

DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA, USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO MULUNGU, JUAZEIRO - BAHIA

Lucas Otávio Lourenço Lima¹, Silvio Pereira Neto², Fernanda Águida Sousa de Deus³, João Pedro de Brito Matias⁴, Miriam Cleide Cavalcante de Amorim⁵

¹ Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (lucas.lourenco@discente.univasf.edu.br)

² Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (silvio.pereira@discente.univasf.edu.br)

³ Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (fernanda.aguida@discente.univasf.edu.br)

⁴ Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Do Vale Do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro, Bahia, Brasil (joao.britomatias@discente.univasf.edu.br)

⁵ Professora D.Sc. Tutora PET Saneamento Ambiental UNIVASF (miriam.cleide@univasf.edu.br)

Resumo: A urbanização desordenada intensifica o escoamento superficial e eleva o risco de inundações. A análise morfométrica auxilia na compreensão da dinâmica hidrológica das bacias, avaliando transporte de água e vulnerabilidade a eventos extremos. Este estudo analisa a bacia hidrográfica do riacho Mulungu, em Juazeiro-BA, destacando características físicas e mudanças no uso do solo entre 2002 e 2022. A bacia, de formato alongado, apresenta menor risco de inundação, mas sua alta densidade hidrográfica indica suscetibilidade a chuvas intensas. No período analisado, a área urbanizada cresceu 241,86%, representando uma fração reduzida da bacia. Os resultados mostram que a expansão urbana alterou o escoamento superficial e o balanço hídrico, podendo comprometer a qualidade ambiental dos cursos d'água. A necessidade de gestão eficiente inclui controle da impermeabilização do solo, manutenção hídrica e implementação de drenagem urbana sustentável. Medidas como reflorestamento e recuperação de áreas degradadas são fundamentais para mitigar impactos negativos. O monitoramento contínuo e a integração entre setor público, privado e comunidade são essenciais para um desenvolvimento urbano equilibrado e ambientalmente responsável.

Palavras-chave: Digite as palavras-chaves separadas por ponto e vírgula (;), máximo 5 palavras-chave

INTRODUÇÃO

A drenagem urbana constitui um componente crítico do planejamento urbano. No entanto, o crescimento demográfico e a expansão das áreas urbanas induzem alterações significativas nos domínios ecológico e social. Uma consequência notável da urbanização não regulamentada é a impermeabilização das bacias hidrográficas, que ocorre por meio da remoção da cobertura vegetal, da invasão de zonas ribeirinhas e da implementação de projetos de infraestrutura desprovidos de análises abrangentes das condições do solo e dos sistemas hidrográficos. Consequentemente, observa-se frequentemente que, após esse processo de ocupação da terra, várias cidades experimentam inundações e eventos de inundação (Noleto e Rodrigues, 2024).

Na busca de examinar os sistemas de drenagem e a dinâmica operacional de uma bacia hidrográfica, a morfometria surge como uma metodologia fundamental. De acordo com Domingues et al. (2020), a morfometria serve como um instrumento indispensável para a avaliação e administração de bacias hidrográficas, facilitando uma exploração aprofundada do comportamento hidrológico inerente a essas regiões. Por meio da aplicação da análise morfométrica, torna-se viável avaliar parâmetros críticos, incluindo a capacidade de transporte de água e sedimentos, bem como a vulnerabilidade à ocorrência de inundações.

A Lei de Saneamento Básico (11.445/2007) (BRASIL, 2007), atualizada pela Lei 14.026/2020 (BRASIL, 2020), determina que todos os municípios do Brasil formulem suas estratégias de saneamento e drenagem em conjunto com iniciativas de desenvolvimento urbano e diversas políticas sociais que visam melhorar a qualidade de vida, com o objetivo de que o saneamento básico funcione como um agente fundamental de mudança. Entre inúmeras estipulações, a legislação exige o desenvolvimento de planos que priorizem a acessibilidade universal dos serviços de saneamento, dependendo das condições específicas de cada município.

