

Revista Brasileira de Engenharias

ISSN 3085-8089

vol. 1, n. 2, 2025

••• ARTIGO 4

Data de Aceite: 10/12/2025

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA DO IGARAPÉ GRANDE

Raimundo Carneiro da Conceição Neto

<https://lattes.cnpq.br/2338557950421835>

Antonio Vinicius Salles Silva

<http://lattes.cnpq.br/3246643841530292>

Cleyson Gabriel Ferreira da Silva

<http://lattes.cnpq.br/3894690617752250>

Eduardo Hauck Antunes

<http://lattes.cnpq.br/6616834212696396>

Illan dos Santos Sena

<http://lattes.cnpq.br/0858359752544522>

Jacques Marques Carvalho

<http://lattes.cnpq.br/2358436002627484>

Lucas Rocha da Silva

<https://lattes.cnpq.br/6516049488264311>

Maiko Willians de Lima Nascimento

<https://orcid.org/0009-0007-4811-8779>



Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0
Internacional (CC BY 4.0).

Resumo: Este estudo analisou a dinâmica hidrológica da Bacia do Igarapé Grande, em Porto Velho (RO), com foco na relação entre morfometria, uso e ocupação do solo e escoamento superficial. A bacia apresenta formato alongado, baixa circularidade e coeficiente de compacidade indicativo de baixo risco de enchentes. A análise de imagens Landsat entre 1985 e 2020 revelou predominância de área urbanizada/solo exposto, acima de 65% em todo o período, refletindo intensa urbanização. As áreas de vegetação apresentaram leve aumento, enquanto os corpos hídricos mantiveram-se residuais. O uso de técnicas de sensoriamento remoto, cálculo de NDVI e aplicação do método SCS-CN permitiram estimar os valores de Curve Number (CN) e escoamento superficial. A maior parte da bacia é composta por solos dos grupos hidrológicos HSG-C e HSG-C/D, com potencial de escoamento moderadamente alto a alto. Os valores de CN mantiveram-se estáveis, com metade das áreas apresentando índices superiores a 90. As regiões com menor escoamento superficial coincidem com APPs, ainda que degradadas, como a zona sudoeste da bacia. Já os bairros mais urbanizados apresentaram os maiores índices de escoamento. Os resultados reforçam a necessidade de planejamento urbano e conservação ambiental para mitigar impactos hidrológicos e prevenir inundações.

Palavras-Chave: Hidrologia; Sensoriamento remoto; Uso e ocupação do solo; Método SCS-CN.

INTRODUÇÃO

A sociedade enfrenta graves problemas ambientais que comprometem a qualidade de vida urbana, embora tais questões ainda

não recebam a devida prioridade nas políticas de gestão das cidades ocidentais (Gonçalves, 1998). Na maioria dos casos, esses problemas estão diretamente associados ao crescimento desordenado dos espaços urbanos, que ignora as características biofísicas locais e resulta em ocupações inadequadas, sobretudo em áreas periféricas (Jorge, 2011).

Um exemplo emblemático desse fenômeno é a cidade de Porto Velho, cuja urbanização acelerada e caótica foi impulsionada por políticas de expansão do capital e por programas governamentais como o POLO-NOROESTE, o PLANAFLORO e o PAC (Santos, 2001; Nascimento, 2010). Essa dinâmica refletiu-se na expansão da mancha urbana, que saltou de 18 km² em 1976 para 118,96 km² em 2019 (Nascimento; Santos; Silva, 2012; Silva; Cavalcante, 2019), acen-tuando desafios socioambientais.

As bacias hidrográficas têm sido amplamente utilizadas como unidades fundamentais para análises ambientais. Especialmente pelo fato de que sua compreensão permite a possibilidade de integração de componentes pertencentes a elas como: geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e corpos d'água. Dessa forma, torna-se possível compreender a paisagem como um todo (Santos, 2004; Cruz, 2009). Uma bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (Barella, 2001).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados

em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (Campanharo, 2010). Conhecer essas características da bacia é importante para compreender a dinâmica hídrica, possibilitando uma avaliação inicial e a compreensão dos processos relacionados à dinâmica hidrogeomorfológica. Entre esses processos, destacam-se as inundações e enchentes, que são fenômenos naturais característicos dos ambientes fluviais (Kobiyama, et. al., 2006). A análise morfométrica de bacias hidrográficas tem início com a classificação dos cursos d'água, com o objetivo de definir uma hierarquia entre eles. A partir dessa etapa, procede-se à avaliação de parâmetros lineares, areais e hipsométricos (Christofeletti, 1980).

O mapeamento do uso e cobertura do solo é reconhecido como uma ferramenta essencial para monitorar as mudanças na paisagem, pois fornece dados valiosos para a criação de cenários ambientais e indicadores. Essas informações são fundamentais para avaliar a capacidade de suporte de um ecossistema e auxiliar no planejamento de ações que promovam o desenvolvimento sustentável de uma região (Santos e Santos, 2010). Além disso, dados sobre uso e cobertura do solo são amplamente utilizados em modelos ecológicos e hidrológicos, contribuindo para análises mais precisas.

Entre as técnicas mais empregadas no sensoriamento remoto está o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que utiliza a diferença entre a reflectância da luz vermelha (absorvida pela vegetação) e a luz infravermelha (altamente refletida pelas folhas) para avaliar a saúde e a densidade da cobertura vegetal. Essa metodologia, baseada em bandas espectrais de satélites, é am-

plamente aplicada em estudos ambientais (Santos; Peluzio; Saito, 2010).

O escoamento superficial refere-se ao movimento da água sobre a superfície terrestre, sendo uma etapa fundamental do ciclo hidrológico (Tucci, 2007). Sua principal fonte são as precipitações pluviais, enquanto em regiões frias, o derretimento da neve também pode contribuir. Em países de clima tropical, como o Brasil, as chuvas desempenham um papel essencial na geração desse fenômeno, destacando-se por sua eficiência em produzir escoamento (Bertoni e Tucci, 2007).

