

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E DO USO E COBERTURA DA TERRA NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CARMO – RN/BRASIL

Filipe da Silva Peixoto

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

E-mail: fpeixoto10ufc@gmail.com

Gutemberg Henrique Dias

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

E-mail: gutembergdias@uern.br

Robson Fernandes Filgueira

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

E-mail: robsonfilgueira@uern.br

Jerônimo Dantas

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

E-mail: jeronicodantas@gmail.com

Resumo

Este trabalho se propôs a realizar a caracterização hidrológica, morfométrica e de uso e cobertura da terra no alto curso da bacia estudada. Para sua execução foi realizada a delimitação do setor correspondente ao alto curso da bacia do rio do Carmo e de uma seção do canal do rio principal, utilizando Modelo Digital do Terreno - MDT, baseado no Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, reamostrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizado por meio de imagens de satélite do sensor OLI (Landsat 8), além da realização do trabalho de campo para reconhecimento das classes mapeadas. Já para os dados fluviométricos e pluviométricos foram obtidos através das estações disponíveis na plataforma Hidroweb 3.0, da Agência Nacional de Águas (ANA). A relação entre a pluviosidade média (730 mm/ano) e a evaporação potencial (1.759,2 mm/ano) demonstraram que a bacia possui um índice de aridez de 41,7, apesar disso, há, em conformidade com o balanço hídrico climático, um volume de $106,5 \times 10^6$ m³/ano, potencialmente armazenado na bacia. Devido às condições pedológicas e geológicas pouco favoráveis à infiltração e ao armazenamento da água em subsuperfície, o principal meio de estocagem da água é a açudagem. Todavia, a falta de cuidados com a preservação das matas ciliares pode levar a redução da vazão nos cursos de água locais.

Palavras-chave: Geotecnologias; Uso e cobertura da terra; Gestão de recursos hídricos.

MORPHOMETRIC AND HYDROLOGIC CHARACTERIZATION OF RIVER DO CARMO WATERSHED UPPER COURSE – RN/BRAZIL

Abstract

this paper proposes to carry out hydrologic, morphometric and land use characterization in the upper course of this basin. For its accomplishment, the sector corresponding to the upper course of the basin and a section of the main river channel was delimited from Digital Terrain Model - DTM based on data from the Shuttle Radar Topography Mission - STRM, resampled by the National Institute for Space Research (INPE). We produce land use mapping and from the OLI sensor (Landsat 8), in addition, it was conducted field research to reconnaissance of fields truths. For fluviometric and

Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 138-158, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

rainfall data were obtained through stations in Hidroweb 2.0 platform, from the National Water Agency (ANA). The relationship between average rainfall (730 mm / year) and potential evaporation (1,759.2 mm / year) shows that the basin has an aridity index of 41.7, despite this, there is, in accordance with the climatic water balance, a volume of 106.5 x 10⁶ m³ per year, which is potentially stored in the basin. Due to the limited pedological and geological conditions for infiltration and storage of water in the subsurface, the main way of water storage is the installation of weirs. However, the lack of care with the preservation of riparian forests can lead to lowering of flow in local water courses.

Keywords: Geotechnologies applied; Land use; Water resources management.

CARACTÉRISATION MORPHOMÉTRIQUE ET HYDROLOGIQUE DE L' HAUT RIVIÈRE DU CARMO - RN / BRÉSIL

Résumé

Ce travail est destiné à réaliser, la caractérisation hydro climatique, morphométrique et de l'utilisation de la couverture terrestre dans le haut cours de ce bassin. Pour sa mise en œuvre, a été réalisée la délimitation du secteur correspondant au haut cours du bassin et d'une section du canal du fleuve principal était délimité modèle digital e de terrain - MDT sur la base des données du *Shuttle Radar Topography Mission - STRM*, réactualisées par l'Institut National de Recherche Spatiale (INPE). Une carte d'utilisation des terres a été produite par le senseur OLI (Landsat 8), en plus de la réalisation du géolocalisation sur le terrain. Des données station fluviométriques e pluviométrique ont été obtenues sur la plate-forme Hidroweb 2.0 de l'Agence National de l'Eau (ANA). Le rapport entre la pluviométrie moyenne (730 mm/an) et l'évaporation potentielle (1.759,2 mm/an) ont montrés que le bassin a un indice d'aridité de 41,7 et malgré cela, il y a, selon le bilan climatique hydrique, un volume de 106,5 x 10⁶ m³ par an, qui est potentiellement stocké dans le bassin. En raison des conditions pédologique et géologique peu favorables à l'infiltration et au stockage de l'eau dans le sous-sol, le principal moyen de stockage de l'eau est un barrage. Toutefois, le manque de soin apporté à la préservation des bois ciliaires peut entraîner une diminution du débit dans les cours d'eau locaux.

Mots-clés : Géotechnologies appliquées; Utilisation des terres; Gestion de l'eau.

Introdução

No Nordeste semiárido, a modelagem de dados hidrológicos, sobretudo nas pequenas e médias bacias, muitas vezes é comprometida devido à precariedade dos dados disponibilizados pelo sistema de monitoramento. Contudo, as incertezas hídricas decorrentes das mudanças climáticas requerem informações hidrológicas confiáveis, de modo a assegurar uma melhor gestão dos recursos hídricos.

O gerenciamento eficiente dos recursos hídricos depende de uma série de dados e informações que subsidiem tomadas de decisões, desse modo há necessidade de coletas de dados com base no monitoramento dos fluxos, reservas de água, dinâmica de sedimentos, e uso e cobertura da terra nas unidades de planejamento. As bacias hidrográficas são unidades territoriais, regionalizadas a partir do critério hidráulico, proporcionam medidas de análise

das condições dinâmicas da paisagem, bem como de suas modificações causadas pelos diversos usos dos recursos naturais e impactos no solo e nas águas.

Por possuir a maior parte do seu território sob clima semiárido, no Rio Grande do Norte predominam bacias hidrográficas de rios intermitentes, a exemplo, a área de estudo que abrange 1.137 km², e se situa no alto curso da bacia do rio do Carmo, maior afluente da bacia do rio Apodi Mossoró-RN o segundo maior rio que corta o Estado do RN.

O rio do Carmo também conhecido como rio Angicos, nasce em altitudes acima de 300 metros, na microrregião Médio Oeste deste Estado, e deságua em ambiente fluviomarinho, a 17 km do mar, logo após a cidade de Mossoró.

A secção do alto curso da bacia do rio do Carmo possui um dos menores índices pluviométricos do Estado, em torno de 720 mm/ano, visto que, na sua área de abrangência, o período seco perdura em média oito meses (DINIZ e PEREIRA, 2015). Apesar de atravessar uma das regiões mais secas do território potiguar, as vazões que ocorrem neste setor da bacia contribuem para abastecer reservatórios de porte médio nos municípios de sua área abrangência, como Campo Grande, Messias Targino e Janduís. Trata-se de municípios com Índice de Desenvolvimento Municipal - IDM abaixo de 0,64 (IBGE, 2020) e altamente suscetíveis às secas climatológicas, visto que eles têm a agricultura tradicional como principal atividade econômica.

