Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Morfometria e diagnóstico físico conservacionista (dfc) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró.

Albergma Estevão de Queiroz Magalhães Cavalcante¹, Alfredo Marcelo Grigio², Marco Antônio Diodato³

¹ Mestre em Geografia, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Mossoró, RN Brasil. estevaoqmcavalcante@gmail.com; ² Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, Departamento de Gestão Ambiental, Rua Prof. Antônio Campos, s/n, Costa e Silva, CEP: 59625-620, Mossoró/RN, alfredogrigo1970@gmail.com; Doutor em Ciências Biológicas - UFPR, Departamento de Ciências Vegetais - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Av. Francisco Mota, 572, Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró, RN, diodato@ufersa.edu.br.

Artigo recebido em 28/04/2021 e aceito em 13/12/2021

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, inserida na mesorregião oeste do estado do Rio Grande do Norte, ocupa uma área de 14.276 km² e seu desenvolvimento econômico é baseado na exploração de recursos naturais. Desse modo, é uma importante unidade de planejamento ambiental, a qual exige informações sobre características morfométricas, sua aptidão de uso e cobertura da terra, para identificar a intensidade da deterioração do sistema ambiental. Nessa identificação foram utilizados dados da drenagem, focos de incêndios, modelo digital de elevação e imagens de satélite do Landsat 8 - OLI. Os parâmetros morfométricos utilizados foram: fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), coeficiente de compacidade (Kc), densidade de drenagem (Dd), declividade média (Dm) e coeficiente de rugosidade (RN). Com a aplicação do diagnóstico físico conservacionista foi possível quantificar e analisar o grau de deterioração da área estudada que foi de 27,77% e apesar de ser considerado alto, as sub-bacias 1 e 2 apresentaram um elevado grau de deterioração com 90% e 83% respectivamente. Isso mostra a importância do estudo e possibilita uma visão detalhada das áreas prioritárias. Por conseguinte, a aplicação de técnicas de geoprocessamento configura-se uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais.

Palavras-chave: Sistema Ambiental. Aptidão Agrícola. Deterioração. Sistemas de Informação Geográfica.

Conservationist physical morphometry and diagnosis (dfc) in 19 hydrographic basin sub-basins Apodi Mossoró.

ABSTRACT

The hydrographic basin of the Apodi-Mossoró river, inserted in western mesoregion of the state of Rio Grande do Norte, occupies an area of 14,276 km² its economic development is based on the exploitation of natural resources. Thus, is an important environmental planning unit, which requires information on morphometric characteristics, its suitability for use and land cover, to identify the intensity of the deterioration of the environmental system. Were used, drainage data, fire outbreaks, digital elevation model and satellite images from Landsat 8 - OLI. The morphometric parameters used: form factor (Ff), circularity index (Ic), compactness coefficient (Kc), drainage density (Dd), average slope (Dm) and roughness coefficient (RN). With the application of the conservationist physical diagnosis, was possible to quantify and analyze the degree of deterioration of the studied area, which was 27.77% and despite being considered high, sub-basins 1 and 2 showed a high degree of deterioration with 90% and 83% respectively. This shows importance of study and provides a detailed view of the priority areas. Therefore, the application of geoprocessing techniques is a fundamental step in the management of environmental systems.

Keywords: Environmental System. Agricultural Aptitude. Deterioration. Geographic Information Systems.

Introdução

O processo de degradação em bacias hidrográficas se dá por diversos fatores difusos, como desmatamento, poluição dos corpos hídricos e erosão. Desse modo, o manejo de bacias hidrográficas e o planejamento são fundamentais, tendo em vista que seu objetivo é o de minimizar a degradação e aumentar a conscientização da importância de se proteger os mais diversos recursos naturais como: hídricos, florestais e pedológicos.

De acordo com Carvalho, Brumatti e Dias (2012), a água é um recurso natural fundamental para o desenvolvimento social, econômico e ambiental, porém o desenvolvimento da sociedade contribui para a degradação do meio ambiente e em especial os recursos hídricos, devido à falta de planejamento e uso de procedimentos inadequados na obtenção dos recursos naturais, o que conduz, por exemplo, às perdas de produtividade.

Por meio da caracterização do meio físico, biótico e socioeconômico, Corseuil et al. (2009) afirmam que, aplicar critérios ambientais como: áreas com necessidade de proteção; zoneamento ambiental ou aptidão agrícola do solo, em uma determinada área possibilita o uso racional dos seus recursos naturais. De acordo com Aparecido et al. (2016), o manejo de bacias hidrográficas a partir da conservação de matas nativas, como também, a aplicação de práticas conservacionistas de uso da terra, tem como objetivo o incremento da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Srinivasan, Santos e Galvão (2003) mostram a importância da cobertura florestal em comparação com área desmatada, visto que há uma diferença significativa quanto à produção de escoamento superficial em área desmatada e o potencial de interceptação em diferentes níveis de precipitação em área de caatinga. Como também afirmam Freitas et al. (2008), a densidade de cobertura no solo é fundamental para a prevenção de perda de solo.

A bacia hidrográfica, ao ser considerada como uma unidade de gestão, exige uma abordagem abrangente, tendo como problemática a integração de diversos agentes com lógicas e raciocínios divergentes, implicando na condução, controle, direção, administração e correlacionando com os processos econômicos,

políticos, sociais, culturais e históricos (Rodrigues e Silva, 2013).

Para melhor compreensão do comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica é fundamental a análise das características físicas da mesma, como a área de drenagem, que consiste no elemento básico e que deriva as demais características. Já a forma da bacia está relacionada com o tempo de contribuição ou deflúvio, enquanto a drenagem permite analisar as ramificações dos rios e seus tributários, que indicam a velocidade com que o mesmo deixa a bacia. O relevo pode influenciar tanto na velocidade da drenagem como aspectos de precipitação devido à declividade ou altimetria, tornando-se fator fundamental nas análises em bacias hidrográficas (Villela e Matos, 1975).

Bertolini, Deodoro e Boettcher (2019) afirmam que a primeira medida a ser adotada em estudos ambientais em bacias hidrográficas é a análise de parâmetros quantitativos como: rede de drenagem, características geomorfológicas, litológicas, entre outros fatores físicos que auxiliam a compreender o espaço natural.

Corroborando com esta ideia, Pirajá e Rezende Filho (2019), descrevem a importância do estudo dos aspectos morfométricos, visto que possibilita a análise da rede de drenagem e interpretação das condições hidrológicas como escoamento superficial ou infiltração.