Quando a intensidade da chuva excede a capacidade do solo de absorver e reter água se inicia o processo de escoamento superficial. Esse fenômeno consiste no deslocamento da água pela superfície do terreno, direcionando-se para áreas mais baixas e pequenos canais naturais, que eventualmente convergem para rios, lagos ou outros corpos hídricos. A qualidade da água nesses locais é diretamente influenciada pelo volume do escoamento e pelos sedimentos e nutrientes que ele carrega (Fangmeier et al., 2005).

A expansão urbana desorganizada contribui para intensificação do escoamento superficial, causando impactos significativos no ciclo hidrológico. Conforme destacam Fontes & Barbassa (2003), o aumento do escoamento superficial e a redução da infiltração no solo alteram as vazões dos rios, elevando as cheias e diminuindo a disponibilidade de água em períodos secos, além de aumentar o transporte de sedimentos. Essas mudanças afetam diretamente a sustentabilidade dos recursos hídricos e o equilíbrio dos ecossistemas.

A acelerada transformação no uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica Igarapé

Grande tem despertado preocupação quanto aos seus efeitos no regime hidrológico local. Este estudo busca investigar as relações entre os padrões de ocupação do solo e a dinâmica do escoamento superficial, integrando uma análise das características morfométricas da bacia. Com isso, o presente artigo tem como objetivo: (1) quantificar as alterações no escoamento superficial decorrentes das mudanças no uso da terra; (2) avaliar como os parâmetros morfométricos influenciam a resposta hidrológica da bacia; e (3) analisar os cenários de alagamentos ocorridos na região, identificando os fatores determinantes desses eventos. A compreensão dessas relações é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão territorial que minimizem os impactos hidrológicos e reduzam os riscos de inundações na bacia.

METODOLOGIA

A metodologia do trabalho está descrita no fluxograma da Figura 1, que será detalhado ao longo de todo o artigo.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, de acordo com a Figura 2 compreende a Bacia Hidrográfica do Igarapé Grande, afluente do Rio Madeira, situada no município de Porto Velho, entre as coordenadas $8^{\circ} 47' 39.47''$ S; $63^{\circ} 54' 40.77''$ O e $8^{\circ} 45' 30.65''$ S; $63^{\circ} 52' 5.36''$ O, localizada na região central da capital, abrangendo os bairros Areal, Areal da Floresta, Baixa União, Caiarí, Caladinho, Centro, Cohab Floresta, Conceição, Eletronorite, KM-1, Mato Grosso, Militar, Mocambo, Nossa Senhora das Graças, Nova Floresta, Nova Porto Velho, Olaria, Roque, Santa Bárbara, São João Batista, Triângulo, Tucu-

manzal e Tupi (conforme Lei Municipal nº 840, de 1989).

A delimitação da bacia e dos trechos de drenagem foi realizada com base na metodologia descrita por Enriquez (2024), utilizando o software QGIS® 3.36 em conjunto com o plug-in GRASS. Para o processamento dos dados, adotou-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com o datum SIRGAS 2000, zona 20S, assegurando consistência no tratamento das imagens geoespaciais. A partir dessa delimitação, comparou-se a forma da bacia com a modelagem disponibilizada pelo GeoPortal da Prefeitura Municipal de Porto Velho (SUPLAN-SEPOG, 2025), com o objetivo de validação. Constatou-se que as diferenças entre os dois modelos foram mínimas.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Para a análise morfométrica, utilizando as ferramentas do QGIS 3.28, foram obtidas as seguintes características: área (A), perímetro (P), comprimento axial (Lx) e largura média (L). Os parâmetros de coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, razão de elongação e índice entre o comprimento e área da bacia foram calculados de acordo com a metodologia de Oliveira et al. (2012), Mosca (2003), Miller (1953), Schumm (1956) e Back (2014) respectivamente. As suas fórmulas estão descritas de acordo com o Quadro 1.

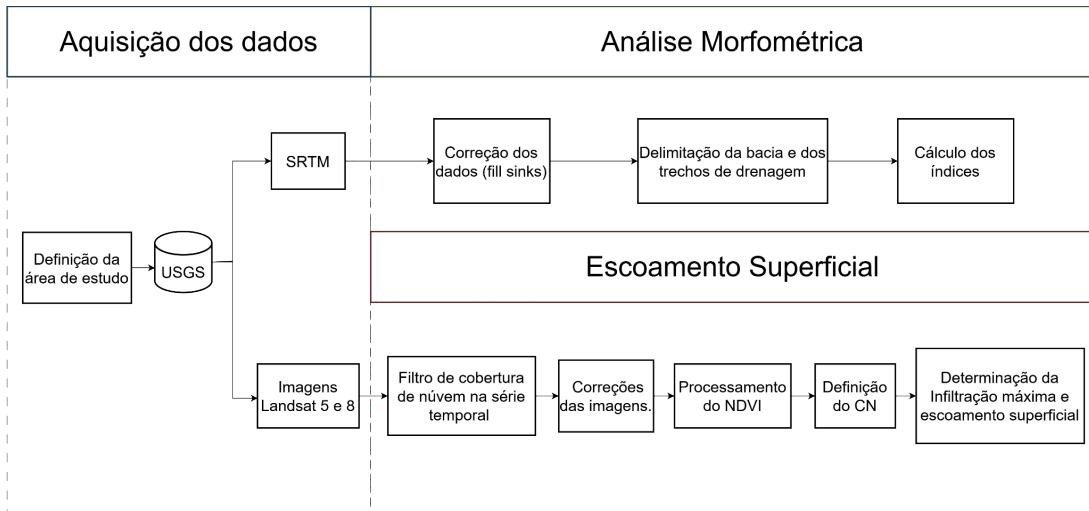


FIGURA 1: Fluxograma da metodologia.

FONTES: Autores (2025).

