

ESTUDO HIDROMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANGARAÍ¹

HYDROMORPHOLOGICAL STUDY OF THE MANGARAI RIVER WATERSHED

Thales Ian Maia Sales Pinto²

Dejanyne Paiva Zamprogno Bianchi³

RESUMO: O presente trabalho apresenta o resultado de um estudo hidromorfológico realizado através da realização de cálculos morfométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Mangaraí, localizada entre os municípios de Cariacica e Santa Leopoldina, no Estado do Espírito Santo, onde possui área de 174 km². Os parâmetros geométricos, de relevo e de drenagem da bacia foram obtidos através de processamento no software QGIS 3.22.5, utilizando modelo digital de elevação como base de dados. Desta forma, foi possível estimar diversos indicadores que revelam aspectos importantes da dinâmica hidrológica da bacia, como coeficiente de compactidade, fator de forma, índice de circularidade etc. A análise dos indicadores morfométricos sugere que a bacia do Rio Mangaraí possui uma baixa vulnerabilidade física a enchentes e inundações, o que é essencial para o planejamento e gestão ambiental da área de estudo.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; SIG; Estudo hidromorfológico; Geoprocessamento.

ABSTRACT: The present work presents the results of a hydromorphological study conducted through the performance of morphometric calculations in the Rio Mangaraí Watershed, located between the municipalities of Cariacica and Santa Leopoldina, in the State of Espírito Santo, covering an area of 174 km². The geometric, relief, and drainage parameters of the basin were obtained through processing in the QGIS 3.22.5 software, using a digital elevation model as the database. In this way, it was possible to estimate various indicators that reveal important aspects of the basin's hydrological dynamics, such as compactness coefficient, form factor, circularity index, etc. The analysis of the morphometric indicators suggests that the Rio Mangaraí basin has a low physical vulnerability to floods and inundations, which is essential for the planning and environmental management of the study area.

Keywords: Watershed; GIS; Hydromorphological study.

1 INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica é capaz de ser compreendida como um conjunto de parâmetros físicos, onde localiza-se a entrada caracterizada como volume de água precipitado, e drenada por um curso d'água ou um sistema de cursos d'água em conexão, de modo que toda a água escoada seja encaminhada para uma só saída, designada como exultório (TUCCI, 2004). Nos últimos anos, a bacia do rio Santa Maria da Vitória, principal fonte de abastecimento da região metropolitana da Grande Vitória, vem apresentando um aumento preocupante na quantidade de

¹ Trabalho Final de Curso da Pós-Graduação *lato sensu* em Recursos Hídricos do Ifes Campus Vitória.

² Bacharel em Engenharia Civil, pela Faculdade Multivix Vila Velha. E-mail: thalesian93@gmail.com

³ Doutora em Engenharia Civil (USP, 2004). Professora do Instituto Federal do Espírito Santo, campus vitória. E-mail: dejanyne@ifes.edu.br

sedimentos carregados. Essa situação gera apreensão nas Estações de Tratamento de Água (ETA) Santa Maria e Carapina, que captam água do rio (MMT Planejamento e Consultoria, 2013). Entre os afluentes do rio Santa Maria da Vitória, o Rio Mangaraí se destaca como um dos principais colaboradores para o aumento da turbidez da água captada na ETA de Carapina, Serra-ES. As declividades acentuadas e a deficiência de drenagem nas estradas contribuem para o assoreamento e o acúmulo de sedimentos nos rios da área. Desta forma, o estudo hidromorfológico da Bacia do Rio Mangaraí é necessário para o desenvolvimento e execução de estudos hidrológicos, projetos de macrodrenagem e estudo de minimização de cheias, afim de auxiliar o Estado e a sociedade no manejo e cuidado da água na bacia.

A infiltração da água no solo é um processo influenciado por diversos fatores, entre os quais se destacam as características físicas do terreno, como relevo, forma e rede de drenagem. Essas características determinam o tempo e a velocidade com que a água escoar, afetando a quantidade de água que consegue se infiltrar (LEAL e TONELLO, 2017). O crescimento urbano desordenado gera uma série de alterações no ciclo da água, colocando em risco a bacia hidrográfica e transformando áreas significativas das cidades em solo impermeabilizado. Essa impermeabilização acelera o escoamento superficial das águas pluviais, levando-as para os cursos d'água de forma muito mais rápida do que em seu estado natural (ALVES *et al.* 2020). A urbanização altera o escoamento superficial e a infiltração em bacias hidrográficas, impactando diversos aspectos como o padrão de drenagem dos canais, a ocorrência de enchentes e erosões, a degradação ambiental dos recursos hídricos e a exploração das águas subterrâneas. A avaliação dessas mudanças, conforme certificado por White *et al.* (2013), é fundamental para a gestão ambiental urbana.

As geotecnologias, como SIG (Sistema de Informações Geográficas) e Sensoriamento Remoto, têm sido instrumentos essenciais para o levantamento de características hidromorfológicas, possibilitando uma avaliação integrada dos sistemas naturais e a combinação de dados ambientais. A crescente interferência humana nos processos naturais, impulsionada pelo avanço científico e tecnológico, resultou em mudanças drásticas nas características do planeta. O relevo, o uso da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima foram impactados pelas ações antrópicas. O uso de SIGs na gestão de bacias hidrográficas vem crescendo consideravelmente ao longo dos anos. Esse instrumento possibilita a análise espacializada de dados, sendo primordial para a compreensão da dinâmica das bacias e para a tomada de decisões. Através da

concentração de informações sobre o uso da terra, hidrografia e outros aspectos, os SIGs auxiliam na identificação espacial de áreas críticas, prevendo impactos e definindo medidas para a proteção dos recursos hídricos.