De acordo com Vieira, Torres e Santos (2018), o estudo das características físicas, por meio da análise morfométrica, está relacionado com a deterioração ambiental, especialmente os parâmetros de comprimento de ravinas, densidade de drenagem, índice de circularidade, índice de forma, declividade média da bacia e coeficiente de rugosidade. Pereira et al. (2019) indicam que tais parâmetros permitem um melhor aproveitamento dos recursos naturais, sobretudo os recursos hídricos, de modo que expressam uma relação solo-superfície

Dornellas et al. (2020) afirmam que o objetivo da análise e interpretação das características morfométricas é uma maior compreensão da morfodinâmica fluvial na escultura do relevo da bacia. Conforme afirmam Cabral, Nummer e Bateira (2020), indicadores morfométricos são essenciais no estudo de voçorocas, visto que tal análise proporciona um maior entendimento da dinâmica

do relevo e dos processos erosivos. Silva e Furrier (2019) apontam que as características morfológicas e morfológicas estão fortemente correlacionadas com as atividades tectônicas, sobretudo quando há presença de padrões anômalos.

Cavalcante et al. (2019), afirmam o diagnóstico físico conservacionista possibilita quantificar o grau de degradação de uma bacia hidrográfica. Assim como afirmam Nascimento et al. (2021), a aplicação desta metodologia fornece informações úteis para identificar o nível de deterioração de uma bacia.

Para a compreensão e análise desses fatores tem-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como uma das principais ferramentas para: armazenar, processar e analisar informações resultando em importantes produtos cartográficos para o estudo ambiental por meio de análises de características de relevo, drenagem, cobertura vegetal e uso da terra em mapas temáticos (Fornaziero e Pancher, 2017). A espacialização do meio físico por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), como afirmam Valladares et al. (2012), facilita a geração de modelos que auxiliam nas decisões de planejamento ambiental, por meio da caracterização dos diversos ambientes e do diagnóstico ambiental.

Assim, o SIG torna-se fundamental na divisão de bacias hidrográficas por meio do método denominado “otocodificação” desenvolvido por Otto Pfafstetter que é baseado nos seus divisores topográficos, diferentes níveis de hierarquia fluvial, direção da drenagem e é dividido em dez algarismos. As quatro maiores bacias, de jusante para montante do rio principal, apresentam valores pares 2, 4, 6, 8. Os tributários do rio principal são denominados de inter-bacias, representados pelos valores ímpares, 1, 3, 5, 7 e 9. O atributo 0 representa a maior bacia fechada (Galvão e Meneses, 2005).

Sousa e Pereira de Paula (2019) destacam a importância de ter conhecimento sobre os processos erosivos para um planejamento ambiental, sobretudo nas bacias hidrográficas localizadas no semiárido, assim, havendo o conhecimento para o uso de práticas de preservação.

A bacia do rio Apodi-Mossoró apresenta destaque estadual, tanto em atividades de exploração de petróleo, produção salinera na planície flúvio-marinha, bem como, a fruticultura irrigada. Porém, essas potencialidades aceleram os problemas como a degradação ambiental, na falta de uma gestão eficiente. Sendo assim, a necessidade de observar a dinâmica do sistema ambiental em cada sub-bacia é justificada por apresentarem características e mecanismos que atuam de forma independente.

Desse modo, a pesquisa busca por meio das características morfológicas em 19 sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica Apodi Mossoró, identificar áreas que apresentem conflitos de uso e susceptibilidade a degradação neste sistema ambiental.

Materiais e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró é classificada no nível 03, dividindo-se em 19 sub-bacias (Figura 1), as quais estão classificadas no nível 05 de otocodificação. As bacias de nível 05, de acordo com Galvão e Meneses (2005), possuem um tamanho médio de 6.200km² e é considerado como excelente unidade de área para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica está localizada na região Oeste Potiguar do estado do Rio Grande do Norte e ocupa uma área de 14.276 km², na qual se inserem 52 municípios. O rio principal tem a sua nascente no município de Luiz Gomes (RN), na serra de São José e a sua foz nos municípios de Areia Branca (RN) e Grossos (RN), o qual, da nascente à foz, faz um percurso de aproximadamente 150 km (Oliveira e Queiroz, 2008).

A rede de drenagem das sub-bacias, localizadas na porção superior, predomina o padrão dendrítico, típica de regiões que apresentam rocha resistente, sobretudo na porção do cristalino. As sub-bacias localizadas na porção inferior de característica geológica sedimentar apresenta um padrão de treliça. O canal principal aparenta um direcionamento dominante NE-SW, com variações dos afluentes entre E-W e NW-SE.

Figura 1. Localização das 19 Sub Bacias e Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. Fonte: Ana (2018), Inpe (2019) e Landsat 8 (2019).

Quanto aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a bacia hidrográfica Apodi-Mossoró divide-se em dois principais ambientes: trata-se do embasamento cristalino do período pré-cambriano na porção superior da área de estudo e formação sedimentar do período mesozoico, terció-quaternário e quaternário na área médio e inferior (Maia e Bezerra, 2012). A Bacia Potiguar se desenvolveu a partir do Cretáceo Inferior com a abertura do rift potiguar (Diniz et al., 2017).

Observa-se, na bacia, a predominância de maciços residuais decorrentes do aplainamento da depressão sertaneja na porção superior. Já, na parte inferior, predomina a chapada do Apodi, tabuleiro costeiro e planícies fluviais e flúvio-marinho (Maia e Bezerra, 2012).

Materiais Utilizados

Para a realização do referido trabalho, foram utilizados dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), por meio das cenas: s05 w37,w38,w39 1arc; s06 w37,38,39 1arc; s07, w37,38,39, 1arc; no formato TIFF, e adquiridos

no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, bem como as Imagens do satélite landsat 8 sensor OLI com as bandas 6(MIR); 5(NIR); 4(R), das cenas no ponto/orbita 216/63 e 216/64. O uso do MDE se torna importante para a delimitação da bacia, e para a caracterização do relevo. Já as imagens de satélites foram utilizadas para a classificação de uso da terra. A área que corresponde às sub-bacias foram divididas com base na ottocodificação de nível 5 e a drenagem utilizada foi disponibilizada pelo site da Agência Nacional de Águas (ANA). Também foi utilizado, para a caracterização do uso da terra, a malha de pontos no formato “Shapefile” com os focos de incêndios referentes ao ano de 2019, disponibilizado no Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Todos os dados foram processados em ambiente SIG utilizando-se do software QGIS 2.18 ‘Las Palmas’ e GRASS 7.4.

