

## **ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ, CEARÁ.**

Maria Maiany Paiva Lima<sup>1</sup>; Lucas da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – campus de Quixadá, maianypaival@gmail.com*

<sup>2</sup>*Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – campus de Quixadá, lucasuab@gmail.com*

**Resumo:** As bacias hidrográficas são sistemas ambientais essenciais para a manutenção das atividades humanas. No entanto, devido aos problemas crescentes de urbanização e uso da terra, além das mudanças climáticas, elas estão agora sujeitas a riscos ambientais que afetam sua gestão e sustentabilidade. No caso da bacia do rio Banabuiú, localizada no semiárido brasileiro, esses problemas são intensificados devido ao sistema hidrográfico frágil, dotado de recursos hídricos de regime intermitente, os quais impactam diretamente nas condições socioeconômicas e ambientais. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo possibilitar a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica da área por meio de estudos morfométricos, visando subsidiar a elaboração de prognósticos, a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. A metodologia utilizada no presente trabalho baseia-se nos principais parâmetros morfométricos abordados por Christofolletti (1969, 1980), que são basicamente, áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo, medidos diretamente ou por meio de índices, a partir de informações geoferrenciadas obtidas na forma de arquivos vetoriais disponibilizados pelos órgãos responsáveis e através do processamento digital de imagens de satélite. A partir da aplicação dos parâmetros propostos, constatou-se que a bacia hidrográfica do rio Banabuiú possui uma rede de drenagem pouco desenvolvida e vulnerável quanto ao aporte e manutenção de seus recursos hídricos; mas em relação às enchentes, os resultados obtidos foram positivos, pois a bacia apresenta pouca suscetibilidade a esses eventos, devido à boa distribuição dos canais existentes; e quanto ao impacto relacionado à dispersão de poluentes, a referida bacia também apresentou alta resistência, em razão das características aplainadas de seu relevo.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos, Geoprocessamento, Gestão ambiental.

### **Introdução**

As análises hidrológicas ou ambientais de uma bacia hidrográfica são realizadas principalmente por meio da sua caracterização morfométrica, cujo principal objetivo é elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

As bacias hidrográficas, e outros ecossistemas relacionados, são necessárias ao abastecimento humano. No entanto, devido aos problemas crescentes de urbanização e uso da terra, além das mudanças climáticas, as bacias hidrográficas estão agora sujeitas a riscos ambientais que afetam sua gestão e sustentabilidade (TIBURAN JR. et al., 2013, TRAN et al., 2012)

A bacia do rio Banabuiú localiza-se em uma região cujo sistema hidrográfico é frágil, dotado de recursos hídricos de regime intermitente que percorrem a depressão sertaneja sem,

no entanto, drená-la de forma eficaz, promovendo secas periódicas, degradação dos solos, da vegetação e problemas de ordem econômica.

O planejamento integrado de bacias hidrográficas é uma das principais estratégias de gerenciamento de determinada unidade territorial. Para tanto, sua aplicação deve possibilitar a avaliação sistêmica da dinâmica ambiental e territorial da sua área de abrangência. Com isso, se busca de maneira conectada e preditiva reduzir conflitos socioambientais e indicar ações de recuperação, preservação, conservação e manejo dos ecossistemas naturais, com vistas à melhoria da qualidade de vida da sociedade (SOARES et al., 2016)