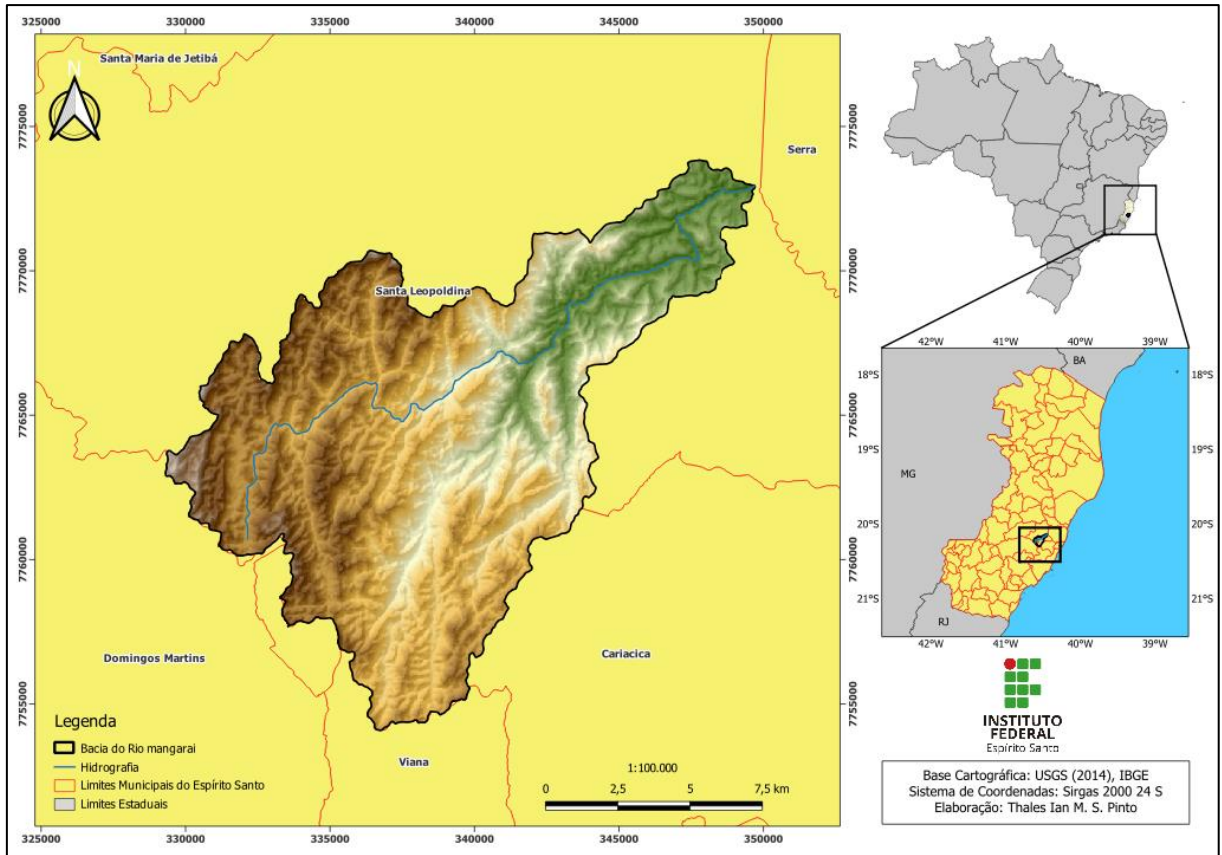
Mediante o trabalho exposto, o estudo hidromorfológico da bacia hidrográfica do Rio Mangaraí é fundamental para a compreensão do comportamento morfológico da bacia e definir medidas de manejo que assegurem a segurança da população e a preservação ambiental. A pesquisa em questão quantificou os principais parâmetros físicos e morfológicos da bacia, tais como declividade média, amplitude altimétrica, sinuosidade do canal, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, índice de rugosidade, hierarquia fluvial, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, extensão do percurso superficial, coeficiente de manutenção, razão de alongamento e razão de relevo. Este estudo teve como objetivo principal analisar as características morfométricas da bacia hidrográfica, utilizando geotecnologias para coletar dados e gerar informações. As informações obtidas visam aprimorar o conhecimento sobre as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da bacia, subsidiando o processo de tomada de decisão em futuros planos de gestão integrada dos recursos hídricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo se encontra na bacia hidrográfica do Rio Mangaraí, localizada na bacia do rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil e é delimitada pelas coordenadas geográficas 20° 6' e 20° 18' latitude sul e os meridianos 40° 22' e 40° 38' de longitude oeste. A área da bacia apresenta uma região influentemente rural, abrangendo os municípios de Cariacica e Santa Leopoldina, representando nesta ordem 13% e 87% da sua área total 183,7 km² (INCAPER, 2019). Na figura 1, identifica-se a localização da bacia do Rio Mangaraí, demonstrando seus limites municipais, pertencentes a área da bacia.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Mangaraí.

