

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO COMO APORTE AO ESTUDO DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARI/DUQUE DE CAXIAS-RJ

Diego Escobar Alves ¹
Andréa Paula de Souza ²
Patrick Calvano Kuchler ³

INTRODUÇÃO

Atualmente os países de todos os continentes têm sido palco de recorrentes desastres, desde movimentos de massa de grandes magnitudes como também inundações, ambos surtindo graves efeitos para a população, representam entorno de 40% do total de desastres naturais ocorridos em todo o mundo. Entretanto, o Brasil é um dos que mais são atingidos por inundações no mundo, com elevado número de pessoas afetadas seja perdendo seus bens ou até mesmo com perdas de vidas (Londe *et al.*, 2014). As inundações fazem parte dos processos físicos geomorfológicos da natureza e muitas vezes não são caracterizadas como desastres uma vez que não há afetados, mas tornam-se desastres quando atingem a população, principalmente as mais vulneráveis.

Alguns autores como Tucci *et al.* (2001) consideram enchentes e inundações de forma análoga, isto é, a água extravasa dos leitos fluviais e canais artificiais tomando as terras baixas adjacentes, em resposta ao excesso de precipitação anual. Sendo assim, o presente trabalho trata inundações e enchentes com similitude. Desta forma, entende-se que as inundações em muitos municípios do país com o crescimento urbano e desordenado acabam por provocar mudanças no ciclo hidrológico, uma vez que há intensificação da erosão, assoreamento com o desmatamento e aliado a impermeabilização dos solos provinda de construções irregulares e intervenções estruturais nos canais.

Tendo em vista que, não diferente, as inundações são recorrentes nos municípios que compõem a Baixada Fluminense (BF), que faz parte da região metropolitana do Rio de Janeiro, dentre os municípios mais atingidos o de Duque de Caxias desponta nesse tipo de desastre. A

¹ Graduando do Curso de Licenciatura em Geografia da Faculdade de Educação da Baixada Fluminense/UERJ - RJ, escobardiego@gmail.com;

² Professora Assistente, Departamento de Geografia, Faculdade de Educação da Baixada Fluminense/UERJ - RJ, andrea.souza@uerj.br;

³ Professor Adjunto, Instituto de Geografia/UERJ – RJ, geocalvano@gmail.com.

história de intervenções nas bacias hidrográficas da BF provém do século passado, pois em 1936 com a criação da Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense, que conforme Fadel (2009) interviu com o propósito de sanear, mas gerou o crescimento do loteamento e a ocupação da região, vastas áreas naturalmente alagadas foram drenadas, criados pôlderes e galerias subterrâneas, canais passaram por intensa retificação com construções de diques e canais artificiais para impedir episódios de inundações, assim os terrenos foram aterrados e criaram-se os lotes de terra para o setor imobiliário. Alguns autores expõem que tais intervenções podem promover ruptura do equilíbrio dinâmico do rio e conseqüentemente levar aos eventos de inundações com maior recorrência.

Muito se discute a importância dos estudos da geomorfologia fluvial e as características morfométricas dessas, pois é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais (Teodoro *et al.*, 2007) e podem gerar indicadores físicos que qualificam alterações ambientais, aliadas aos estudos de uso e cobertura do solo, geomorfologia do terreno, têm se mostrado fundamentais em estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

Duque de Caxias é um município de grande relevância econômica, viária e ambiental (com fundamentais unidades de conservação da Mata Atlântica) no contexto do estado do RJ. O mesmo é dividido em 4 distritos: 1º Duque de Caxias; 2º Campos Elíseos; 3º Imbariê e 4º Xerém. Em suas fronteiras encontra-se a cidade do Rio de Janeiro, São João de Meriti, Belford Roxo, Nova Iguaçu, Miguel Pereira, Petrópolis e Magé.