Delimitação da bacia hidrográfica

A primeira etapa consistiu no processamento do MDE, cujo procedimento foi iniciado com a correção de dados nulos do arquivo, por meio do algoritmo *r.fillnulls*, disponibilizado no

complemento Grass do Qgis, que consiste num conjunto de dados preenchidos usando o método de interpolação *spline* regularizado com tensão (RST) (Mitasova e Mitas, 1993). Essa técnica possibilita um mapeamento adequado dos aspectos topográficos. Na sequência, a segunda etapa refere-se à delimitação e análise da bacia hidrográfica, que foi implementado por meio do módulo *r.watershed* disponibilizado no GRASS GIS (Neteler e Mitasova, 2008).

Os parâmetros físicos calculados para descrição morfométrica foram utilizados de acordo com a proposta de Vilella e Matos (1975), Lima (2008) e Pereira et al. (2019). Foram empregadas as seguintes características geométricas, a saber: fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic), coeficiente de compacidade (Kc), características de relevo, declividade média (Dm) e, para descrever as características da drenagem, foi calculado a densidade de drenagem (Dd) (Tabela 1).

Parâmetros morfométricos

Tabela 1. Índices morfométricos adotados.

<i>Índice</i>	<i>Definição</i>	<i>Equação descritiva</i>		<i>Classificação</i>
<i>Fator de Forma (Ff)</i>	Relaciona a sub-bacia a um retângulo, quanto menor for o valor dessa forma, menor será a susceptibilidade a enchentes.	$Ff = \frac{A}{(L)^2}$	A é a área em km ² e L é o comprimento do eixo longitudinal da bacia, ou seja, da foz até o limite a montante.	<0,50 - Não sujeito a enchentes 0,50 a 0,75 - Tendência mediana a enchentes 0,75 a 1,00 - Sujeita a enchentes
<i>Índice de Circularidade (Ic)</i>	Indica uma tendência circular quanto mais próximo de 1	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	Ic é o índice de circularidade; A, é a área da bacia em km ² ; P é o perímetro expresso em km.	
<i>Coeficiente de compacidade (Kc)</i>	Aponta para a possibilidade da sub-bacia apresentar um formato achatado quanto mais próximo for seu valor de 1	$Kc = 0,26 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	Kc representa o coeficiente de compacidade; P representa o perímetro em km e A equivale a área em km ² .	1,00 – 1,25- Alta propensão a grandes enchentes 1,25 – 1,50- Mediana a grandes enchentes >1,50- Não sujeita a grandes enchentes
<i>Declividade média (Dm)</i>	Influencia de forma direta a eventos hidrológicos, como, picos de enchentes, infiltração, o que resultam em processos erosivos	$Dm = \frac{(D \times L / A) \times 100}{100}$	Dm é a declividade média em porcentagem; D é a distância entre as curvas de nível; L é o comprimento total das curvas de nível e A representa a área da bacia	
<i>Densidade de Drenagem (Dd)</i>	É influenciada devido diversos fatores como: o tipo de solo, a geologia e a declividade do terreno	$Dd = \frac{\sum RCT}{A}$	Dd= densidade de drenagem; $\sum RCT$ é o somatório, canais e tributários e A é a área da bacia.	< 0,5- Baixa 0,5 e 2,0- Mediana 2,01-3,5- Alta >3,50- Muito alta

Fonte: Adaptado de Vilella e Matos (1975), Lima (2008) e Pereira et al. (2009).

Processamento e classificação de uso e cobertura da terra e quantificação de áreas queimadas

O tratamento das imagens foi iniciado com a reprojeção das imagens para o Datum SIRGAS 2000, Fuso UTM 24S. Feito isto, as cenas foram unidas em mosaico e recortadas com a máscara da bacia e das sub-bacias estudadas. A classificação de uso foi feita de forma supervisionada pelo método “*Minimun Distance*”, coletando amostras para o treinamento do algoritmo, quantidade superior a 100 pixels de cada classe, para conferir uma maior representatividade a cada tipologia.

Tais classificações foram baseadas nas tipologias do manual técnico da terra do IBGE (2013), divididas em 5 classes de uso: área florestal - savana estépica florestada; área campestre - savana estépica arborizada; áreas agrícolas; áreas urbanizadas e água continental.

Por meio dos focos de incêndios, disponibilizados pelo INPE, foram quantificadas as áreas de queimadas nas intensidades de média, alta e muito alta, aplicando o mapa de densidade Kernel que, de acordo com Oliveira e Oliveira (2017), é obtida a partir da equação 1.

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: K = função de kernel;

h = raio de busca;

x = posição do centro de cada célula do raster de saída;

X_i = posição do ponto i proveniente do centroide de cada polígono

n = número total de focos de calor.

Diagnóstico Físico Conservacionista

O diagnóstico físico conservacionista determina; a) as áreas de conflitos de uso, por meio do coeficiente de rugosidade (Equação 2), que é o parâmetro responsável pelo direcionamento da aptidão de uso da terra e práticas de queimadas e b) as áreas a florestar, a partir das características de declividade em que, se apresentar até 15%, é necessário de pelo menos 25% de cobertura florestal e, se a declividade média for maior que 15%, o florestamento será de pelo menos 50% da área e c) o percentual de degradação que é representada pela soma dos conflitos e pela área a florestar (Rocha, 1997; Baracuh, 2001).

$$Rn = Dm \times Dd \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: Rn representa o coeficiente de rugosidade;

Dm a declividade média e

Dd a densidade de drenagem.

A partir dos valores do coeficiente de rugosidade (Rn) calcula-se a amplitude e o intervalo de 4 classes de aptidão de uso da terra na qual, a amplitude é igual ao Rn maior – Rn menor e o intervalo é o resultado da amplitude dividido por 4. O cálculo do intervalo, aponta quatro classes de aptidão de uso da terra proposta por Rocha (1997) (Tabela 2).

A partir dos percentuais de cada parâmetro utilizados para o DFC, foi aplicado valores ponderados para o cálculo da equação da reta adaptado de Baracuh et al. (2003), cujo valor mínimo é 1 e máximo 10; o parâmetro de cobertura florestal atua na ordem inversa (Tabela 03).

Tabela 2. Classes de aptidão de uso da terra.

Tipos de Classe de RN	Indicação de uso
A	Agricultura/Urbanização
B	Pastagem
C	Pastagem/Floresta
D	Floresta

Fonte: Rocha (1997).

