pH entre 6,0 a 9,0. Sendo que, seja no período menos chuvoso ou chuvoso, os pontos P1 e P2 sempre apresentaram os menores valores de pH, em que os valores médios para o período menos chuvoso (MCH) foram de $5,67 \pm 0,48$ e do chuvoso (CH) de $5,82 \pm 0,47$.

A diminuição dos valores de pH está associada a diferentes fatores, tais como a oxidação da matéria orgânica, as concentrações de CO_2 e temperatura da água (MENEZES, 2012). Tais fatores giram em torno da influência da temperatura no comportamento dos gases e metabolismo dos microorganismos, uma vez que nos pontos P1 e P2 também se apresentaram diferentes em relação aos demais pontos com valores sempre mais elevados de temperatura, influenciando assim na decomposição da matéria orgânica e consecutiva liberação de ácido húmicos e fúlvico, assim como na diminuição da solubilidade dos gases, favorecendo a diminuição nos valores de pH (FIORUCCI; BENEDETTI-FILHO, 2005; SILVA et al., 2018).

Características observadas nos respectivos pontos P1 e P2, mesmo sendo pontos de nascente, que segundo código florestal deveriam apresentar um raio de 50 m de vegetação em sua volta, mas são cercados por pastagem (ver capítulo 3), refletindo diretamente na diferença aos demais pontos, que apresentam uma certa cobertura vegetal em suas margens, e por em muitos dos demais pontos ter ocorrido precipitação no momento das leituras ou antes de chegarmos aos pontos, favorecendo a diminuição nos valores de temperatura.

A definição de turbidez da água está relacionada à materiais sólidos em suspensão, que tendem a reduzir a sua transparência. Essa redução pode ser provocada por diferentes fatores abióticos ou bióticos, como por exemplo, plânctons, algas, matéria orgânica, substâncias como

ferro, manganês, zinco, coliformes, entre outros (DONADIO et al., 2005; ARRUDA et al., 2015).

Caracterizando o comportamento da turbidez encontrados nos resultados, em que em nem um ponto ou período ultrapassaram o valor de referência proposto pela Resolução 357/2005 de 100 unidades nefolométricas de turbidez (UNT), com uma média de $10,58 \pm 6,30$ (MCH) e de $13,17 \pm 5,52$ (CH). Sendo que os menores valores de turbidez foram encontrados nos pontos P1 e P2, caracterizado por sua diferença espacial em relação aos demais pontos, e o percurso do rio por meio dos centros urbanos, agrovilas, etc, promovem a elevação dos valores de turbidez nos demais pontos que tendem a ser maiores em direção ao ponto mais a jusante do rio, assim como efeitos de precipitação nos momentos de coleta.

Quanto as variações físico-químicas mais acentuadas por meio da sazonalidade, por meio da estatística descritiva, foi possível verificar que os parâmetros que tiveram comportamentos mais distintos em relação a este fenômeno foram o oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), alcalinidade (ALC), cloreto (Cl^-) e dureza total (DT).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nas águas resultam de diversos processos. Os quais podem contribuir para o seu acréscimo/aumento (fotossíntese e reaeração atmosférica) ou diminuição de sua concentração (decomposição e respiração). A sua determinação em corpos hídricos funciona como um indicador primário da qualidade da água, e uma vez que sua concentração caia abaixo de valores aceitáveis estabelecidos na legislação citada, compromete a saúde de ecossistemas aquáticos e promove restrições quanto ao uso para diferentes fins, por exemplo, potabilidade (JANZEN; SCHULTZ; LAMON, 2008).

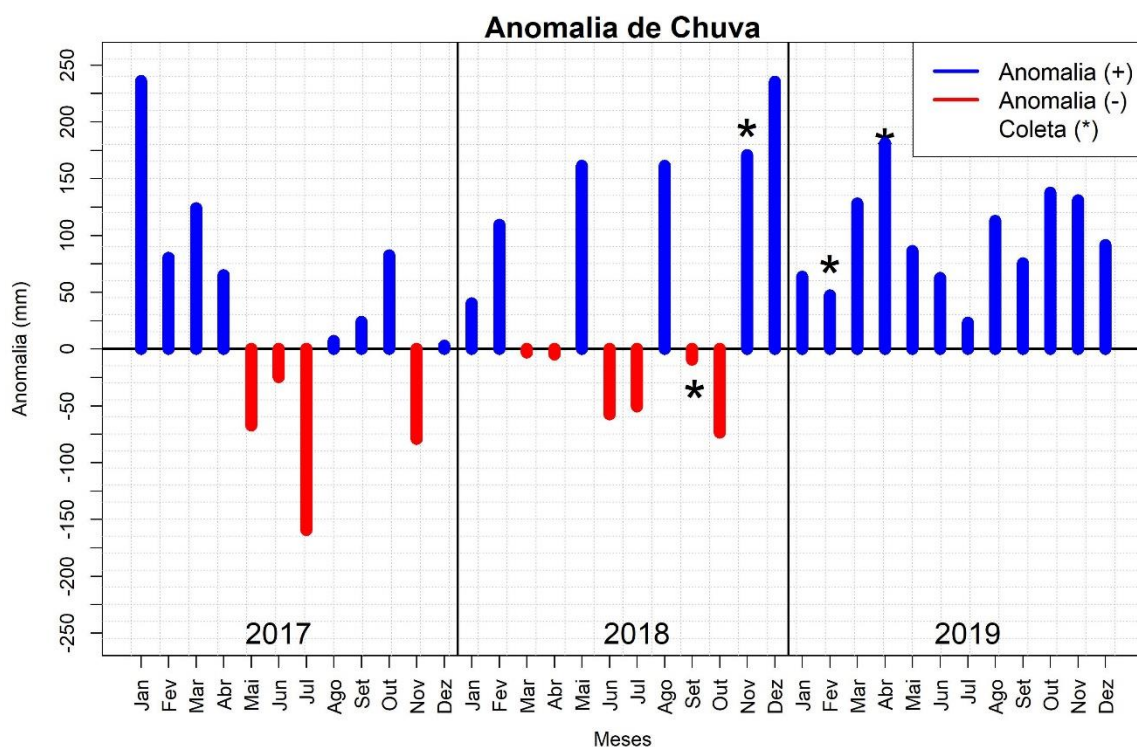
Para as amostras analisadas no presente trabalho, as concentrações de OD nos respectivos períodos sazonais apresentaram-se abaixo do valor de referência da legislação vigente ($\geq 6 \text{ mg L}^{-1}$), sendo que no período menos chuvoso (MCH) observou-se maiores concentrações ($5,68 \pm 1,57$) enquanto que no período chuvoso (CH) as concentrações foram de $4,01 \pm 1,27$. Observando que os valores de acordo com a legislação do CONAMA 357/2005, em sua maioria nos pontos do período MCH, estão associados aos eventos de precipitação no momento das leituras nos pontos amostrais, conforme valores de precipitação (PRP) da Tabela 5.

O lançamento de esgotos não tratado, a presença de urbanização nas microbacias, associadas ao período menos chuvoso (comprometendo o potencial de autodepuração dos mananciais), são responsáveis pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido nos corpos hídricos (BARROS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2018). Assim, de acordo com a Tabela 5, pode-se associar maiores valores de OD no período menos chuvoso devido a maior quantidade

de chuvas distribuída nos pontos e dias de coleta nas campanhas do período menos chuvoso, promovendo assim, turbulência do corpo hídrico, favorecendo a difusão de oxigênio para o corpo hídrico.