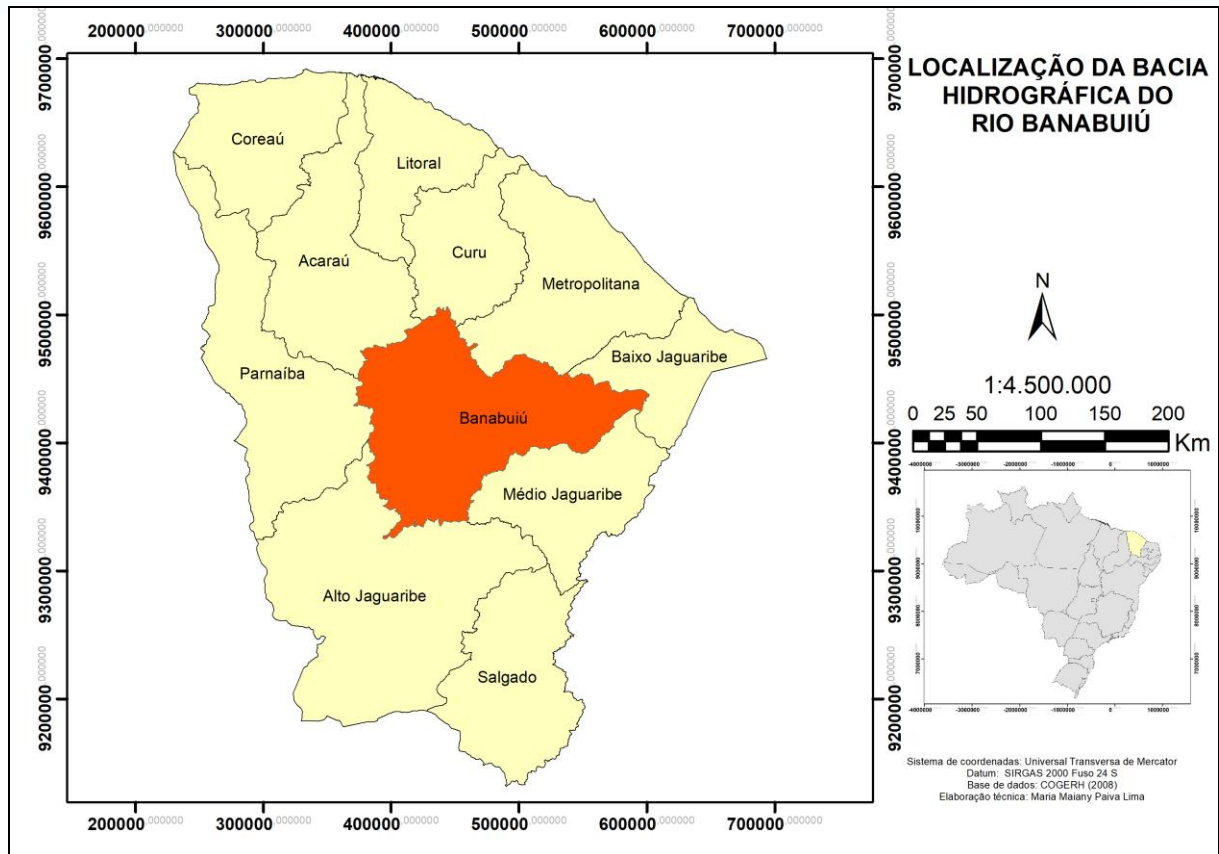
Um dos desafios para a implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos é a gestão integrada de bacias, pois, para isso, é necessária a realização de estudos minuciosos, coordenação política e cooperação entre os participantes para que seja plenamente efetivada (GOUVEIA et al., 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo possibilitar a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica da área, por meio de estudos morfométricos, visando subsidiar a elaboração de prognósticos, a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos.

### **Metodologia**

O estudo foi realizado tomando-se por base a bacia hidrográfica do rio Banabuiú, que compreende, essencialmente, os sertões centrais do estado do Ceará incorporado totalmente no semiárido brasileiro. É uma das cinco Sub-bacias que compõem a bacia do Jaguaribe e, por sua localização central, limita-se com quase todas as bacias do Estado (Figura 1).

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Banabuiú



A metodologia utilizada no presente trabalho baseia-se nos principais parâmetros morfométricos abordados nos por Christofolletti (1969, 1980). Esses parâmetros são, basicamente, áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo, medidos diretamente ou por meio de índices (SILVA, et al., 2007).

Os dados necessários para a localização da bacia e sua delimitação oficial foram obtidos a partir da base cartográfica da Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Ceara – COGERH, em formato *shapefile*. Os demais foram obtidos através do processamento digital de imagens de satélite disponíveis no banco de dados do radar SRTM – (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponíveis no site do USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/> com resolução espacial de 30 metros.

A partir das imagens de satélite, foi obtida a hierarquia fluvial por meio do ordenamento dos canais, utilizando-se as ferramentas disponíveis na função *hydrology* do Arcgis 10.1. Ainda com as imagens de satélite, determinou-se a declividade predominante na bacia; e os demais parâmetros necessários para a análise foram determinados por ferramentas estatísticas no próprio *software*, aplicadas aos atributos dos mapas elaborados anteriormente.