Tabela 3. Códigos e critérios de estratificação para o diagnóstico físico conservacionista.

Alternativas	Valor ponderado / Conflitos, Área a florestar, Deterioração.	Valor ponderado / Cobertura florestal
0-10 %	1	10
11-20	2	9
21-30	3	8
31-40	4	7
41-50	5	6
51-60	6	5
61-70	7	4
71-80	8	3
81-90	9	2
91-100	10	1

Fonte: Baracuh et al. (2003).

Resultados e discussão

Aspectos da morfometria das sub-bacias hidrográficas

Os dados morfométricos relativo às 19 sub-bacias delimitadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró são apresentados na Figura 2.

A sub-bacia 8 apresenta o menor valor respectivo à densidade de drenagem (inferior a 0,5), já a sub-bacia 1 apresenta o maior valor respectivo à drenagem e é caracterizado como intensidade mediana, com valor de 0,9.

A sub-bacia 8, localizada na chapada do Apodi, indica, por meio da densidade de drenagem características de relevo predominantemente plano e alta permeabilidade, característica típica de rochas sedimentares, e é responsável pela recarga dos aquíferos Jandaíra e Açu.

A sub-bacia 1 apresenta o maior valor para a densidade de drenagem. Localiza-se na porção da bacia representada pela estrutura cristalina, na depressão sertaneja, sobre a qual Maia e Bezerra (2012) afirmam que o processo de intemperismo e erosão foi bastante intenso.

Pirajá e Rezende Filho (2019) apontam que os processos erosivos, como erosão fluvial, são influenciados pela intensidade da densidade

de drenagem onde, à proporção em que a densidade de drenagem aumenta, a dissecação do relevo será mais evidente. A geomorfologia da serra de Portalegre e Martins é um exemplo, pois exprime os fatores exógenos na produção do relevo, em que ocorrem processos de erosão diferencial e dissecação do relevo (Maia, 2016). Dornellas et al. (2020) afirmam que a característica da drenagem em ambientes de semiáridade tem como características a baixa densidade.

Figura 2. Gráfico dos valores morfométricos de cada sub-bacia inseridas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Claudino et al. (2020) afirmam que a densidade de drenagem equivalente a $0,96\text{km/km}^2$, representa uma baixa capacidade de drenagem no estudo da bacia hidrográfica do Rio Santa Helena. Para Araújo Júnior et al. (2002), os maiores valores para a densidade de drenagens na microbacia do rio da Capivara foram de $0,026\text{km/há}$, que equivale a $2,6\text{km/km}^2$. São valores elevados e merecem destaque na prevenção de processos como o de erosão.

Para o fator de forma as sub-bacias 7, 10, 12 e 14 apresentaram valores que, para Pereira et al. (2019), apontam tendência mediana para enchentes. Os valores das sub-bacias 3, 11 e 18, apresentam um formato achatado e com maiores tendências a enchentes.

Araújo Junior et al. (2002) afirmam que o valor de 0,5703 para o coeficiente de circularidade indica possibilidade mediana para eventos de enchentes. De acordo com Pereira et al. (2019) valores inferiores a 0,3, para o I_c , resulta em sub-bacias com formato alongado. Desse modo, O maior valor encontrado para o índice de circularidade foi na sub-bacia 13, entretanto, maior parte das sub-bacias apresentaram baixa susceptibilidade para enchentes, tendo em vista que possuem valores inferiores a esse.

Campos et al. (2015) obtiveram resultados em que apresentaram o coeficiente de compacidade 1,36 e o fator de forma 0,22 e afirmam que com tais valores, na microbacia do Ribeirão Descalvado, não há possibilidades de enchentes, desde que as condições de precipitação estejam dentro da normalidade. Pirajá e Resende Filho (2019) apontam que a informação a respeito do coeficiente de compacidade e fator de forma possibilita identificar características quanto à resposta do escoamento no sistema de drenagem

O resultado referente ao coeficiente de compacidade também corrobora com tal afirmação, visto que, a sub-bacia 13 apresenta valor de 1,25, apesar da predominância de caracterizar uma tendência de formato achado e com possibilidades de enchentes.

Portanto, 63% dos valores indicativos de F_f caracterizam o sistema como de baixo potencial à ocorrência de enchentes, compatíveis com uma densidade de drenagem que varia de mediana a baixa, condizente com os valores de K_c

que indicam a dominância (53%) de valores que caracterizam um potencial mediano a baixo de retenção de água. Isto é compatível com o formato alongado da bacia que, de forma geral, tende ao escoamento.

Caracterização do uso e cobertura da terra

Para as tipologias de uso foram classificadas de acordo com o manual de uso da terra IBGE (2013): 1 - Área florestal, na qual apresenta uma densidade maior das espécies arbóreas (savana estépica florestada); 2 - Área campestre, que é caracterizado pela disposição esparsa de suas árvores e arbustos que são de pequeno porte e presença predominante do estrato herbáceo (savana estépica arborizada); 3 - Áreas agrícolas, para áreas de agricultura e pastagem; 4 - Área de atividades antrópicas, na qual estão inseridas áreas de urbanização e de solo exposto e; 5 - Corpos hídricos, formados pelo represamento da água (Figura 3).

Após a delimitação de cada sub-bacia, a partir do MDE, foram usadas imagens do satélite Landsat8 para a elaboração do mapa temático de uso e cobertura da terra, pelo método de classificação supervisionada, com o objetivo de especializar e quantificar a cobertura da terra de acordo com cada tipologia.

As características de áreas florestais podem ser visualizadas na Figura 3.A, registro fotográfico próximo à cidade de São Miguel, onde predomina o domínio geomorfológico maciço de Pereiro, na Figura 3.B, que representa área localizadas no maciço da serra de Portalegre e na Figura 3.C, localizada na BR-226, próximo ao município de Frutuoso do Gomes, representada na depressão Interplanáltica. Os aspectos da área campestre estão expressos na Figura 3.D localizado no município de riacho do Cruz, ao norte da serra de Portalegre, na Figura 3.E no município de Pau dos Ferros, ao sul da serra de Portalegre e na Figura 3.F, próximo ao município de Patu. Já as atividades agrícolas podem ser observadas nas figuras 3.G e 3.H, ambas localizadas no município de Apodi e na Figura 3.I, localizada no município de Patu.

Figura 3. Padrão dos principais tipos de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

A Figura 4 expressa informações espaciais sobre as tipologias classificadas no mapa de uso da terra, na qual tem-se que a área florestal abrange 380.502 ha (40%), a área campestre 346.233 ha (33,45%), a área agrícola 188.165 ha (19,81%), a área urbana 22.787 ha (2,39%) e os corpos hídricos 12.044 ha (1,26%).