Tendo em vista que a água é um recurso essencial para o desenvolvimento socioeconômico desses municípios. Sua conservação e uso sustentável depende uma base de dados e informações confiáveis que são fundamentais para gestão de qualquer política de ordenamento territorial. O Sistema de Informação de Geográfica – SIG, por exemplo é ferramenta fundamental de análise, permitindo várias possibilidades de aplicação, dentre elas de gerenciamento de bacia hidrográfica e seus recursos hídricos (MEDEIROS, GOMES e ALBUQUERQUE, 2011).

A caracterização morfométrica e sua relação com o regime hidrológico, balanço hídrico, e os usos que as sociedades produzem ao longo da superfície de captação e cursos d'água são básicos para o planejamento e gestão das águas, pois as características físicas, naturais ou antropogênicas são determinantes para entender o comportamento hidrológico de uma bacia. Vilela e Matos (1975, p. 12) colocam que a morfometria é de grande utilidade prática pois estabelece relações entre dados hidrológicos conhecidos, desse modo, pode-se “determinar indiretamente valores hidrológicos em sessões e locais de interesse nos quais

faltem dados ou em regiões onde, por causa de fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações”.

Além disso, modificações na estrutura horizontal da paisagem são importantes para o entendimento da dinâmica e da intensidade dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica. É notável que o sistema que forma essa unidade territorial integra os diferentes componentes formadores da paisagem, e o sistema que se direciona da nascente à foz, de montante para jusante, evidencia a capacidade da água de transportar matéria e energia, que se por um lado promove serviço substancial de erosão de renovação do solo, quando ocorrem em desequilíbrio, promovem o desgaste e degradação.

Ambientes frágeis são mais susceptíveis à erosão e à degradação do solo, assim, processos de uso incompatíveis com a dinâmica do sistema local ocasionarão sérias consequências, como a remoção de horizontes e camadas superficiais do solo. Assim, o estudo do uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica permite um diagnóstico, embora genérico, importante para o planejamento ambiental, sobre a dinâmica hidrológica, transporte de sedimentos e qualidade das águas (MORAES, 2016).

As classes de uso, local de ocorrência e proporções entre as elas são de grande importância para a dinâmica fluvial. A resistência do solo à erosão depende de diversos fatores, mas sobretudo, dos usos que impliquem na retirada da vegetação, estes podem comprometer a proteção, morfologia e grau de coesão das partículas do solo, alterando o regime hidrosedimentológico dos rios (MACEDO e MAGALHÃES JUNIOR, 2020). Por esse motivo, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 estabelece como uma das suas diretrizes gerais de ação, Cap. 3, Art. 3º, § V – “a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo”. Assim, os estudos que articulam morfometria, hidrologia e uso e cobertura do solo são importantes para entender o funcionamento dos hidrosistema em interação com o uso social dos seus recursos naturais.

O presente trabalho propôs a realização de uma caracterização morfométrica, hidrológica e de uso e cobertura da terra no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo. Além de preencher uma lacuna representada pela escassez de trabalhos sobre essa bacia, será útil para programas de gestão de recursos hídricos e planos de bacia hidrográfica.

Metodologia

A área de estudo compreende o alto curso da bacia do rio do Carmo, localizado na mesorregião Oeste Potiguar, microrregião Médio Oeste, abrangendo total ou parcialmente

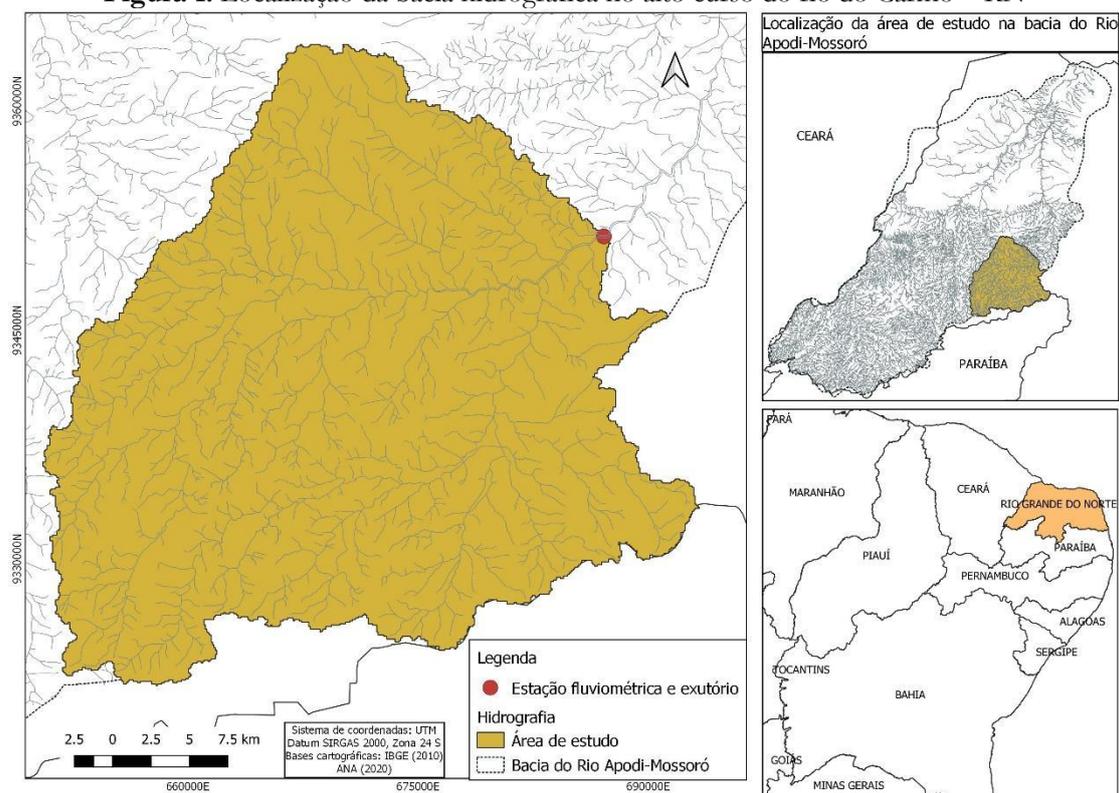
Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 138-158, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

os municípios de Campo Grande, Janduís, Messias Targino, Patu e Caraúbas. A área está inserida na região hidrográfica do atlântico oriental, caracterizada por regime hidroclimatológico de semiaridez, produzindo rios naturalmente intermitentes. A área pertence à unidade de planejamento e gestão da bacia do rio Apodi-Mossoró, no âmbito da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos SEMARH/RN, e do Comitê da Bacia do Rio Apodi-Mossoró criado pelo Decreto Governamental N° 21.881, de 10/09/2010, sendo instalado em 21/02/2013.

A delimitação da área de estudo levou em consideração a topografia, particularmente as elevações onde nascem os principais tributários do rio principal, como a serra do Cuó e serra de Patu. Como exutório da bacia, foi considerada a sessão medida pela estação fluviométrica 37150000 operada pela Agência Nacional de Águas – ANA (coordenadas: E: 686622.840, Zona 24M, e N: 9351106.986 S), localizada nas proximidades do sítio urbano de Campo Grande (Figuras 1).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica no alto curso do rio do Carmo – RN



Fonte: Autores (2020).

