

## IV-561 - ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO BAIXO JAGUARIBE, CEARÁ

**Mateus Clemente de Lacerda<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestrando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG.

**Ayrton Flavio Nascimento de Sousa<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestrando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela UFCG.

**Maria Aliny Souza e Silva<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mestranda em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Dayse Luna Barbosa<sup>(4)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Aprígio Veloso, 175 - Universitário – Campina Grande – PB - CEP: 58429-170 - Brasil - Tel: (83) 99412-1647 - e-mail: [mateus.clemente@outlook.com](mailto:mateus.clemente@outlook.com)

### RESUMO

As bacias hidrográficas são unidades básicas que tem a perspectiva de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental, considerando os aspectos físicos, sociais e econômicos locais. Para o desenvolvimento de políticas que auxiliem o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, torna-se fundamental conhecer tanto as suas características físicas quanto os tipos de usos. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo identificar a dinâmica e fragilidades ambientais na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, através da análise da caracterização morfométrica e do uso e ocupação do solo, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento. Para tal, foram realizados o cálculo dos parâmetros morfométricos de densidade de drenagem, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de sinuosidade e razão de relevo, além de uma análise da dinâmica de cobertura do terreno através da observação da série temporal no período entre 1985 e 2021. Os parâmetros de fator de forma (0,457) e coeficiente de compacidade (2,173) indicam uma baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação. A baixa razão de relevo encontrada indica um escoamento mais lento. Quando comparados os anos de 1985 e 2021, a mudança mais expressiva é o crescimento da agricultura, passando de 2,5% para 22,7%, havendo um avanço das ações antrópicas nas áreas de coberturas naturais para o cultivo de plantações particulares. A sub-bacia apresentou parâmetros naturais que promovem a redução da suscetibilidade às enchentes, pois há um baixo escoamento superficial e alta capacidade de infiltração de água no solo. Entretanto, o crescimento das atividades antrópicas pode acarretar conflitos ambientais que interfiram no ciclo hidrológico e na dinâmica natural da sub-bacia em estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aumento de Capacidade, Melhoria da Qualidade, Água com Alcalinidade, Coagulante Adequado, Auxiliares de Flocculação.

### INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são tidas como a unidade básica para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e estruturantes, que tem a perspectiva de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental, considerando os aspectos físicos, sociais e econômicos locais. No Brasil, este recorte territorial foi definido através da Lei nº 9.433/97, que institui a Política de Nacional de Recursos Hídricos (CARVALHO, 2020).

Em função de suas características ambientais, as alterações realizadas no âmbito de uma bacia hidrográfica interferem na qualidade ambiental da bacia como um todo. Os ciclos hidrológicos no interior da bacia são afetados tanto por mudanças naturais quanto antrópicas (OLIVEIRA; AQUINO, 2020). As atividades

humanas têm provocado a degradação dos solos, por meio da compactação do solo, redução da atividade biológica e consequente perda de nutrientes e matéria orgânica, erosão, poluição, salinização, alagamentos, entre outros (ALVES, 2021).

Para o desenvolvimento de políticas que auxiliem o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas de maneira a manter o equilíbrio ambiental, torna-se fundamental conhecer tanto as suas características físicas quanto os tipos de usos. As características morfométricas fornecem subsídios para conhecimento do funcionamento da bacia (VALE, BORDALO, 2020). Os parâmetros morfométricos como fator de forma, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, declividade do terreno, entre outros, são indicadores da suscetibilidade à degradação ambiental da bacia, como enchentes e inundações (SILVA; SILVA, 2021).

O monitoramento do uso e cobertura do solo contribui para a mitigação dos impactos ambientais em bacias hidrográficas, considerando informações espaço-temporais acerca das alterações na paisagem (FIORESE, 2021). Dessa forma, estudos que objetivam diagnosticar as condições do ambiente natural e analisar a sua dinâmica, podem contribuir na gestão sustentável dessas regiões (MORAES ET AL., 2018).