No inventário florestal realizado no Rio Grande do Norte pelo Serviço Florestal Brasileiro (2018), foi mapeado e estimado o percentual de área florestal que, nas microrregiões respectivas à sub-bacia Apodi-Mossoró, ocorre em 45,9% da sua área. A diferença na cobertura florestal, apesar de pequena, é de aproximadamente 6% entre a área mapeada neste estudo e pelo Serviço Florestal Brasileiro, que corresponde à área da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

A partir dos resultados da classificação supervisionada foi estimado o índice de *kappa*, que tem, como importância, a avaliação da acurácia dos mapas, cujo resultado foi de 0,72, apresentando assim uma forte concordância, visto que os valores do índice variam de 0 a 1.

A Figura 5 apresenta a espacialização dos focos de incêndios que ocorreram durante o ano de 2019, detectados pelo satélite AQUA, dados esses disponibilizados no Banco de Dados de Queimadas do INPE. A área de ocorrência de queimadas, com base nos níveis de intensidade média, alta e muito alta, corresponde a 7,9% de toda a bacia. A sub-bacia 7 foi a área de maior ocorrência (21929,56 ha), seguido da sub-bacia 1 (18475,01 ha).

Apesar da predominância dos focos ocorrerem nos meses de outubro e novembro, os focos de incêndios ocorrem durante o ano inteiro e se concentra principalmente em áreas de atividades agrícolas, o que indica que a prática de queimada é desenvolvida em associação com essas atividades.

Com os resultados da classificação de uso e cobertura da terra e dos focos de queimadas foi elaborada a Tabela 4, que apresenta a área usada de acordo com cada tipologia para cada sub-bacia estudada.

Figura 4. Uso e cobertura da terra em 19 sub-bacias inseridas na bacia do rio Apodi-Mossoró. Fonte: Ana (2018); Ibge (2019); Landsat 8 (2019).

Figura 5. Mapa da ocorrência de focos de queimadas nas 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró Fonte: Ana (2018); Inpe (2019); Landsat 8 (2019).

Tabela 4. Quantificação de uso da terra em hectares das 19 sub-bacias localizadas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Sub-bacia	Área Florestal	Área Campestre	Área Agrícola	Área Urbana	Queimadas	Corpos hídricos
1	25042,7	27855,22	16624,86	1806,22	18475,01	468,94
2	19622,41	28209,59	19505,73	2151,56	9255,98	1041,54
3	36501,35	71097,94	35962,02	2611,03	15003,56	1298,4
4	139,45	1420,66	916,6	250,94	0	19,08
5	49605,84	86578,94	55743,81	8503,36	15899,11	3753,39
6	33716,82	45618,44	21564,11	2695,37	6838,73	1716,01
7	101374,61	92562,6	45527,64	5423,46	21929,56	2309,36
8	88079,64	29021,02	10191,04	1685,3	4551,25	852,85
9	14499,23	3618,21	6317,68	4707,43	4614,61	6920,83
10	18965,9	18006,99	5478,21	386,11	1168,46	1330,88
11	15766,58	29525,66	7767,88	606	2078,68	1470,98
12	13624,19	42725,63	23881,89	1643,02	845,45	2458,66
13	9910,06	9053,32	5964,63	907,92	0	28,54
14	25173,09	27341,11	9884,3	571,81	197,86	49,41
15	16603,78	8787,91	3222,83	316,25	7848,53	6,39
16	4245,05	732,84	315,51	70,91	319,1	15,84
17	12629,8	7411,09	4641,34	777,47	0	59,17
18	23931,17	11138,84	17727,4	4248,61	3384,18	5578,08
19	1657,21	868,09	1033,07	393,56	0	553,57

As sub-bacias que apresentaram os maiores percentuais de área florestal foram: sub-bacia 7 e sub-bacia 8, que correspondem, respectivamente, a 41% e 67,84% de cada sub-bacia (Tabela 4). Santos et al. (2000) afirmam que a cobertura de vegetação nativa de caatinga se mostra eficiente no controle de erosão em diferentes níveis de declividade.

Entretanto, Francelino et al. (2003) apontam que a caatinga arbustiva arbórea aberta não apresenta o mesmo nível de proteção, devido a apresentar uma baixa densidade florística e tendência de homogeneização com predominância de espécies pioneiras de pequeno porte e espécies herbáceas, resultado de uma intensa atividade antrópica ou devido a características edafoclimáticas.

Conforme Melo et al. (2010) a vegetação de caatinga semi-densa, tipificada como área campestre, é um tipo de vegetação com predominância de espécies arbustivas e herbáceas resultado de uma atividade de pastejo de baixa intensidade. As sub-bacias que representam as maiores áreas de uso campestre são: sub-bacia 5 e a sub-bacia 3, respectivamente 42,4% e 48,1%.

Para a representatividade referente ao uso de áreas agrícolas, as sub-bacias 5 e 7 apresentam-se como áreas de maior destaque. Quanto ao uso de área urbana as mesmas possuem uma maior área, porém, a que possui o maior percentual é a sub-bacia 9, onde está localizado o município de Mossoró.

Desse modo, a classificação de uso da terra mostra-se importante, visto que possibilita

uma visão de forma detalhada dos tipos de cobertura e a quantificação para cada tipologia. Melo et al. (2010) afirmam que, por meio desta classificação, é possível avaliar conflitos de uso.

Para a aplicação do diagnóstico físico conservacionista, que tem como objetivo a obtenção do percentual de deterioração das sub-bacias, faz-se necessário que os resultados do coeficiente de rugosidade sejam divididos em intervalos de classe para a indicação da aptidão. Assim, a partir do cálculo de amplitude, em que a Amplitude é igual ao maior valor subtraído do menor valor ($11,71 - 0,19$) resulta em 11,52 e do

Intervalo ($\text{Amplitude} / 4 = 11,52 / 4$) resulta no valor de 2,88 (Tabela 05).

Foi gerado um mapa para indicar a localização de cada sub-bacia e suas respectivas aptidões, os quais resultaram em quatro classes: sub-bacias com aptidão para agricultura/urbanização (classe A), sub-bacias com aptidão para pastagem e urbanização (classe B), sub-bacia com aptidão para pastagem/floresta (classe C) e sub-bacias com aptidão para floresta (classe D) (Figura 6).