Coleta e análise dos dados

A metodologia utilizada para delimitação e produção dos parâmetros hidrológicos estudados baseou-se na coleta e tratamento de dados, processamento e produção de informações por meio de SIG, utilizando o *software* QGIS versão 2.18. Las Palmas e Arcmap 9.3.

As fontes dos dados hidrológicos foram medidas de vazão da estação fluviométrica nº 37150000, utilizada como ponto de referência para delimitação da bacia. Foram utilizados os dados correspondentes ao período de janeiro 1987 a dezembro 2018, coletados por meio da plataforma de disposição de dados hidrológicos e pluviométricos da Agência Nacional de Águas – HIDROWEB 3.0/ANA.

Apesar de haver dados fluviométrico consistentes, próximo à área de estudo há apenas uma estação pluviométrica com dados consistentes, a estação número 00537005, com coordenadas UTM E: 649187.069, zona 24 M, e N: 9346431.750. Nesta estação há dados que abrangem uma série histórica entre janeiro de 1926 e setembro de 1994, na qual foram utilizados o intervalo entre janeiro de 1926 e dezembro de 1993. Considerando o período de 26 anos (jan/1994 - dez/2020) sem dados, pode haver uma margem de erro por causa da não atualização dos dados, que pode considerar como pouco significativa frente aos 67 anos da série histórica estudada. Além disso, a grande escassez de estações pluviométricas com série histórica contínua e/ou maior que 15 anos na região, elege os dados da estação estudada como os mais representativos do para a produção do balanço hídrico climatológico.

O balanço hídrico climatológico corresponde à relação entre a entrada (*input*), retratada pela precipitação, e a saída de água (*output*), representada pela evaporação real, em um sistema hidrográfico, levando-se em conta que o deflúvio superficial e o subterrâneo também complementam a saída de água da bacia.

Devido à generalização dos dados, esse foi balanço aplicado à área de estudo considerando as médias mensais de precipitação, e a evapotranspiração potencial (EP), calculada a partir de das médias mensais de temperatura pela fórmula de Thornthwait e Matter (1955), chegando assim no valor de evapotranspiração real a partir da disponibilidade de água gerada pela distribuição da precipitação.

Os parâmetros morfométricos foram gerados automaticamente, utilizando como referência o Modelo Digital do Terreno – MDT do *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM, disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA. Contudo, esse modelo estruturado em *raster* possui algumas falhas pela presença de *sinks*, que são pequenas

Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 138-158, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

ausências de pixels em áreas de valores limites em profundidade ou elevação. Assim, foi utilizado o SRTM reamostrado para 30 m de resolução espacial e disponibilizado pela plataforma Topodata, gerenciada e alimentada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. O modelo SRTM, disponível no Topodata, estão como menos ruídos *sinks*, melhorando, portanto, a qualidade dos dados do MDT.

Ainda foram coletadas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, em formato geotiff, no site do Serviço Geológico do Estados Unidos – USGS, órbita 216/64, do dia 14 de novembro de 2019. Essas imagens foram utilizadas para identificar a situação atual do uso e cobertura da terra.

Foi realizado um campo em março de 2020, por meio do método de caminhada livre, visando análise exploratória da paisagem da bacia, do canal do rio, na altura do exutório, da morfologia granítica predominante, além do suporte a identificação das classes de uso e cobertura da terra.

Modelagem digital do terreno

Para o melhoramento dos dados, foi utilizada a ferramenta *fillsink* do QGis, que preenche os vazios na matriz *sinks* por meio de uma média aritmética dos pixels vizinhos, após isso, fez-se um recorte, delimitando a bacia estudada por meio do módulo *r.watershed.outlet*, assim, a bacia foi delimitada a partir da estação fluviométrica por meio do MDT.

Em seguida, utilizando mais uma vez o MDT, foram extraídos automaticamente os rios que formam a drenagem da bacia. Esse processo foi realizado por meio dos módulos *channel network* and *drenage basin* do QGis, que delimitou, a partir do exutório, o rio principal e seus afluentes.

A Modelagem em 3D foi realizada de modo a melhor observar e discriminar a altimetria e as compartimentações topográficas da bacia, identificando também feições geomorfológicas com o auxílio do trabalho e reconhecimento de campo.

Morfometria e ordem dos rios

Foram produzidos diversos parâmetros morfométricos importantes para classificação, planejamento e gerenciamento da bacia. Eles são relacionados à forma da bacia, às diferenças altimétricas, densidade e conexão dos cursos fluviais. Assim, foram produzidos o coeficiente de compacidade (Kc) (equação 1):

Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 138-158, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

$$K_c = P / (2\pi r) \text{ (Eq.1)}$$

Onde o perímetro da bacia (P); o (π) é igual a 3,14, e (r) é igual ao raio da bacia.

O K_c estima o quão compacta ou circular é a bacia, sendo que “quanto mais próximo de 1 mais similar ao círculo é a bacia, portanto mais propensa a sofrer enchentes, do ponto de vista da forma” (BIELENK JUNIOR e BARBASSA, 2014, p. 36)

O fator de Forma (K_f) (equação 2):

$$K_f = A / [L]^2 \text{ (Eq.2)}$$

Onde o tamanho da área (A) é relacionado ao comprimento axial da bacia (L), a partir do seu canal principal.

A Densidade de drenagem (equação 3) foi calculada usando as informações dos modelos vetoriais da área no SIG:

$$D = \sum L_i / A \text{ (Eq.3)}$$

No qual a somas dos comprimentos dos rios ($\sum L_i$) é dividida pela área da bacia (A)

A ordem dos rios serve como parâmetro importante, pois mede o grau de ramificação. Para a determinação desse parâmetro foi utilizada a classificação de Horton (1945), modificada por Strahler (1957).

Resultados e Discussão

Parâmetros morfométricos

Por localizar-se em região de clima semiárido, a bacia estudada possui dinâmica peculiar, diferente do que ocorre em áreas de climas tropicais úmidos ou subúmidos. O estudo de bacias hidrográficas semiáridas é escasso, fazendo com que seja necessário estabelecer indicadores que gerem informações locais e regionais acerca de tais bacias.