O 4º distrito de Caxias, embora, considerado bem menos populoso quando comparado com outros distritos como 1º, tem sido alvo do aumento populacional e habitacional com crescimento de condomínios, mas ainda tem grande parcela de áreas protegidas com relevantes unidades de conservação. Em janeiro de 2013, o distrito foi alvo de uma grande inundação, mais especificamente na bacia hidrográfica do Rio Capivari, que é contribuinte de outra relevante bacia, a do Rio Iguaçu. Tal situação foi de tamanha magnitude que foi decretado situação de emergência, uma vez que afetou 100mil pessoas, contabilizou entorno de 1400 desalojados e desabrigados, além de 60 feridos e 2 perdas de vidas (Ohnuma Jr *et al.*, 2016). Desta forma, o trabalho em questão visa o estudo da caracterização morfométrica, uso e ocupação do solo, assim como os parâmetros geomorfológicos como declividade, classe e hipsometria da bacia, para fins de avaliação de ocorrência de inundações.

METODOLOGIA

Visando compreender o comportamento fluvial para estudos de inundação, foram realizados levantamentos bibliográficos sobre tal, além de pesquisas sobre o processo de ocupação do município, assim como das características geomorfológicas de Duque de Caxias. Para as características da bacia hidrográfica e morfométricas foram realizadas coletas de dados, processamento, operações morfométricas, geração de mapas, extração das seguintes resultantes: Área (A) e Perímetro (P); Coeficiente de Compacidade (Kc); Fator de Forma (Kf); Índice de Circularidade (Ic); Densidade hidrográfica (Dh); Número total de Canais (Nt); Comprimento do canal principal (L); Comprimento total dos cursos d'água; Comprimento do Eixo (Le); Densidade de Drenagem (Dd), Padrão de Drenagem (Pd), Coeficiente de Manutenção (Cm), Ordem dos Rios, Índice de Sinuosidade (Is), conforme Christofolletti (1969 e 1981) e Villela & Mattos (1975). Além do mapa do uso e cobertura do solo, hipsométrico, de declividade, conforme descrito abaixo:

-Coleta e Processamento de Dados: A bacia hidrográfica e os trechos de drenagem foram obtidos da base otocodificada da ANA, e o MDE foi extraído do Google Earth Engine usando o conjunto de dados USGS SRTMGL1_003. O tratamento dos dados no QGIS permitiu a extração de valores morfométricos e a criação de visualizações do relevo da Bacia do Rio Capivari.

-Operações Morfométricas: Para realizar as operações morfométricas, foi necessário expandir a área da bacia em 150 metros com um buffer, devido à possível perda de pixels na borda do MDE. Após isso, o recorte foi feito na área original. O MDE com o buffer, foi baixado, reprojetoado para SIRGAS2000 23S, e corrigido quanto a valores negativos e pixels sem dados.

-Geração de Mapas- Para análise do relevo foi realizado o Mapa Hipsométrico (com intervalos em quartil dividido em 12 classes); Mapa de Declividade (reclassificação em 6 classes baseadas na porcentagem de inclinação);

-Características Morfométricas- A coleta de dados fisiográficos envolveu a determinação do eixo axial da bacia, traçado com linha reta do ponto de menor elevação ao de maior elevação da bacia e utilizada a calculadora raster, obteve-se o comprimento do eixo axial; área e perímetro da bacia, além do comprimento dos rios.

-Uso do Solo - Foram coletadas imagens de satélite do Landsat5 e Landsat9, dos anos de 1994/2009/2024, com a resolução espacial de 30 metros e foram utilizadas apenas as bandas vermelho, verde, azul, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas 1. Desta forma, foram utilizadas as imagens Landsat 5 de 29/07/1994 e 04/06/2009, ambos com bandas B1, B2, B3, B4 e B5, além da Landsat 9 de 17/03/2024 (com bandas B2, B3, B4, B5 e B6).