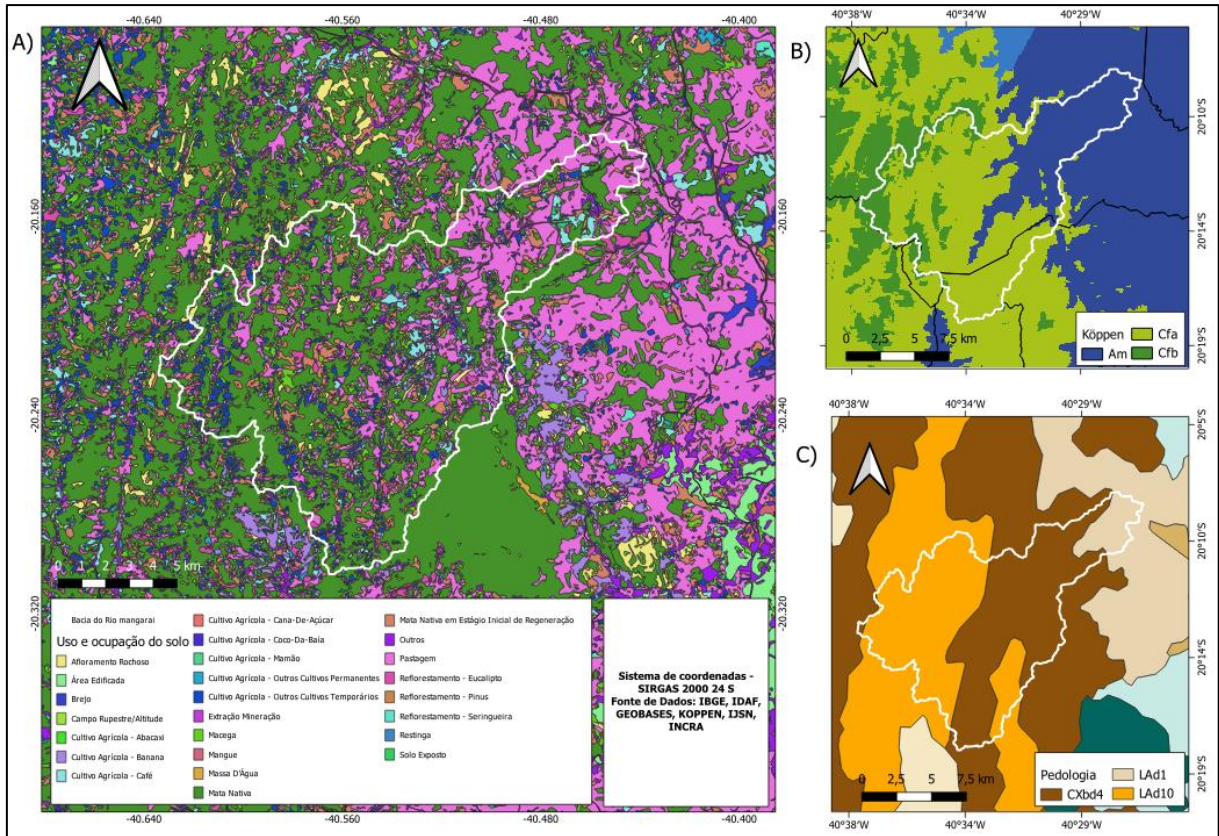


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.2 CLIMA, PEDOLOGIA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O clima presente na bacia do Rio Mangaraí, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Am e Cfa, sendo Am caracterizado como clima tropical com chuvas excessivas, apresentando um mês mais seco e temperaturas médias anuais elevadas a 22°C em períodos mais quentes e acima de 18°C nos meses mais frios. O Cfa é o clima subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente, onde apresenta o mês mais frio em temperaturas inferiores a 18°C e temperaturas superiores a 22°C no mês mais quente. O solo característico encontrado na região da bacia é do tipo Cambissolo Háplico (Cxbd) e Latossolo Amarelo Distrófico típico (LAD). As principais movimentações de uso e ocupação do solo foram identificados como: Mata nativa, pastagem, cultivo agrícola e reflorestamento (figura 2).

Figura 2: A) Uso e ocupação do solo. B) Classificação de Köppen. C) Pedologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.3 OBTENÇÃO DOS DADOS E TRATAMENTO

A metodologia escolhida para este estudo consiste na obtenção de modelos digitais de elevação (MDE) que são dados espaciais geralmente fornecidos por órgãos governamentais. O Modelo Digital de Elevação, de resolução espacial de 30 metros foi adquirido pela USGS (United States Geological Survey) e foi processado no software livre Quantum Gis (QGIS) 3.22.5. Seu sistemas de coordenadas e geodésico são originalmente obtidos em WGS 84, e foram reprojutados para UTM (fuso 24S) e SIRGAS 2000 (superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que contém nível médio dos mares definidos por observações maregráficas na Baía de Imbituba/SC), respectivamente. Pixels com valores indeterminados foram removidos com a função `r.fill.dir`, onde este comando possibilita identificar e eliminar pontos envolvidos por cotas mais altas que impedem o fluxo correto da água da chuva para células vizinhas, garantindo a continuidade do escoamento superficial e gerando um Modelo Digital de Terreno Consistente (MDTC). A função `r.watershed` foi utilizada para produzir camadas matriciais com informações sobre as direções de fluxo e declividade da região. A partir destas camadas, a função `r.water.outlet` delimitou automaticamente a bacia. As camadas de direções de

fluxo e delimitação da bacia foram convertidas em formato vetorial com a função r.to.vect, possibilitando a extração das características físicas da bacia, como área, perímetro e etc. A seleção dos parâmetros morfométricos para o estudo foi guiada por uma revisão bibliográfica abrangente, priorizando aqueles com maior potencial de influência no desenvolvimento de inundações (quadro 1).