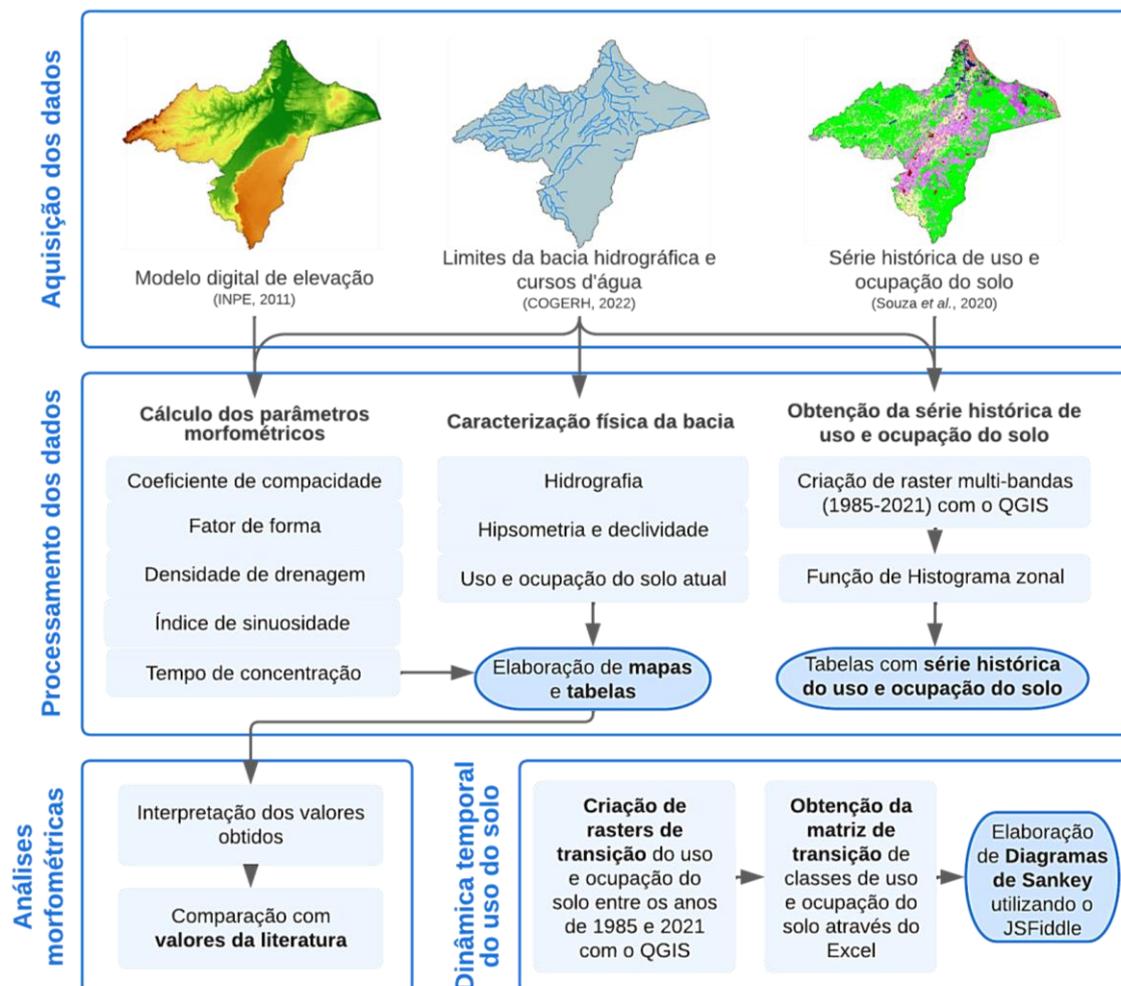
Diante da importância da percepção dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica, é importante que ocorra sua adequada caracterização e monitoramento. A análise das bacias pode ser realizada com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilita a inserção, manipulação e análise de dados no espaço geográfico (LUZ et al., 2017).

A região hidrográfica da Sub-bacia do Baixo Jaguaribe compreende o terço inferior do Vale do Jaguaribe. Pela sua situação na Bacia caracteriza-se como uma região tipicamente receptora de água das zonas produtoras que se situam a seu montante. Dispõe de um único reservatório, o Santo Antonio de Russas, com capacidade de acumulação de 24hm<sup>2</sup>. Em compensação a região apresenta grande potencial de solos para irrigação e já concentra grandes áreas em produção irrigada (CEARÁ, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo identificar a dinâmica e fragilidades ambientais na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, através da análise da caracterização morfométrica e do uso e ocupação do solo, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Com o intuito de atingir o objetivo proposto para este trabalho, o estudo baseia-se em quatro etapas metodológicas apresentadas no fluxograma da Figura 1 e detalhadas neste item.