Tabela 5. Intervalo de classes para aptidão de uso com base nos dois valores do coeficiente de rugosidade (RN).

Classe	Intervalo	Aptidão de Uso	Valores RN
A	0,14 – 2,8 – 2,94	Agricultura/Urbanização	0,14; 0,27; 0,29; 0,47; 0,55; 0,56; 0,59; 0,79; 1,1; 1,7; 2,13; 1,81
B	2,95 – 2,8 – 5,75	Pastagem/Urbanização	3,15; 3,16; 5,18
C	5,75 – 2,8 – 8,55	Pastagem/Floresta	6,87
D	8,56 – 2,8 – 11,36	Floresta	9,67; 11,36

Figura 6. Mapa de aptidão de uso das 19 sub-bacias inseridas no rio Apodi-Mossoró. Fonte: IBGE (2019); ANA (2018).

Os parâmetros morfométricos, sobretudo a densidade de drenagem, indica correlação direta com as características do DFC, em que as sub-bacias 1 e 2 apresentam uma tendência de forte escoamento indicando-as assim como as unidades de mais restrições de uso. Os resultados da aptidão de uso de cada compartimento e das características de uso, que tem como objetivo expressar o percentual de deterioração por meio dos conflitos, da cobertura florestal e da área a ser florestada podem ser verificados na Tabela 6.

O conflito indicado na Tabela 6 é o resultado do uso da unidade, em desconformidade com a aptidão da mesma, associado às práticas de queimadas. Desse modo, as unidades que apresentaram os maiores percentuais foram as sub-bacias 1 e 2, classe D, com 90,2% e 83,8%, respectivamente, visto que é a unidade de maior restrição de uso. As sub-bacias 13, 17 e 19, classe A, não apresentaram percentual de conflito visto que possuem menos restrições de uso e não foi detectada ocorrência de queimadas. Desse modo, o total do percentual de conflito foi de 23%.

Tabela 6. Quantificação das áreas de conflito, cobertura florestal e grau de deterioração

Class e	Sub-bacia	Área da sub-bacia (ha)	Conflito de uso - (ha) / %		Cobertura florestal - (ha) / %		A florestar - (ha) / %		Área deteriorada- (ha)	% De deterioração
D	1	71797,94	64761,31	90,20	25042,7	34,9	0	0	64761,31	90,20
D	2	70530,83	59122,86	83,83	19622,41	27,8	0	0	59122,86	83,83
C	3	147470,74	53576,61	36,33	36501,35	24,8	366,3	0,24	53942,94	36,58
B	4	2746,73	916,6	33	139,45	5,1	547,2	19,92	1463,83	53,29
B	5	204185,34	71642,92	35,09	49605,84	24,3	1440,5	0,70	73083,41	35,79
B	6	105310,75	28402,84	26,97	33716,82	32,0	0	0	28402,84	26,97
A	7	247197,67	21929,56	8,87	101374,61	41,0	0	0	21929,56	8,87
A	8	129829,85	4551,25	3,51	88079,64	67,8	0	0	4551,25	3,51
A	9	36063,38	4614,61	12,80	14499,23	40,2	0	0	4614,61	12,80
B	10	44168,09	6646,67	15,05	18965,9	42,9	0	0	6646,67	15,05
A	11	55137,1	2078,68	3,77	15766,58	28,6	0	0	2078,68	3,77
A	12	84333,39	845,45	1,00	13624,19	16,2	7459,2	8,84	8304,60	9,85
A	13	25864,47	0	0,00	9910,06	38,3	0	0	0	0,00
A	14	63019,72	197,86	0,31	25173,09	39,9	0	0	197,86	0,31
A	15	28937,16	7848,53	27,12	16603,78	57,4	0	0	7848,53	27,12
A	16	5380,15	319,1	5,93	4245,05	78,9	0	0	319,1	5,93
A	17	25518,87	0	0	12629,8	49,5	0	0	0	0,00
A	18	62624,1	3384,18	5,40	23931,17	38,2	0	0	3384,18	5,40
A	19	4505,5	0	0	1657,21	36,8	0	0	0	0,00
Total		1414621,78	330839,03	23,39	511088,88	36,1	9813,22	0,69	340652,2	24,08

Quanto ao aspecto de cobertura florestal, constata-se predominantemente satisfatória sobre o aspecto do mínimo exigível, 25% para unidades com declividade inferior a 15%. No entanto quatro unidades apresentaram valores inferiores, são elas: sub-bacias 3, 4, 5 e 12, com destaque a sub-bacia 12 que apresenta a maior área com necessidade de ser florestada. O total da bacia a ser florestado é de 9813,22 ha, o que representa menos de 1% da área total da bacia.

A deterioração (Tabela 6) é o resultado dos conflitos com a área a florestar, desse modo, permite analisar que unidades de maior restrição de uso, classe D, apresentam os maiores percentuais de deterioração, chegando, neste estudo a 90% na sub-bacia 1. Corroborando com

resultados observados por Silva et al. (2020), os quais apontam, na região sul da bacia, as taxas de erosividade mais elevadas da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Nascimento et al. (2021) afirmam que, os parâmetros usados para a quantificação de degradação são eficientes, contanto que sejam consideradas as características do lugar

De acordo com Braga et al. (2021), o parâmetro ambiental coeficiente de rugosidade possibilita a constatação da susceptibilidade e ocorrência de processos erosivos, sobretudo, nas classes C e D, corroborando com Aquino et al. (2020), que afirmam que o elevado grau de conservação no alto curso e no médio e baixo curso ser predominante a degradação,

possibilitando inferir que a preservação está relacionada com o tipo de uso predominante.

Teixeira, Oliveira e Teixeira (2021) afirmam que a análise de fragilidade ambiental gera informações importantes para o planejamento de paisagens e concluem que atividades antrópicas

acentuam os processos erosivos em áreas de maior propensão a movimentos de solo. Sales, Lima e Diniz (2020) afirmam que a ocupação desordenada do ambiente biofísico da bacia compromete as reservas hídricas, diminuindo o volume do veio fluvial e o assoreamento.