Além disso, observa-se por meio do gráfico de Anomalia de Precipitação (Figura 4), com dados dos anos de coleta, que a partir da segunda coleta (SET/2018), a precipitação teve anomalias positivas, o que indica maior quantidades de precipitação nos meses das coletas.

Figura 4- Gráfico de anomalia de precipitação para os anos de coleta das amostras de água do rio Apeú.



Fonte: Autoria própria.

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade ou facilidade com que a água conduz corrente elétrica. Está associada diretamente com a quantidade de substâncias dissolvidas, que se dissociam no corpo hídrico na forma de ânions e cátions (CETESB, 2009; OBIEFUNA; SHERIFF, 2011). Sendo influenciada, nas regiões tropicais, principalmente pelas características geoquímicas e condições climáticas da região (período chuvoso e menos chuvoso) (ESTEVEES, 2011; AGUILAR PIRATOBA et al., 2017).

De acordo com Esteves (2011), a condutividade elétrica tende a variar em função da sazonalidade, apresentando menores valores no período de maior precipitação, que ocasiona aumento dos volumes de água no corpo hídrico, resultando em uma intensificação da diluição

dos íons. Porém, ainda segundo o autor, essa característica não abster o efeito dos lançamentos de efluentes industriais ou domésticos promoverem a elevação dos valores da condutividade elétrica no respectivo ambiente aquático independente da sazonalidade.

Diante disso, quanto a condutividade elétrica das amostras de água do rio Apeú, as mesmas tenderam a serem maiores no período mais chuvoso, com valores médios de $52,62 \pm 17,84$ para o período menos chuvoso (MCH) e $99,90 \pm 21,36$ no período chuvoso (CH). Demonstrando assim, que as águas do rio Apeú podem sofrer com despejos inadequados de efluentes domésticos ou industriais, mas muito provavelmente pelos processos de lixiviação acentuados pela ação da precipitação, principalmente por ser um corpo hídrico que tem seu percurso por balneários, núcleos urbanos e agrovilas.

A legislação vigente não preconiza valores de referência para a condutividade elétrica, porém, em alguns países existem diretrizes que estabelecem valores de referência, como as diretrizes Australianas de qualidade da água para águas frescas e marinhas como estratégia nacional de gerenciamento da qualidade da água, que estabelecem um limite de $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ (ANZECC, 2000) e o sistema de eliminação de descarga de poluentes kentucky, o valor de referência de $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ (KPDES, 2010). Além disso, Von Sperling (2007), descreve que a condutividade elétrica de águas naturais varia de 10 a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, e quando o ambiente for contaminado por despejos industriais ou domésticos podem apresentar valores de até $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

A alcalinidade é definida como a quantidade de íons na água capazes de neutralizar íons hidrogênio. Caracterizando a capacidade da água de neutralizar os ácidos, em outras palavras, expressa a capacidade de tamponamento da água. Possui como principais responsáveis pela alcalinidade em águas as bases conjugadas de ácido carbônico, carbonatos e bicarbonatos, assim como, bases derivadas do íon amônio e ácidos fosfórico e sulfúrico. Corpos hídricos com valores elevados de alcalinidade não sofrem variações bruscas de pH, mesmo com recebimento de contribuições fortemente ácidas ou alcalinas (BRASIL, 2014; ESTEVES, 2011).

De acordo com a Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), a faixa de 30 a 500 mg L^{-1} de CaCO_3 são características presentes nas maiorias das águas naturais. Assim, por não ser preconizado valores máximos permitidos pela Resolução nº 357/2005, de acordo com a variação proposta pela Secretaria de Vigilância os valores para águas do rio Apeú encontram-se abaixo de 30 mg L^{-1} de CaCO_3 , caracterizadas por uma variação nas concentrações médias entre os períodos de $12,22 \pm 2,82$ (período MCH) e $6,06 \pm 1,62$ (período CH). Comportamento que também foi encontrado no trabalho de Aguilar Piratoba et al. (2017), e que segundo o autor são característicos dos rios amazônicos.

Em águas o cloreto é o ânion Cl^- , resultante do processo de percolação da água através de solos e rochas (CETESB, 2009). Normalmente, também são oriundos da dissolução de minerais, deposição de esgotos domésticos ou industriais e, em regiões costeiras, advindos da intrusão de águas do mar (BRASIL, 2014).

Possui importância significativa na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, pois faz parte de processos fisiológicos, tais como, a troca ou transporte de íons para os meios intracelular e extracelular (AGUILAR PIRATOBA et al., 2017; CETESB, 2012). As concentrações médias de cloreto no período menos chuvoso foram maiores ($\text{MCH} = 9,51 \pm 1,15$) se comparadas ao período chuvoso ($\text{CH} = 7,77 \pm 0,74$).

Para águas naturais os valores de cloreto são menores que 50 mg L^{-1} , podendo sofrer influência de corrente marítimas quando em corpos de água costeiras, ou seja, com isso apresenta sabor salgado ou propriedades laxativas (ESTEVES, 2011; LUCAS et al., 2014; RODIER, 1981).

Dessa maneira observa-se que a concentração do íon cloreto é afetada por vários fatores. Quanto a classificação e enquadramento dos corpos d'água do CONAMA 357, para águas de classe 2, o valor máximo permitido é de 250 mg L^{-1} , e os valores encontrados para as águas superficiais do rio Apeú estão dentro do limite permitido pela legislação.

A dureza representa a concentração de cátions multivalentes presentes na água e, caracteriza-se como a sua dificuldade em dissolver sabão, ou seja, fazer espuma (ALENCAR, 2007; BRASIL, 2014). A origem da dureza das águas pode ser natural, que ocorre por dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio, ou antropogênica, resultantes do lançamento de efluentes industriais. Sendo o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) os principais cátions associados a este fenômeno e, em menores ocorrências, alumínio (Al^{3+}), ferro (Fe^{2+}), estrôncio (Sr^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) (BRASIL, 2014).

De acordo com Custódio e Llamas (1983), as águas podem ser classificadas quanto a sua dureza em dureza branda, concentrações abaixo de 50 mg L^{-1} de CaCO_3 ; pouco dura, concentrações de 50 a 100 mg L^{-1} de CaCO_3 ; dura, com concentrações entre 100 e 200 mg L^{-1} de CaCO_3 ; e muito dura, com concentrações acima de 200 mg L^{-1} de CaCO_3 .

Levando em consideração a classificação da dureza, para as amostras de águas superficiais do rio Apeú, caracterizam-se como águas de dureza branda/mole (dureza total $< 50 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3) em todos os períodos sazonais, com um comportamento crescente dos valores do período menos chuvoso ($\text{MCH} = 8,17 \pm 2,19$) ao chuvoso ($\text{CH} = 9,63 \pm 2,02$). É comum que em ambientes com valores de pH próximos a neutralidade apresentem durezas

baixas (dureza mole/branda), proporcionado pelas concentrações baixas de carbonatos, comprometendo a reação com o CO₂ para produção de bicarbonatos (ESTEVES, 2011).