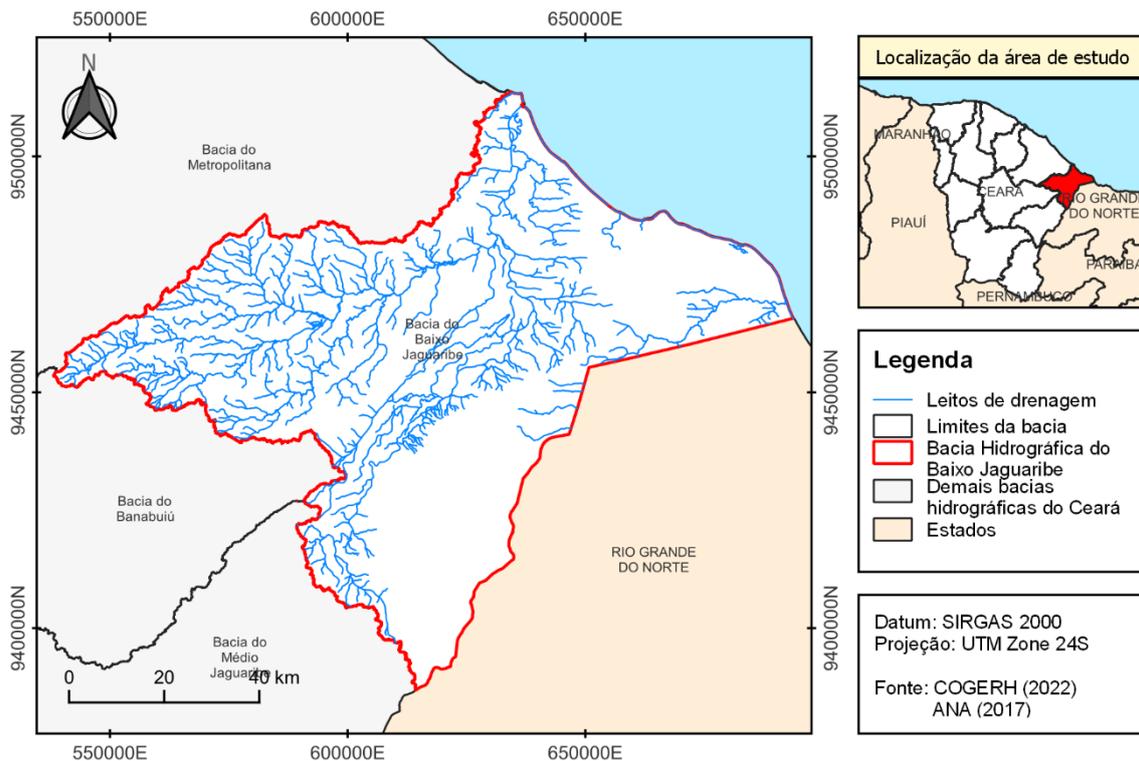
**Figura 1: Fluxograma metodológico**

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, a maior do Ceará, e encontra-se localizada na porção oriental do estado, como observado na Figura 2. Limitada pelo Rio Grande do Norte, as Bacias Metropolitanas e o Oceano Atlântico, a unidade de planejamento possui uma área drenada de 7.216 km<sup>2</sup> que engloba 4,64% do território estadual, abrangendo nove municípios (COGERH, 2021) com população igual a 325.202 habitantes.

O principal curso d'água que percorre a sub-bacia é o baixo curso do Rio Jaguaribe, caracterizado por possuir uma extensa planície aluvial com padrão perene devido à regularização promovida pelos açudes do Médio e Alto Jaguaribe. O Rio Palhano é considerado o principal afluente do rio principal neste trecho. Além disso, a bacia apresenta uma capacidade de acumulação de água superficial igual a aproximadamente 25 milhões de m<sup>3</sup>, sendo o Açude Santo Antônio de Russas o principal corpo de acumulação da região (COGERH, 2021).

**Figura 2 – Localização geográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe**



**Figura 2: Localização geográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe**

O relevo da região é caracterizado pela presença de superfícies rebaixadas e planícies com altitudes menores que 200 metros em relação ao nível do mar. O clima é considerado semiárido quente e úmido, apresentando temperaturas anuais médias entre 26 e 28°C e uma pluviosidade anual média de 838,0 mm. Os principais usos da água na Sub-bacia do Baixo Jaguaribe são a irrigação, o abastecimento humano e a irrigação, com uma demanda hídrica anual total de mais de 68 milhões de m<sup>3</sup> (CEARÁ, 2009).

Ainda segundo o Caderno Regional da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe (CEARÁ, 2009), observa-se o predomínio de rochas sedimentares em mais de 74% do território. As rochas cristalinas são encontradas em 26% da extensão, principalmente na região oeste. A predominância das formações sedimentares contribui para uma maior oferta de águas subterrâneas na sub-bacia.

A sub-bacia é composta por solos de grande potencial agrícola, como os Neossolos Flúvicos, Cambissolos e Argissolos Eutróficos. A exceção se dá na região oeste e na planície litorânea, que apresentam solos menos férteis e com maior potencial erosivo. Ademais, os tipos predominantes de vegetação são o Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, a Caatinga Arbustiva Densa e as Matas Ciliares no leito do Rio Jaguaribe. (CEARÁ, 2009).

## AQUISIÇÃO DOS DADOS

O cálculo dos parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica escolhida para este estudo, foi realizado a partir de dados espaciais dos limites da unidade de planejamento e de elevação do terreno. Tais informações foram adquiridas através do Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH, 2020) e da Topodata (2008). Os arquivos também foram essenciais para elaboração dos mapas apresentados neste trabalho.

A análise da dinâmica de cobertura do terreno foi realizada através da observação da série temporal de uso e ocupação do solo obtida a partir de dados da coleção 7.0 publicada pelo Projeto MapBiomass (2022). Os dados de uso e ocupação do solo foram acessados através da ferramenta Google Earth Engine que disponibiliza catálogos diversos de imagens de satélites junto a um conjunto de dados geoespaciais que permitem análises em escala planetária.

O MapBiomias – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil é uma iniciativa sustentada por uma rede de instituições que envolve universidades, organizações não-governamentais e empresas de tecnologia, com o propósito de mapear e monitorar as mudanças no uso do solo por meio da classificação de imagens Landsat-8, permitindo uma análise histórica da dinâmica de evolução do uso e ocupação do solo em todo o país (Projeto MapBiomias, 2022).