Tabela 7. Análise de deterioração de cada fator estudado nas 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográficas do rio Apodi-Mossoró

Parâmetros	Valores significativos			Equação da reta	Deterioração %
	Mín.	Máx.	Moda		
Conflitos	1	10	3	$Y = 11,1111x - 11,1111$	22,22
Cobertura florestal	1	10	7	$Y = 11,1111x - 11,1111$	66,66
Área a florestar	1	10	1	$Y = 11,1111x - 11,1111$	0
Deterioração	1	10	3	$Y = 11,1111x - 11,1111$	22,22
Total	4	40	14	$Y = 2,7778x - 11,1111$	27,77

Os resultados obtidos, por meio dos critérios de estratificação utilizado na metodologia, possibilitaram a análise da deterioração de cada parâmetro e da área total estudada da bacia (Tabela 7). Apesar da área a florestar não proporcionar deterioração, visto que, apresentou o valor modal mínimo, a cobertura florestal representa o maior valor respectivo à deterioração.

De acordo com Araújo Júnior et al. (2002), o limite mínimo aceitável para o grau de deterioração é de 10% e que valores superiores a este promovem prejuízos ao solo e à vegetação em decorrência da inadequação do uso da terra. As sub-bacias estudadas apresentaram um total de deterioração, com base nos parâmetros, de 27,77% (Figura 7).

Figura 7. Gráfico da deterioração físico-conservacionista das 19 sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

Conclusões

A morfometria mostra-se como importante técnica de análise, pois ela expressa a dinâmica fluvial nas unidades destes sistemas ambientais. A partir das características morfométricas das sub-bacias, pode-se concluir que na maior parte das sub-bacias não há susceptibilidade a enchentes em condições de precipitação normal, apesar de que o parâmetro fator de forma indicar nas sub-bacias 3, 11, 13 e 18 um formato com tendência achatado.

As sub-bacias 1, 2 e 3 apresentaram densidade de drenagem considerada mediana, com maiores taxas para esse parâmetro, o que indica que são áreas com maior susceptibilidade a processos erosivos.

Quanto à deterioração, ao aplicar o DFC, foi possível quantificar, por meio da cobertura florestal, aptidão e conflitos de uso, o grau de deterioração de cada sub-bacia. O total da deterioração das sub-bacias estudadas apresenta mais que o dobro do aceitável com, 27,77%, sendo que as sub-bacias 1 e 2, apresentaram os índices mais elevados quanto ao grau de deterioração.

Nas sub-bacias 1 e 2 faz-se necessário dar uma maior atenção, para estas unidades, pelo poder público, visto que são as áreas de maior potencial de deterioração e susceptibilidade a enchentes e a processos erosivos.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é uma etapa fundamental na gestão de sistemas ambientais, como é o caso das bacias hidrográficas. A mesma possibilita por meio do uso de técnicas para a análise da morfometria e o diagnóstico físico conservacionista - DFC uma visão detalhada das áreas prioritárias, como é o caso das sub-bacias 1 e 2, decorrentes, sobretudo, por fatores naturais como: declividade média, densidade de drenagem elevadas e sobrecarga de uso, que indicam alto grau de deterioração ambiental.

Por fim, a compartimentação em sub-bacias mostrou-se fundamental no estudo das características morfométricas da bacia hidrográfica, criando maiores possibilidades de implementação de políticas públicas que venham a proteger essas áreas, utilizando práticas conservacionistas, que tem como finalidade a adequação do uso do solo, de acordo com seu potencial de produção, principalmente por se tratar de uma bacia hidrográfica de grande

importância para o desenvolvimento local e regional e do Rio Grande do Norte.

Referências

- Aparecido, C. F. F.; Vanzela, L. S., Vazquez, G. H., Lima, R. C., 2016. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. Irriga, Botucatu, 21(2): 239-256. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p239-256>
- Araújo Júnior, A. A. A., Campos, S., Barros, Z. X., Cardoso, L. G. 2002.. Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias do rio Capivara - Botucatu (SP), visando o uso racional do solo. Irriga, Botucatu, 07(2): 106-122 DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2002v7n2p106-122>
- Aquino, J. N., Salis, H. H. C., Gameiro, S., Oliveira, M. A., Rodighieri, G., Mendes, A. P. S. F., Sfredo, G. A. 2020. Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia hidrográfica do Rio dos Sinos - RS. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. V 43 - 3 p 292-302
- Baracuh, J.G.V., 2001. Manejo integrado de microbacias no semi-árido nordestino: estudo de um caso. Tese (Doutorado). Campina Grande: UFPB, 221p
- Baracuh, J. G. V., Kurtz, S. M. J. M., Kurtz, F. C., Duarte, S. M. A., Lima, V. L. A., Rocha, J. S. M., Dantas Neto, J., 2003. Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, 7(1):159-164. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100026>
- Bertolini, W. Z.; Deodoro, S. C. e Boettcher, N. Análise morfométrica da bacia do rio Barra Grande-Oeste de Santa Catarina. Rev. Bras. Geomorf. (Online), São Paulo, SP, v.20, n.1, p.3-17, Jan./Mar. 2019
- Braga, S. E. Caldas, A. M., Rizzi Neto, E. Silva, L. J. S., Perônico, A. M. B. L., Wanderley, R. A., Freitas, P. M. L., Lima, J. R., Cunha, C. R. R. O., Abreu, B. S. 2021. Conflito ambiental de uso do solo na bacia hidrográfica do Tapacurá-PE. Research, Society and Development. 10, 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12833>