## Resultados e discussão

Os primeiros parâmetros analisados foram: área e perímetro da bacia hidrográfica,

cujos valores encontrados são, respectivamente, 19.647,1 km<sup>2</sup> e 1.020,2 km. Esses valores indicam uma grande área de drenagem, na qual os principais rios são o rio Quixeramobim e o rio Banabuiú, sendo que este último deságua no rio Jaguaribe. Tais valores serão utilizados para a obtenção de outros parâmetros morfométricos da bacia em questão.

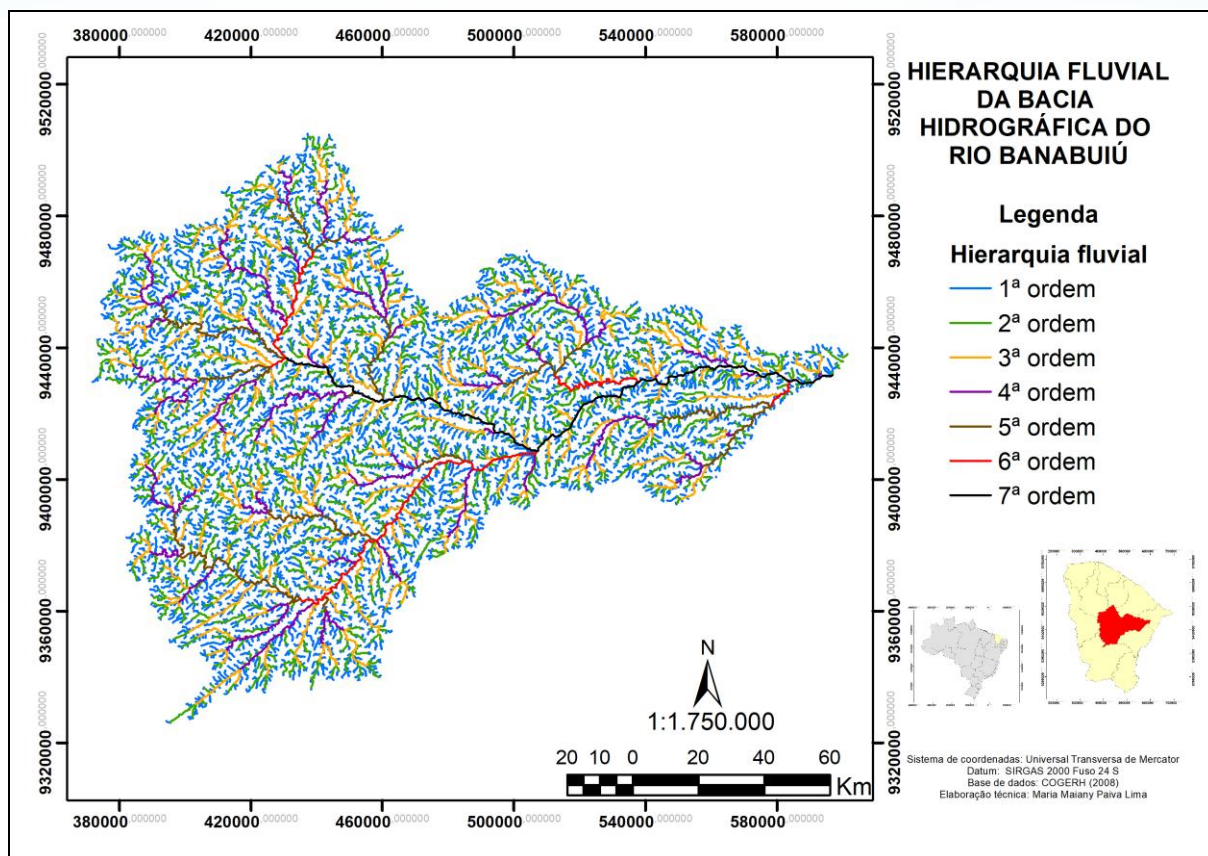
Para realizar a análise morfométrica da bacia hidrográfica, inicialmente é estabelecida a hierarquia fluvial por meio da ordenação de canais e partir de então é realizada a análise dos aspectos lineares, areais e hipsométricos. As análises lineares são aquelas cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento; e para a bacia hidrográfica do rio Banabuiú foram utilizados os parâmetros propostos por Chistofolletti (1969, 1980).