O riacho Mulungu, é um riacho natural, localizado em Juazeiro Bahia, com sua nascente intermitente localizada na zona rural e sua foz no encontro com o riacho Macarrão, que deságua no rio São Francisco. Originalmente, suas águas fluíam do interior do município em direção à cidade, cortando parte significativa da área urbana até desaguar no riacho Macarrão. No entanto, na década de 1980, foi desviado para evitar inundações, contornando a cidade pelo sudeste, o que resultou no isolamento do seu leito original. Atualmente, o riacho Mulungu atravessa a área agrícola da AGROVALE, entre os bairros Itaberaba e Tabuleiro. Além disso, seu antigo leito na zona urbana passou a receber esgoto

doméstico, contribuindo para sua degradação ambiental, afetando os bairros Dom Tomaz e Monte Castelo (Nigro, 2017).

Esta pesquisa busca investigar os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica associadas ao riacho Mulungu, com o objetivo de inferir atributos das características da bacia, incluindo o escoamento superficial e a probabilidade de ocorrência de inundações. Além disso, o estudo abrangerá os padrões de utilização e ocupação da terra dentro da bacia em diferentes intervalos temporais, avaliando as implicações dessa ocupação na dinâmica da bacia hidrográfica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia do riacho Mulungu, sub-bacia do rio São Francisco, localizado em Juazeiro Bahia, conforme indicado na Figura 1.

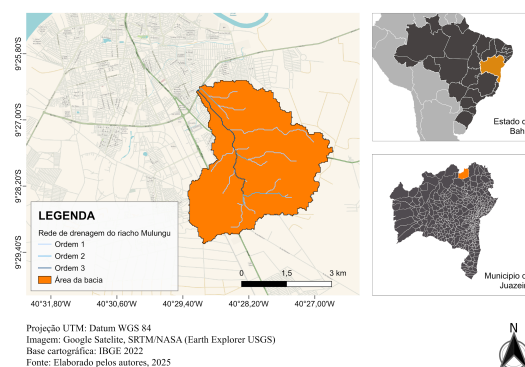


Figura 1. Localização geográfica da bacia Mulungu.

O município de Juazeiro tem uma área de 6.721,237 km² (IBGE, 2023) e uma população de 237.821 pessoas de acordo com o último censo de 2022 (IBGE, 2022). O solo predominante é argissolo, com temperaturas variando entre 18,4 °C a 33,9 °C e precipitação média anual da ordem de 549 mm (Embrapa, 2010). O clima da cidade é quente e seco, e a vegetação predominante é a caatinga.

Processamento de imagem do MDE

Para caracterizar a bacia, é essencial realizar o processamento de imagens de satélite. Neste trabalho foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerada pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A imagem foi obtida através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), no formato GeoTIFF e está referenciada ao sistema WGS 84. A imagem obtida contém informações sobre a altitude em cada pixel, com uma resolução espacial de 30 metros e uma resolução angular de 1°x1°.

Para o processamento, optou-se pelo uso do software QGIS na versão 3.40. Durante os procedimentos, aplicou-se a função *r.fill.dir*, para completar áreas com imprecisões no relevo, conhecidas como depressões espúrias que provocam erros nos modelos (Mendes e Cirilo, 2013).

Cálculos de parâmetros morfométricos

As características da bacia são derivadas do Qgis e de equações desenvolvidas. As características são extraídas das imagens MDE usando a função *r.watershed* e o comando Channel Network. A calculadora de campo QGIS fornece parâmetros de área (A) e perímetro (P) da bacia. Métricas adicionais incluem ordem da bacia (Rb), número de cursos d'água (N), comprimento total dos cursos d'água (Lt), comprimento axial (La) e comprimento do curso d'água principal (L).

Utilizando os dados obtidos, várias características foram calculadas, como amplitude altimétrica (Hm), coeficiente de compacidade (Kc), coeficiente de manutenção (Cm), densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic), índice de rugosidade (Ir) e sinuosidade (Si), foram derivados, com a Quadro 1 delineando as equações, classificações e referências consultadas correspondentes.