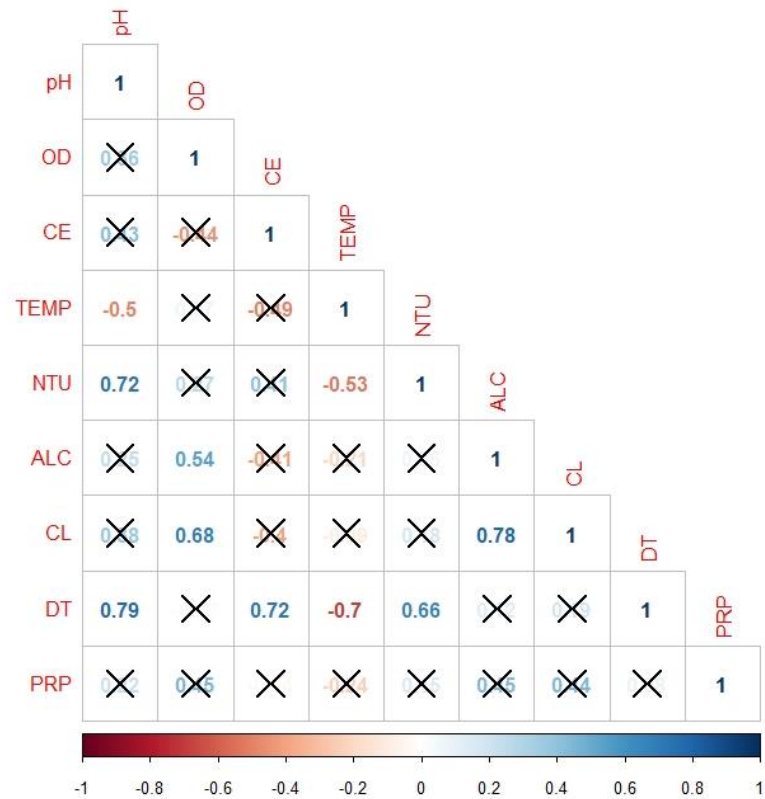
Além disso, de acordo com a Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2006), valores baixos de dureza no corpo hídrico favorecem a toxicidade do mesmo, uma vez que, ambos são inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor a dureza maior o risco da biota ser contaminada por substâncias tóxicas, como zinco, cobre, chumbo entre outros (USEPA, 2015). Por outro lado, quando corpos d'água apresentam águas duras ou muito dura, restringe-se o seu uso, quanto atividades industriais, sendo necessário que a água passe por um tratamento prévio (ABDALLA et al., 2010).

4.3.2 Análise estatística multivariada dos dados

Antes da utilização dos dados na análise multivariada, os parâmetros foram submetidos ao teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov, que tem como objetivo verificar se os dados seguem uma distribuição normal, condição exigida para se realizar análises multivariadas (CRUZ et al., 2016; SHRESTHA; KAZAMA, 2007). O teste indicou que os parâmetros analisados nas amostras possuem uma distribuição normal.

A Figura 5 demonstra a matriz de correlação para os parâmetros analisados nas amostras de água superficiais do rio Apeú de todos os períodos. Segundo Britto et al., (2020), para realizar aplicações multivariadas, a matriz de correlação configura-se como primeiro passo a ser tomado, com intuito de verificar quais parâmetros apresentam maiores correlações entre si, e assim selecionar os mais significativos, ou seja, que apresentem coeficientes de correlação maiores que 0,5, exigidos para aplicação da análise de componentes principais (CRUZ et al., 2016; WANG et al., 2011).

Figura 5- Matriz de correlação entre os parâmetros analisados nas amostras de águas superficiais do rio Apeú.



Fonte: Autoria própria.

Diante dos resultados da matriz de correlação observa-se correlações significantes entre os parâmetros, tendo como base o valor de p igual a 0,05, e as correlações inferiores foram identificadas com um “X”, favorecendo a seleção dos parâmetros caracterizadas por coeficientes de correlação $\geq 0,5$ (CORRA; PAULO; DIAS FILHO, 2014; HAIR et al., 2009), corroborando para utilização dos parâmetros nas análises multivariadas.

Em seguida, de posse das matrizes de correlação, ambas foram decompostas gerando fatores, que foram identificados e extraídos na Análise de Componentes Principais (ACP), dando origem à um novo conjunto de variáveis chamadas de Componentes Principais (CP) (CECCONELLO et al., 2018).

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada no software livre R. Segundo Carvalho et al. (2015) o objetivo principal dessa análise é a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, sem comprometer os dados originais, conservando o máximo de informações possível. De acordo com Cruz e Regazzi (2001) e Gutierrez et al. (2017), a soma da explicação da variação dos dados entre duas ou três componentes principais maiores de 80% evidenciam que nesta análise deve-se selecionar as componentes principais que contenham uma explicação mais significativa dos respectivos dados.

Diante disso, existem na literatura critérios que favorecem o analista a selecionar as componentes principais que contenham autovalores, ou seja informações, mais significativas resultantes da análise dos seus dados. Assim, de acordo com Reis (1997), existem três critérios mais comuns a serem levados em consideração: de acordo com o 1º critério deve-se levar em consideração a somatória da variação explicada de cada componente principal, selecionando aquelas que resultem em um total superior a 70% da variação explicada; o 2º critério, conhecido como critério de Kaise, sugere que sejam retidas as componentes principais que contenham autovalores maiores que um (autovalores > 1); o 3º critério, sugerido por Cattell (1966), define que devem ser retidas as componentes principais precedentes aos autovalores similares ou próximos de zero e, que pode ser expresso por meio do gráfico de Scree plot.

De posse da descrição dos critérios de seleção, observa-se na Tabela 6 a projeção das 9 componentes principais (9 dimensões).

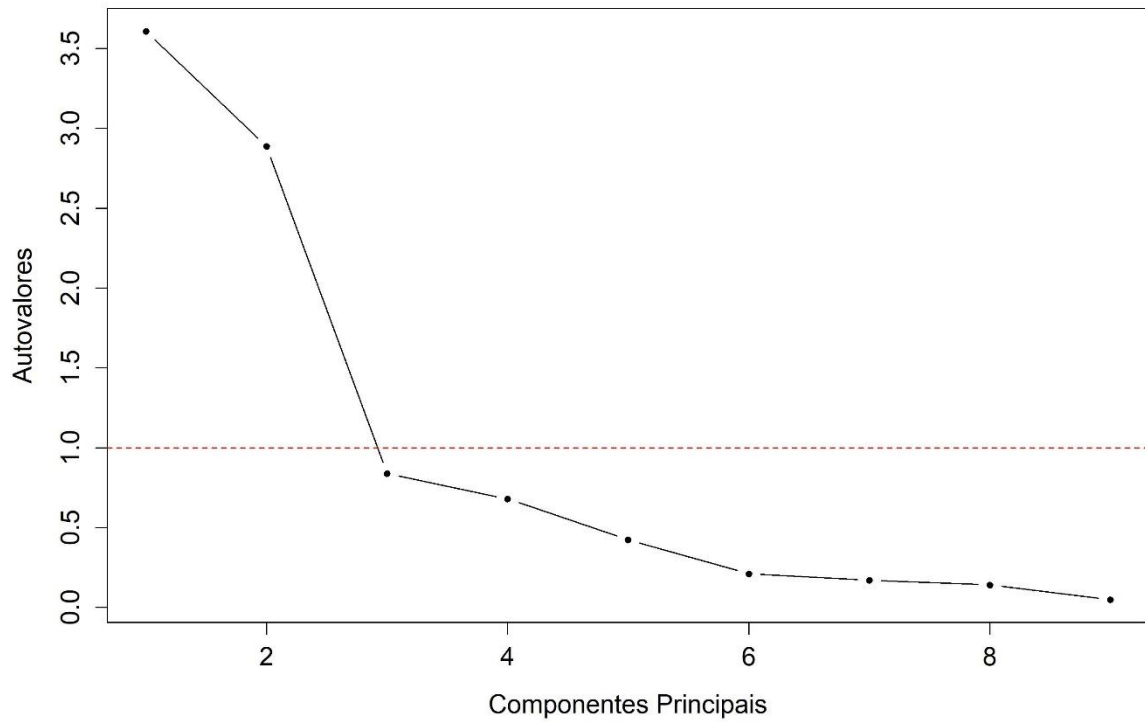
Tabela 6- Matriz com os pesos (autovetores) de cada parâmetro e autovalores, proporção da variância explicada e variância acumulada.