## PROCESSAMENTO DOS DADOS

As imagens de uso e ocupação do solo obtidas através do MapBiomias e os dados vetoriais da rede de drenagem foram recortados utilizando o limite da sub-bacia hidrográfica, com o objetivo de delimitar a área de estudo e facilitar a elaboração dos mapas de caracterização física da sub-bacia. Para tanto, foram utilizadas funções de recorte embutidas no QGIS 3.22, software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

A caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica também foi realizada dentro da plataforma QGIS 3.22, com o auxílio de ferramentas de análise de terreno e calculadora de campo.

A utilização das funções oferecidas possibilitou a obtenção dos seguintes parâmetros: área da sub-bacia, perímetro da sub-bacia, amplitude de altitude, altitudes máxima e mínima, comprimento dos rios e do rio principal, declividade média do rio principal e da sub-bacia, densidade de drenagem, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de sinuosidade, hierarquia fluvial e tempo de concentração. Os parâmetros morfométricos calculados e suas equações estão dispostos no Quadro 1.

**Quadro 1: Parâmetros morfométricos calculados. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2021).**

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	DESCRIÇÃO	EQUAÇÕES
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Relação entre o comprimento total de canais e a área da bacia, considerando rios perenes e temporários	$D_d = \frac{C}{A}$
Coefficiente de compacidade	Relaciona a forma da bacia com um círculo. Quanto mais próximo for de 1, mais circular será a bacia	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$
Fator de forma	Relaciona a forma da bacia com um retângulo. Quanto maior for o valor, mais suscetível a bacia é a enchentes	$K_f = \frac{A}{L_x^2}$
Índice de sinuosidade	Relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal, utilizada para expressar a velocidade do escoamento da água	$I_s = \frac{L}{L_v}$
Razão de relevo	Relação entre a diferença de altitude dos pontos extremos da bacia e o seu maior comprimento em metros, que corresponde à direção do vale principal	$R_r = \frac{\Delta H}{L_x}$

Onde, A: Área da bacia (km<sup>2</sup>), P: Perímetro da bacia (km), L: Comprimento do canal principal (km), L<sub>x</sub>: Comprimento axial da bacia (km), C: Comprimento total dos canais (km), L<sub>v</sub>: Distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal (km), ΔH: Desnível máximo da bacia (km).

Para a obtenção da série histórica de uso e ocupação do solo, os dados raster obtidos na plataforma MapBiomias foram agregados em uma única camada matricial com diversas bandas através da função de criação de rasters virtuais. De modo a simplificar a manipulação subsequente dos dados, cada uma das bandas representa o retrato da cobertura do solo em um ano da série histórica utilizada (1985-2021).

Em seguida, foi realizada uma contagem do número de células de cada classe de uso e ocupação do solo através da função Histograma Zonal. A camada resultante da operação foi exportada em formato de planilhas para manipulação no software Microsoft Excel, onde foi possível analisar as porcentagens de cada uso do solo na sub-bacia durante toda a série histórica.

## ANÁLISES MORFOMÉTRICAS

Os valores das características geométricas e dos índices morfométricos obtidos na etapa de processamento dos dados foram interpretados a partir de intervalos de classificação propostos na literatura. Além disso, os parâmetros foram comparados com os mapas de caracterização física elaborados a fim de compreender a correlação espacial com estas informações.

## ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise da dinâmica temporal entre os tipos de cobertura do solo da Sub-bacia do Baixo Jaguaribe foi realizada com o intuito de identificar as atividades antrópicas com maior impacto nas mudanças de classes observadas dentro do período observado, além de áreas de recuperação ambiental. Para isso, foram criadas rasters de transição de classes de uso e ocupação do solo, utilizando a metodologia de concatenação de valores de uso do solo nos anos inicial e final proposta pelo Projeto MapBiomias (2022).

Por fim, os dados de transição foram exportados em formato de planilha Excel, onde foi possível produzir matrizes de transição de classes para identificar os fluxos entre as coberturas do solo durante o período analisado. As alterações nas classes foram apresentadas através da elaboração de Diagramas de Sankey, frequentemente recomendados para facilitar a visualização de fluxos, utilizando a plataforma JSFiddle.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

O Quadro 2 apresenta as medidas geométricas e parâmetros morfométricos calculados.

**Quadro 2: Medidas e valores dos parâmetros morfométricos da sub-bacia do Baixo Jaguaribe/CE**

PARÂMETRO	RESULTADO
Área total (km <sup>2</sup> ) – A	7.216,357
Perímetro (km) – P	659,185
Comprimento total de canais (km) – C	259,501
Comprimento do canal principal (km) – L	135,072
Desnível máximo da bacia (km) - ΔH	0,423
Distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal (km) – Lv	96,796
Comprimento axial da bacia (km) – Lx	125,718
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> ) – Dd	0,036
Coefficiente de compacidade – Kc	2,173
Fator de forma – Kf	0,457
Índice de sinuosidade – Is	1,395
Razão de relevo – Rr	0,003