A realização do uso e cobertura do solo foram geradas por meio do Google Earth Engine (GEE), que opera através de programação Javascript, seguindo etapas de aquisição de imagem, tratamento de dados e visualização dos mapas. O tratamento das imagens para gerar o uso do solo contou com: a interpolação dos pixels faltantes nas imagens de satélite (Landsat 5); a geração de indicadores de normalização para destaque de algumas características, bem como a qualidade da vegetação (NDVI), áreas construídas (NDBI) e áreas de corpos hídricos (NDWI); a coleta de amostras de acordo com a classe; a configuração do algoritmo classificador Random Forest para trabalhar com todas as informações; o pós-processamento da imagem gerado para suavizar e eliminar alguns ruídos na imagem gerada, e assim corrigir pixels “soltos”.

De acordo com a bacia analisada, foram elaboradas 5 classes para se trabalhar o uso e cobertura do solo, as quais são: Área verde densa; Área verde rasteira; Áreas onde foram retirados a vegetação; Área onde se tem a presença de infraestrutura urbana adensada e qualquer resíduo de lago, rio ou corpo de água. E para melhor classificação foi aplicado o modelo de classificação supervisionada, Random Forest, permite melhor balanceamento das amostras (Kuchler *et al.*, 2023). Além de serem utilizados os métodos estatísticos da precisão geral e o coeficiente Kappa, ambos fornecem um resultado mais abrangente da performance do modelo classificador, quanto mais próximo do valor 1 mais preciso e ao se aproximar de 0 mais impreciso é o modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as características morfológicas a Bacia do Rio Capivari tem uma área de 90,221 km², com perímetro de 70km, suas dimensões correlacionadas aos parâmetros morfométricos são preponderantes da resposta da dinâmica hidrológica. E, em geral, quanto maior sua área também será maior o tempo para que os canais contribuam para a drenagem da área, diminuindo assim o potencial de susceptibilidade a enchente. O Índice de Circularidade (IC) de 0,2314 encontrado para a bacia indica classificação alongada, a qual facilita o escoamento da água, e em condições normais de precipitação não aptas para inundações. A Densidade de Drenagem (Dd) com valor de 0,6109 km.km², também indica eficiência da drenagem da bacia, é uma boa indicação do seu grau de desenvolvimento, que neste caso pode ser classificada como regular (valor entre 0,5-1,5).

Em Kf menores que <0.50, as bacias são consideradas com tendência a conservação e não sujeita a grandes inundações, o que corresponde ao valor encontrado de 0.1848 e que demonstra alongamento da Bacia do Capivari, entretanto, no terço superior em direção aos divisores percebe-se uma forma mais circularizada enquanto do terço médio para a

desembocadura a forma é notoriamente alongada. Em relação ao $K_c = 2,06 \text{ m.m}^2$ pode-se dizer que há pouca suscetibilidade a inundações para precipitações sem anomalias, de acordo com trabalhos de Villela e Mattos (1975) e corrobora com Costa *et al.* (2020) ao estudar a Hidrográfica do Paraguai/Jauquara (MT) e obteve valores de $K_f = 0,33$ e $K_c = 1,73$ indicando baixa propensão de ocorrência de enchentes devido à forma geométrica.

O índice de sinuosidade dos canais, conforme os valores de $I_s = 1,2339 \text{ km.km}^{-1}$, na Bacia do Capivari indica altas velocidades no escoamento das águas e menor propensão a sofrer inundações com menores acúmulos de água, pois conforme Christofolletti (1981), valores entre $1,20 \leq I_s < 1,30$ indicam condições de formas de canais retilíneos. Lopes Pereira & Mendes (2018) ao avaliarem a morfometria da bacia do Rio Iguazu-Sarapuí, na Baixada Fluminense (RJ), encontraram valores baixos de I_s , isto é, igual a 1,08. E ressaltam que essas condições aumentam a vazão, assim como a capacidade de transporte de sedimentos o qual implica na descarga dos sedimentos e aliada a estrutura geológica podem gerar na ocorrência de cheias. Bertolini *et al.* (2021) indicam o parâmetro como possível avaliação de intervenções antrópicas no contexto de mudanças das formas dos canais, o que corrobora com o processo de transformação exposto por Fadel (2009).