CPs	Autovalores	% Variância explicada	% Variância acumulada
CP1	1.899	40.08	40.08
CP2	1.699	32.07	72.15
CP3	0.915	9.30	81.45
CP4	0.824	7.54	89.00
CP5	0.651	4.71	93.70
CP6	0.458	2.33	96.03
CP7	0.412	1.88	97.92
CP8	0.375	1.56	99.48
CP9	0.217	0.52	100.00

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a Tabela 6, e levando em consideração os dois primeiros critérios de seleção, podemos observar que as componentes principais CP1 e CP2, devem ser retidas como as mais significativas, proporcionando 72,15% da explicação da variação dos dados. Enquanto que na Figura 6, por meio da representação gráfica do Scree plot (3º critério), reforça a seleção das duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2).

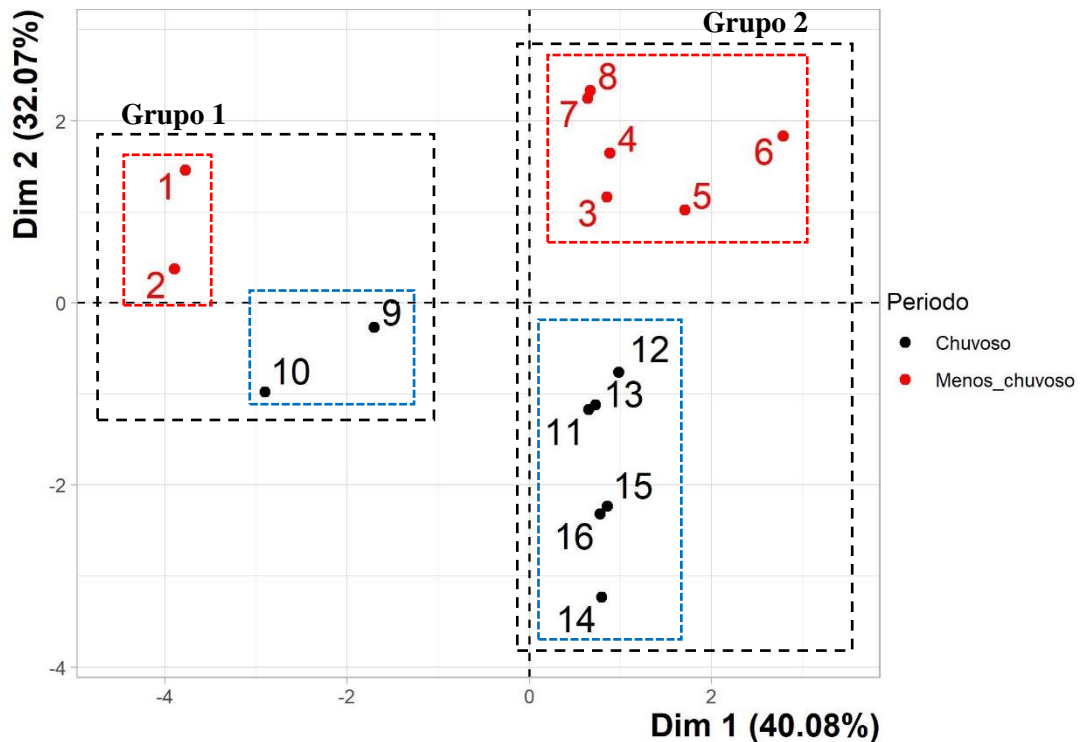
Figura 6- Gráfico de Scree plot, destacando os autovalores das componentes principais mais significativas.



Fonte: Autoria própria.

Com a informação das componentes mais significativas, foi realizada a projeção bidimensional (CP1 x CP2), dando origem ao gráfico de *Scores* (Figura 7), com as componentes CP1, que explicou 40,08% da variação dos dados e a CP2 que explicou 32,07% da variação dos dados, resultando numa explicação de aproximadamente 72,15% da variância dos dados.

Figura 7- Representação gráfica em 2D dos Scores das PC1 x PC2 correspondente às amostras de águas superficiais do rio Apeú.



Fonte: Autoria própria.

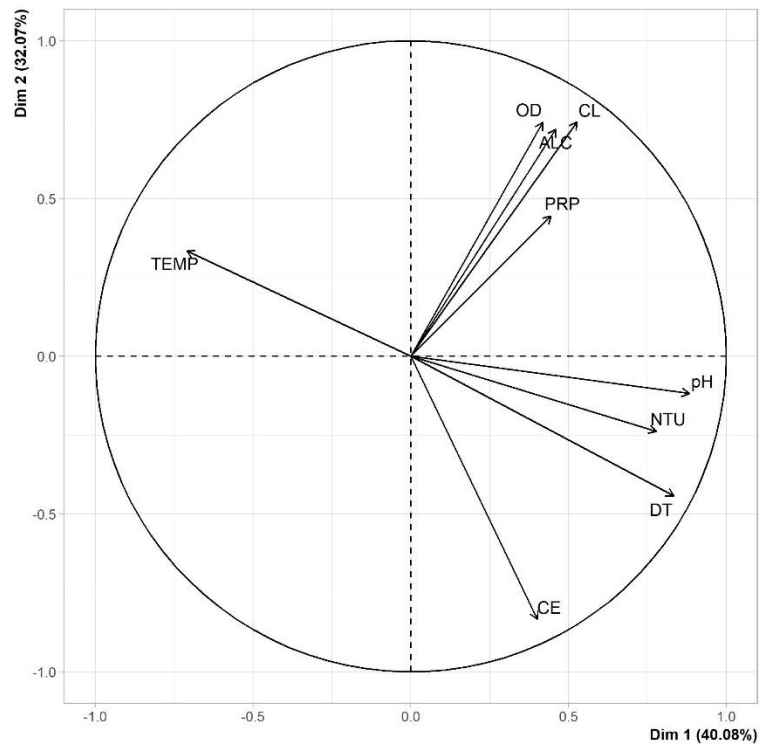
Através da análise do gráfico de *Scores* observa-se que, através da análise multivariada, foi possível caracterizar a variação espacial e sazonal das águas superficiais do rio Apeú.

Ao analisarmos o gráfico de *Scores*, em específico o eixo da CP1 (40,08%), é nítida a formação de dois grupos distintos, sendo o principal responsável por essa caracterização a espacialidade dos pontos amostrais. Pois, observa-se que na extremidade negativa da CP1 temos a formação do Grupo 1, composto apenas pelos pontos amostrais P1 e P2. Enquanto que, ao olharmos para a extremidade positiva da CP1 tem-se a composição do Grupo 2, formado apenas pelos pontos amostrais de P3 a P8, mostrando assim o efeito da espacialidade, ou seja, características de uso e ocupação do solo (ver capítulo 3) de cada ponto, sobre as águas superficiais do rio Apeú.