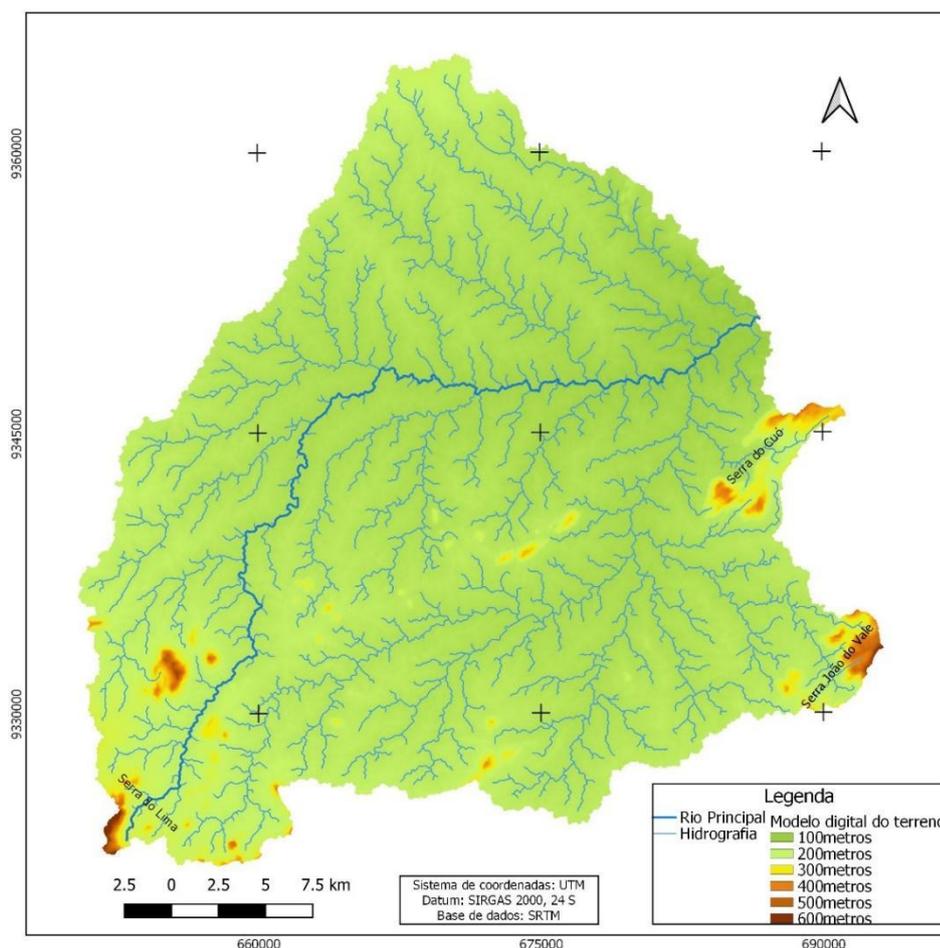
Em seu curso superior, a bacia do rio do Carmo apresenta altitudes que variam entre 91 e 619 m. As suas áreas mais elevadas correspondem a cristas residuais cristalinas constituídas majoritariamente por suítes intrusivas graníticas e granitoides, enquanto as áreas mais baixas (pediplano) são formadas por litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico (CPRM, 2004). O pediplano regional apresentam superfície aplainada, suavemente ondulada e levemente inclinada em direção à costa.

Conforme Mabessone e Castro (1975), os níveis de pediplanação, a exemplo das áreas mais baixas deste setor da bacia do rio do Carmo, correspondem a modelos de

dissecação do relevo característicos de climas secos acompanhados por epirogenias pós-cretáceas. De fato, a área estudada é integrante da mais vasta macrounidade geomorfológica do Nordeste brasileiro, descrita por Ab'Saber (2003) como Depressões Interplanálticas e Intermontanas Semiáridas. Para Maia e Bezerra (2014), esse trecho do Sertão Nordestino também teria estado sujeito a deformações tectônicas de idades pré-cambrianas, que, no Cretáceo e no Cenozoico, foram reativadas, influenciando o relevo atual.

De um modo geral, a geomorfologia do curso superior desta bacia é caracterizada por uma ampla superfície pediplanada, onde se sobressaem inselbergs isolados e cristas residuais, cujos mais elevados funcionam como divisores topográficos, sendo os mais representativos a serra do Cuó, serra João do Vale, e a serra do Lima (Figura 2).

Figura 2. MDT no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo/RN.

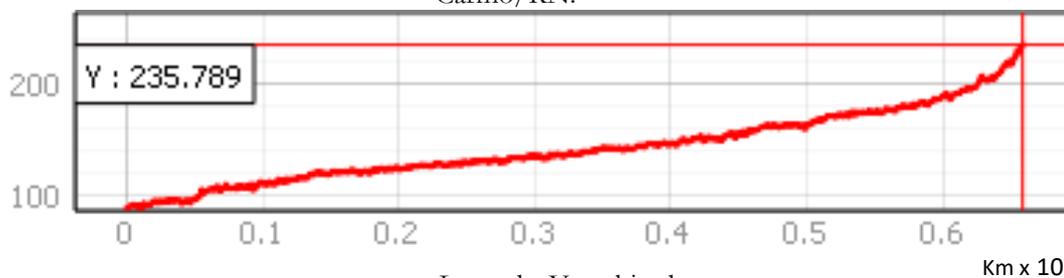


Fonte: Autores (2020).

O Perfil topográfico do rio principal - com 66 km de extensão, considerado como o rio mais extenso, evidencia nascentes na serra do Lima a 235 metros de altitude (Figura 3).

Seu perfil longitudinal demonstra, em quase sua totalidade, um declive suave, que naturalmente é maior nas cabeceiras. Após essa secção mais próxima a nascente, há um declive suave direcionado regionalmente para NE.

Figura 3. Perfil longitudinal do rio principal no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo/RN.



Legenda: Y = altitude

Fonte: Autores (2020).

Baseado na forma da bacia, o coeficiente de compacidade estabelece a predisposição natural para enchentes na área de deflúvio de uma bacia hidrográfica. Quanto menor esse índice, mais a forma da bacia se aproxima de um círculo, o que aumenta o risco de inundações no exutório.

Na área estudada, o coeficiente de compacidade é baixo, o que implica que o forma da bacia tende mais para circular do que para alongada, favorecendo, durante a estação chuvosa, o acúmulo da água que drena dos tributários no leito do rio principal. Desse modo, o fator forma, juntamente com as características hidrológicas (chuvas concentradas entre 3 e 4 meses, com ocorrência de secas periódicas) e a baixa infiltração de água no solo, lhe conferem um deflúvio muito variável (vazão histórica entre 0 a 738 m³/s), apesar disso não há relatos sobre prejuízos causados por inundações, pois há pouca ocupação nos leitos do rio principal.

Não são observados depósitos aluvionares significativos ao longo dos rios localizados no alto curso da bacia do rio do Carmo. Tal fato favorece uma menor taxa de infiltração, resultando em pouca contribuição do fluxo subterrâneo que chega ao rio (fluxo de base), sendo mais frequente fluxos influentes, quando o rio perde água para o meio subterrâneo, o qual, como na área estudada, possui litologia cristalina. A predominância de rochas cristalinas, que não possuem porosidade primária, favorece a existência de aquíferos fissurais, que, de uma maneira geral, armazenam menos água que aquíferos de litologia sedimentar. Conforme Siqueira (1997), nas litologias cristalinas do Sertão Nordeste, alguns cursos fluviais são estabelecidos a partir de lineamentos e cisalhamentos provocados por esforços tectônicos, ao que denominou de riacho-fenda. Este autor ressaltou a importância

desses cursos fluviais no mapeamento de aquíferos fissurais. Para Sá (2000), o conceito de riacho-fenda pode ser aplicado quando uma drenagem tem seu curso controlado por uma fratura/zona de fratura e condições de recarga periodicamente asseguradas.

Com um fluxo de base baixo ou inexistente, alimentados por águas pluviais apenas durante o curto período chuvoso e não contando com água das nascentes durante a estiagem, os rios do alto curso da bacia do rio do Carmo possuem caráter intermitente. Todavia, este setor da bacia apresenta uma densidade de drenagem de 1,04 km/km² (Tabela 1), considerada alta para pluviometria média em torno de 725 mm anuais.