A definição da hierarquia de uma bacia hidrográfica consiste no processo de estabelecer a classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Essa hierarquização facilita e torna mais objetivo os estudos morfométricos sobre o assunto (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Diversas metodologias foram propostas para ordenação dos cursos d'água, dentre as quais se destacam a proposta de Horton (1945) e Strahler (1952). Para esse trabalho convencionou-se utilizar a metodologia proposta por Strahler (*apud* Christofolletti, 1980) para determinação da hierarquia fluvial no estudo da bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Os critérios de ordenamento dos canais na metodologia de Strahler (1952) são os seguintes: para canais que não possuem tributários, é adotada a ordem um ou primeira; canais denominados de segunda ordem são aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independente do número de tributários; de terceira ordem são aqueles que recebem dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo também receber tributários de primeira ordem e assim sucessivamente. A Figura 2 mostra o ordenamento dos rios da bacia do rio Banabuiú.

Figura 2: Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Banabuiú



A partir dos dados obtidos com a hierarquização da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, se chegou ao resultado que a bacia em questão é de 7ª ordem. Possui ao todo 422.591 canais, que estão distribuídos segundo as suas ordens hierárquicas na tabela abaixo (Tabela 1). A elevada ordem hierárquica obtida indica uma bacia menos suscetível a perturbações (TEODORO, et al., 2007).

Tabela 1: Ordenamento dos canais da bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

<b>Ordem</b>	<b>Número de canais</b>
1ª ordem	206.073
2ª ordem	105.194
3ª ordem	60.670
4ª ordem	25.820
5ª ordem	12.696
6ª ordem	6.104
7ª ordem	6.034
<b>TOTAL</b>	<b>422.591</b>

Segundo Horton (1945), o número de canais das várias ordens que constitui uma bacia de drenagem segue aproximadamente uma série geométrica inversa, na qual o primeiro termo da sequência é a primeira ordem. Dessa forma, a premissa apresentada conclui que o número de canais de uma dada bacia decresce das ordens inferiores para as superiores.

Amparada em tal constatação, a relação de bifurcação ( $R_b$ ) consiste na relação entre o número total de canais de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior. A expressão utilizada para o respectivo cálculo é representada pela Equação 1.

$$R_b = N_u/N_{u+1} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

$R_b$  = relação de bifurcação.

$N_u$  = número de seguimentos de determinada ordem.

$N_{u+1}$  = número de seguimentos de ordem imediatamente superior.

Os resultados encontrados para os canais da bacia hidrográfica do rio Banabuiú são apresentados na Tabela 2. Os valores obtidos remetem a superfícies planas ou levemente onduladas, pois segundo Horton (1945) os valores próximos de 2 apresentam essas características, enquanto que valores acima estão geralmente relacionado ao relevo dissecado.

Tabela 2: Relação de bifurcação da bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

<b>Ordem</b>	<b>Relação e bifurcação</b>
1ª e 2ª ordem	1,96
2ª e 3ª ordem	1,73
3ª e 4ª ordem	2,35
4ª e 5ª ordem	2,03
5ª e 6ª ordem	2,08
6ª e 7ª ordem	1,01
<b>Média</b>	<b>2,00</b>

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo por meio do estabelecimento da densidade de drenagem ( $Dd$ ) é importante para a indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia e na definição dos parâmetros morfométricos, o que auxilia no manejo e na gestão de bacias hidrográficas (CARDOSO et al., 2006).

A densidade de drenagem relaciona o número total de canais com a área da bacia hidrográfica. São considerados neste cálculo tanto os rios perenes, quanto os intermitentes e

efêmeros. A expressão é a seguinte:

$$Dd = L/A \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Dd= densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ );

L= comprimento total dos rios ou canais (km);

A = área da bacia considerada ( $\text{km}^2$ ).

Aplicando-se a bacia de estudo, encontrou-se uma densidade de drenagem igual a  $0,6777 \text{ km}/\text{km}^2$ . Esse resultado indica uma baixa densidade de drenagem conforme a classificação de Chistofolleti (1969), ou seja, a bacia possui um sistema de drenagem pouco desenvolvido.

Essa variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica (LANA et al., 2001). Isso explica a densidade drenagem pobre da bacia do rio Banabuiú, pois o clima predominante é do tipo Tropical Quente Semiárido com temperaturas médias anuais em torno dos  $26^\circ\text{C}$  a  $28^\circ\text{C}$  e média pluviométrica anual de aproximadamente  $725,4 \text{ mm}$  (Ceará, 2009), de modo que os processos climáticos não interferem tão significativamente no processo de formação do relevo e entalhamento dos canais.