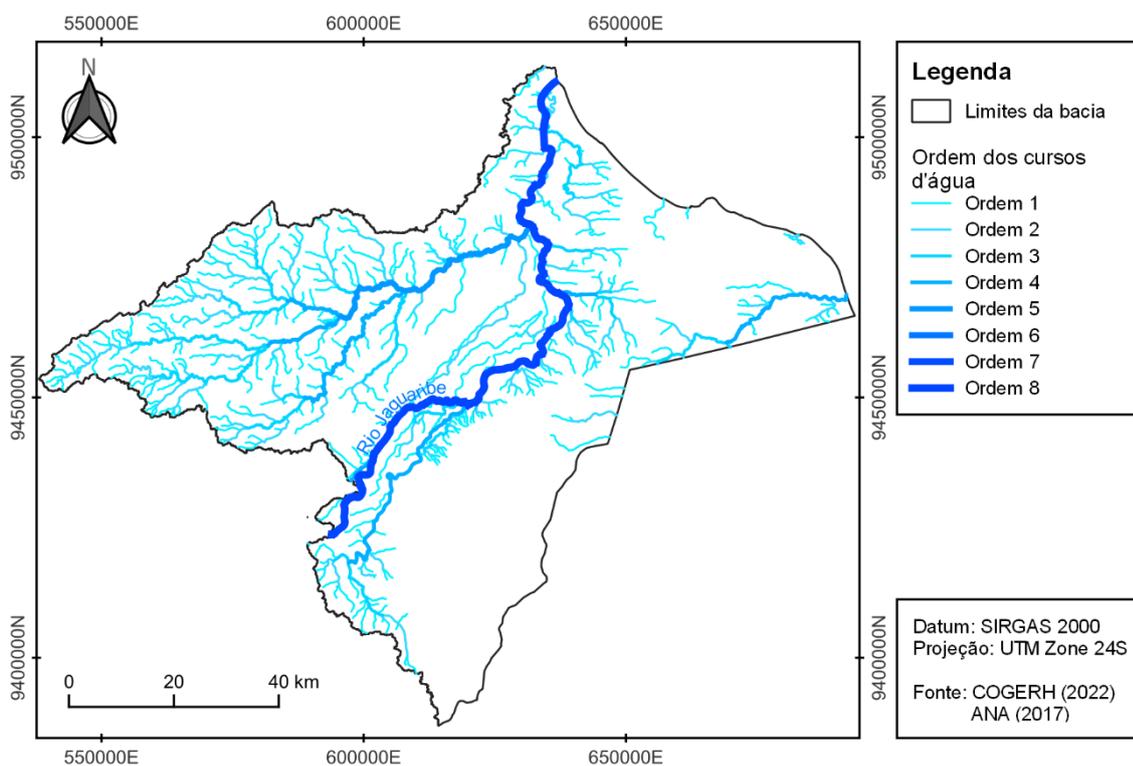
A bacia hidrográfica em estudo apresenta uma área de 7.216 km<sup>2</sup>, um perímetro de 659,18 km, e o comprimento total de canais é de 259,50 km, onde 52% correspondem ao canal principal, que tem 135,07 km. O valor da densidade de drenagem de 0,036 indica segundo a classificação de França (1968), que a bacia conta com um baixo escoamento superficial e maior infiltração ( $Dd < 1,5$ ). Tais constatações podem ser decorrentes da associação de fatores climáticos (como baixas pluviosidades e elevadas taxas de evapotranspiração) e geomorfológicas (baixas declividades) o que interfere no escoamento global da bacia. Resultados semelhantes foram observados por Santos et al. (2021) para a bacia hidrográfica do Açude Cachoeira II.

Os parâmetros de fator de forma (0,457) e coeficiente de compacidade (2,173) indicam uma baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação de acordo com a classificação de Villela e Mattos (1975).

Em relação a sinuosidade da drenagem, índice que expressa a velocidade de escoamento do rio principal, foi obtido um valor de 1,395. Segundo Freitas (1952), valores de  $I_s$  próximos a unidade indicam canais retilíneos.

A razão de relevo permite comparar a altimetria da área, e quanto maiores os valores, mais acidentado é o relevo predominante na área, e maior será o escoamento superficial direto da água das chuvas, o que reflete numa menor relação infiltração deflúvio, provocando erosão (NARDINI et al., 2015). A razão de relevo encontrada foi de 0,003, classificada como baixa de acordo com Piedade (1980), o que indica um escoamento mais lento.