Em relação ao mapa do uso e cobertura do solo, conforme exposto na metodologia para avaliar a performance do mapa foram utilizados os métodos estatísticos de precisão geral com valores de 0.99459 (1994), 0.97727 (2009) e 0.96539 (2024), enquanto para o coeficiente da Kappa obteve-se o valor de 0.99181 (1994), 0.96718 (2009) e 0.94595 (2024), eficientes já que quanto mais próximo do valor 1 mais preciso é o modelo e com grande consistência, os resultados foram de acordo com o que aponta o trabalho de Kuchler *et al.* (2023). Foram obtidas 6 classes: Área verde densa (com floresta e/ou árvores de grande porte); Área verde rasteira (com vegetação rasteira e/ou árvore de médio e pequeno porte); Solo exposto (áreas de retirada da vegetação); Área Urbana Densa (com presença de infraestrutura urbana adensada) e Corpo Hídrico (qualquer resíduo de lago, rio ou corpo d'água).

Ohnuma Jr *et al.* (2016) ao realizarem trabalhos na Bacia do Rio Capivari encontraram 6 classes de uso e ocupação, sendo cerca de 69,8% de área preservada por florestas, 25,3% composto por pastagens, áreas de várzeas e solo exposto e 0,71% de agricultura e o restante da bacia com uma ocupação urbana, 0,2% de afloramento rochoso, enquanto espelhos d'água acumulam 0,03 km² de área na bacia. Tal corrobora com os resultados encontrados (Figura 1), em 2024 tem-se 79,57% da área da bacia de floresta densa, o que pode estar relacionado com criação e incorporação de áreas de preservação. Em 30 anos (1994 até 2024) houve redução de 15,35% das áreas verdes rasteiras e solo descoberto (exposto), e aumento notório da área urbana

de 6,2% que podem ter expandido para solos expostos e de vegetação rasteira. O percentual de ocupação urbana densa parece pouco, contudo uma grande parcela da área da bacia tem hipsometria e declividades impeditivas para ocupação, conforme Figura 1 e 2.