Quadro 1: Parâmetros morfométricos da bacia.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO
Comprimento do rio principal (km)	É definido a partir do perfil longitudinal do rio, determinando o comprimento total entre a nascente mais distante e o exutório (Tucci, 2004).	L
Área (km ²)	Área de drenagem corresponde a toda a área drenada pelo conjunto fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal (Villela; Mattos, 1975).	A
Perímetro (km)	Comprimento da linha imaginária total que percorre o divisor de águas (Tonello, 2005).	P
Fator de Forma (Kf)	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento da bacia (Horton, 1945).	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Índice de Circularidade (Ic)	Este índice mede a semelhança entre a forma da bacia hidrográfica e a forma de um círculo perfeito. Ele é calculado pela razão entre a área total da bacia e a área de um círculo que possui o mesmo perímetro da bacia.	$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2}$
Densidade de drenagem (Dd)	Expressado pelo comprimento total dos canais de uma bacia hidrográfica por unidade de área (Tucci, 2004).	$Dd = \frac{L}{A}$
Hierarquia Fluvial	Catálogo sobre o grau de subdivisões de cursos d'água presentes em uma bacia hidrográfica (Campos <i>et al.</i> , 2015).	-

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO
Coefficiente de Compacidade (Kc)	Constitui a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Cardoso <i>et al.</i> , 2006).	$Kc = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}}$
Declividade média	Denominado razão de relevo da bacia ou inclinação média do terreno, representa a inclinação geral da área da bacia hidrográfica. É obtido pela divisão da amplitude altimétrica (diferença de altitude entre o ponto mais alto e o mais baixo da bacia) (ΔH) pelo comprimento axial da bacia (Lax).	$Dm = \left(\frac{\Delta H}{Lax} \right)$
Índice de sinuosidade (Is)	O índice de sinuosidade (Is) é uma medida que avalia a tortuosidade do canal principal de uma bacia hidrográfica. Ele indica a relação entre o comprimento real do canal (L) e a distância em linha reta entre o ponto mais alto da bacia e a foz do rio (Dv). Quanto maior o valor do Is, mais sinuoso é o canal (VILLELA e MATTOS, 1975; MELLO e SILVA, 2013)	$Is = \frac{L}{Dv}$
Densidade Hidrográfica	Caracteriza a relação entre a quantidade de cursos d'água e a extensão da área da bacia que eles drenam (Horton, 1945).	$Dh = \frac{\text{núm. canais}}{A}$
Índice de Rugosidade (Ir)	Intensidade do relevo da bacia hidrográfica, relacionando a diferença de altitude entre seus pontos mais altos e mais baixos (amplitude altimétrica) com a quantidade de cursos d'água presentes na área (densidade de drenagem) (Melton, 1957).	$Ir = Dd * H$
Razão de Alongamento (Re)	Definido por Mosca (2003), consiste na razão entre o diâmetro de um círculo com área equivalente à área total da bacia hidrográfica e o comprimento do eixo principal da bacia.	$Re = 1,128 \left(\frac{A^{0,5}}{Lax} \right)$
Extensão do percurso superficial	Representa a distância média percorrida pela água da chuva em linha reta até um canal permanente. (CHRISTOFOLETTI, 1981).	$Eps = \frac{1}{2Dd}$
Coefficiente de manutenção (Cm)	Destaca a função da área em garantir a manutenção de um metro de canal fluvial.	$Cm = \frac{1}{Dd} * 1000$
Razão de Relevo (Rr)	Esse índice quantifica a inclinação geral de uma bacia de drenagem e serve como um indicador da erosão atuando nas vertentes da bacia (STRAHLER, 1964).	$Rr = \frac{\Delta H}{Lax}$

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO
Amplitude Altimétrica	Conforme Lima (2008) é a altitude máxima subtraída pela altitude mínima.	$\Delta a = H-h$

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 detalha os resultados dos parâmetros morfométricos calculados para a bacia hidrográfica do rio Mangaraí.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros morfométricos calculados.

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	RESULTADOS
Comprimento do rio principal (km)	31,02
Área (km ²)	174
Comprimento axial da bacia	22,76
Perímetro (km)	87,67
Fator de Forma (kf)	0,33
Densidade de Drenagem (Dd)	1,21
Índice de Circularidade (Ic)	0,28
Hierarquia Fluvial	5 ^a
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,86
Declividade Média (%)	44
Índice de Sinuosidade (Is)	1,36
Densidade Hidrográfica (Dh)	4,77
Índice de Rugosidade	126,93
Razão de Alongamento (Re)	0,65
Altitude mínima (m)	7,00
Altitude máxima (m)	1056,00
Amplitude Altimétrica (m)	1049,00
Razão de Relevo (Rr)	0,046

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS	RESULTADOS
Extensão do percurso superficial	0,41
Coeficiente de manutenção (Cm)	826,45

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Conforme os resultados adquiridos com o processamento do modelo digital de elevação, o coeficiente de compacidade (Kc) obtido foi de 1,86. O coeficiente de compacidade (Kc) é um indicador da irregularidade da bacia hidrográfica, onde bacias mais irregulares apresentam valores de Kc mais altos, enquanto bacias que se aproximam do formato circular possuem Kc próximo a 1, onde a relação está associada ao potencial de inundações. Conforme Silva e Mello (2015), bacias com valor entre 1,00 e 1,25 tendem a alta propensão a enchentes, devido ao menor tempo de concentração da água e à maior velocidade do escoamento superficial. Bacias com valor entre 1,25 e 1,50 possuem risco moderado de inundações e bacias com o valor $\geq 1,50$ com formato mais circular ou largo apresentam menor propensão a inundações, visto que o tempo de concentração da água é mais longo e a velocidade do escoamento superficial menor. Bacias com Kc elevado tendem a ter maior chance de sofrer cheias de grande magnitude (VILLELA; MATTOS, 1975).