A densidade de drenagem é influenciada por fatores geoambientais, como a topografia, estrutura geológica, solos, cobertura vegetal e ação antrópica, diz respeito à relação entre o comprimento total dos cursos fluviais e a área da bacia, sendo de grande importância para se avaliar o comportamento hidrológico. A baixa intensidade do intemperismo químico resulta em solos rasos, pouco permeáveis, de modo que, durante a estação chuvosa, a maior parcela de água precipitada logo passa a integrar o escoamento superficial e chegar aos cursos fluviais. Em média, a distância percorrida pela água que esco superficialmente até alcançar o rio é de 240 m, o que caracteriza um escoamento superficial predominantemente difuso.

É importante destacar que este tipo de escoamento, em um ambiente de cobertura vegetal escassa, predominantemente caatinga arbustiva, sendo portanto capaz de promover a erosão laminar acentuada, que remove as camadas superficiais do solo, comprometendo a sua fertilidade e, conseqüentemente, a sua capacidade produtiva. A continuidade deste processo pode levar a um quadro de desertificação como descreveram os estudos de Costa et al., (2009); Araújo e Souza (2017); e Albuquerque et al., (2020), no estado do Rio Grande do Norte, sendo este um dos estados mais afetados do Nordeste brasileiro.

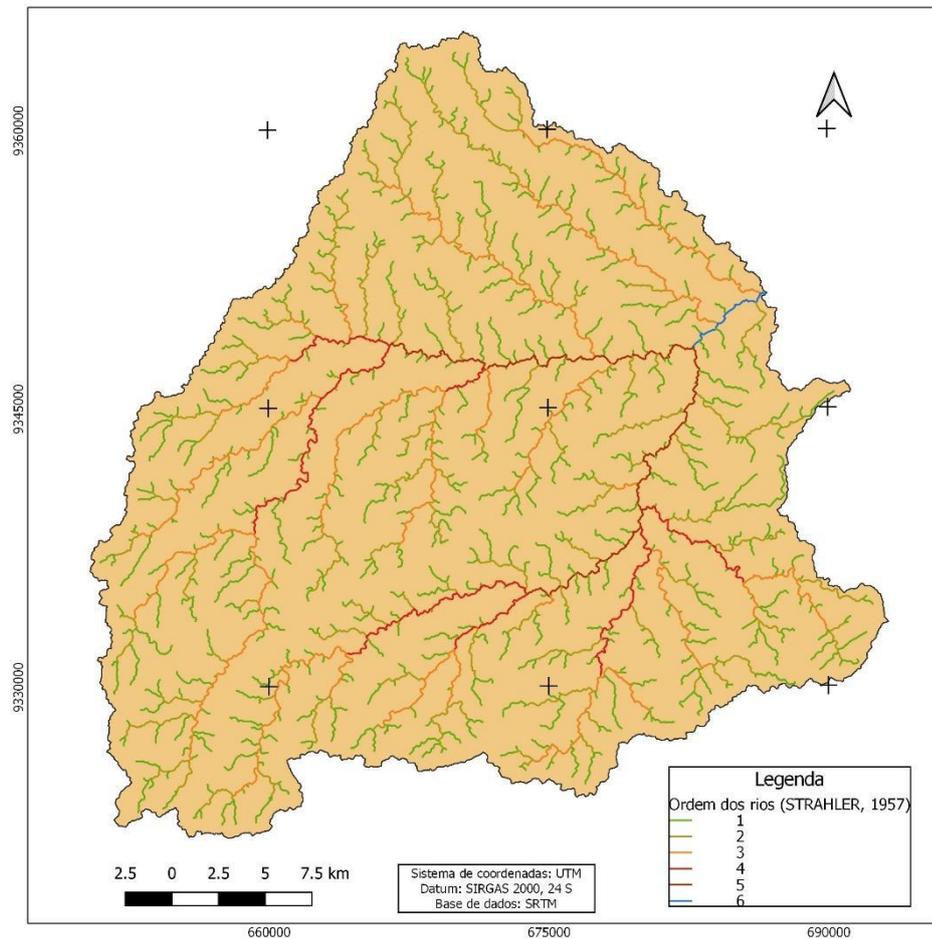
Tabela 1. Índices morfométricas no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo/RN.

Parâmetros morfométricos da bacia	
Altitude média	355 m
Coefficiente de compacidade (K)	1,32
Fator de forma (Lca)	19,56
Densidade de drenagem (D)	1,04 km/km ²
Extensão média do escoamento superficial (L)	0,24 km

Fonte: Autores (2020).

A análise das bases cartográficas e imagens mostram que o trecho superior da bacia do rio do Carmo apresenta 6 ordens de rio. Isto significa que possui grau de ramificação elevado, o que se reflete na densidade de drenagem (Figura 4).

Figura 4. Ordenamento dos canais fluviais no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.



Fonte: Autores (2020).

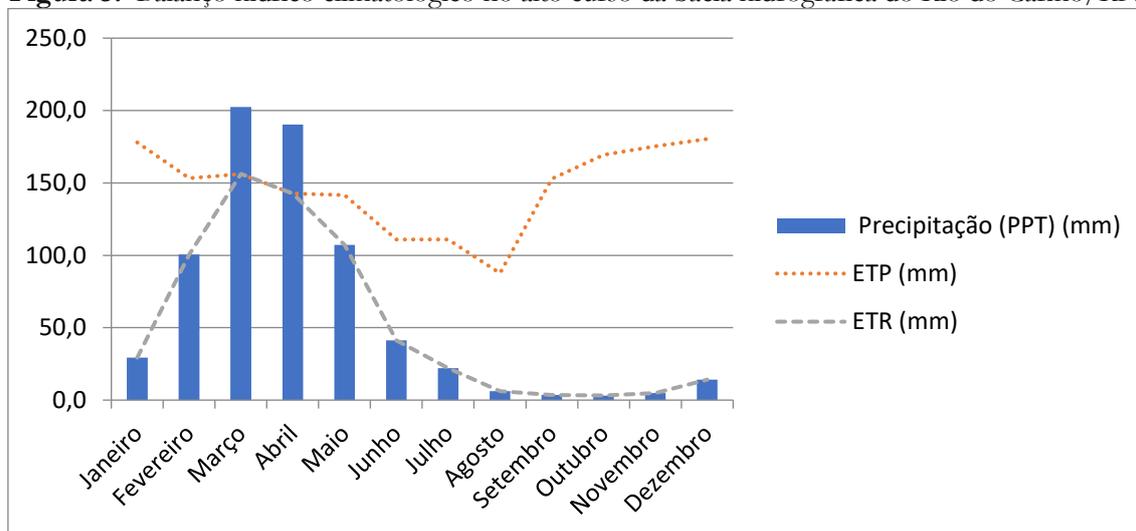
Uma bacia com o grau de ramificação correspondente à ordem 6, sobretudo em clima semiárido, indica que as condições gerais de infiltração favorecem o escoamento superficial e linear por meio dos canais fluviais. Este parâmetro também está relacionado com a distribuição das precipitações anuais de forma concentrada em 4 meses, como pode ser observado no balanço hídrico climatológico (Figura 5).