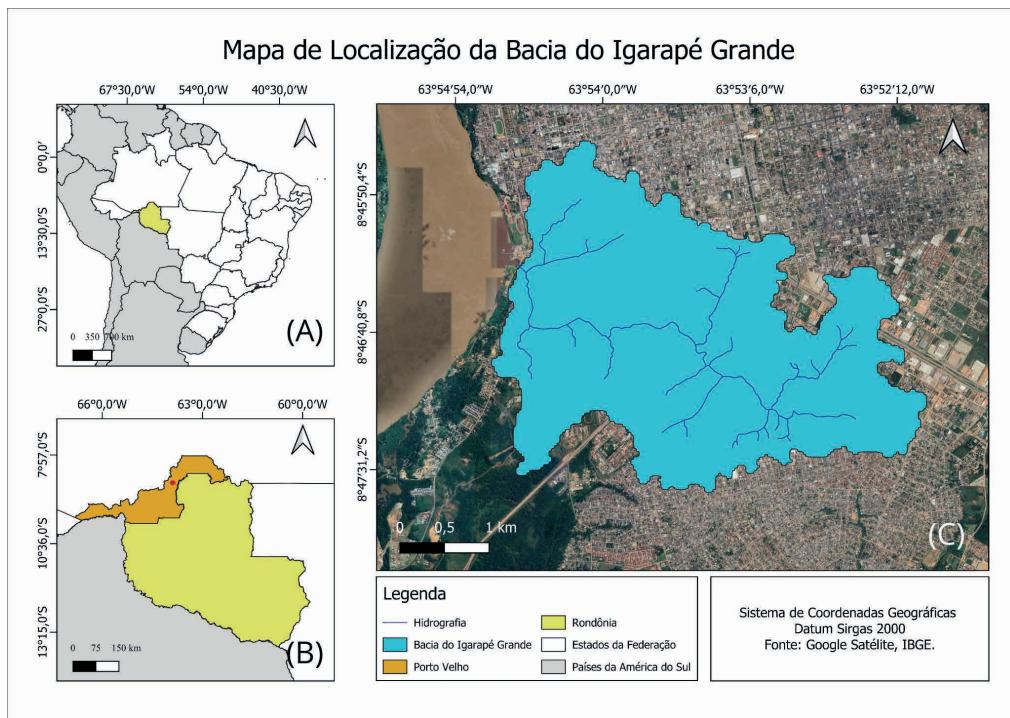


FIGURA 2: Localização (A e B) e a delimitação da bacia hidrográfica estudada e de seus trechos de drenagem (C)

FONTES: Autores (2025), Google Satélite (2023) e IBGE (2024).

Coeficiente de Compacidade (Kc)	Fator de Forma (Kf)	Índice de Circularidade (Ic)	Razão de Elongaçao (Re)	Índice entre o comprimento e área da bacia (ICo)
$Kc = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{Lx}}$	$Kf = \frac{A}{(Lx)^2}$	$Ic = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$	$Re = 1,1284 \frac{\sqrt{Lx}}{A}$	$ICo = \frac{Lx}{\sqrt{A}}$

QUADRO 1: Fórmulas utilizadas para a determinação dos parâmetros da análise morfométrica.

FONTES: Oliveira et al. (2012), Mosca (2003), Miller (1953), Schumm (1956) e Back (2014). Esquematizado pelos autres (2025).

Para obter dados de uso e ocupação do solo, bem como estimar o escoamento superficial, empregou-se a técnica de sensoriamento remoto no processamento de imagens de satélite no formato raster (dados matriciais). Neste estudo, foram utilizados dados do satélite LANDSAT-5 (sensor TM) para os anos de 2000, 2005 e 2010, e do LANDSAT-8 (sensores OLI) para 2015, 2020 e 2024, provenientes da Collection 2 Level-1. As imagens foram adquiridas por meio do portal eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2025).

O processamento digital das imagens dos satélites LANDSAT-5 (TM) e LANDSAT-8 (OLI) foi realizado no software QGIS® 3.36. Inicialmente, as imagens foram reprojetadas e recortadas de acordo com os limites da área de estudo. Em seguida, aplicou-se a correção radiométrica, convertendo os valores digitais para radiância e reflectância de superfície. Por fim, calcularam-se os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da cobertura vegetal.

Primeiramente foi feita a reprojeção das bandas espectrais para o datum SIRGAS 2000, utilizando o sistema geodésico WGS 84 na projeção UTM para a zona 20S (EPGS: 32720). Para o Landsat 5 (TM), foram processadas as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo), enquanto para o

Landsat 8 (OLI) utilizaram-se as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo).

Em seguida, os valores de número digital (ND) foram convertidos em radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ) por meio do Raster Calculator. A conversão seguiu a Equação 1 para o Landsat 5 e a Equação 2 para o Landsat 8.

$$L_\lambda = [(L_{max} - L_{min}) / (DN_{max})] * DN + L_{min} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

L_λ – radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) ($\text{W}/\text{m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m}$);

L_{max} e L_{min} – constantes de calibração para cada banda;

DN_{max} – valor máximo do número digital ($DN_{max}=255$);

DN – número digital de cada pixel.

$$L_\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

L_λ – radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) ($\text{W}/\text{m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m}$);

ML – fator multiplicativo reescalando da radiância para a banda específica

(RADIANCE_MULT_BAND_x), onde x é número da banda;

Qcal – Valor quantizado calibrado por pixel em DN = Bandas da imagem;

AL – fator aditivo reescalonado da radiância para a banda específica (RADIANCE_ADD_BAND_x), onde x é número da banda.

Depois de calcular a radiância, as imagens do Landsat 5 (bandas 3 e 4) passaram por correção atmosférica para obter a reflectância (ρ_λ), usando a Equação 3.

$$\rho_\lambda = (\pi * L_\lambda * d^2) / (ESUN_\lambda * \cos \Theta_\lambda)$$

Eq. [3]

Em que:

ρ_λ – reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

π - 3.1415926

L_λ – radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) (W/m²*sr* μ m);

d2 – distância terra-sol disponível no arquivo metadados de cada banda;

ESUN λ – Irradiância solar estratosférica média de cada banda. Na banda 3 (1536) e banda 4 (1031) ;

Cos Θ_s – calculado através do azimute dos raios solares para cada imagem, disponível no metadados com SUN_AZIMUTH.

Para correção das imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI (Operational Land Imager), bandas (4 e 5) utilizou-se a reflectância, conforme Equação 4.

$$\rho_\lambda = (M\rho * Qcal - A\rho) /$$

$$[\sin (sun_elevation * \pi / 180)]$$

Eq. [4]

Em que:

ρ_λ – reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

M ρ – fator multiplicativo reescalonado de reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_MULT_BAND_x), onde x é número da banda.