O índice de circularidade (Ic) mede a forma da bacia hidrográfica, variando de 0 a 1. Bacias com Ic próximo a 1 são circulares, enquanto valores abaixo de 0,51 indicam formas mais alongadas. Schumm (1956) sugere que bacias circulares ($Ic > 0,51$) apresentam maior suscetibilidade a inundações. No estudo, o Ic de 0,28 revela que a bacia não é circular, com baixo risco de inundações. A geometria da bacia de drenagem é o principal fator que controla a vazão da água no canal principal, desde a nascente até a foz. Na bacia estudada, com o valor obtido de 0,28, foi classificada como fortemente alongada e com baixo potencial natural para inundações severas. O formato alongado da bacia de drenagem influencia a velocidade com que a água flui, resultando em menor pico de vazão e menor risco de inundações, pois o escoamento rápido da água diminui o tempo que ela permanece na bacia, e conseqüentemente, o volume acumulado.

Isso é corroborado pelo Fator Forma (kf) de 0,33. De acordo com Silva e Mello (2015) bacias com $Kf \geq 0,75$ indica que a bacia possui formato alongado e concentrado, o que resulta em alta velocidade de escoamento da água e, conseqüentemente, maior risco de inundações. Quando $0,50 < Kf < 0,75$ a bacia apresenta formato intermediário, com suscetibilidade mediana a

inundações. O escoamento da água é menos concentrado, o que contribui para um menor risco de inundações. Bacias com fator de forma $K_f \leq 0,50$ são consideradas mais circulares ou compactas, o que leva a um escoamento mais lento da água e, por sua vez, menor risco de inundações. No caso da bacia do Rio Mangaraí, o fator de forma obtido foi de 0,33, o que caracteriza a bacia como tendo baixo risco a inundações. Em consonância com os resultados de Esper Angillieri e Fernández (2017), que realizaram um estudo similar na Província de San Juan, noroeste da Argentina, este trabalho também encontrou valores semelhantes para a forma das bacias hidrográficas. Os autores supracitados ressaltam que bacias com formatos mais alongados apresentam fluxos de vazão mais homogêneos por um período mais extenso, tornando-as mais suscetíveis a inundações em comparação com áreas de bacias circulares.

O índice de sinuosidade (Sin) indica a razão entre o comprimento real do canal e a distância vetorial entre o ponto inicial e o final do canal. O valor obtido para a bacia do rio Mangaraí foi 1,36. Conforme Moura (2013) canais com sinuosidade próxima a 1,0 tendem a ser retilíneos, apresentando maior velocidade de escoamento da água. Canais com sinuosidade entre 1,0 e 2,0 apresentam formato transicional, podendo ser regulares ou irregulares, com velocidade de escoamento variável. Canais com sinuosidade superior a 2,0 são considerados tortuosos, com menor velocidade de escoamento da água, o que favorece a ocorrência de cheias rápidas.

O Índice de Rugosidade (Ir) é um indicador importante do relevo da bacia hidrográfica, pois, de acordo com Silva et al. (2018), ele está relacionado à disponibilidade do escoamento superficial e ao potencial erosivo da bacia. Em outras palavras, quanto maior o valor do Ir, maior será a velocidade do escoamento da água e, conseqüentemente, maior o risco de erosão do solo, especialmente em áreas com vertentes íngremes e longas. Para a bacia do Rio Mangaraí, o Ir obtido foi de 126,93, designando baixo risco de erosão. Souza e Rodrigues (2012) propõem uma classificação para o índice de rugosidade (Ir) do canal principal de bacias hidrográficas, levando em consideração a declividade do canal, considerando $< 150,00$ como fraco, 151 a 550 como médio, 551 a 950 como forte e acima de 950 como muito forte.

A razão de alongamento, definido como a razão entre o comprimento máximo e a largura média da bacia hidrográfica (Pissara *et al.*, 2004), serve como um indicador da forma geral da bacia. Essa medida é valiosa para estimar a área de captação e a vazão máxima da água, sendo particularmente útil em estudos de bacias alongadas, que apresentam maior tempo de concentração e menor velocidade de escoamento em comparação com bacias arredondadas. Sua

classificação é composta como: $< 0,59$ alongada, $0,60 - 0,79$ semi-alongada, $0,80 - 0,89$ oval e $> 0,90$ circular. A razão de alongamento cujo valor obtido foi de $0,65m$ indica que a bacia se aproxima de um formato alongado, ao qual é corroborado pelo baixo índice de circularidade, onde tende a favorecer a drenagem superficial das águas pluviais, diminuindo o tempo de concentração e aumentando a vazão dos cursos d'água.

De acordo com Souza *et al.* (2021), a densidade de drenagem (Dd) é um parâmetro que permite classificar se a drenagem de uma bacia hidrográfica é pobre, regular ou excepcional. Valores baixos de Dd (próximos a 0) indicam drenagem pobre, com baixa densidade de cursos d'água e escoamento lento da água. Valores intermediários de Dd (entre 0 e 1) indicam drenagem regular, com densidade moderada de cursos d'água e escoamento da água em velocidade média. Valores altos de Dd (acima de 1) indicam drenagem excepcional, com alta densidade de cursos d'água e escoamento rápido da água. Na bacia do rio Mangaraí, o valor encontrado para o Dd foi de $1,21 \text{ km/km}^2$, o que indica que a drenagem da bacia é considerada excepcional.

A curta Extensão do Percurso Superficial, de apenas $0,41 \text{ km}$, favorece o escoamento rápido da água da chuva na bacia, minimizando o risco de alagamentos e erosão, corroborado pelo valor encontrado da densidade de drenagem. Back (2014) enfatiza a importância da Extensão do Percurso Superficial para a análise hidrológica, porém, atenta para a necessidade de cautela na interpretação, devido à sua natureza dinâmica e à possibilidade de discrepâncias em relação aos valores reais.