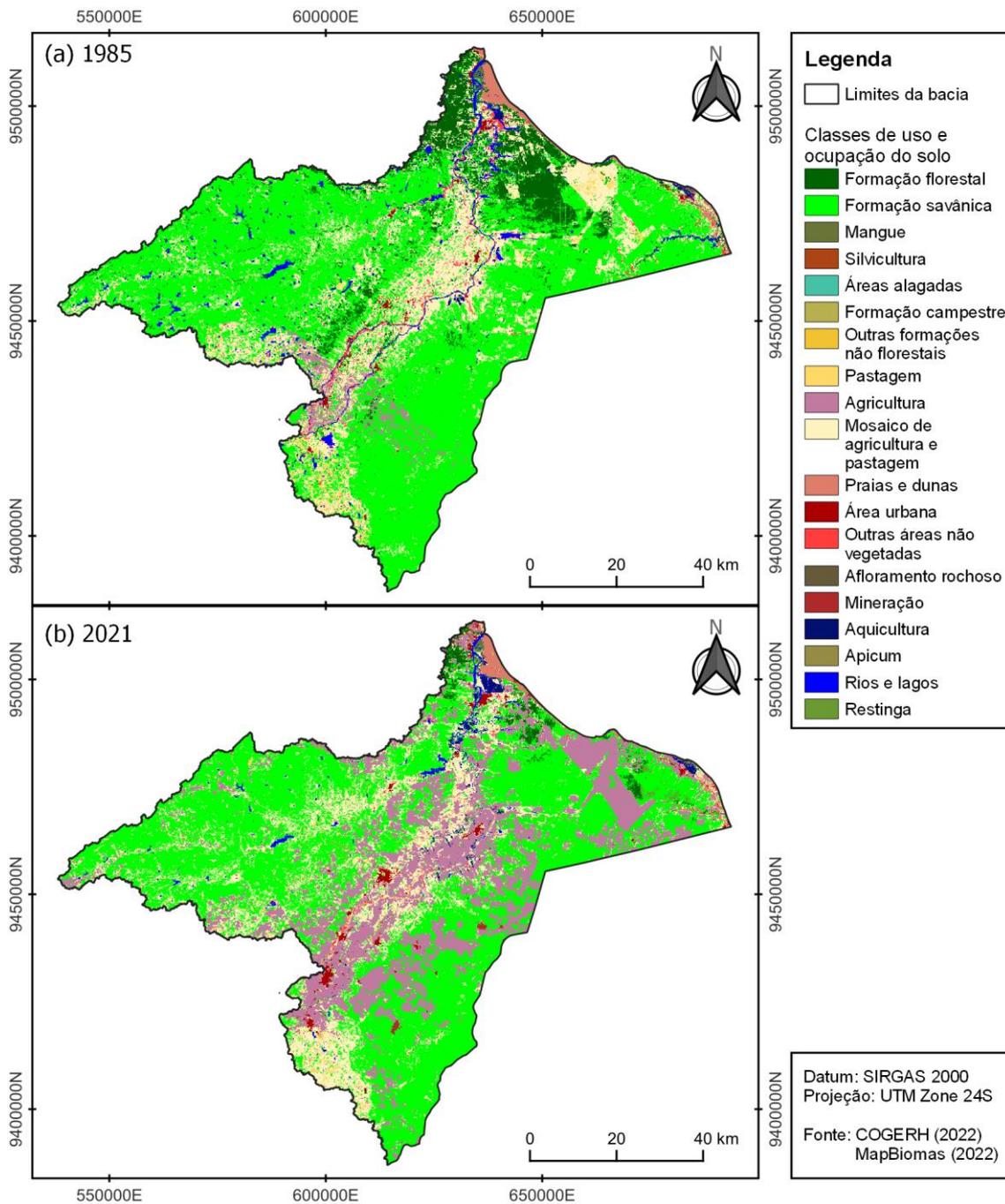
Aplicando-se a metodologia de classificação da ordem de rios de Strahler (1952), a Sub-bacia do Baixo Jaguaribe é de oitava ordem, devido ao baixo curso do Rio Jaguaribe. Considerando apenas os tributários com nascentes na área de estudo, a bacia possui sexta ordem, atribuído em razão do Rio Palhano. Os resultados obtidos demonstram um sistema de drenagem com boa ramificação e com grande quantidade de tributários, como visto na Figura 3.



**Figura 3: Ordenamento da rede de drenagem pela classificação de Strahler**

### DINÂMICA TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A Figura 4 apresenta o contraste do uso e ocupação do solo da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe entre os anos de 1985 e 2021, a partir do processamento dos dados disponíveis na coleção 7 do MapBiomias.



**Figura 4: Mapas de uso e ocupação do solo da Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe para os anos de 1985 e 2021**

A mudança mais expressiva é o crescimento da agricultura, passando de 2,5% para 22,7%, com predominância em toda extensão da sub-bacia hidrográfica, havendo um avanço das ações antrópicas nas áreas de coberturas naturais para o cultivo de plantações particulares, tanto para a comercialização como para consumo próprio. Esse incremento de áreas de cultivo pode demandar um maior volume de água para irrigação, afetando diretamente nos recursos hídricos disponíveis na sub-bacia.

Nota-se também um aumento percentual da aquicultura as margens do rio Jaguaribe, representada no mapa pela cor azul escuro, concentrando-se principalmente no município de Aracati/CE. Salienta-se que as atividades de aquicultura envolvem a piscicultura e a carcinicultura, que podem promover a descaracterização

ambiental da vegetação nativa, bem como a diminuição da qualidade da água disponível na sub-bacia, devido ao lançamento de efluentes poluentes nos corpos hídricos (SILVA-JÚNIOR et al., 2020).

No mapa da Figura 4a, é possível, a partir da classe rios e lagos, perceber o traçado de alguns rios no ano de 1985 que não são evidentes em 2021, o que indica o assoreamento de áreas alagadas na Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe. Essa mudança, se dá também devido a característica de intermitência de alguns rios da região, que em épocas mais secas não possuem vazão, tendenciando o processamento das imagens de satélite registradas.