A extensão do percurso superficial (Eps) constitui uma das mais importantes variáveis morfométricas que descreve o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem numa bacia hidrográfica (LEITE e ROCHA, 2016). O referido índice representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. A expressão matemática desse parâmetro (Equação 3) traduz o relacionamento inverso entre Eps e Dd, no qual valores elevados de Eps estão associados a baixos valores de Dd.

$$Eps = (1/2 * Dd) * 1000 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Eps = extensão do percurso superficial (m);

Dd = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ )

O resultado obtido para a bacia hidrográfica do rio Banabuiú foi de  $738,86 \text{ m}$ . A partir desse parâmetro pode-se caracterizar a textura topográfica da bacia, que expressa maior ou menor espaçamento entre os cursos de água, considera grosseira quando houver amplo espaçamento entre esses cursos e fina quando o espaçamento entre eles for estreito (SILVA et al., 2007). Portanto, a textura topográfica da bacia em estudo pode ser considerada grosseira.

Apesar da análise da extensão do percurso superficial indicar a textura topográfica, esse parâmetro também pode ser obtido diretamente por meio de um cálculo próprio. Para o qual a expressão utilizada é a seguinte (Equação 4):

$$\text{Log Tt} = 0,219649 + 1,115 \log \text{Dd} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

Tt = textura topográfica

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

A textura topográfica (Tt) representa o grau de entalhamento e dissecação da superfície terrestre. É um indicador do estágio erosivo da região. Uma vez que as formas e o processo de evolução da textura da topografia variam conforme alguns fatores que atuam na drenagem. Para esta variável, Chistofolletti (1969) também menciona a seguinte tabela (Tabela 4) para a interpretação dos resultados:

Tabela 4: Classes de interpretação para os valores de textura topográfica

<b>Razão de textura média</b>	<b>Classe de textura topográfica</b>
Abaixo de 4,0	Grosseira
Entre 4,0 e 10,0	Média
Acima de 10	Fina

Fonte: Christofolletti (1969)

Para a bacia hidrográfica do rio Banabuiú, o resultado obtido foi de 1,03. Portanto, de acordo com a Tabela 4, sua textura topográfica é grosseira, assim como foi constatado durante a mensuração da extensão do percurso superficial.

O coeficiente de manutenção (Cm) representa uma medida de textura do solo, utilizando-se do índice Dd, e serve basicamente para determinar a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente (SILVA et al., 2007). E está associada à área necessária para geração de um canal de primeira ordem (CHEREM, et al., 2011), sendo expresso pela seguinte equação (Equação 5):

$$\text{Cm} = (1/\text{Dd}) * 1000 \quad (\text{Equação 5})$$

Cm = coeficiente de manutenção (m<sup>2</sup>)

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

O coeficiente de manutenção (Cm) da bacia hidrográfica foi de 1477,7 m<sup>2</sup>, que é um valor classificado como intermediário; Ou seja, nessa bacia é necessária uma área de 1477,7 m<sup>2</sup> para manter ativo um metro (m) de canal fluvial. Com esse dado, é possível estimar qual seria a área necessária para a manutenção de 1 m de curso fluvial perene, o que permite



raciocinar sobre o balanço hidrodinâmico da área (TRAJANO et al., 2012).

A amplitude altimétrica corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica; Também conhecido como relevo máximo da bacia (CHISTOFOLETTI, 1980). Conforme a Equação 6.

$$H_m = H_2 - H_1 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$H_m$  = amplitude altimétrica (m)

$H_2$  = altura máxima (m)

$H_1$  = altura mínima (m)

Alguns intervenientes podem ser encontrados na aplicação dessa análise, pois, muitas vezes a cota máxima representa apenas um ponto excepcional dentro da bacia. Nesse caso, a escolha do ponto mais alto pode fornecer um resultado que mascara o real significado da movimentação topográfica da bacia de drenagem (CHISTOFOLETTI, 1980).

A fim de superar essa dificuldade, Christofolletti (1980) propõe definir a cota máxima como uma média dos pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior da bacia. No caso da bacia do rio Banabuiú, a cota média entre os pontos mais altos ( $H_2$ ) é de 905 m e a cota da desembocadura ( $H_1$ ) é de 30 m, resultando numa amplitude altimétrica de 875 m.