Por outro lado, quando direcionamos a análise para o eixo da CP2 (32,07%), vemos o efeito dos períodos sazonais sobre as amostras, uma vez que, as amostras relacionadas ao período menos chuvoso (MCH) encontram-se distribuídas na extremidade positiva da CP2 e na sua extremidade negativa temos a distribuição das amostras do período chuvoso (CH).

De acordo com a Figura 8, no gráfico de *Loadings* (Autovetores), podem ser entendidos quais parâmetros contribuíram de maneira mais significativa na formação dos grupos obtidos através da projeção do gráfico de *Scores*.

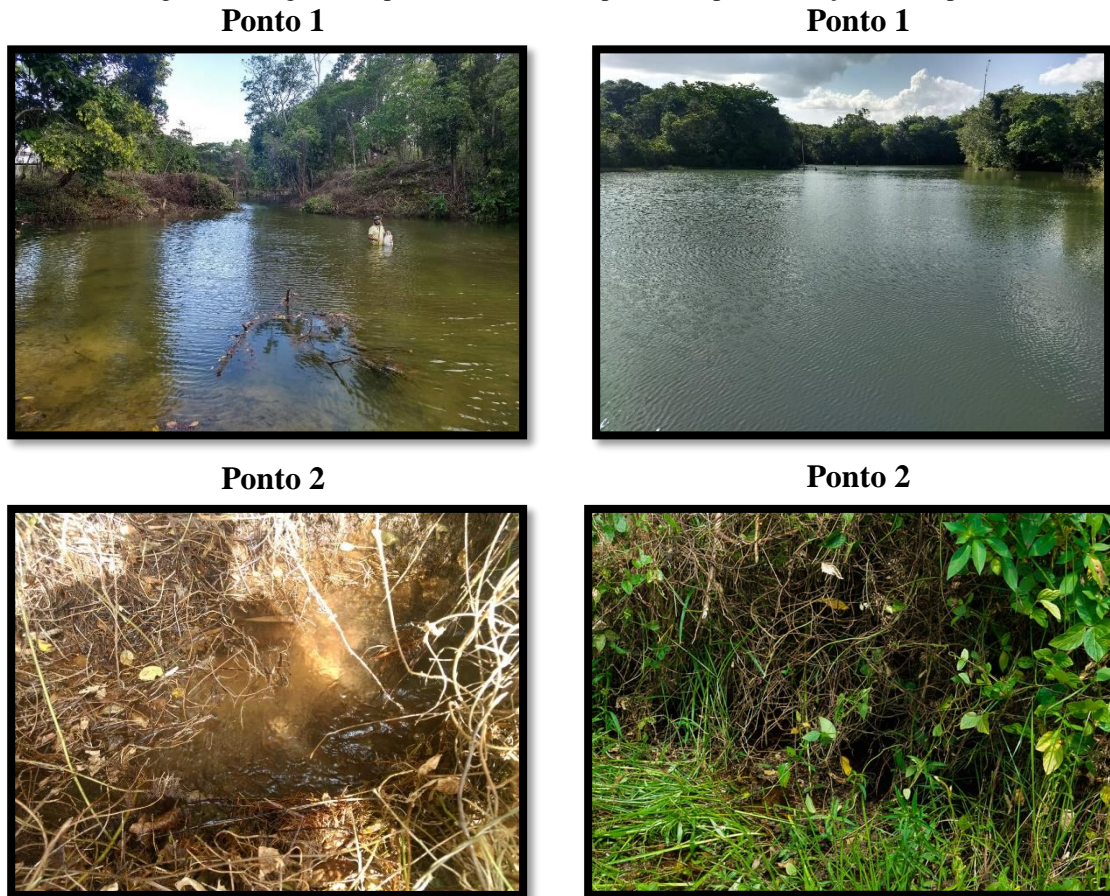
Figura 8- Representação gráfica 2D dos Loadings correspondentes aos parâmetros estudados nas amostras de águas superficiais do rio Apeú: PC1 x PC2.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a projeção dos parâmetros e seus posicionamentos de acordo com cada componente principal, entende-se que o parâmetro que contribuiu de maneira mais significativa para a discriminação do Grupo 1 foi a temperatura (Temp), disposta nas extremidades negativas da CP1 no gráfico de *loadings* e para o Grupo 2 o potencial hidrogeniônico (pH) e a turbidez (NTU) dispostos na extremidade positiva da CP1. Ao analisarmos a Tabela 5, observou-se que a temperatura não apresentou diferenças acentuadas quanto a sazonalidade, mas que em relação aos pontos amostrais P1 e P2, em todas os períodos obtiveram maiores valores de temperatura, comumente por serem pontos cercados por pastagem (Figura 9) e não apresentarem uma cobertura vegetal que dificultasse a penetração acentuada de raios solares. Enquanto que, nos demais pontos amostrais, os valores de pH e turbidez sempre tenderam a apresentarem maiores valores de concentração, sem apresentarem diferenças médias em relação aos períodos sazonais, contribuindo assim, para a formação do Grupo 2.

Figura 9- Imagens dos pontos amostrais responsáveis pela formação do Grupo 1.



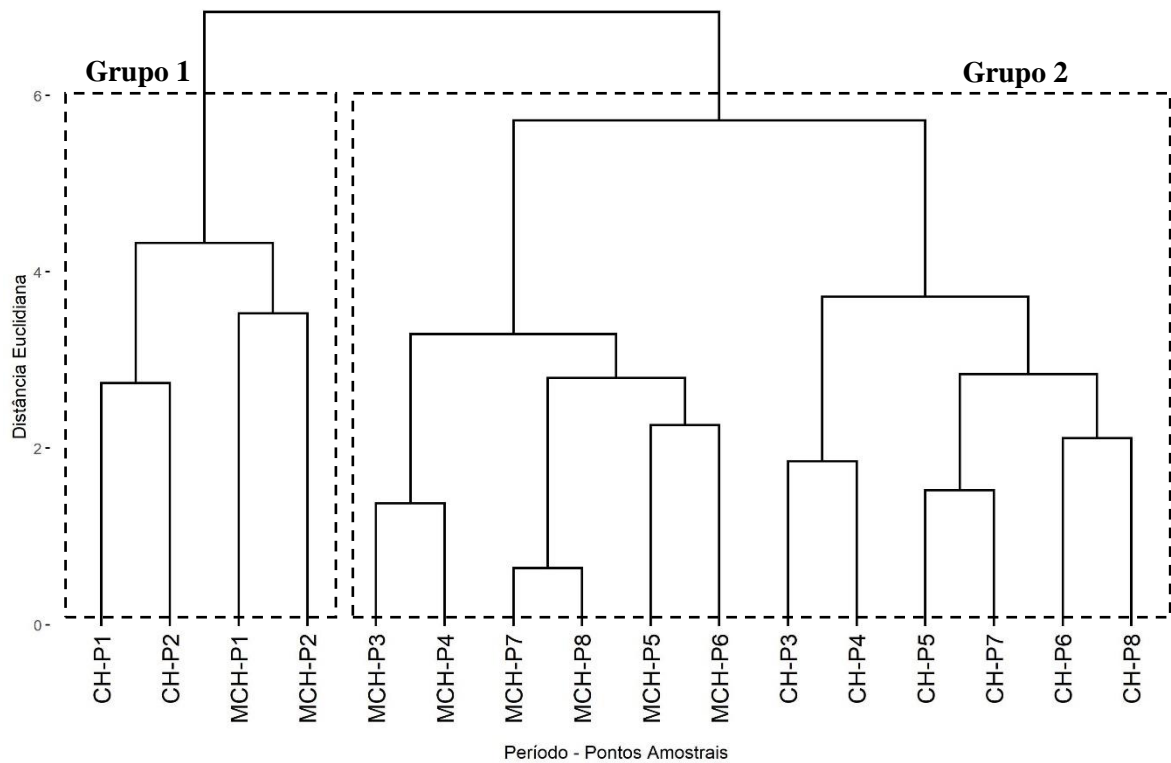
Fonte: Autoria própria.