Quadro 1. Características Morfométricas

Fórmulas	Intervalos	Referência
$Dd = \frac{Lt}{A}$	Alta <1,5 Média 1,5-2,25 Baixa >2,25	Horton (1945)
$Dh = \frac{N}{A}$	Alta < 2,0 Média 2 – 4 Baixa > 4	Christofoletti (1980)
$Ic = \frac{419A}{33P^2}$	Convexa > 0,51 Esticada < 0,51	Schumm (1956)
$Kf = \frac{A}{La^2}$	Retenção < 0,30 Baixa 0,30-0,50 Média 0,50-0,75 Alta 0,75-1,0	Villela e Mattos (1975)
$Kc = \frac{7P}{25\sqrt{A}}$	Convexa < 1,0 Esticada > 1,0	Villela e Mattos (1975)
$Hm = e_{max} - e_{min}$	-	Strahler (1952)
$Cm = \frac{10^3}{Dd}$	-	Schumm (1956)
$Ir = Hm \times Dd$	-	Fraga <i>et al.</i> (2014)
$Si = \frac{L}{La}$	Baixa 1,0 a 1,5 Média 1,5 a 2,0 Alta > 2,0	Christofoletti (1980)

As características podem ser categorizadas em quatro classificações distintas: Rede de drenagem, geometria da bacia, análise de textura de drenagem e características de relevo.

As características da rede de drenagem são indicadas como Dd (Densidade de Drenagem): Essa métrica pertence ao estágio de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia hidrográfica, Dh (Densidade Hidrográfica): Este parâmetro indica a capacidade da bacia de gerar novos cursos de água e Si (Sinuosidade): Esse aspecto elucida a trajetória do rio, o que influencia significativamente a capacidade de fluxo superficial da bacia hidrográfica.

Os parâmetros associados à geometria da bacia incluem Ic (Índice de Circularidade): Esse índice quantifica a propensão da bacia a se aproximar de uma forma circular, Kf (Fator de Forma): Essa métrica avalia a forma da bacia hidrográfica em comparação com a de um quadrado e Kc (Coeficiente de Compacidade): Esse coeficiente significa o grau em que a forma da bacia hidrográfica se aproxima da de um círculo.

Os atributos da Análise de Textura de Drenagem consistem em Cm (Coeficiente de Manutenção): Este coeficiente delinea a área mínima necessária para sustentar um metro de canal de drenagem, Ir (Índice de Rugosidade): Um valor elevado neste índice sugere uma maior probabilidade de degradação dentro da bacia, particularmente em encostas íngremes e extensas (Silva et al., 2018). Por outro lado, as características do relevo são representadas por Hm (Amplitude Altimétrica): uma medida maior nesse sentido indica uma maior predisposição para facilitar o fluxo rápido de água (Tonello, 2006).

O Uso e Ocupação do Solo da Bacia.

Os dados sobre uso e ocupação da terra foram obtidos da iniciativa MapBiomias Brasil, que fornece mapas abrangentes e de alta resolução (30 metros) do Brasil em 29 categorias de uso e cobertura da terra de 1985 a 2022 (MapBiomias, 2023; Souza e Azevedo, 2017; Souza et al., 2020), com este estudo utilizando a Coleção 8 com foco em 2002 e 2022 para analisar mudanças temporais ao longo de aproximadamente duas décadas na bacia.

A seguir os dados foram processados usando o QGIS, empregando arquivos GeoTIFF do MapBiomias junto com o Modelo Digital de Elevação, com foco nas áreas específicas das classes do MapBiomias presente na bacia e utilizando a “calculadora de campo” do software para quantificar as mesmas, produzindo tabelas e mapas detalhados da utilização da terra dentro da bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características morfométricas da bacia do riacho Mulungu estão apresentadas no Quadro 2. A bacia abrange um perímetro medindo 26,19 km, uma área de superfície de 16,33 km² e um comprimento de 6,03 km para o curso de água principal. A rede de drenagem dessa bacia é classificada como de terceira ordem. De acordo com os critérios estabelecidos por Accioly, Silva e Pereira (2021), a bacia é caracterizada predominantemente por uma topografia plana.

Quadro 2. Características Morfométricas

Parâmetros	Valor	Unidade
Perímetro	26,19	km
Área da Bacia	16,33	km ²
Número de cursos d'água	92,00	-
Comprimento total dos cursos d'água	22,65	km
Comprimento axial	5,42	km
Comprimento do curso d'água principal	6,03	km
Ordem de cursos d'água	3,00	-
Densidade de Drenagem	1,39	km/km ²
Densidade Hidrográfica	5,63	n. de canais/km
Índice de Circularidade	0,30	-
Fator de Forma	0,56	-
Coeficiente de Compacidade	1,81	-
Altitude mínima	364,34	m
Altitude máxima	430,79	m
Amplitude altimétrica	66,45	m
Declividade média	0,10	%
Relação de relevo	12,26	m/km
Coeficiente de manutenção	721,03	m ² /m
Tempo de concentração	292,21	min
Índice de rugosidade	0,13	-
Sinuosidade	1,11	-