Qcal – Valor quantizado calibrado por pixel em DN = Bandas da imagem;

A ρ – fator multiplicativo reescalonado de reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x), onde x é número da banda;

$$Sun_elevation - \pi / 180 - 0.01745$$

Após realização da aplicação das equações acima, separou os arquivos raster e usou a ferramenta do Raster Calculator para equação 7 e 8 do NDVI do Landsat 5 e 8.

$$NDVI = (Banda 4 - Banda 3) / (Banda 4 + Banda 3)$$

Eq. [5]

$$NDVI = (Banda 5 - Banda 4) / (Banda 5 + Banda 4)$$

Eq. [6]

Por fim, para a definição das classes de uso e ocupação do solo utilizou-se avaliação visual a partir dos principais alvos em destaque observados nas imagens de composição de cor verdadeira (RGB), sendo eles: água, área urbana/solo exposto, vegetação moderada e vegetação densa.

DEFINIÇÃO DOS VALORES DE CURVE NUMBER (CN)

Para a obtenção dos valores de Curve Number (CN), utilizou-se o mapa de grupos hidrológicos de desenvolvidos por Staub, B. e Rosenzweig, C., (1987). Inicialmente, o raster foi reprojetado e recortado para a área de estudo, sendo então cruzado com o mapa de uso e cobertura do solo da bacia. Por meio da ferramenta Raster Calculator no QGIS, realizou-se a multiplicação entre os dois mapas, considerando a relação entre as classes de solo e os tipos de cobertura, resultando no mapa final de Curve Number. Os dados obtidos foram comparados com a informação disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (2018), através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO MÁXIMA E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A partir do mapa de Curve Number, foi possível encontrar os dados de capacidade máxima de infiltração e escoamento superficial da bacia estudada (USDA, 1950). Para a obtenção do mapa de capacidade máxima de infiltração foi aplicada a equação 7. Por fim, foi aplicada a equação 8 ao mapa de capacidade máxima de infiltração para obter os valores de escoamento superficial.

$$S = (25400 / CN) - 254 \quad \text{Eq. [7]}$$

Em que:

CN = Curve number

S = coeficiente de armazenamento superficial, por infiltração, que está relacionado com os parâmetros que caracterizam a superfície (CN), dado em (mm)

$$C = (P - 0,2 \cdot S)^2 / (P + 0,8 \cdot S)$$

Eq. [8]

Em que:

P = precipitação acumulada, ou seja, a precipitação total de um evento de chuva máxima considerada (mm); **C** = coeficiente de escoamento superficial, dado em (mm);

S = coeficiente de armazenamento superficial, por infiltração, que está relacionado com os parâmetros que caracterizam a superfície (CN), dado em (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Na Tabela 1, são apresentados os índices de forma da bacia do Igarapé Grande. O coeficiente de compacidade (Kc), com valor de 2,289, classifica a bacia como “não sujeita a grandes enchentes”, conforme a tipologia proposta por Oliveira et al. (2012). O fator de forma (Kf), de 0,447, reforça essa classificação, indicando baixo risco de enchentes. O índice de circularidade (Ic), igual a 0,191, sugere que a bacia possui formato alongado, em concordância com os critérios estabelecidos por Miller (1953) e Schumm (1956). Essa característica também é evidenciada pela razão de alongamento (Re) de 0,780

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
A	Área da Bacia	11,242	km ²
P	Perímetro da Bacia	27,218	km
Lx	Comprimento Axial da Bacia	4,853	km
L	Largura média	2,317	km
Kc	Coeficiente de compacidade	2,289	-
Kf	Fator de forma	0,477	-
Ic	Índice de circularidade	0,191	-
Re	Razão de elongação	0,780	-
Ico	Índice entre o comprimento e área da bacia	1,447	-

TABELA 1: Parâmetros morfométrica da delimitação da bacia.

FONTE: Autoria Própria (2025).

Símbolo	Índice	Valor	Unidade
	Ordem de Strahler dos cursos d'água	3	
Lt	Comprimento total de rios	17,569	km
N	Número total de rios	63	-
ΣNi	Soma do número dos canais de todas as ordens	28	-
Nc	Número de confluências	27	-
Lt	Comprimento do rio principal	5,859	km
Ev	Equivalente vetorial	4,39	km
Dd	Densidade de drenagem	1,563	km km ⁻²
Ems	Extensão média do escoamento	0,160	km
Eps	Extensão do percurso superficial	0,320	km
Dr	Densidade dos rios	5,604	km ⁻¹
Fs	Densidade dos segmentos da bacia	2,491	canais km ⁻²
Cm	Coeficiente de manutenção	639,877	m ² m ⁻¹
Ct	Coeficiente de torrencialidade	8,758	-
Dc	Densidade de confluências	2,402	confluências km ⁻²
Is	Índice de sinuosidade	33,462	%
Sin	Sinuosidade do rio principal	1,335	-

TABELA 2: Análise dos parâmetros morfométricos.

FONTE: Autoria Própria (2025).

e pelo índice de compacidade (Ico) entre comprimento e área, com valor de 1,447, ambos indicativos de uma bacia alongada.

Estão presentes na Tabela 2 os índices do sistema de drenagem da bacia do Igarapé Grande. A ordem dos cursos d'água segundo o critério de Strahler foi classificada como de ordem 3, somando um total de 17,569 km no comprimento total de rios e 63 rios, com seu rio principal apresentando um comprimento de 5,859 km. A densidade de drenagem (1,563) é classificada por Beltrame (1994) como “Mediana”. A extensão média do escoamento e do percurso superficial é de 0,160 km e 0,320 km respectivamente. A densidade de rios é de 5,604 canais por km² de superfície. A densidade de segmento é de 2,491 segmentos por km de área, e o coeficiente de manutenção é de 639,877 m² por metro de canal. O coeficiente de torrencialidade é de 8,758, e a densidade de confluência é de 2,402 confluências por km² de superfície. O índice de sinuosidade (33,462%) classifica o Igarapé Grande como de classe III “Divagante” (MANISKANIEMI, 1970). A sinuosidade (1,335) aponta para uma forma de transição entre regular e irregular segundo Alves & Castro (2003).