O índice de rugosidade topográfica combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como um número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica ( $H_m$ ) e densidade de drenagem ( $D_d$ ), conforme a expressão abaixo (Equação 7):

$$R_t = H_m * D_d \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$R_t$  = rugosidade topográfica

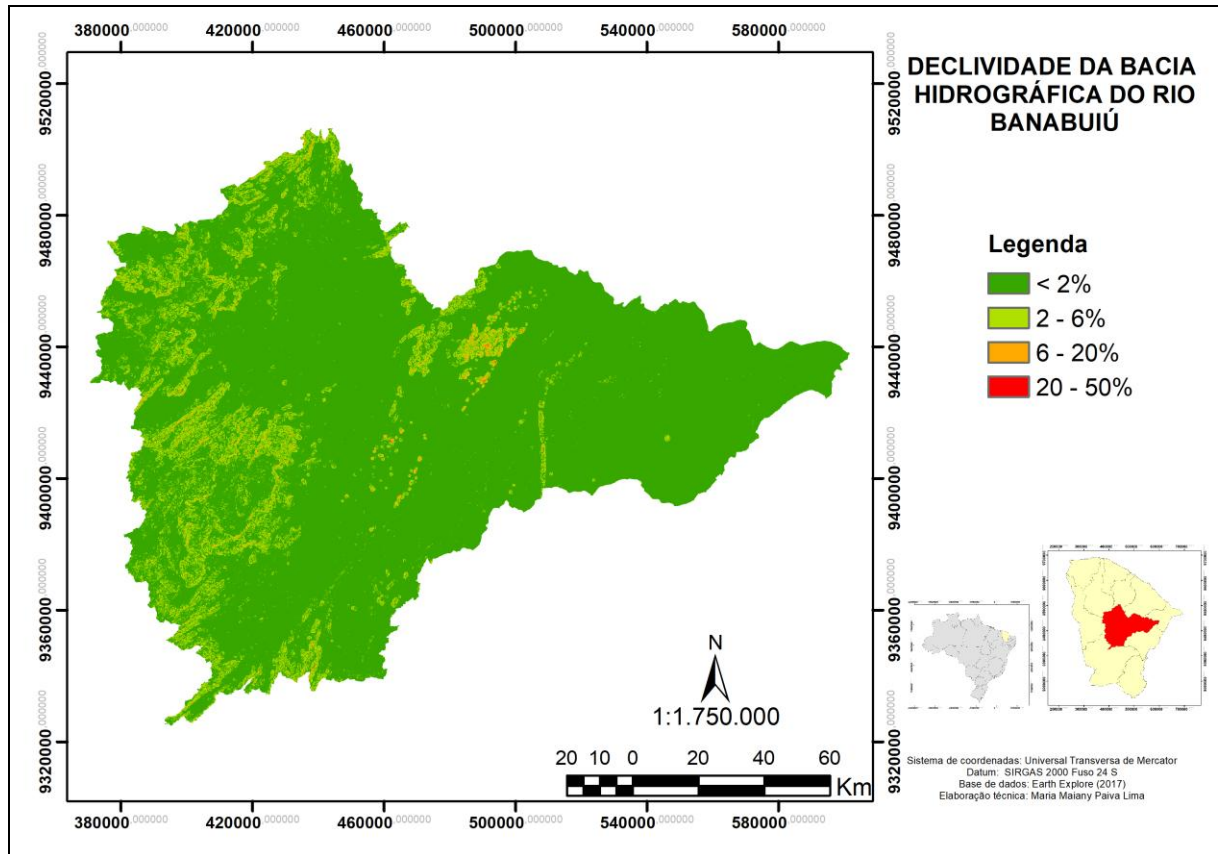
$H_m$  = amplitude altimétrica (m)

$D_d$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ )

Para a bacia hidrográfica do rio Banabuiú, o valor encontrado foi de 592,13. Esse valor é considerado baixo, o que define menor risco de degradação da bacia, uma vez que apresenta pouca variação em seu relevo, com poucos desníveis entre a cabeceira e a seção de referência (CHRISTOFOLETTI, 1980). O baixo valor apresentado indica que a bacia em estudo tem menor risco a enchentes (TRAJANO et al., 2012).