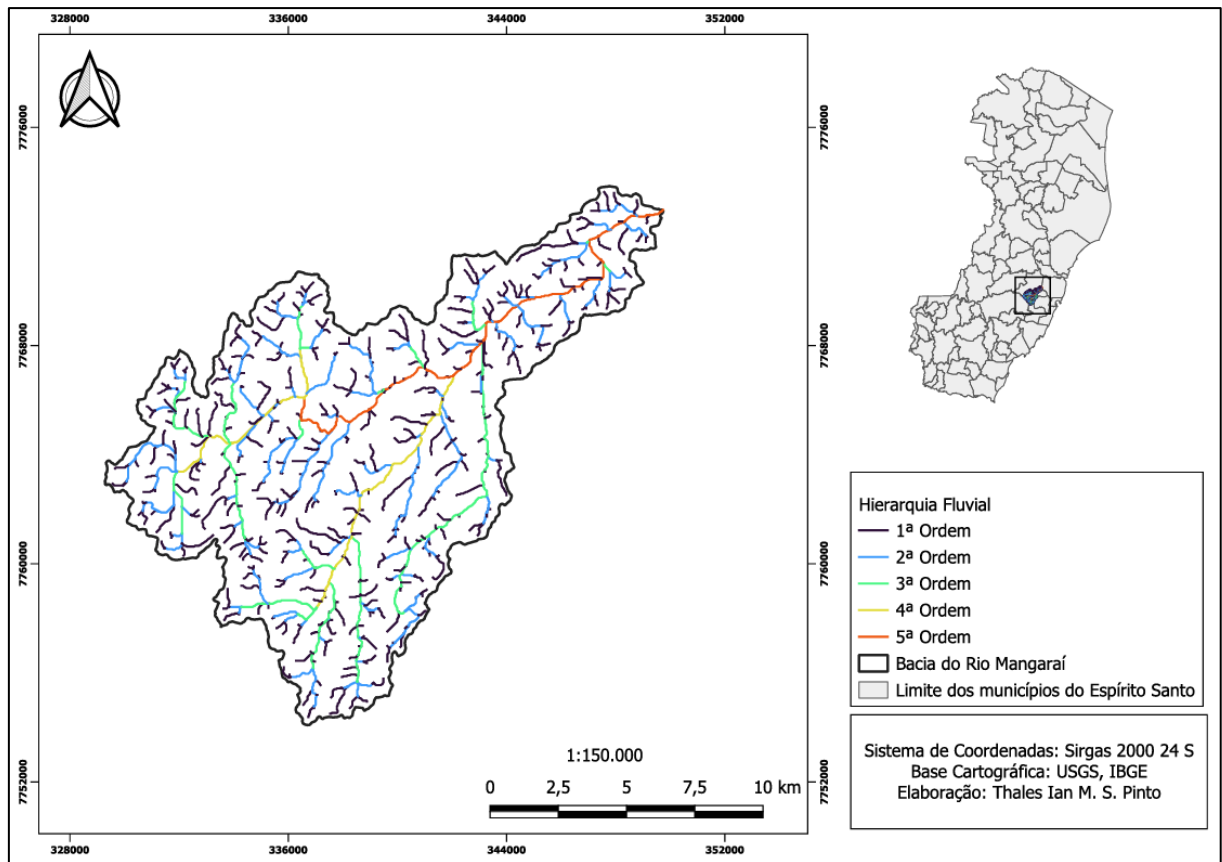
Schumm (1956) propõe o Coeficiente de Manutenção (Cm) para definir a área mínima necessária à estabilidade de um metro de canal de escoamento. Para a bacia do Rio Mangaraí, foi obtido o valor de $826,45 \text{ m}^2/\text{m}$, ao qual determina a área mínima necessária para o desenvolvimento de um curso d'água na bacia. Deste modo, o coeficiente de manutenção apresenta valores mínimos para cada metro de escoamento, enquanto a extensão de percurso superficial relata a distância média percorrida pelo escoamento.

A Densidade Hidrográfica, medida em km de rios por km^2 de área da bacia, é um indicador fundamental para compreender a capacidade da bacia de reter água, formar novos canais fluviais e influenciar os processos hidrológicos. Horton (1945) propôs uma classificação para a densidade hidrográfica (Dh) de bacias hidrográficas, baseada na relação entre o número de canais e a área da bacia. Essa classificação permite comparar a frequência de cursos d'água em

diferentes regiões, onde bacias com valores abaixo de $0,5/\text{km}^2$ são classificadas como baixa, de $0,5$ a $1,5/\text{km}^2$ como mediana, $1,5$ e $2,5/\text{km}^2$ como boa, $2,5$ e $3,5/\text{km}^2$ como muito boa e $> 3,5/\text{km}^2$ como excepcionais. Desta forma, a bacia do rio Mangaraí é classificada como excepcional, visto que o valor obtido foi de $4,77/\text{km}^2$.

A hierarquia fluvial, conforme Villela e Mattos (1975), é um sistema de classificação que hierarquiza a ramificação da rede hidrográfica em uma bacia. Rios de primeira ordem são os menores cursos d'água sem afluentes. A junção de dois rios de primeira ordem origina um rio de segunda ordem, e assim por diante. A junção de dois rios de segunda ordem origina um rio de terceira ordem. Essa progressão na ordem dos rios se repete sucessivamente, com a união de rios de ordens iguais gerando rios de ordem superior. O método de ordenação de rios proposto por Strahler (1957) propôs um sistema de ordenação que elimina a necessidade de atribuir o mesmo número de ordem ao rio principal em toda a sua extensão e de refazer a numeração a cada confluência. Desta forma, a bacia pode ser classificada como de 5ª ordem, onde totaliza-se 830 canais. Com o uso do SIG, a metodologia utilizada para o ordenamento dos rios é através do algoritmo "Strahler Order". Este algoritmo é comumente utilizado para determinar a ordem dos rios em uma rede de drenagem e facilita a visualização e análise dos cursos d'água. Na figura 3, temos a identificação da ordem dos rios na bacia em estudo.