USO E OCUPAÇÃO

A Tabela 3 apresenta os valores de NDVI obtidos para a série temporal de 1985 a 2020. A partir dos valores de NDVI obtidos através do processamento de imagens foram definidas as classes representadas na Tabela 3. Com isso, foi possível definir o mapa de uso e cobertura do solo da Figura 4. Após realizada a reclassificação para o NDVI através dos valores apresentados na Tabela 1,

obteve-se o mapa de uso e cobertura do solo representando as quatro classes escolhidas para a região da bacia hidrográfica.

Valor	Classe
-1,00 a -0,40	Água
0 a 0,37	Área urbana/Solo exposto
0,37 a 0,47	Vegetação moderada
0,47 a 1	Vegetação densa

TABELA 3: Valores NDVI utilizados para cada classe de uso e cobertura do solo

FONTE: Autoria Própria (2025).

Na Figura 3, a progressão do uso e cobertura da terra na Bacia do Igarapé Grande é apresentada com base na classificação supervisionada de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, abrangendo o período de 1985 a 2020. Para esta pesquisa, foram definidas as seguintes classes de cobertura: (1) água, (2) área urbanizada/solo exposto, (3) vegetação moderada, e (4) vegetação densa. Essas categorias permitiram identificar as transformações espaciais ocorridas ao longo das décadas e compreender os impactos da expansão urbana sobre os elementos naturais da bacia.

A área urbanizada/solo exposto manteve-se como o tipo de uso predominante ao longo de todo o período analisado (1985–2020), representando sempre mais de 65% da superfície da bacia. Em 1985, essa ocupação correspondia a aproximadamente 70,17%, e em 2020, mesmo com pequenas oscilações, ainda somava 67,52%. Esse padrão evidencia um processo contínuo de urbanização e uso intensivo do solo, característico do crescimento desordenado observado em cidades da Amazônia Ocidental. Tal dinâmica corrobora as considerações de

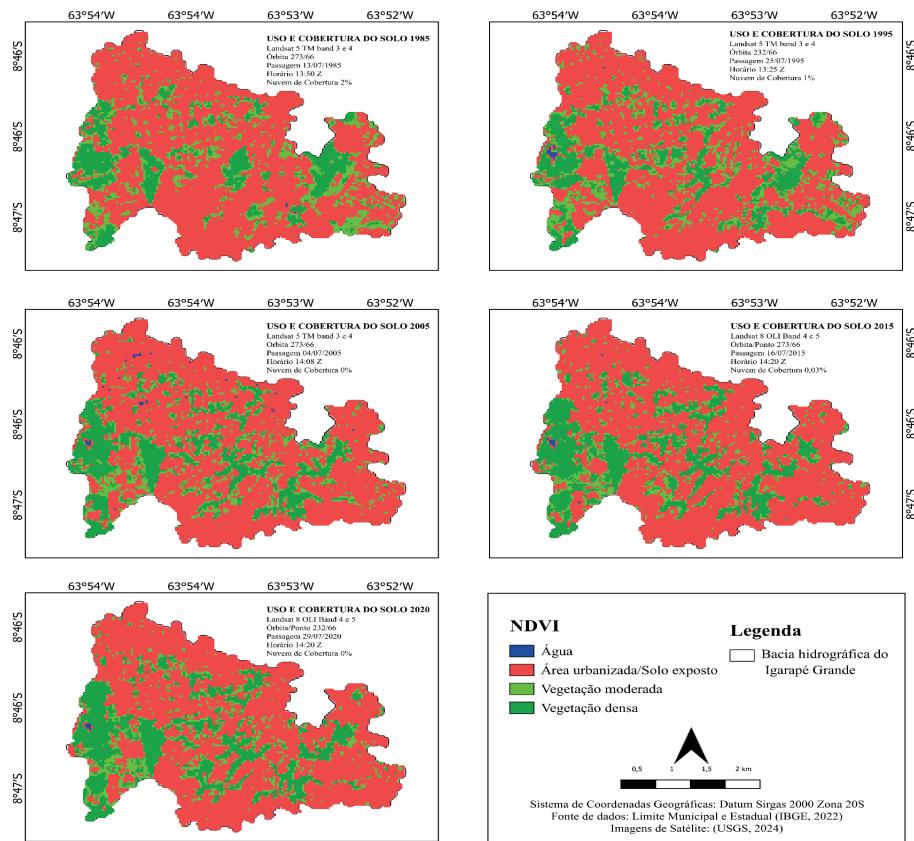


FIGURA 3: Mapa de uso e cobertura do solo.

FONTES: Autores (2025).

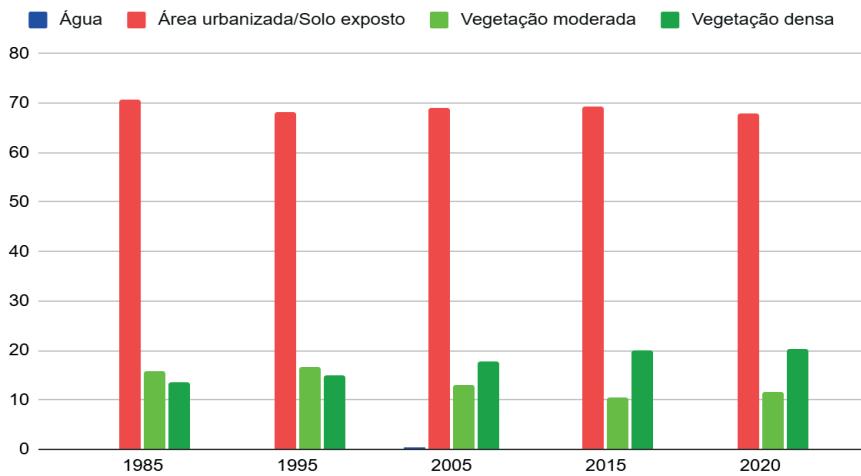


FIGURA 4: Evolução do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Igarapé Grande (1985-2020).

FONTES: Autores (2025).

Tucci (2007), que associa a expansão urbana à degradação ambiental e ao aumento da impermeabilização do solo.