Fonte: elaborado pelos autores, 2025

Ao realizar uma análise dos dados apresentados no quadro 2, fica evidente que o coeficiente de compacidade (Kc), o índice de circularidade (Ic) e o fator de forma (Kf) ressaltam coletivamente a natureza alongada da bacia, indicando assim um risco reduzido de inundação. O coeficiente de manutenção de 721,03 m²/ms significa que uma área de pelo menos 721,03 m² é necessária para a preservação de um único metro de canal de drenagem, refletindo assim a capacidade de manutenção inadequada da bacia, conforme evidenciado pela densidade hidrográfica onde temos um valor elevado de 4. As métricas de sinuosidade (Si) e rugosidade (Ir) sugerem uma característica moderadamente sinuosa e um terreno com um declive menor. Esses dois atributos são fatores que contribuem para o aumento do fluxo superficial dentro do curso d'água.

O Uso e Ocupação

O Quadro 3 apresenta uma análise numérica detalhada das diferentes classes de uso da terra, conforme identificadas pelo Mapbiomas na bacia analisada, entre 2002 e 2022. Durante esse período, observa-se um expressivo aumento de 341,86% conforme explicitado no Quadro 3 na área classificada como urbana, evidenciando transformações marcantes relacionadas ao processo de urbanização na região ao longo das últimas duas décadas, apesar disso notamos que esse valor ainda representa um percentual muito pequeno da bacia. Notamos que a maioria da bacia ainda permaneceu rural.

Quadro 3. Áreas da bacia de 2002 e 2022

CLASSES MAPBIOMAS	Área em 2002 (km ²)	Área em 2022 (km ²)
Formação Savânica	0,81	0,52
Formação Campestre	3,30	0,67
Pastagem	0,36	0,88
Cana	4,85	5,07
Mosaico de Usos	3,76	2,22
Área urbana	0,86	2,94
Outras áreas não vegetada	0,84	1,70
Rio, lago e oceano	0,29	0,13
Outras Lavouras Temporárias	0,77	1,22
Outras Lavouras Perenes	0,49	0,95
TOTAL	16,33	

Fonte: Mapbiomas (2023).

O aumento pode ser comprovada visualmente pela , representada na Figura 2 e Figura 3, onde pode-se apontar um aumento significativo da área urbanizada na bacia no período de 20 anos, corroborando as observações feitas por Nigro (2017).

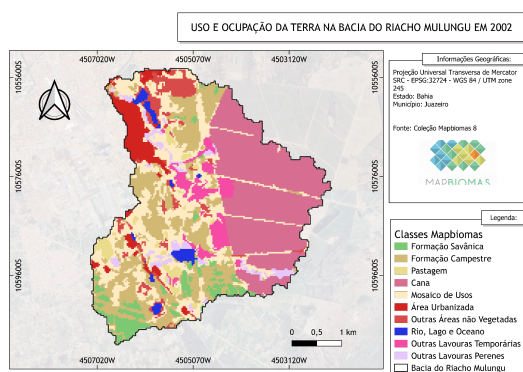


Figura 2. Mapa do uso e ocupação da terra da Bacia do Riacho Mulungu 2002.

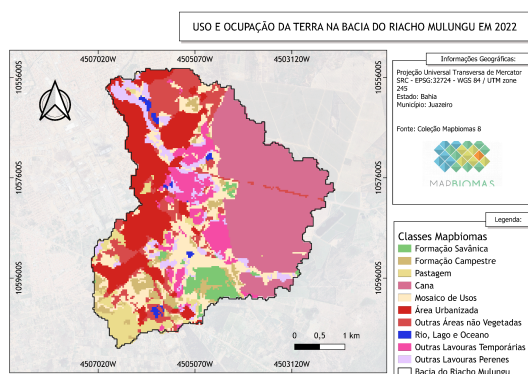


Figura 3. Mapa do uso e ocupação da terra da Bacia do Riacho Mulungu 2022.