- Cabral, T. L. Nummer, A. V., Bateira, C. V. M. Indicadores morfométricos como suporte para a classificação de voçorocas em sub-bacias hidrográficas no município de Cacequi, RS. Rev. Bras. Geomorf. (Online), São Paulo, v.21, n.1, (Jan-Mar) p.139-154, 2020
- Campos, S., Felipe, A. C., Campos, M., Reche, A. M. 2015. Geoprocessamento Aplicado na Caracterização Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Descalvado – Botucatu, Sp. Irriga, Botucatu, 1(1)spe: 52-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p52>
- Carvalho, A. P. V., Brumatti, D. V., Dias, H. C. T., 2012. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Viçosa, 2(2): 148-156. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v2i2.177>
- Cavalcante, A.E.Q.M., Mendonça, I.F.C., Lima, J.R.L., Medeiros, F.S., Silva, R.P.S., Justino, S.T.P., Freitas, A.L, Almeida, E.P., Vidalett, S.F., 2019. Physical and Conservational Diagnoses of the Hydrographic Micro - Bacy of Rio Farinha. Jornal de Agricultura Experimental Internacional, v. 31, p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i130062>
- Claudino, W. V.; Oliveira, V. A. A.; Silva, E. P.; Santos, S. K. F. e Oliveira, A. S., 2020. Atributos físicos e conservacionistas da bacia hidrográfica do Rio Santa Helena. Nativa, Sinop, 8 (1):91-96. Pesquisas Agrárias e Ambientais. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i1.6953>
- Corseuil, C. W; Campos, S. Ribeiro, F. L. Pissarra, T. C. T. Rodrigues, F. M., 2009 Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado na determinação da aptidão agrícola de uma microbacia. Irriga, Botucatu, 14 (1): 12-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2009v014n1p12-22>
- Diniz, M. T. M., Oliveira, G. P., Maia, R. P., Ferreira, B., 2017. Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. Rev. Bras. Geomorf. (Online), São Paulo, 18(4): 689-701. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1255>
- Dornellas, P. C., Xavier, R., Silva, R. da, Seabra, V. Análise morfométrica da bacia do alto rio Paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. Rev. Bras. Geomorf. (Online), São Paulo, 21, (Jul-Set) p.601-614, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1255>
- Fornazieiro, M. P. A., Pancher, A. M., 2017. Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental de reservatórios interiores destinados ao turismo. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, 39 (1): 127-145
- Francelino, M. R. Fernandes Filho, E. I., Resende, M., Leite, H. G., 2003. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-rio-grandense. Rev. Árvore, Viçosa , v. 27, n. 1, p. 79-86, DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100011>
- Freitas, F. J. Cantalice, J. R. B.; Bezerra, S. A.; Silva, M. D. R. O.; Santos, P. M.; Correa, R. M.; Lima, P. A.; Figueira, S. B., 2008.. Erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa 32(4) :1743-1751. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400039>
- Galvão, W. S., Meneses, P. R. 2005. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (Anais). Goiânia, Brasil
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Manual Técnico de uso da terra.. 3ª ed. Rio de Janeiro. P 171
- Lima, W. P., 2008. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas (Apostila). Piracicaba:, USP. 2ª Edição 245p
- Maia, R. B., 2016. Geomorfologia dos maciços de Portalegre e Martins (RN). In: R.G. Guimarães e S. R. M. Medeiros (Org.), Meio Ambiente e Desenvolvimento Sutentável na Região Serrana de Martins e Portalegre, Rio Grande do Norte- Mossoró: UERN
- Maia, R. P., Bezerra, F. H. R., 2012. Geomorfologia e neotectônica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró – NE/Brasil. Mercator, Fortaleza, 11(24): 209-228
- Melo, J. A. B. Lima, E. R. V., Almeida, N. V., Silva, J. B., 2010. Análise morfométrica da microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico-conservacionista. Revista de Geografia, 27(3): 331-346

- Mitasova, H.; Mitas, L., 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation, *Math. Geol.*, 25, 641–655
- Nascimento, F. I. C., Santos, W. L., Silva, D. L., Serrano, R. O. P. 2021. Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) como metodologia para a quantificação da degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Judia - Acre *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 801-815
- Neteler, M., Mitasova, H., 2008. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*, Third Edition, Springer New York, 406 p
- Oliveira, M. A., Queiroz, R. A. C., 2008. A poluição do rio Mossoró (RN) e a ação intervencionista do Ministério Público. In: IV Encontro Nacional da Anppas (Anais), Brasília
- Oliveira, U. C., Oliveira, P. S., 2017. Mapas de kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos anos 2010 a 2015. *Espaço Aberto*, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, 7(1): 87-99, DOI: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2017.3473>
- Pereira, C. F. P., Brito, G. H. M., Vespucci, I. L. Rocha, I. J. F., 2019. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Patos, GO. *Ipê Agronomic Journal*, 3(1): 5-13. DOI: <https://doi.org/10.37951/2595-6906.2019v3i1.4319>
- Pirajá, R. V., Rezende Filho, A. T., 2019. Análise Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Ceroula Em Mato Grosso Do Sul. *Geofronter*, Campo Grande, 5(1): 35-58
- Rocha, J. S. M., 1997. *Manual de Projetos Ambientais*. Santa Maria: UFSM, 446 p
- Rodrigues, J. M. M., Silva, E. V. 2013. Planejamento e gestão ambiental: subsidios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistemica. Fortaleza: Edições UFC
- Santos, C. A. G. Suzuki, K., Watanabe, M., Srinivasan, V. S., 2000. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido Paraibano. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, 4, 92-96, Apr. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100017>
- Sales, V. C., Lima, E. C., Diniz S. F. 2020. Análise Geoambiental da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil. *Revista GEONORTE*, V.11, N.38, p.90-109, 2020. DOI: [10.21170/geonorte.2020.V.11.N.38.90.109](https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.11.N.38.90.109)
- Serviço Florestal Brasileiro. 2018. *Inventario Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Norte*. Brasília, DF: MMA, 64 p
- Silva I. C. e Furrier M. Análise morfológica e morfométrica das sub-bacias dos rios Cascata e Tinto, litoral norte do estado da Paraíba – Brasil. *Rev. Bras. Geomorfol.* (Online), São Paulo, SP, v.20, n.2, p.239-254, abr./jun. 2019
- Silva, B. K. N., Silva, M. T., Barbosa, E., Silva, F. D. S., Rocha Júnior, R. L., Serrão, E. A. O., Silva, V. P. R., Silva, C. M. S., 2020. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. *Rev. bras. meteorol.*, São Paulo, 35(spe): 871-879 . DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863550014>
- Sousa, R. F. Falcão, E. C. e Costa, E. V. S. 2017. Metodologia para diagnóstico do uso e ocupação do solo utilizando geotecnologias. In: *Geoprocessamento aplicado: contexto multidisciplinar* (E-book). SOUSA, R. F. e FALCÃO, E. C.(org.), p 13-31, João Pessoa: IFPB
- Srinivasan, V. S.; Santos, C. A. G.; Galvão C. O., 2003. Erosão Hídrica do Solo no Semi-árido Brasileiro: A Experiência na Bacia Experimental de Sumé RBRH - *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2): 57–73
- Teixeira, T. M. A., Oliveira, V. P. V., Teixeira, A. C. O. 2021. Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Extremo Sul da Bahia *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 1941-1956
- Valladares, G. S. Gomes, A. S., Torresan, F. E., Rodrigues, C. A. G., Grego, C. R., 2012. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, 47(9): 1376-1383. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900023>
- Vieira, D. M. S.; Torres, J. L. R. e Santos, S. M. Diagnóstico ambiental e morfometria da microbacia do Córrego Cocal, afluente do Rio Uberaba. *Rev. Bras. Cien., Tec. e Inov.*, Uberaba, MG, 3, p. 53-68, jan./jun. 2018
- Villela, S. M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, p.245.