A faixa de declividade que predomina na área da bacia em termos percentuais é menor que 2%, conforme o mapa abaixo (Figura 3). Essa constatação revela uma rede de drenagem relativamente plana e, por isso, tende a apresentar baixa velocidade no escoamento fluvial e atividade erosiva pouco intensa.

Figura 3: Declividade da bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.



O índice de circularidade ( $I_c$ ) é utilizado para identificação da forma aproximada de bacias hidrográficas, fundamentando-se em Christofolletti (1980). Esse índice apresenta menor subjetividade nos cálculos e também é conhecido como coeficiente de compacidade ou índice de Gravelhius. Nesse índice, de acordo com a Equação 8, o parâmetro consiste na razão entre a área da bacia ( $A_b$ ) e a área do círculo de mesmo perímetro da bacia ( $A_c$ ), ou seja, representa a relação existente entre o perímetro da bacia e a área que ela possui (multiplicada por um fator constante  $1/2\sqrt{\pi}$ ).

O número calculado independe da área considerada, mas apenas da forma da bacia. O menor valor possível encontrado para essa relação é 1, o que corresponderia a uma bacia circular (GANDOLFI, 1971). A expressão é a seguinte:

$$K = P/2\sqrt{(\pi * A)}$$

(Equação 8)

Onde:

K = índice de forma

P = perímetro (km)

A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

Tal parâmetro é utilizado na determinação da vazão e da intensidade de escoamento (MORISAWA, 1962 apud CHISTOFOLETTI, 1970). O índice de forma da bacia do rio Banabuiú é de 2,067. Com isso, pode-se atribuir uma baixa suscetibilidade da bacia a episódios de enchentes, pois o valor encontrado indica uma bacia irregular, que se distancia da forma circular.

### **Conclusões**

A partir da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, conclui-se que a bacia do presente estudo apresentou baixa suscetibilidade a enchentes, devido a suas características de área relacionadas com a distribuição de seus canais. E quanto à vulnerabilidade a degradação e poluição, a bacia também apresentou resultados positivos, principalmente devido às características aplainadas de seu relevo; e, apesar disso, a vulnerabilidade hidrográfica em si é alta, pois o sistema de drenagem da bacia é pouco desenvolvido, devido às características climáticas e topográficas predominantes na região.

### **Referências**

- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, A. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 9, n. 2, 2006.
- CEARÁ. **Caderno regional da sub-bacia do Banabuiú**. Assembléia Legislativa do Estado do Ceará, Fortaleza : INESP, 2009.
- CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JR., A. P.; FARIA, S. D. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas – região centram de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, 2011.
- CHISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas – SP, v. 9, 1969.
- CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Editora Edgar Blücher, São Paulo – SP, 1980.
- GANDOLF, N. **Investigações sedimentológicas, morfométricas e físico-químicas nas bacias hidrográficas Moji-Guaçu, do Ribera e do Peixe**. Tese. Departamento de geologia e mecânica dos solos, EESC-USP, São Carlos – SP, 1971.
- LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do

Tanque, MG – Brasil. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto- MG, v.54, n.2, 2001.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. RiMa, São Carlos – SP, 2007.

LEITE, M. E.; ROCHA, A. M. Sistema de informações geográficas (SIG) aplicado ao cálculo de índices morfométricos em bacia hidrográfica. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 28, 2016.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc America Bulletin**, v.3, n.56, 1945

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia: USP**, v. 31, 2016.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. **Geol. Soc. America Bulletin**, n. 63, 1952.

TIBURAN JR., C.; SAIZEN, I.; KOBAYASHI, S. Geospatial-based vulnerability assessment of an urban watershed. In: The 3<sup>rd</sup> International Conference on Sustainable Future for Human Security SUSTAIN 2012. **Procedia Environmental Sciences**, v. 12, 2013, p. 263-269.

Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

TRAJANO, E. R. R. S. et al. Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial: Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** / Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP, 2012.

TRAN, L.T.; O'NEILL, R.V.; SMITH, E. R. A watershed-based method for environmental vulnerability assessment with a case study of the Mid-Atlantic region. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 34, p. 58-6, 2012. Disponível em:

<[www.elsevier.com/locate/eiar](http://www.elsevier.com/locate/eiar)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **REVISTA UNIARA**, 2007.