Balanço hídrico climatológico e disponibilidade hídrica fluvial

Ao se estudar a precipitação média numa série histórica de 67 anos na bacia do Rio do Carmo, observa-se a distribuição das chuvas entre os meses de fevereiro e maio, quando

a média mensal atinge 100 mm ou mais (Figura 5). De fato, mais de 83% da precipitação ocorrem ao longo desses quatro meses.

Figura 5. Balanço hídrico climatológico no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.



Fonte: Autores (2020).

Em boa parte do território nordestino, a relação entre a precipitação e a evaporação potencial resulta em déficit hídrico, configurando condição de semiaridez. Na área estudada, o índice de aridez (IA) foi de 41,2, com evapotranspiração potencial de 1.759,3 mm/ano e evaporação real de 631,1 mm/ano, que ocorre de forma intensa nos meses de abril e maio, no período de superávit hídrico. Portanto, de acordo com o balanço, o volume de renovação da água da bacia é de 93,7 mm, constituindo um volume de $106,5 \text{ m}^3 \times 10^6$ por ano.

Como esses números são baseados em médias, é importante frisar que as irregularidades de precipitação que marcam as secas no Nordeste semiárido, precisam ser levadas em consideração. Apesar da média anual, o regime pluviométrico variou entre 221,5 e 1959,9 mm/ano, entre o ano mais seco (1981) e o ano que mais choveu (1961). Assim, a variabilidade das precipitações flutua para mais ou menos em torno da média, com desvio padrão de 364,7 mm/ano, refletindo a alta variabilidade climática inerente ao clima do semiárido nordestino.

A sessão do rio no exutório considerado segue uma morfologia de canal típica de auto curso de rios do semiárido, não só pela característica intermitente, mas por formar um vale aberto, com leito sobreposto em rochas do embasamento cristalino, com presença de tanques e marmitas provocadas pela dissolução em leito rochoso (Figura 6).

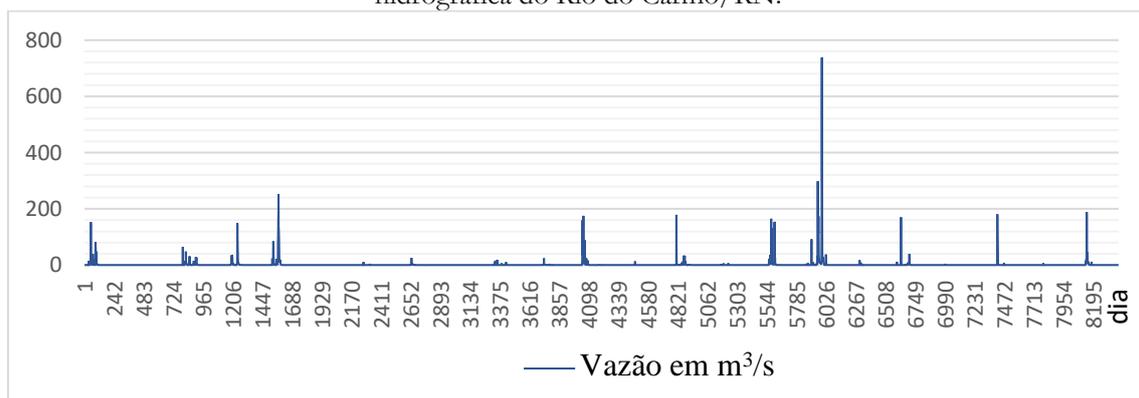
Figura 6. Vale aberto, exutório no auto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.



Fonte: Autores (2020).

Os valores de descarga na seção de deflúvio da bacia são também muito variáveis. Como o rio é intermitente, ocorre seca durante o período de estiagem, havendo anos, como 1993, 1998 e 2001, que não houve descarga de deflúvio por conta de precipitações muito baixas. Todavia, há anos em que os picos chegaram a mais de 150 m³/s, como foi em 1992, 1996, 2004, 2008, 2009, 2006 e 2018 (Figura 7).

Figura 7. Picos de vazão na seção de deflúvio da bacia no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.



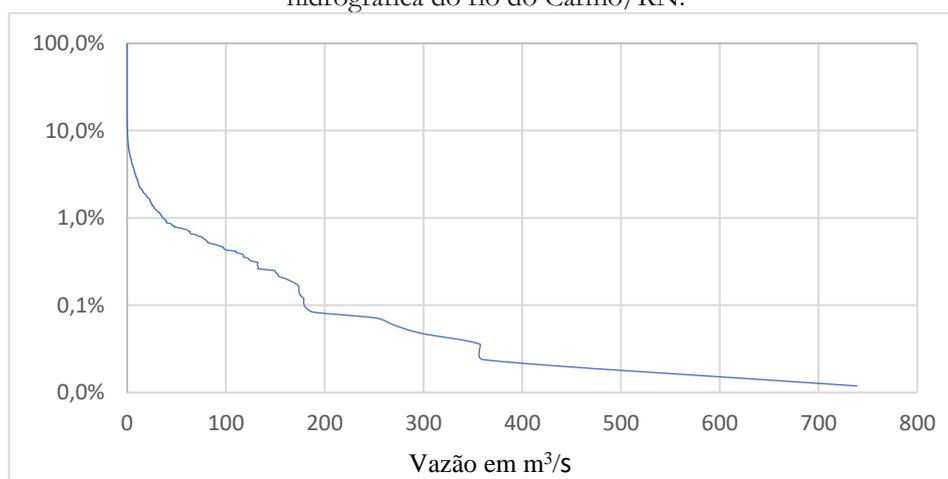
Fonte: Autores (2020).

Dado o caráter intermitente do rio principal na bacia estudada, fica difícil estabelecer vazões reguladoras que poderiam servir de base para outorga de uso da água com base na determinação da vazão reguladora pela metodologia Q90, que corresponde à vazão mínima em 90% das medições. A figura 8 mostra que não há valores disponíveis para

Caetano Ertuennen de Geografia, resumo Ertuennen, n. 42, v. 2, p. 120-126, mai-ago, 2021.

demandas locais pela metodologia do Q90. Há volumes reduzidos de água maior que 38 m³/s em apenas 1% das medições. A padronização desta metodologia para todo o território brasileiro não contabiliza volumes de água significativos nos cursos d'água intermitentes no período chuvoso, dificultando a aplicação dos instrumento de outorga nos rios do semiárido nordestino, sobretudo nas sessões em que esses rios não são perenizados por obras hidráulicas de grande e média açudagem.

Figura 8. Curva para vazão reguladora (Q 90) na seção do exutório no alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo/RN.



Fonte: Autores (2020).

A alternativa mais viável para o aproveitamento de pelo menos parte do volume de água calculado pelo balanço hídrico climático é o armazenamento através de açudagem. A construção de açudes possibilita prolongar a disponibilidade hídrica, suprimindo demandas para irrigação, abastecimento doméstico e serviços. Todavia, deve-se também considerar as suas limitações, como a alta taxa de evaporação, que, na bacia estudada, reduz a coluna de água em 1,7 m/ano, que pode limitar o aproveitamento hídrico de açudes em poucos meses. Vale destacar que, além da taxa de evaporação, o tempo de uso da água depende da área e da profundidade do reservatório.