Figura 3: Mapa com a hierarquia fluvial da bacia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A tabela 2, baseada em dados do MDE, apresenta os resultados da análise da ordem dos rios na bacia do rio Mangaraí.

Tabela 2: Caracterização dos cursos d'água da bacia do rio Mangaraí.

CLASSES	QUANTIDADE	COMPRIMENTO (KM)
1ª Ordem	422	175,61
2ª Ordem	219	96,94
3ª Ordem	105	47,34
4ª Ordem	39	19,60
5ª Ordem	45	20,71

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a análise da declividade na bacia do rio Mangaraí, foi adotada a metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013), que se baseia na divisão da área em seis intervalos de declividade, conforme quadro 2.

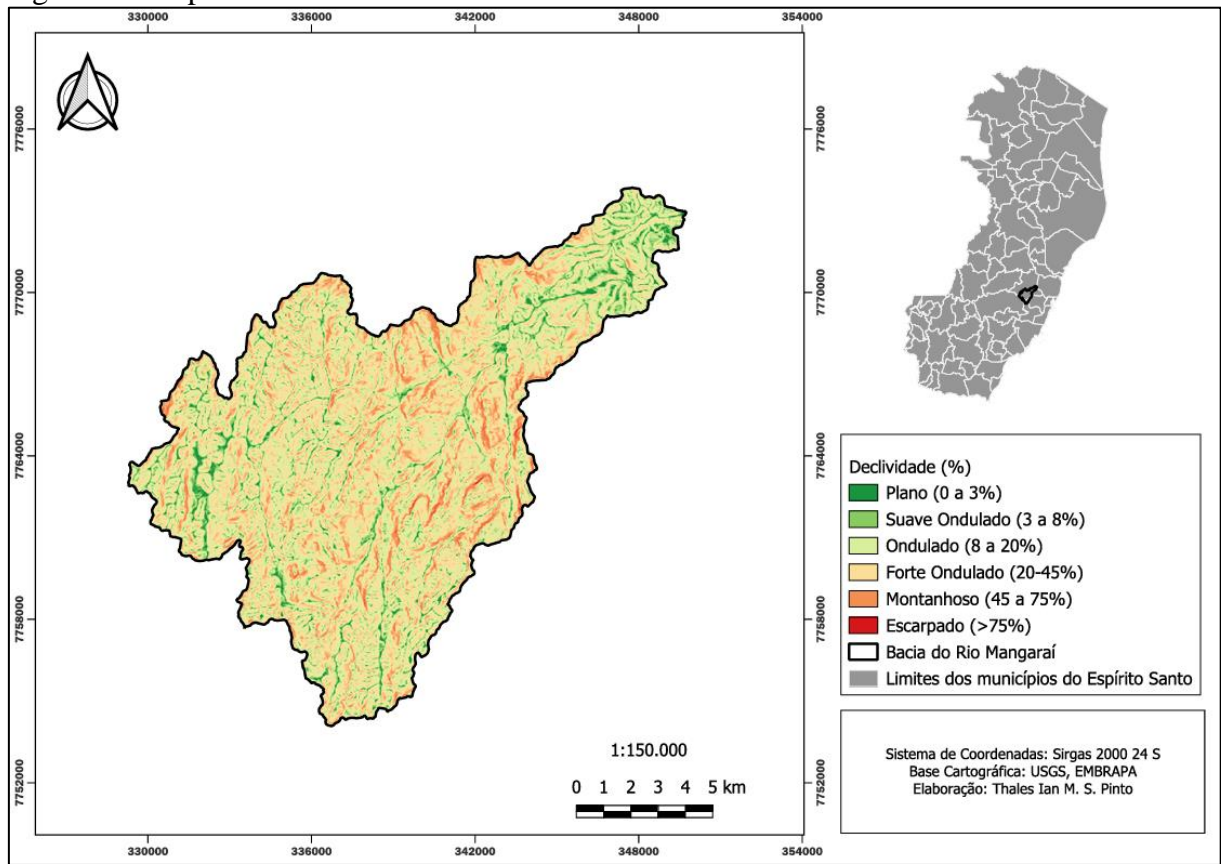
Quadro 2: Classificação de declividade pela Embrapa.

DECLIVIDADE	DESCRIÇÃO
$0 \geq 3$	Plano
$3 \geq 8$	Suave Ondulado
$8 \geq 20$	Ondulado
$20 \geq 45$	Forte Ondulado
$45 \geq 75$	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A declividade de um terreno é definida pela razão entre a diferença de altitude (vertical) e a distância horizontal percorrida. Para a determinação da declividade do terreno, foram utilizados dados provenientes de arquivos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), e com a ferramenta r.reclass, a bacia terá a declividade reclassificada, segundo Embrapa (2013). Para a obtenção desses resultados foi utilizado um software de SIG. A declividade média da bacia é de 44%, onde de acordo com a classificação da EMBRAPA (2013), o relevo da bacia hidrográfica em questão é caracterizado como "fortemente ondulado", conforme corroborado pela figura 4.