Com relação a discriminação pela sazonalidade, é possível observar através do gráfico de *loadings*, que os parâmetros que contribuíram para formação do grupo amostral do período menos chuvoso (MCH) foram o oxigênio dissolvido (OD), cloreto (Cl⁻), alcalinidade (ALC) e a precipitação (PRP), que ambos tenderam a apresentar maiores valores de concentração, se comparados com os valores obtidos para o período chuvoso (CH). Quanto ao grupo formado pelas amostras do período chuvoso, no gráfico de *loadings* destacam-se os parâmetros pH, turbidez (NTU), dureza total (DT) e condutividade elétrica (CE). Tendo como destaque os aumentos das concentrações da DT e CE no período chuvoso.

Pois, mesmo apresentando uma maior quantidade de remanescentes florestais, os pontos de P3 a P8 sofrem a influência da urbanização e alterações no uso e ocupação do solo, que comprometem a qualidades dos parâmetros analisados, comprovado pela análise da Tabela 5, onde em quase todos os parâmetros, partindo do terceiro ponto em direção a ultimo, observa-se uma variação inversamente proporcional em relação aos pontos P1 e P2, seja, refletindo a influência da sazonalidade associada a espacialidade sobre a qualidade das águas do rio Apeú.

Ao analisar os resultados descritos até o presente momento, foi possível identificar a caracterização seja pela variação espacial ou sazonal, que podem ser ainda mais descritas por meio da Análise Hierárquica de Agrupamento/Cluster (HCA). Para qual foi empregado a padronização dos dados, realizado a ligação completa por meio das distâncias euclidianas, obtendo o dendrograma da Figura 10.

Figura 10- Dendrograma para as análises físico-químicas das amostras de águas superficiais do rio Apeú (MCH: período menos chuvoso; CH: período chuvoso).



Fonte: Autoria própria.

Ao analisar o dendrograma, vemos nitidamente a separação dos dois grupos distintos entre si, formados pelas amostras do Grupo 1, localizada a esquerda da imagem e as amostras do Grupo 2 a direita do gráfico, mais uma vez ressaltando a diferença oriunda da característica espacial. Além de demonstra uma separação interna entre os dois grupos, relacionadas aos períodos sazonais (MCH e CH).

4.4 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos por meio das análises físico-químicas, assim como a aplicação da estatística descritiva e multivariada, foi possível observar que em relação aos padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357 os parâmetros apresentam-se dentro dos valores de referência. Apresentando alterações mais acentuadas relacionadas as características espaciais dos pontos amostrais, pois em todos observa-se alterações da paisagem natural por conta dos usos e ocupações por onde o rio percorre a sub-bacia, contribuindo para as inconsistências frente a legislação vigente.

Por meio da análise multivariada, foi possível distinguir a caracterização distintas frente a sazonalidade presentes na região, com um período chuvoso e outro menos chuvoso, assim como, as diferenças e alterações causadas pelas localidades de cada ponto amostral. Levando a formação de grupos distintos caracterizados pela sazonalidade e localidades, para as amostras dos pontos distribuídos ao curso do rio Apeú.

Diante dos resultados, os mesmos fortalecem a ideia de preservação dos recursos naturais, demonstrando que as ocupações e alterações sem planejamento tendem a comprometer as qualidades dos recursos hídricos da sub-bacia do rio Apeú. Tornando-se de fundamental importância avaliar e realizar o monitoramento da qualidade das águas superficiais em nossa região.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de integrar o corpo discente do Mestrado em Ciências Ambientais; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de mestrado; a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pelo apoio financeiro ao projeto intitulado “Projeto Rio Apeú: Restauração e Recomposição da Flora, Fauna e o Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Apeú, Pará” e ao Centro de Tecnologia Agropecuária (CTA) pela infraestrutura física de laboratórios e apoio irrestrito à pesquisa científica brasileira; aos moradores da região em estudo que contribuíram ideologicamente para o desenvolvimento desta pesquisa sobre a região.

Referências

- ABDALLA, K. V. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; COSTA NETO, J. P.; BARBIERI, R.; NETO, M. C. M. **Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA**. 2010. Disponível: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915/15056>. Acesso: 05 mar. 2020.
- AGUILAR PIRATOBA, A. R.; RIBEIRO, H. M. C.; PIRATOBA MORALES, G.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v.12, n.3, p.435-456, 2017.
- ALENCAR, A. A. **Monitoramento da qualidade da água de poços no Calcário Jandaíra e restrições na agricultura irrigada**. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2007.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA, 2005. 1268 p.
- ANZECC. **Australian and New Zealand environment and conservation council**. Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters, National Water Quality Management Strategy. Canberra, 2000.
- ARRUDA, N. M. B.; RIZZI, N. E.; MIRANDA, T. L. G. Análise multivariada na avaliação da qualidade de água do reservatório de foz do Areia, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.37, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5327/Z2176-947820159514>.
- BARROS, R. V. G.; SOUZA, H. M. L.; SOUZA, C. A. Determinação do índice de qualidade da água (IQA) na sub-bacia do córrego André em Mirassol d' oeste, Mato Grosso. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.3, p.138-153, 2011.
- BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília,DF: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.
- BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para o consumo**. Brasília, DF, 2006. 212 p.
- BRITTO, F. B.; VASCO, A. N.; MORAIS, G. F. O.; AGUIAR NETTO, A. O. Técnicas estatísticas para análise da qualidade da água em áreas irrigadas no baixo Rio São Francisco. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.192-203, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0021>.

CABRAL, J. H. A.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BONOU, S. I.; SANTOS, B. D. B.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J. Estatística multivariada na qualidade da água residuária utilizadas na irrigação na região semiárida brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.121-133, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0010>.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan. **Revista Árvore**, Nova Friburgo-RJ, v. 30, p. 241- 248, 2006.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, n.1, p.73-85, 2008.

CARVALHO, F. I. M.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Revista Virtual de Química**, v.7, p.2221-2241, 2015.

CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N.; GUEDES, H. A. S. Índice de qualidade de água modificado pela análise multivariada: estudo de caso do Arroio Pelotas, RS, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient**, v.23, n.5, p.973-978, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018165394>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Secretaria do Meio Ambiente. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2009. 43 p. (Série Relatórios).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. **Website**. 2012. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso: 20 mar 2020.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora da UFV, 2001.