Em contrapartida, as áreas de vegetação, tanto moderada quanto densa, apresentaram um leve crescimento ao longo das décadas. Juntas, passaram de 29,8% em 1985 para cerca de 32,48% em 2020. Apesar da pressão antrópica, esse aumento pode estar relacionado a ações de recuperação ambiental, políticas de controle do desmatamento urbano ou à regeneração natural em áreas anteriormente degradadas. No entanto, observa-se que a vegetação densa raramente é restaurada em sua totalidade, sendo em grande parte substituída por vegetação moderada, o que evidencia um processo de fragmentação da cobertura vegetal original.

A categoria água manteve-se com participação residual durante todo o intervalo temporal, sempre inferior a 1%. Esse comportamento é esperado em bacias urbanas de pequeno porte e com baixa densidade de corpos hídricos superficiais, como é o caso da Bacia do Igarapé Grande.

Com base no mapa gerado para a classificação do uso e ocupação do solo (Figura 3), foi elaborado um gráfico que quantifica as proporções das classes identificadas ao longo do período analisado, oferecendo uma representação visual clara e precisa dos padrões de transformação territorial observados. A Figura 4 ilustra graficamente a evolução das proporções das classes de NDVI na bacia urbana do Igarapé Grande entre 1985 e 2020, oferecendo uma análise detalhada da dinâmica do uso e ocupação do solo. A categoria Área urbana/Solo exposto destaca-se como a mais predominante, com valores consistentes acima de 67%, alcançando picos de 70,66% em 1985 e 69,28% em 2015, o que reflete a intensificação das atividades antrópicas e a expansão urbana na região.

CURVE NUMBER E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Considerando as classificações de uso e ocupação do solo, bem como os dados de solos hidrológicos, foram gerados os dados de Curve Number e de Escoamento superficial, que podem ser observados nos mapas da Figura 6 e Figura 7. Em relação aos dados de Curve Number, é pertinente observar que há apenas duas divisões de solos hidrológicos dentro da bacia: no extremo sul e extremo norte se dão solos da classificação HSG-C, qualificados como potencial de escoamento moderadamente alto (<50% de areia e 20–40% de argila) e na faixa central, ocupando maioria da bacia, HSG-C/D, que indica alto potencial de escoamento, a menos que haja sistema de drenagem adequado (<50% de areia e 20–40% de argila).

Os valores de CN mantiveram certa estabilidade com o passar dos anos, com cerca de metade dos valores mantendo-se entre 90 e 91 e a outra metade entre 72 e 76. A mudança mais significativa que se pôde notar foi em relação a porcentagem de área com valores acima de 90, que aumentou em aproximadamente em 2%. O fato de não haver grandes modificações se dá devido ao fato de que a mudança de uso e ocupação não foi tão brusca, uma vez que o processo de urbanização da bacia deu-se antes da série de dados analisada.

Como o dado de escoamento gerado é originado a partir da aplicação de uma equação nos valores de pixel referentes ao CN, há correspondência espacial entre os dados de acordo com a Tabela 4, não havendo modificação na área.

Assim, as zonas que se destacaram em relação aos seus baixos valores de escoamento superficial foram os bairros Militar,

Triângulo e Baixa União, a sudoeste da bacia. Nessa região localiza-se a APP do Rio Madeira, que manteve-se conservada na série temporal analisada. No geral todas as localidades onde o escoamento superficial são baixas correspondem a áreas de proteção permanente. Entretanto, estas encontram-se com sua cobertura vegetal severamente degradada desde 1985, conforme estudou Silva (2017). Zonas que se destacam pelo alto escoamento superficial em decorrência do intenso processo de urbanização encontram-se nos extremos norte (bairros Caiarí, Centro, KM-1 e parte do bairro Nossa Senhora das Graças), sul (bairros Nova Floresta e parte do Cohab Floresta) e leste da bacia (pequenas porções dos bairros Jardim Eldorado, Nova Porto Velho e Lagoa), onde não há nenhuma APP.

O estudo de Silva, Souza e Maniese (2024), que realizaram a análise morfométrica para a bacia do Igarapé Grande, constatou que a bacia, a partir da metodologia aplicada e dos valores dos índices avaliados, há a suscetibilidade mediana a ocorrência de enchentes e inundações. Entretanto, é destacado que, com o processo de urbanização, a partir da impermeabilização excessiva do solo, que foi observado no presente trabalho, as chances de inundaçao e enchentes são severamente aumentadas.

CONCLUSÕES

A análise integrada entre as características morfométricas, uso e ocupação do solo e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Igarapé Grande evidenciou os impactos decorrentes do processo de urbanização sobre a dinâmica hidrológica local. A bacia apresenta formato alongado, baixa circularidade e um coeficiente de compacidade que

sugere menor propensão a enchentes intensas, embora o avanço urbano desordenado altere essa condição natural.

A expansão da área urbana/solo exposto, que manteve-se superior a 65% em todo o período analisado (1985–2020), é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento do escoamento superficial. Essa ocupação intensiva do solo contribui para a redução da infiltração e a intensificação da impermeabilização da superfície, refletindo diretamente na resposta hidrológica da bacia, especialmente nas regiões onde não há áreas de proteção permanente (APPs).

A distribuição dos grupos hidrológicos do solo (HSG-C e HSG-C/D) associada aos valores de Curve Number revelou uma tendência de alta capacidade de escoamento superficial na maior parte da bacia, especialmente em áreas urbanizadas. Apesar disso, houve certa estabilidade nos valores de CN, sugerindo que o processo de urbanização ocorreu majoritariamente antes da série histórica analisada.

As áreas com menores valores de escoamento estão associadas às APPs e à vegetação remanescente, embora essas zonas apresentam degradação progressiva. Isso indica que, mesmo com algum grau de conservação, essas regiões ainda sofrem pressões antrópicas que podem comprometer seus serviços ecosistêmicos e capacidade de infiltração.

Com isso, a compreensão dos padrões espaciais e hidrológicos da bacia é essencial para subsidiar estratégias de planejamento territorial e mitigação de impactos. Medidas como requalificação de áreas degradadas, proteção das APPs e controle do uso do solo são fundamentais para garantir o equilíbrio ambiental e a segurança hídrica da região de Porto Velho.