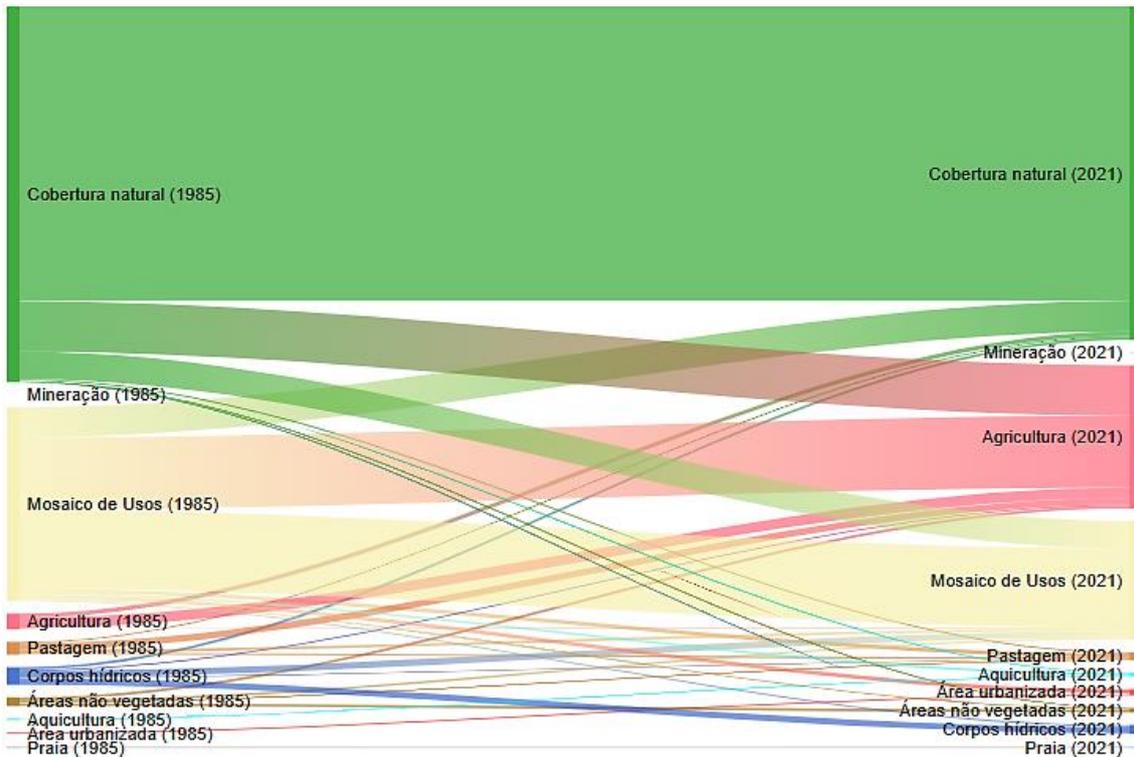
Há também um incremento da atividade mineradora nas áreas localizadas ao sul da sub-bacia, no ano de 2021, ausentes para o mapa de 1985. Entretanto, a mineração pode comprometer a qualidade da água dos mananciais, com contaminação associada à característica do minério extraído em cada local. Para o Rio Zambeze, em Moçambique, Langa (2022) apresenta que houve um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos, ferro e sulfatos presentes na água, bem como alterações nos valores de condutividade elétrica e pH. As áreas de cada classe de uso e ocupação do solo e os fluxos percentuais no período analisado encontram-se na Tabela 1.

Após a elaboração dos mapas da Figura 4, foram elaborados os diagramas de Sankey do uso e ocupação de solo da área da Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe para o período de 1985 a 2021, apresentado na Figura 5. As classes apresentadas no diagrama foram floresta, agropecuária, corpos d'água, área não vegetada e formação natural não florestal.

Ao se comparar a situação de 1985 a 2021, houve a redução de áreas ocupadas por floresta a uma taxa de 11,2%. No ano de 1985 a área ocupada de floresta representava 59,7% do total, já em 2021 apenas 53,0%. Esse decréscimo pode ser explicado por diversos fatores, principalmente do efeito das ações antrópicas ao longo dos anos. No diagrama de Sankey é possível perceber que a maior perda de floresta foi para a agropecuária, que inclui as ocupações de agricultura, pastagem e silvicultura.

**Tabela 1: Áreas das classes de uso e ocupação do solo**

CLASSE DE USO DO SOLO	ÁREA EM 1985 (HA)	ÁREA EM 1985 (%)	DIFERENÇA NO PERÍODO ANALISADO	ÁREA EM 2021 (HA)	ÁREA EM 2021(%)
Cobertura natural	321.144,2	59.7%	-11,2%	285.059,3	53.0%
Pastagem	11.002,2	2.0%	-38,8%	6.728,9	1.3%
Agricultura	13.440,8	2.5%	809,3%	122.218,3	22.7%
Mosaico de Usos	165.717,5	30.8%	-38,6%	101.690,0	18.9%
Praia	1.867,7	0.3%	-2,2%	1.827,0	0.3%
Área urbanizada	943,4	0.2%	476,2%	5.435,4	1.0%
Mineração	52,2	0.0%	609,4%	370,1	0.1%
Áreas não vegetadas	7.600,8	1.4%	-50,0%	3.800,6	0.7%
Corpos hídricos	14.847,2	2.8%	-49,5%	7.494,1	1.4%
Aquicultura	1.246,8	0.2%	159,8%	3.238,8	0.6%
<b>Total</b>	<b>537.862,6</b>	<b>100,0%</b>	<b>-</b>	<b>537.862,6</b>	<b>100%</b>