Figura 4 – Mapa de declividade da bacia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A razão de relevo está relacionada a modificações topográfica da bacia. A declividade média de uma microbacia, conforme POLITANO e PISSARRA (2003), é determinada pela relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial da bacia. Essa relação indica que quanto maior o valor de R_r , maior o desnível entre a cabeceira e a foz da bacia. Em outras palavras, R_r é um índice que expressa a tendência para enchentes, onde uma bacia estreita e longa (baixo K_f) é menos suscetível a enchentes do que uma de mesmo tamanho, mas com maior largura média (alto K_f). Esse índice avalia a inclinação geral de uma bacia de drenagem e serve como parâmetro para erosão atuante nas vertentes da bacia (STRAHLER, 1964). Conforme Rossi & PFEIFER (1999), sua classificação é composta como: 0,0 a 0,10 razão de relevo baixo, 0,11 a 0,30 relevo médio e 0,31 a 0,60 relevo alto. O valor obtido para a bacia do rio Mangaraí foi de 0,046, no qual no qual foi classificada como relevo baixo.

A amplitude altimétrica obtida foi de 1049 m na bacia do Rio Mangaraí. Na bacia de estudo, a altitude varia entre 1059,0 m de altitude máxima e 7,0 m de altitude mínima. Farias *et al.* (2015) utilizaram a análise de componentes principais para identificar uma correlação positiva entre o tamanho das bacias hidrográficas e a amplitude altimétrica presente em seu interior.

4 – CONCLUSÃO

A análise dos indicadores morfométricos, como índice de circularidade, fator de forma e razão de alongamento, revelam que a bacia hidrográfica estudada possui baixa propensão a inundações. Os resultados indicam que a forma alongada da bacia, juntamente com os valores dos índices de circularidade e fator de forma, contribuem para um escoamento eficiente da água, alta capacidade de infiltração no lençol freático e menor risco de ocorrência de cheias. Além disso, o coeficiente de compacidade (K_c) e a densidade de drenagem (D_d) apontam para uma drenagem excepcional na bacia, o que favorece o escoamento rápido da água e reduz a probabilidade de inundações. Esses aspectos indicam que a bacia possui uma vulnerabilidade física reduzida a enchentes, o que é um resultado positivo em termos de gestão e planejamento ambiental da região.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, F.G.L.; SANTOS, F.L.B.; VEIGA, B.E.M.; GALVÃO, O.C.; MACHADO, M.C.E. Impacto da urbanização no escoamento superficial em bacia ocupada por assentamentos precários em Campina Grande. In: XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Porto Alegre, RS, 2020. pp. 74-85.

BENIGNO, M. Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas utilizando o GRASS. 2013. Disponível em: Acesso em: 21 maio 2024.

BACK, Álvaro José. **Bacias Hidrográficas: classificação e caracterização física**. Florianópolis: Epagri, 2014.

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia Ribeirão Descalvado, Botucatu, São Paulo. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 52, 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CRUZ, C. B. M. et al. Carga antrópica da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. Anais [...]. Santos: SBSR, 1998. Disponível em:

http://mar.te.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.11.15/doc/4_48p.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013.

ESPER ANGILLIERI, María Yanina; FERNANDEZ, Oscar Mario. Morphometric analysis of river basins using GIS and remote sensing of an Andean section of Route 150, Argentina. A comparison between manual and automated delineation of basins. **Rev. mex. cienc. geol**, Ciudad de México, v. 34, n. 2, p. 150-156, 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742017000200150&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 31 mai. 2024.

FARIAS, R. N.; PEDROZO, C. S.; MACHADO, N. A. F.; RODRIGUEZ, M. R. Análise morfométrica e de uso do solo da bacia hidrográfica do Arroio Candiota, RS, Brasil. **Pesquisa e Geociências**, v. 42, n. 2, 2015, pp. 159-172. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78117>. Acesso em: 12 jun. 2024.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 56, n. 3, p. 275, mar. 1945. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2). Acesso em: 12 jun. 2024.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Bacia do Rio Mangaraí vai receber investimentos. 2019. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/Not%C3%ADcia/bacia-do-rio-mangarai-vai-receber-investimentos>. Acesso em: 20 maio 2024.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: PÖRTNER, H.-O. et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 167.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, SP, v. 12, n. 1, p. 146-155, 2017.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008.

MENEZES, J. P. C. et al. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 15, n. 4, p. 659-672, out./dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i4.597>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MOSCA, A.A.O. Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 2003.

OLIVEIRA, P.T.S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 8, p. 819–825, 2010.

PISSARA, T. C. et al. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, pp. 597-646, 1956.

SILVA, A.M.; MELLO, C.R. **Bacia hidrográfica**. Lavras: UFLA, 2015. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/355909800/Bacia-Hidrografica-Ufla>. Acesso em: 13 jun. 2024.

SOUZA, E. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C.; CRUZ, E. A.; PEREIRA, D. F.; SILVA, R. S.; SILVA, T. P.; FREIRE, W. A. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1530-1540, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540>.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012.

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

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.


THALES IAN MAIA SALES PINTO

**ESTUDO HIDROMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO MANGARAÍ - ES**


Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Recursos Hídricos, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos.

Aprovado em 10 de julho de 2024


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEJANYNE PAIVA ZAMPROGNO BIANCHI**
Data: 28/08/2024 14:22:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutora Dejanya Paiva Zamprogno
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRA LOPES BRAGA FONSECA**
Data: 28/08/2024 13:22:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutora Alessandra Lopes Braga Fonseca
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Membro Interno

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO POLESE ALVES**
Data: 27/08/2024 07:08:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestre Leonardo Polese Alves
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Membro Externo