CRUZ, D. A. M; MORALES, J. C.; GONZÁLEZ, A. B.; VÉLEZ, O. L. P.; BAUER, M. L. L. I.; CHÁVEZ, L. T. 2016. Variación espacial de la calidad del agua para uso agrícola, del acuífero costero del Valle del Mayo, Sonora, México. **Hidrobiológica**, v.26, n.1, p.109-119, 2016.

CORRAR, J.L.; PAULO, E.; DIAS FILHO, M.J. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas. 2014. 586 p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico. **Engenharia Agrícola**, V.25, 115-125, 2005.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI-FILHO, E. Oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova Interativa**, 2005. Disponível em: <http://qnint.sbg.org.br/qni/visualizarTema.php?idTema=20>. Acesso em: 04 mar. 2020.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos.** 2009. 150f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with Stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v.2, p.1-21, 2015.

GUTIERREZ, C. B. B.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GUTIERREZ, D. M. G.; DOS SANTOS, L. S.; DE PAULA, M. T. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.01, p.521-534, 2017.

HAIR, J.; BLACK, W.; BABIN, B.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. **Análise multivariada de dados.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

JANZEN, J. G.; SCHULTZ, H. E.; LAMON, A. W., 2008. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.3, p.278-283, 2008.

JESUS, A. A. S. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental.** 2009. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2009.

KPDES. KENTUCKY POLLUTANT DISCHARGE ELIMINATION SYSTEM. **Conductivity and Water Quality.** 2010. Disponível: <http://kywater.org/ww/ramp/rmcond.htm>. Acesso: 08 mar. 2020.

LIMA, W. P. Impacto ambiental del eucalipto em programas de forestacion: estúdios realizados y resultados obtenidos em el monitoreo de los efectos ambientales de la forestacion em Brasil. **Uruguay Forestal**, v.7, n.14, p.5-12, 1997.

LIMA, L. D. M. **Susceptibilidade à erosão dos solos nas sub-bacias dos médio e alto cursos da bacia do rio Macaé.** 2008. 127f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A; AGUIAR NETTO, A de O.; FACCIOL, G. G; SOUSA, I. F. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.2, p.98-105, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V8N200228>.

MAGALHÃES, S. F. C. **Avaliação dos fatores que influenciam na dinâmica de nutrientes, material particulado e vazão em pequenas bacias hidrográficas.** 2017. vii 67f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MENEZES, J. P. C. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura.** 2012. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, p.33-38, 2002.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

OBIEFUNA, G.I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v.3, p.131-141, 2011.

OLIVEIRA, E. C.; COSTA, K. U. D.; REIS, W. D.; SANTOS, A. A.; SILVA, W. T. P. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade da água superficial em uma microbacia urbana. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.8, p.57-69, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0006>.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

REIS, E. **Estatística multivariada aplicada**. 1 ed. Lisboa : Edições Sílabo, 1997.

RODIER, J. **Analisis de las aguas**. Barcelona: OMEGA, 1981. p. 1059.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização hídrica em função das condições de uso e manejo do solo na microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, S.P.** 2008. xi, 111f. Dissertação (Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal. 2008.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004. 183p.

SANTOS, O. C. O. **Análise do uso do solo e dos recursos hídricos na microbacia do igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará**. 2006. 256f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

SANTOS, J. T. S. **Aplicação do modelo hidrológico SWAT para a sub-bacia do rio Arapepó (Salinópolis/PA)**. 2014. 83f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

SANTOS, N. B. C.; SANTOS, R. H. G.; SILVA, R. F. Aplicação da análise multivariada e da Resolução CONAMA 357/2005 para análise da qualidade de água em rios de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.5, p.1859-1875, 2018.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. **Environmental Modelling & Software**, v.22, n.4, p.464-475, 2007.

SILVA, A. E. P. *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SILVA, E. R. M.; COSTA, L. G. S.; SILVA, A. S.; SOUZA, E. C.; BARBOSA, I. C. C. Caracterização físico-química, química e quimiométrica de águas subterrâneas dos aquíferos Pirabas e Barreiras em municípios do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.03, p.1026-1041, 2018.

SOUZA, S. R. de.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 141-150, 2011.

SOUZA, S. R. de.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 701-710, 2012.

SOUZA, D. F.; SILVA, L. O. S. da.; PINTO, A. L. Qualidade física, química e biológica sazonal das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Moeda em Três Lagoas/MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.01, p.196-210, 2020.

TUCCI, C. E. M. *et al.* **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS; São Paulo: Ed. da USP. 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability**. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L.; FONSECA, L. C. N. Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense, entre os anos de 1999 e 2014. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)**, Belém, v.2, n.2, p.76-83, 2015. DOI: 10.17553/2359-0831/ihgp.v2n2p76-83.

VALE, J. R. B. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense: subsídios ao planejamento ambiental**. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 7. 452 p.

WANG, L.; WANG, Y.; XU, C.; AN, Z.; WANG, S. Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.173, p.301-313, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1388-5>.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO GERAL

A sub-bacia hidrográfica do rio Apeú já foi alvo de inúmeras pesquisas no nordeste paraense, e foram de fundamental importância ao auxílio bibliográfico. Além disso, a caracterização do comportamento da precipitação na sub-bacia, o levantamento dos tipos de uso e ocupação do solo, da vulnerabilidade ambiental e a avaliação da qualidade físico-química das águas superficiais do tributário principal da sub-bacia, contribuíram para soluções das perguntas e dúvidas que surgiram ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Frente as respostas e discussões elaboradas, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG's, foram essenciais nos mapeamentos, contribuindo para elaboração de mapas temáticos, favorecendo as tomadas de decisões, assim como, as suas aplicabilidades que podem ser exploradas e utilizada como ferramentas pelo poder público.

Através dos resultados, oriundos dos produtos científicos produzidos, constatou-se que a sub-bacia do rio Apeú apresenta mudanças de uso e ocupação do solo, refletidas principalmente na qualidade das águas superficiais, com alterações provocadas por pastagens nas áreas de nascentes, avanço da urbanização na área da bacia, demonstrando o não cumprimento de políticas ambientais como a proposta pela Lei Federal Nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro), assim como, a presença de áreas com vulnerabilidade médias e altas avançando em direção aos remanescentes florestais, principalmente na região norte da sub-bacia onde encontram-se os pontos de nascente, que se encontram as margens do rio Apeú, configurando uma situação de degradação ambiental dos recursos naturais nos limites da sub-bacia hidrográfica do rio Apeú.

Diante dos resultados apresentados e discutidos, podem ser indicadas como alternativas que visem uma maior preservação e conservação ambiental dos recursos na sub-bacia, tais como, um maior número de amostragens e outras análises físico-químicas e, também bacteriológicas das águas superficiais e subterrâneas, bem como, o incentivo ao monitoramento da qualidade das águas dos demais igarapés e tributários; a recuperação e manter as vegetações naturais ou realizar o reflorestamento, visando a conservação do solo, infiltração e retardamento do escoamento superficial, evitando lixiviações para os corpos d'água; realizar aplicações adequadas de manejo do solo, visando o combate aos processos de erosão e do escoamento e infiltração; promover controle das ocupações urbanas, sobretudo, as margens dos corpos hídricos, favorecendo a conservação das áreas de proteção permanentes.