Portanto, os dados obtidos e apresentados indicam que, ao longo do período de duas décadas, houve uma transformação significativa e notável nas várias características do solo comprovando o estudo de Nigro (2017) onde é afirmado que ao longo do riacho houve várias alterações como aterramento, escavações, desvios e retificação. Com esse conhecimento da bacia pode-se destacar o fato que o aumento substancial da área urbana, que, conforme articulado por Fiorio et al. (2019), incita uma série de consequências ambientais atribuíveis à duração relativamente breve necessária para que os ecossistemas naturais se ajustem e se aclimatem com eficácia a essas alterações substanciais.

CONCLUSÃO

A análise morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Mulungu permitiu compreender sua dinâmica hidrológica e as implicações da ocupação urbana ao longo das últimas duas décadas. Os resultados demonstraram que a bacia apresenta uma forma

alongada, característica que reduz o risco de inundação. No entanto, o coeficiente de manutenção elevado e a alta densidade hidrográfica indicam desafios na gestão e conservação dos cursos d'água.

O estudo evidenciou um crescimento significativo da área urbanizada, com aumento de 241,86% entre 2002 e 2022, corroborando a tendência de expansão urbana sobre a bacia. Esse crescimento, embora ainda represente uma pequena porcentagem da área total, implica alterações no escoamento superficial e no balanço hídrico local, podendo contribuir para a degradação ambiental e a contaminação dos cursos d'água, como observado no antigo leito do riacho Mulungu.

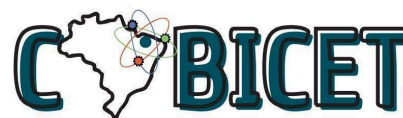
Dentre os pontos de melhoria, destaca-se a necessidade de ações voltadas para a gestão e recuperação ambiental da bacia, incluindo medidas de controle da impermeabilização do solo e manutenção dos cursos d'água, através de um Plano Diretor claro e fiscalização do poder municipal. A implementação de projetos de drenagem urbana sustentáveis, aliados a iniciativas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, poderia mitigar os impactos negativos do crescimento urbano. Além disso, é fundamental o monitoramento contínuo da bacia, com ações integradas entre setor público, privado e a comunidade local, garantindo um desenvolvimento urbano mais equilibrado e ambientalmente responsável.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão ao Programa Tutorial-MEC de Educação e ao FNDE pelo apoio financeiro prestado, bem como à UNIVASF por sua assistência institucional.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico brasileiro estabelecido pela Lei Federal nº 11.445/2007. 2020. Presidência da República. <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acessado em: 20/03/2025.
- Christofolletti, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p. 188-200.
- Domingues, G. F.; Barbosa, R. A.; Corrêa, C. C. S. A.; Guimarães, C. M.; Silveira, L. J. da; Dias, H. C. T. Caracterização morfométrica e comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Pardo. Ifes ciências, Vitória, v.6, n.2, p.3-16, 2020. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/502> Acessado em: 19/03/2025.



- Fiorio, P. R., Nakai, É. S., & Batagin, B. Análise Temporal do Uso e Ocupação do Solo da Microbacia Hidrográfica em Piracicaba (SP), Brasil. *Revista de Geografia e Meio Ambiente*, 25(3), 45-60, 2019.
- Fraga, M. de S.; Ferreira, R. G.; Silva, F. B.; Vieira, N. P. A.; Da Silva, D. P.; Barros, F. M.; Martins, I. S. B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa*, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Área territorial brasileira 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados - Atualizado em 22/12/2023. Rio de Janeiro: IBGE. 2022.
- Nigro, M. Dos riachos aos canais: o desprezo pela natureza na cidade em ambiente semiárido no Brasil (Juazeiro-ba). 2017. 297 f. Tese (Geografia) - Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2017.
- Noletto, R.G. Rodrigues, C. Análise Crítica das Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana. *Revista Científica Semana Acadêmica*. Fortaleza, Edição 242. V. 12. 2024. DOI: 10.35265/2236-6717-242-12889. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/analise-critica-das-tecnicas-compensatorias-de-drenagem-urbana>> Acessado em: 19/03/2025.
- Schumm, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.
- Strahler, A. N. Hypsometric Area-altitude: analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.
- Teixeira, A.H.C. Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA -1963 a 2009. Petrolina: Embrapa Semiárido. 2010.
- Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.