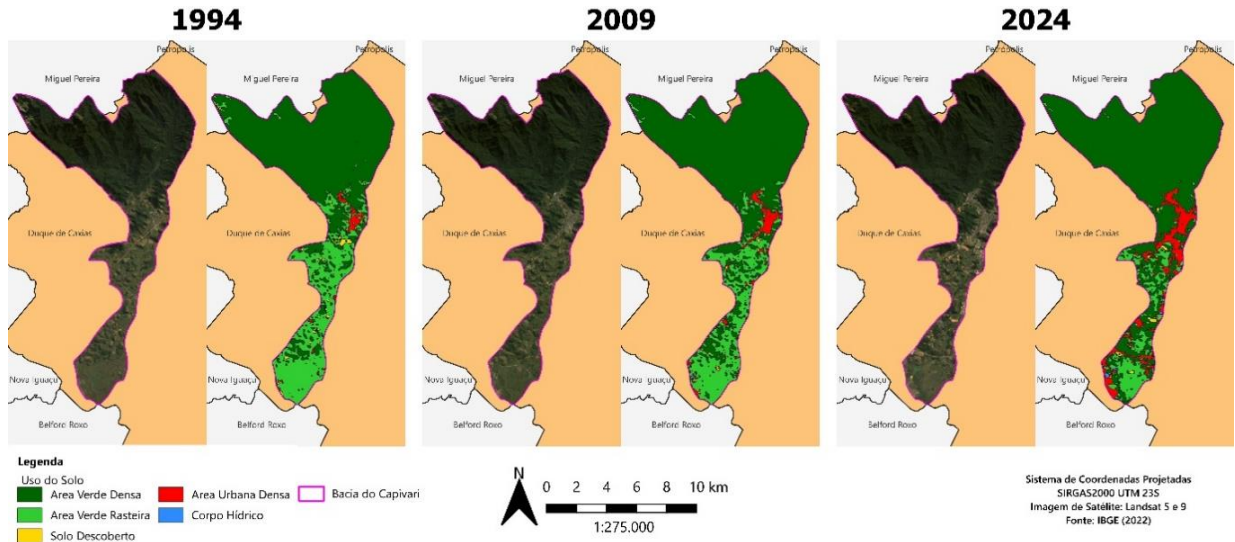


Figura 1. Mapa de uso e ocupação para bacia hidrográfica do Rio Capivari ao longo de 1994, 2009 e 2024.

Os mapas de hipsometria e declividade demonstram que a bacia é heterogênea, uma vez que os valores alcançam de 10 até > 900m, já no fundo do vale do canal principal a declividade é de até 3% classificada como plano e entremeada por colinas de 3-20%, caracterizado como suavemente a ondulado (Figura 2).

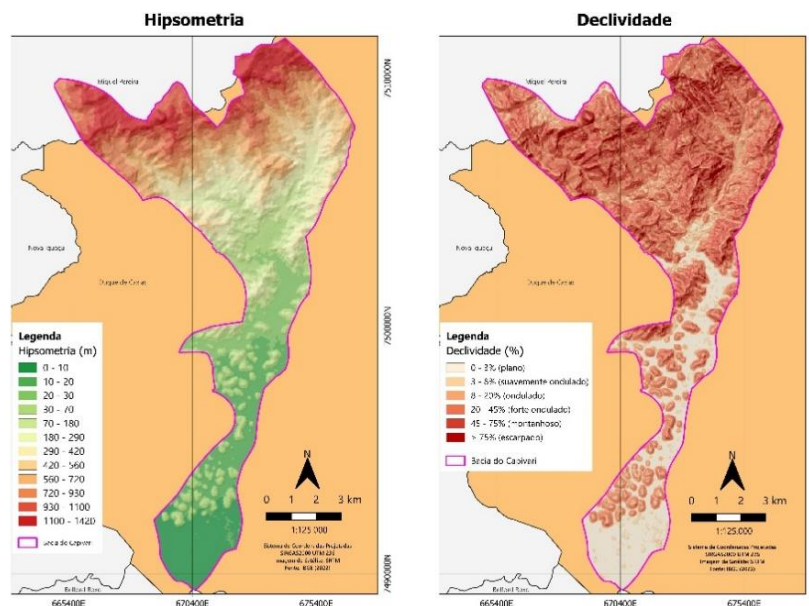


Figura 2. Bacia hidrográfica do Rio Capivari com espacialização da hipsometria e declividade.

Tais áreas de fundos de vale do canal principal correspondem a altas planícies de inundação e ocorrência de colinas dissecadas, típicas de mar de morros, com colúvios de

depósito no sopé e caracterizados por solos pouco profundos. E ainda se encontra na Bacia do Capivari o relevo com declividades de 20-75%, englobando de forte ondulado a montanhoso e hipsometria >290m (Figura 2), sendo assim, muito acidentado com vertentes retilíneas a côncavas e topos de cristas alinhadas, que estão de acordo com o trabalho de Dantas & Renk (2018).