Por fim, ressalta-se a importância do desenvolvimento sustentável frente aos recursos naturais, sem destacar a importância eminente e necessária do desenvolvimento de atividades

econômicas, mas que deva ser feita de maneira sistêmica levando em consideração o tripé da sustentabilidade (econômico, social e ambiental), visando a disponibilidade dos mesmos recursos existentes atualmente para as futuras gerações. Para isso, o trabalho em conjunto com a população é de grande importância, uma vez que os mesmos são responsáveis pela denúncia, fiscalização e a exigência de projetos e ações dos órgãos responsáveis para melhorar as situações locais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F. de; SOUZA, E. B. de; OLIVEIRA, M. C. F. de; SOUZA JÚNIOR, J. A. de. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, ano. 6, v. 6, p. 151-168, 2010.
- ALENCAR, A. A. **Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário Jandaíra e restrições na agricultura irrigada**. 2007. 67f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2007.
- ALVES, R. J. M.; GONÇALVES, W. G.; GONÇALVES, J. P.; NUNES, G. L.; SILVA, E. R. M.; MAIA, J. S.; ADAMI, M.; NARVAES, I. S. Análise do uso e ocupação do solo em Marapanim-Pa a partir de dados do Projeto TerraClass. **Holos**, ano 34, v. 1, p. 81-90, 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.2819.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p.423 - 434, 2012.
- AMARAL, A. M.; BARBÉRIO, A.; VOLTOLINI, J. C.; BARROS, L. Avaliação preliminar da citotoxicidade e genotoxicidade da água da bacia do rio Tapanhon (SP-Brasil) através do teste Allium (Allium Cepa). **Revista Brasileira de Toxicologia**, São Paulo, v. 20, n. 1/2, p. 65-72, 2007.
- BAHIA, M. L.; GARVÃO, R. F. Castanhal-Pa: um estudo avaliativo da “Cidade Modelo” no Nordeste Paraense. **Cairu em Revista**, ano.04, n.06, p.35-46, 2015.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. L. L. (eds.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2009. p. 23-45.
- BILICH, M. R. **Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do ribeirão mestre d’armas, Distrito Federal**. 2007. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007.
- BORDALO, C. A. L.; COSTA, F. E. V. Uma análise das primeiras experiências de gestão em bacias hidrográficas na Amazônia. **Entre-Lugar**, ano 3, n. 5, p 103-115, 2012.
- BORDALO, C. A. L.; FERREIRA, C. A. C.; SILVA, F. A. O.; MORAES, R. C. Os desafios da gestão das águas nas metrópoles da Amazônia: uma análise do modelo de gestão pública dos sistemas de abastecimento de água na região metropolitana de Belém – PA. **Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 3, n. 4, p. 1181-1193, 2012.
- BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; FERRAUDO, A. S. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgoto em cursos d’água urbanos da bacia hidrográfica do córrego Jaboticabal. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 161-171, 2003.
- BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Diário Oficial [da] União, 09 jan. 1997.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília,DF: FUNASA, p. 112, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

CAMPOS, S.; CARDOSO, L. G.; CAMPOS, M.; NARDINI, R. C.; RODRIGUES, B. T.; RODRIGUES, M. T.; TAGLIARINI, F. S. N.; TRAFICANTE, D. P. Geoprocessamento aplicado no diagnóstico dos conflitos de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente no Ribeirão das Agulhas – Botucatu (SP). **InterEspaço**, Grajaú, v. 2, n. 6, p. 163-175, 2016.

CARAM, R. O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. 2010. 140f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. Secretaria do Meio Ambiente. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2009. 43 p. (Série Relatórios).

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal**: TerraClass 2008. Brasília, DF: Embrapa, Belém: INPE, 2013.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM, LABHID - UFPE, 2000. 391p.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M.; CORRÊA, J. A. M. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 4, p. 680-693, 2017.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. **Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n. 6, p. 36-45, 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. M.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126. 1998.

JESUS, A. A. S. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Apeú (Nordeste Paraense) - Amazônia Oriental**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia com concentração em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades@Brasil em síntese**. Castanhal-PA. Brasil, 2016. Disponível online em: <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pa/castanhal/pesquisa/30/30051?detalhes=true>. Acesso 26 ago. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA- IPEA. Governança Metropolitana no Brasil: região metropolitana de Belém. **Relatório de Pesquisa Brasília**, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/>. Acesso: 25 ago. 2019.

LIMA, W.P. Impacto ambiental del eucalipto em programas de forestacion: estúdios realizados y resultados obtenidos em el monitoreo de los efectos ambientales de la forestacion em Brasil. **Uruguay Forestal**, v. 7, n. 14, p. 5-12, 1997.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 01-19, 2006.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. London: Chapman and Hall, 1992. p. 30-45.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207 – 214, 2005.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: bacia do gama – Distrito Federal. **Revista Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, p.2464–2479, 1996.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás**. 2015. 56f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OBIEFUNA, G.I.; SHERIFF, A. Assessment of shallow ground water quality of Pindiga Gombe Area, Yola area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v.3, p.131-141, 2011.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. p. 17-35.

PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. C.; LAMPARELLI, M. C. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v.27, n.4, p.370-380, 2015.

PESQUISA MENSAL DE COMÉRCIO – PMC. **Agrovilas da região de Castanhal, Pará.** 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/comercio/9227-pesquisa-mensal-de-comercio.html?=&t=o-que-e>. Acesso 26 nov. 2019.

RIBEIRO, W. O.; LISBOA, G. T. C.; FONSECA, V. M. Entre a Segregação e o Desenvolvimento: o Parque dos Buritis no Contexto do Programa “Minha Casa, Minha Vida” em Castanhal, Pará. **Boletim Amazônico de Geografia**, Belém, v.02, n.03, p.58-79, 2015.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização hídrica em função das condições de uso e manejo do solo na microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, S.P.** 2008. xi, 111f. Dissertação (Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, O. C. O. **Análise do uso do solo e dos recursos hídricos na microbacia do igarapé Apeú, Nordeste do Estado do Pará.** 2006. 269f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, F. L. da; OLIVEIRA, F. A.; AMIN, M. M.; BELTRÃO, N. E. S.; ANDRADE, V. M. S. Dimensões do uso e cobertura da terra nas mesorregiões do Estado do Pará. **Revista Espacios**, v.37, n.5, p.1-20, 2016.

SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Paterni on the Amazonian Rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v.30, n.2, p.305-318, 2000.

SOUZA, E. B. de; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**, v.1, p.1-20, 2003.

SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p.113–122, 2004.

SOUZA, E. B. de; ROCHA, E. J. P. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p.142-152, 2006.

SOUZA, E. B. de *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.111-124, 2009.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Apeú, nordeste do Pará, Brasil. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambient**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 141-150, 2011.

SOUZA, S. R. de; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará. **Floresta. Curitiba**, v. 42, n. 4, p. 701-710, 2012.

SWAROWSKY, A.; DAHLGREN, R. A.; TATE, K. W.; HOPMANS, J. W.; O'GEEN, A. T. Catchment-Scale Soil Water Dynamics in a Mediterranean-Type Oak Woodland. **Vadose Zone Journal**, v.10, p.800-815, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/vzj2010.0126>.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L.; FONSECA, L. C. N. Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense, entre os anos de 1999 e 2014. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)**, Belém, v.2, n.2, p.76-83, 2015. DOI: 10.17553/2359-0831/ihgp.v2n2p76-83.

VALE, J. R. B. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Apeú, Nordeste Paraense**: subsídios ao planejamento ambiental. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.