**Figura 5 – Diagrama de Sankey do uso e ocupação do solo entre 1985 e 2021**

No diagrama, é perceptível uma recuperação de áreas nativas (florestais) de aproximadamente 10,3%, valor pouco representativo e não compensatório se comparado ao decréscimo que ocorreu no mesmo período. Isso demonstra que as ações de recuperação de área degradada elaboradas pelo poder público ainda não são suficientes para efetiva preservação das formações naturais.

Salienta-se que houve um crescimento de áreas não vegetadas, de 1,9% para 2,1% quando consideradas as classes de áreas urbanizadas, praias, mineração e outras áreas não vegetadas. Além disso, houve uma redução de áreas ocupadas por corpos d'água de 2,8% para 1,4%. Essas alterações são ínfimas em área, se comparado às mudanças ocorridas nas formações florestais e da agropecuária.

## CONCLUSÕES

A sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe apresenta parâmetros naturais que promovem a redução da suscetibilidade às enchentes, uma vez que possui baixo escoamento superficial e alta capacidade de infiltração de água no solo. Porém, a fragmentação da cobertura vegetal e o desenvolvimento de atividades agropecuárias estão desencadeando processos erosivos e a degradação dos recursos hídricos, que são importantes para a manutenção do equilíbrio ambiental.

Além disso, através da análise do uso e ocupação do solo, é perceptível o avanço das ações antrópicas em áreas que antes eram florestais, por meio de atividades mineradoras, da aquicultura, agricultura e crescimento de áreas urbanizadas. O crescimento dessas atividades pode acarretar conflitos ambientais que interfiram no ciclo hidrológico e na dinâmica natural da sub-bacia em estudo. No diagrama de Sankey, pode-se observar uma pequena recuperação de áreas nativas, indicando a necessidade de fiscalização das atividades e ações de recuperação de áreas degradadas pelo poder público.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, R. E. A relação entre agricultura, degradação do solo e tempestades de areia. Ayika, v. 1, n. 1, p. 50-66, 2021.

2. CARVALHO, A. T. C. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.
3. CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.
4. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Fortaleza, 2022.
5. FRANÇA, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, 1968.
6. FREITAS, R. O., Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. *Boletim Paulista de Geografia*, v. 11, p. 53-57, 1952.
7. FIORESE, C. H. U. Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras, Estado do Espírito Santo, Brasil. *Labor & Engenho*, v. 15, p. 1-12, 2021.
8. LANGA, E. J. Efeitos da actividade mineira na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Zambeze no distrito de Moatize. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo – Moçambique, 2022.
9. LUZ, E; MARION, F. A.; FRANÇA, M. M.; CONCEIÇÃO, P. S. Utilização de Sistema de Informação Geográfica para identificação de áreas potenciais à implantação de aterro sanitário consorciado. *Ambiência*, v. 13, n. 2, p. 452-469, 2017.
10. MORAES, G. F.; LIMA, E. B. N. R.; FERRAREZ, E. M. 2018. Caracterização fisiográfica e do uso e ocupação do solo nas microbacias urbanas da cidade de Cuiabá-MT. *Engineering and Science*, 7: 42-53. Doi: <http://dx.doi.org/10.18607/ES201876822>.
11. NARDINI, R. C.; GOMES, L. N.; CAMPOS, S.; SILVEIRA, G. R. Análise da caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão dos Patos, Bofete (SP). *Geografia*, Londrina, v. 24, n. 2, p. 25-39, 2015.
12. OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Dinâmica temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do Matopiba: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. *Equador (UFPI)*, v. 9, n. 1, p. 317-333, 2020.
13. PIEDADE, G. C. R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. 161f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 1980.
14. PROJETO MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. MAPBIOMAS, 2012. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>>. Acesso em: 07 out. 2022.
15. SANTOS, A. G. B.; BEZERRA, A. C.; NASCIMENTO, A. H. C.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A. Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 2, p. 1036-1043, 2021.
16. SILVA, I. B.; SILVA, M. V. C. Aspectos morfométricos da bacia hidrográfica do rio Patu-CE. *Georaguaia*, v. 11, n. 2, p. 198-214, 2021.
17. SILVA-JÚNIOR, J. J.; NICACIO, G; RODRIGUES, G. G. A carcinicultura nos manguezais do nordeste brasileiro: problemáticas socioambientais nas comunidades tradicionais. *Revista Movimentos sociais e dinâmicas espaciais*, v. 9, p. 70-84, 2020.
18. TOPODATA – Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 06 out. 2022.
19. VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Apeú, Amazônia Oriental. *Formação (Online)*, v. 27, n. 51, p. 313-335, 2020.
20. VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975.