Em suma, pode-se apontar para pouca possibilidade de inundações na bacia, conforme os resultados das características morfométricas, entretanto, ao serem correlacionadas com padrão de formas do relevo (Dantas e Renk, 2018), a declividade e hipsometria, além do uso e ocupação, que mesmo com baixos percentuais tende ao crescimento, a bacia hidrográfica tende a fortes inundações que podem alcançar níveis acima de 5 metros. Os resultados em questão corroboram com o ocorrido na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, em janeiro de 2013, como relatado por Ohnuma Jr *et al.* (2016), houve uma grande inundação na bacia de alta energia e curta duração, condicionada pelo conjunto de resultados encontrados somado pela ruptura geomorfológica das formas (encostas, declividade, entre outros), juntamente com precipitações de elevada intensidade e o crescente processo de ocupação acarretou em situação de emergência e afetou mais de 100 mil pessoas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se dizer que embora caracterizações morfométricas sejam de grande relevância nas análises das bacias hidrográficas e ambientais seja na escala regional ou local, faz-se necessária a análise conjunta com padrões do relevo, declividade, hipsometrica, geomorfológicos, além do mapeamento do uso e ocupação dos solos, uma vez que o processo de ocupação desordenado tem sido vigente em muitos municípios do país, em especial os que compõem a região metropolitana do Rio de Janeiro. Fundamentalmente no município de Duque de Caxias, na Bacia do Rio Capivari, ainda existem zonas de possível crescimento urbano populacional, que embora muitas dessas áreas sejam de proteção ambiental já são foco de pressão e supressão, gerando mais impactos negativos e possibilitam o agravamento de inundações com consequentes danos, não somente para o meio ambiente, mas para a população com perdas de bens e vidas.

Palavras-chave: Enchentes; Baixada Fluminense; Canais; Enxurradas; Geomorfologia Fluvial

REFERÊNCIAS

BERTOLINI, J.; SILVA, A.C.G.; MERCANTE, E.; GOMES, B.M. Identificação do Grau de Perigo a Enchentes e Inundações Com Base na Análise Morfométrica e Uso do SIG Aplicados

na Bacia Hidrográfica do Rio Marrecas, Francisco Beltrão- PR. RA'EGA, Curitiba, PR, v.51, p. 17-40, 8/2021.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. v.1. São Paulo: Edgard Blücher, 1981, 312p.

COSTA, A.A. D.; GALVANIN, E.A. dos S.; NEVES, S.M.A.S. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso –Brasil. *Geosul*, Florianópolis, v. 35, n. 74, p. 483-500, jan./abr. 2020.

DANTAS, M.E. & RENK, J.F.C. *Carta de Padrões de Relevô: Município de Duque de Caxias*, RJ. 1 mapa, color. Escala 1:60.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2018.

FADEL, S. *Meio Ambiente, Saneamento e Engenharia no Império e na Primeira República*. Rio de Janeiro: Garamond, 2009, 256p.

KUCHLER, P. C; SIMÕES, M.; FERRAZ, R.; ALMEIDA, M. B.F. DE; BÉGUÉ, A. Avaliação do Impacto das Amostras de Treinamento na Acurácia da Classificação Random Forest dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis-SC, INPE, abril de 2023.

LONDE, L. D. R.; COUTINHO, M. P.; GREGÓRIO, D.; TORRES, L.; SANTOS, L. B. L.; SORIANO, E. Desastres Relacionados à Água no Brasil: Perspectivas e Recomendações. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, p. 133-152, 2014.

LOPES PEREIRA, P & MENDES, L.D. Morfometria de Bacia Hidrográfica Urbanizada: Uma Análise do Rio Iguaçu-Sarapuí, na Baixada Fluminense (RJ), Para Avaliação de Parâmetros de Suscetibilidade a Ocorrência de Enchente e Inundação. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 7, n. 13, 2018.

OHNUMA JR, A. A. VISSIRINI, F.; JOHNSON, R.M.F. Gerenciamento Remoto de Cheias Urbanas para Prevenção e Mitigação de Riscos de Eventos Hidrológicos Extremos: Análise do Sistema do INEA-RJ. *Conferência Internacional de Riscos Urbanos/ICUR*, Lisboa, 30 jun-2 jul, 2016.

TEODORO, V. L.I., TEIXEIRA, D., COSTA, D.J.L., FULLER, B.B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. *Revista Uniara*, n.20, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M; HESPANHOL, I; CORDEIRO NETTO, O. de M. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

VILLELA, S. M & MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.