Valor de CN	100	93	92	91	90	80	79	76	73	72
Valor do Esc. superficial	113,7	93,6	90,9	88,2	85,6	62	59,8	53,6	47,7	45,8

TABELA 4: Correspondência entre os valores de Curve Number e escoamento superficial

FONTE: Autoria Própria (2025).

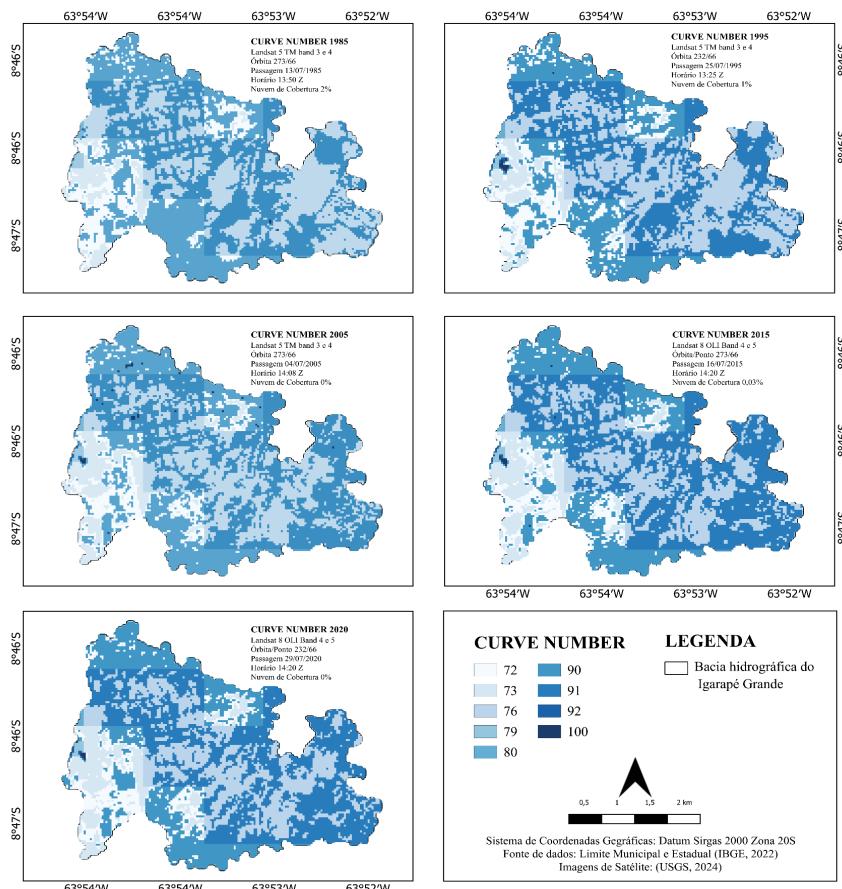


FIGURA 6: Evolução dos valores de Curve Number na Bacia Igarapé Grande (1985-2020).

FONTES: Autores (2025).

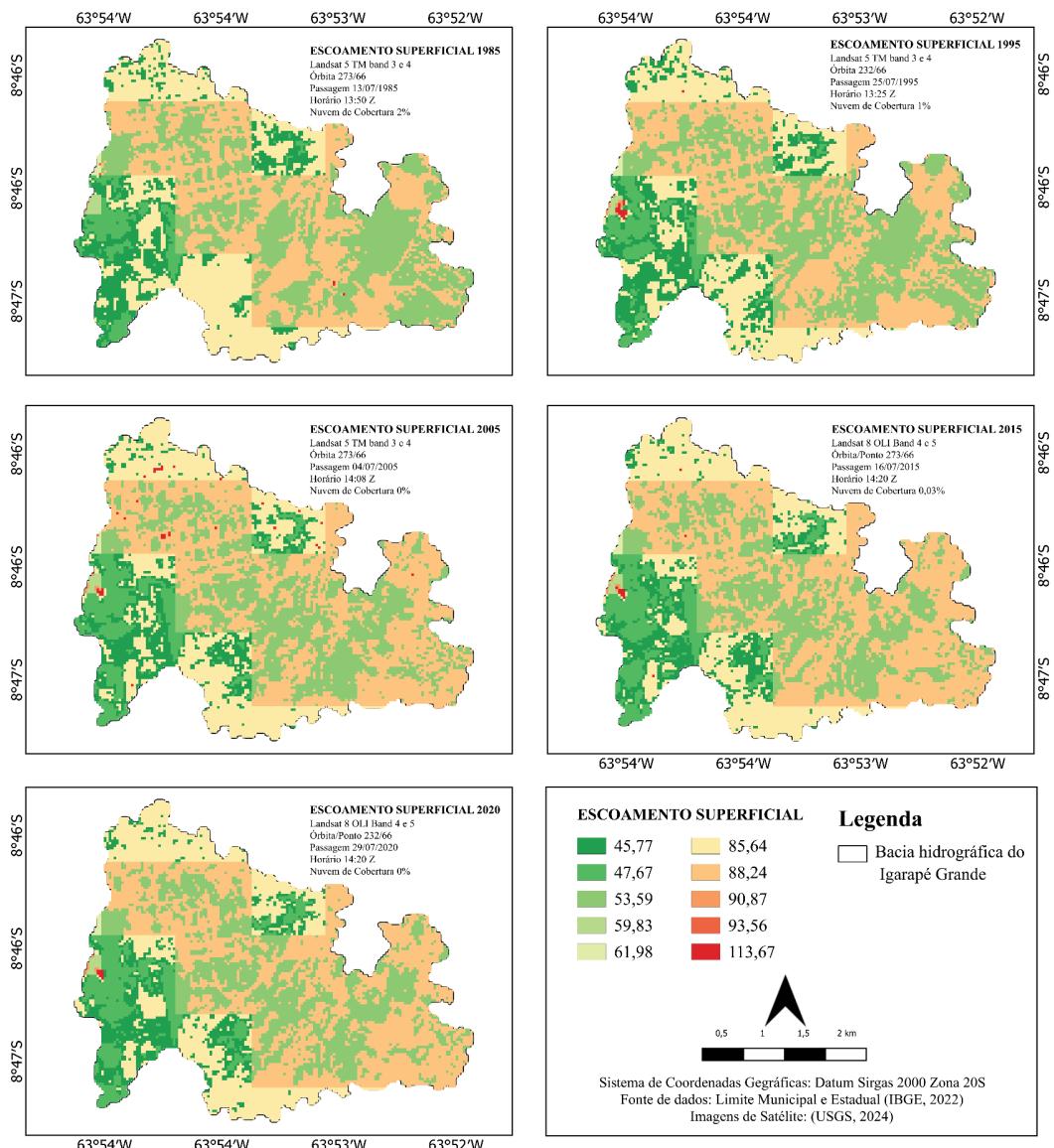


FIGURA 7: Evolução dos valores de Curve Number na Bacia Igarapé Grande (1985-2020).