Além disto, os barramentos modificam o fluxo de água e sedimentos dos rios a jusante, e podem estar sujeitos ao risco de eventuais rompimentos, caso não haja manutenção e critérios geotécnicos claros e fundamentais para suas construções.

Uso e cobertura da terra

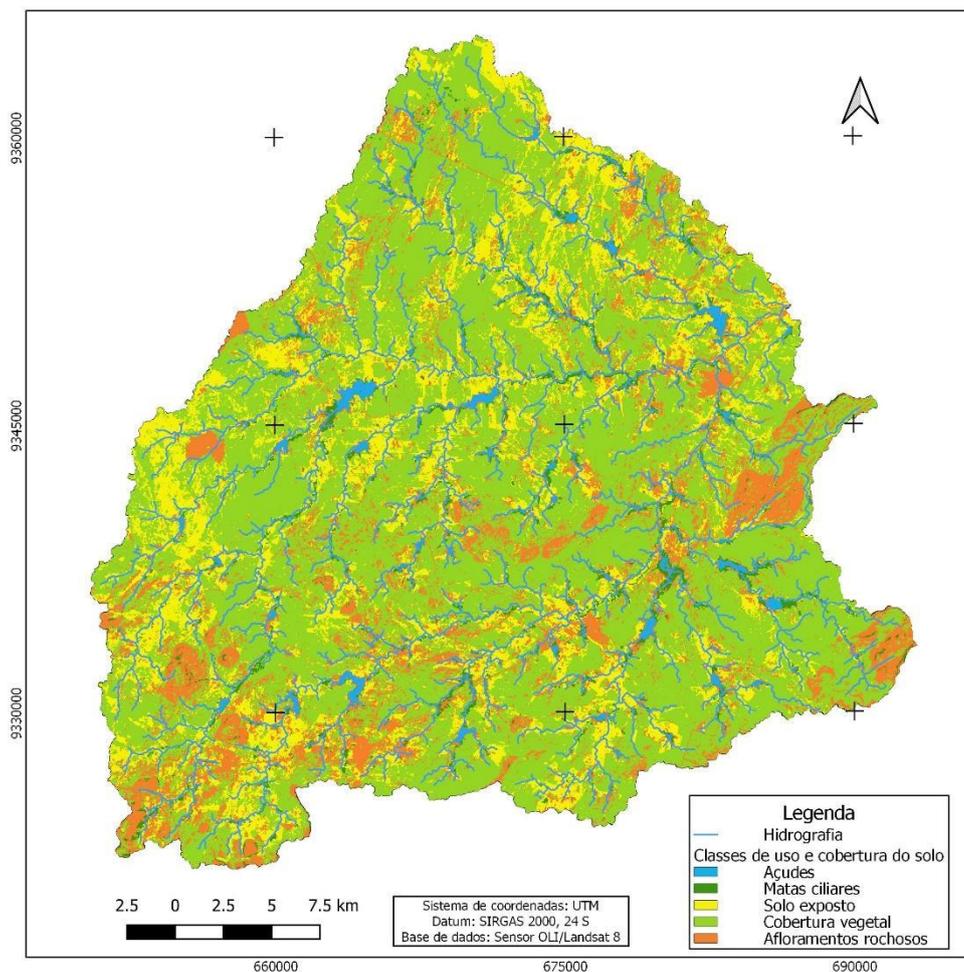
O mapeamento do uso e cobertura da terra reflete um mosaico de ações da sociedade sobre o território. Na área estudada, foram mapeados 612 açudes, com portes que

Caderno Brasileiro de Geografia, Resúmen Brasileiro, n. 42, v. 2, p. 120-130, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

variam de pequeno a médio, e espelhos d'água abrangendo áreas entre 895,2 à 1.558.110,0 m². Observa-se que a imagem utilizada para a análise da cobertura superficial data de novembro de 2019, período de ocorrência da estação seca, o que pode prejudicar a determinação do número de reservatórios e da área ocupada por seus espelhos d'água. Supõe-se que os açudes mapeados são aqueles que, por possuírem maior volume e profundidade, sendo mais resilientes à estiagem (Figura 9).

Figura 9. Mapa de classes de uso e cobertura da terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.



Fonte: Autores (2020).

Entre as classes de uso e cobertura das terras, a mais representativa foi a cobertura vegetal (Tabela 2), que corresponde a uma caatinga com fisionomia arbustiva aberta, alterada pela ação antrópica. A mata ciliar forma faixas ralas e descontínuas ao longo do curso fluvial, com muitos trechos de solo exposto e presença de plantas invasoras, como a algaroba (*Prosopis juliflora*), o que denota uma má condução de práticas agropecuárias e potenciais riscos de assoreamento dos canais e açudes.

Tabela 2. Classes de uso e cobertura da terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo/RN.

Classes	Área (km²)	Área (%)
Água	13,05	1,15%
Vegetação Ciliar	36,11	3,18%
Solo exposto	242,15	21,30%
Cobertura vegetal	672,01	59,10%
Afloramento rochosos	173,64	15,27%

Fonte: Autores (2020).

Os afloramentos rochosos detectados pelo sensor OLI/Landsat 8 correspondem a elevações residuais e plútons ígneos que constituem inselbergs contínuos ou isolados a exemplo da Serra do Cuó (Figuras 10) e do granitóide próximo a cidade de Janduís (Figura 11), respectivamente. Esse tipo de relevo característicos da morfologia do Domínio das Caatingas podem estar associados a áreas de nascentes de rios e riachos.

Figura 10. Serra do Cuó, Campo Grande-RN.



Fonte: Autores (2020).

Figura 11. Inselbergs de litologia granitoide nas proximidades da RN-226, próximo a Janduís.



Fonte: Autores (2020)

Costa et al., (2020) propuseram uma classificação da geomorfologia do Nordeste setentrional na qual a superfície de aplainamento (Depressão Sertaneja) é caracterizada em três níveis distintos, dois dos quais podem ser associados ao presente trabalho. O primeiro deles é denominado Superfície Sertaneja 1, estando relacionado às áreas mais baixas, onde as características geomorfológicas relacionadas ao aplainamento ficam mais evidentes na paisagem e o relevo constitui terrenos planos ou levemente ondulados, com cotas que variam entre 50 e 250 metros. O segundo é a Superfície Sertaneja 2, correspondente às áreas onde relevo sofreu maior dissecação, formando interflúvios salientes, assim como colinosos, apresentando cotas entre 250 e 400 metros, circundando as elevações residuais.