FONTES: Autores (2025).

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. A influência de feições geológicas na morfologia da Bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, v33, n.2, P. 117-127, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Nota técnica nº 46/2018/SPR. Produção de base vetorial com o Curve Number (CN) para BHO 2014 (BHO_CN)*. Brasília, 2018.

BACK, Á.J. *Bacias hidrográficas: classificação e caracterização física (com o programa HidroBacias para cálculos)*. Florianópolis: Epagri, 2014, 162p.

BARRELLA, W. et al. *As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes*. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas – modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. UFSC, 1994.

BERTONI, J. C. TUCCI, C.E.M. *Precipitação*. Em: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Cap. 5

CAMPANHARO, W. A. *Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES*. 2010. 66 f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.

CHRISTOFOLLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1980.

CRUZ, R. C.; TAVARES, I. S. *Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos*. In: RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A.; BOER, N. (Org.). *Água e educação: princípios e estratégias de uso e conservação*. Santa Maria/RS: Centro Universitário Franciscano, 2009.

ENRIQUEZ, M. *Catchment delineation of Pandurucan River using quantum geographical information system (QGIS)*. AIP Conf. Proc. 2022; 2644. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0104450>.

FANGMEIER, D.D et al. *Soil and water conservation engineering*. 5 ed. Thomson Delmar Learning, 2005.

FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. *Diagnóstico e prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre (RS), v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

GRASS Development Team, 2024. *QGIS. Geographic Resources Analysis Support System. GRASS Software*, Version 8.4. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <https://grass.osgeo.org>

GOOGLE. *Porto Velho, Rondônia - Brasil*. Google Earth, 2025. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Porto+Velho,+RO/....>

GONÇALVES, C.W.P. *Os (des)caminhos do meio ambiente*. São Paulo: Editora Contexto, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais*. Rio de Janeiro, 2025.

JORGE, M.C.O. *Geomorfologia urbana: conceitos e metodologia*. In: GUERRA, A.J.T. *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. cap.4, p.117-142.

KOBIYAMA, M. et al. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

MANSIKKANIEMI, H. *The sinuosity of rivers in northern Finland*. *Publicationes Instituti Geographicci Universitatis Turkuensis*, v.52, P. 2+-32, 1970.

MILLER, V.C. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Virginia, Tennessee:** Dept. Geology, Columbia University, 1953. (Technical report 3).

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas.** 2003. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

NASCIMENTO, C.P. **O processo de ocupação e urbanização de Rondônia: uma análise das transformações sociais e espaciais.** Revista de Geografia (Recife), v.27, n.2, p.53-69, 2010.

NASCIMENTO, C.P.; SANTOS, C.; SILVA, M. **Porto Velho: A produção do espaço urbano de Rondônia (1980/2010).** Revista Geografar, v.7, n.1, p.20-52, 2012.

OLIVEIRA,L.M.M; et al **Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira,Brasília-DF,- v.47,n.9,p.1209-1217, set.2012.

PORTO VELHO (RO). **Lei Municipal nº 840, de 10 de outubro de 1989.** Dispõe sobre a definição dos perímetros dos bairros de Porto Velho. Porto Velho, 1989.

QGIS.org. **QGIS Geographic Information System.** QGIS Association, 2025. Disponível em: <http://www.qgis.org>.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. 2010. **Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Vaza-Barris, Sergipe.** Revista Multidisciplinar da Uniesp: Saber Acadêmico, n º10 - Dez.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas.** Alegre: CAUFES, 2010. 153p. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/spring5x.htm>.

SANTOS, C. **A fronteira do Guaporé.** Porto Velho: EDUFRO, 2001.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHUMM, S.A. **The evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy.** Geological Society America Bulletin, v.67, p.597-646, 1956.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Subsecretaria de Planejamento (SUPLAN). **Geoportal PMPV. Sistema Municipal de Informações Urbanas e Territoriais.** Porto Velho, 2025. Disponível em: <https://geoportal.portovelho.ro.gov.br>.

SILVA, Evanleide Rodrigues da; SOUZA, Reginaldo Martins da Silva de; MANIESI, Vanderlei. **A suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações a partir da análise morfométrica da bacia do Igarapé Grande, Porto Velho, Rondônia.** Revista Eletrônica do Curso de Geografia – Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO, n. 50, set./dez. 2024.

SILVA, Helen Rose Oliveira da; CAVALCANTE, M.D.A. **Desenvolvimento socioespacial e dinâmica urbana: estudo de caso sobre Porto Velho-RO.** In: Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (ANPGE), 13., 2019, São Paulo. Anais.

SILVA, Helen Rose Oliveira da; GUIMARÃES, Siane Cristina Pedroso; OLIVEIRA, Liliana Borges de. **O uso do geoprocessamento na espacialização e avaliação das Áreas de Preservação Permanente: Cidade de Porto Velho-RO.** Revista Franco Brasileira de Geografia – Confins.2017. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.11764>.

STAUB, B.; ROSENZWEIG, C. **Global Digital Data Sets of Soil Type, Soil Texture, Surface Slope, and Other Properties**: Documentation of Archived Data Type. NASA Technical Memorandum #100685, NASA Goddard Space Flight Center, Institute for Space Studies, 1987. 20p.

TUCCI, C. E. M. **Escoamento Superficial**. Em: **Hidrologia: Ciéncia e Aplicação**, 4 ed. Porto Alegre: UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Conservation Service (SCS), 1950**. Engineering Division: Hydrology Handbook. Washington, DC: United States Department of Agriculture.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 5, Bandas 3 e 4, e Landsat 8, Bandas 4 e 5**. Earth Explorer, 2025. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>.