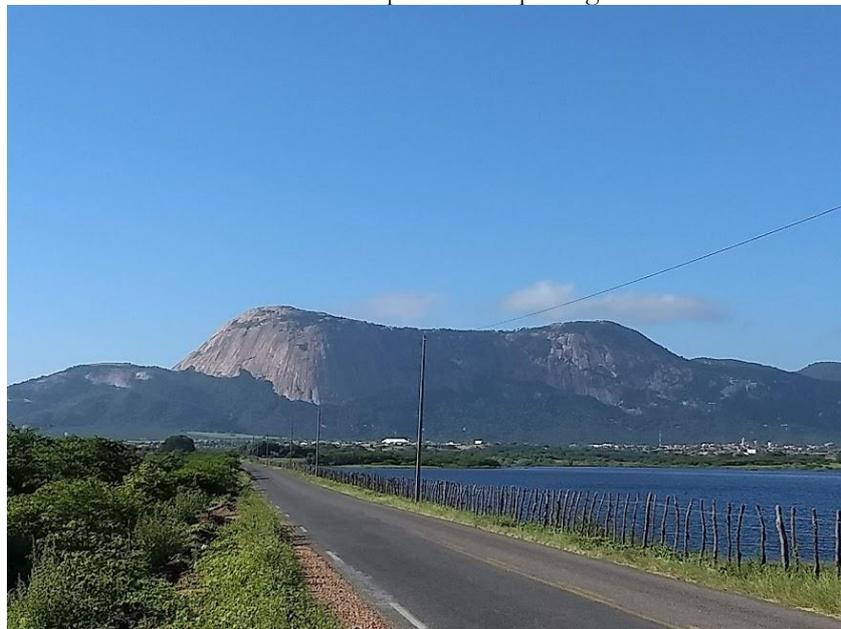
No alto curso da bacia do rio do Carmo, as rochas que embasam as estruturas desses dois níveis da Superfície de Aplainamento estão relacionadas ao Complexo Caicó, unidade morfoestrutural predominante e cujas litologias condicionam os canais de drenagem. Ainda se observa a ocorrência de litologias pertencentes ao Maciço da Borborema, definido por Costa et al., (2020, P. 34) como “o conjunto de terras altas que se distribuem ao longo da fachada do Nordeste oriental do Brasil, ao norte do rio São Francisco, acima da cota 200 m, cujos limites são marcados por uma série de desnivelamentos topográficos. No setor estudado, as litologias dessa unidade morfoestrutural dão origem a cristas residuais e inselbergs, geralmente constituídos por rochas granitoides, como aquelas pertencentes às suítes intrusivas Donas Inês, Umarizal e Itaporanga, como é o caso da Serra do Lima, em Patu

Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n. 43, v. 2, p. 138-158, mai-ago, 2021.

ISSN: 2176-5774

(Figura 12). Esses relevos, em grande parte, correspondem a áreas de vertentes do alto curso da bacia hidrográfica do rio do Carmo.

Figura 12. Serra do Lima, Patu-RN, inselberg constituído por granitoides da suíte intrusiva de médio a alto potássio Itaporanga.



Fonte: Autores (2020).

Constatou-se que o alto curso da bacia do rio do Carmo possui uma altitude média de 355 metros, sendo que a nascente do rio principal se encontra numa altitude superior a 235 metros, localizada nas vertentes de divisores de águas representados pela Serra do Lima.

A transição marcante de relevo no perfil altimétrico do rio principal e no MDT evidencia a unidade de relevo predominante na área estudada, corresponde ao pediplano (Superfície Sertaneja 1 e Superfície Sertaneja 2), que se apresenta com topografia plana a suavemente ondulada.

Conclusão

A caracterização hidrológica, desenvolvida com o emprego de geotecnologias, possibilitou a investigação do quadro hidrológico da bacia, particularmente no que se refere aos parâmetros como morfometria, hierarquia fluvial, balanço hídrico, vazão reguladora e uso e cobertura da terra.

As informações obtidas por esta pesquisa conduzem à melhor compreensão dos aspectos hidrológicos de bacias hidrográficas semiáridas, e são fundamentais para formulação de planos de bacia e gestão dos recursos hídricos no âmbito local e regional. Além disso a

associação entre esses aspectos e o uso e cobertura da terra reforçam a necessidade da integração entre as políticas ambientais e de gestão de recursos hídricos, principalmente para a elaboração e execução de planos de manejo de água e solo, visando a maior produção de água, reabilitação e restauração de matas ciliares e dos corpos hídricos.

Recomenda-se para bacia o desenvolvimento de planos com focos nesse tipo de manejo, sobretudo nas áreas próximas aos rios que possuem predominância de classe de solo exposto, o que pode representar um quadro de degradação.

A regulação dos recursos hídricos na bacia estudada é fundamental para o uso racional da água, prevenção e mitigação de conflitos pela falta de aplicação de instrumentos de outorga e manejo de água e solo adequado. A alocação da água para usos múltiplos pode ser adaptada para a distribuição do balanço hídrico climatológico, aprimorando a aplicação de outorgas, utilizando alternativas a metodologia Q 90.

Para isso é necessário ampliar a rede de monitoramento hidrológico da bacia, melhorando o detalhamento, precisão e refinamento dos dados, na geração de informações necessárias para subsidiar o planejamento e tomadas de decisão.

Por fim, compreende-se que o aprimoramento de ações voltadas para a preservação/conservação dos recursos hídricos na bacia estudada requer, ainda, o aprofundamento de pesquisas relacionadas à análise integrada da paisagem e à vulnerabilidade ambiental.

Referências

AB' SABER, A. N. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2. ed. São Paulo: Editora Ateliê, 2003.

ARAÚJO, J. A.; SOUZA, R. F. Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no Rio Grande do Norte. **Geosul**. Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 122-143 2017. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n65p122>

ALBUQUERQUE, P. I. M.; RODRIGUES, J. P.; PEIXOTO, F. S. Sensoriamento remoto aplicado como indicador de desertificação no município de Parelhas – RN. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 1, p. 241 – 261, 2020.

COSTA. L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; SALES, V. C. C. Geomorfologia do nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Rev. Bras. Geomorfol.** (Online), São Paulo, v.21, n.1, p.185-208, 2020

COSTA, T. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, p. 961–974, 2009.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM, **carta geológica da folha Jaguaribe SB 24**, 2004.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: Sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n.3, p. 488-506, 2015.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Sci. Am. Bull.**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades**. Acessado em: 23 de janeiro de 2020. link: <https://cidades.ibge.gov.br/>

MABESSONE, J. M; CASTRO, C; Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro, **Boletim do núcleo Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**. n. 3, 1975.

MACEDO, D. R.; MAGANHÃES JUNIOR, A. P. Restauração e reabilitação de cursos d'água. In: MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. Org's. **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 353 – 380, 2020.

MAIA, R. P. BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo no nordeste setentrional brasileiro, **Mercator**, Fortaleza. v. 13, n. 1., p. 127 – 141, 2014.

MEDEIROS, C. N.; GOMES, D. D. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta ao planejamento e gestão dos recursos hídricos. In: MEDEIROS, C. N. M.; GOMES, D. D. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; CRUZ, M. L. B. **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza: IPECE, 2011. 268 P.

MORAES, M. E. B. Por que estudar bacias hidrográficas? In: MORAES, M. E. B., LORANDI, R. Org's. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2016.

SÁ, E. F. J. O condicionamento de água subterrânea no cristalino fraturado: reavaliação da abordagem estrutural. **Anais do 1 st Joint World Congress on Groundwater.**, p. 1 – 13. 2000

SIQUEIRA, L. Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea no cristalino. **Rev. Água Subterrânea**, Recife, v. 2, n. 9, p. 1-29, 1967.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **Am. Geophys. Union Trans.** v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

THORTHWAITE, C. W.; MATTER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Thecnology, 1955.

VILLELA S. M.; MATTOS A. **Hidrologia Aplicada**, 3. ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1975.

Submetido em: maio de 2020.

Aceito em: maio de 2021.