ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NOS BIOMAS BRASILEIROS A PARTIR DE DADOS ORBITAIS E MODELAGEM NRCS-CN

Deividy Kaik de Lima Araujo 1 [1] & Celso Augusto Guimarães Santos [2]

Palavras-Chave – Hidrologia espacial; Sensoriamento remoto; Google Earth Engine.

INTRODUÇÃO

A geração de escoamento superficial é um importante processo hidrológico associado à ocorrência de cheias, erosão e disponibilidade hídrica, sendo influenciada pela interação entre precipitação, solo, relevo e uso da terra. No Brasil, alterações antrópicas relacionadas à expansão agrícola, urbanização e supressão vegetal têm modificado significativamente a resposta hidrológica dos diferentes biomas, enquanto eventos extremos associados à variabilidade climática e à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) têm intensificado desastres hidrológicos em diversas regiões do país (Ferraz et al., 2024; Fialho et al., 2023; Fleischmann et al., 2024). Nesse contexto, o avanço do sensoriamento remoto, de bases hidrometeorológicas globais e de plataformas de computação em nuvem ampliou a capacidade de realização de análises hidrológicas em larga escala. Produtos como CHIRPS e MODIS, aliados ao Google Earth Engine (GEE), permitem integrar dados climáticos e ambientais para estimativa espacialmente explícita do runoff (Funk et al., 2015; Gorelick et al., 2017; Jing et al., 2024). Assim, este estudo objetivou estimar as lâminas de escoamento superficial no Brasil entre 2001 e 2020 utilizando o método NRCS-CN em ambiente GEE, além de analisar a variabilidade espaço-temporal do runoff nos diferentes biomas brasileiros.

METODOLOGIA

A metodologia do estudo foi estruturada para integrar dados de sensoriamento remoto, modelagem hidrológica e análises estatísticas na estimativa das lâminas de escoamento superficial em todo o território brasileiro no período de 2001 a 2020 (Figura 1).

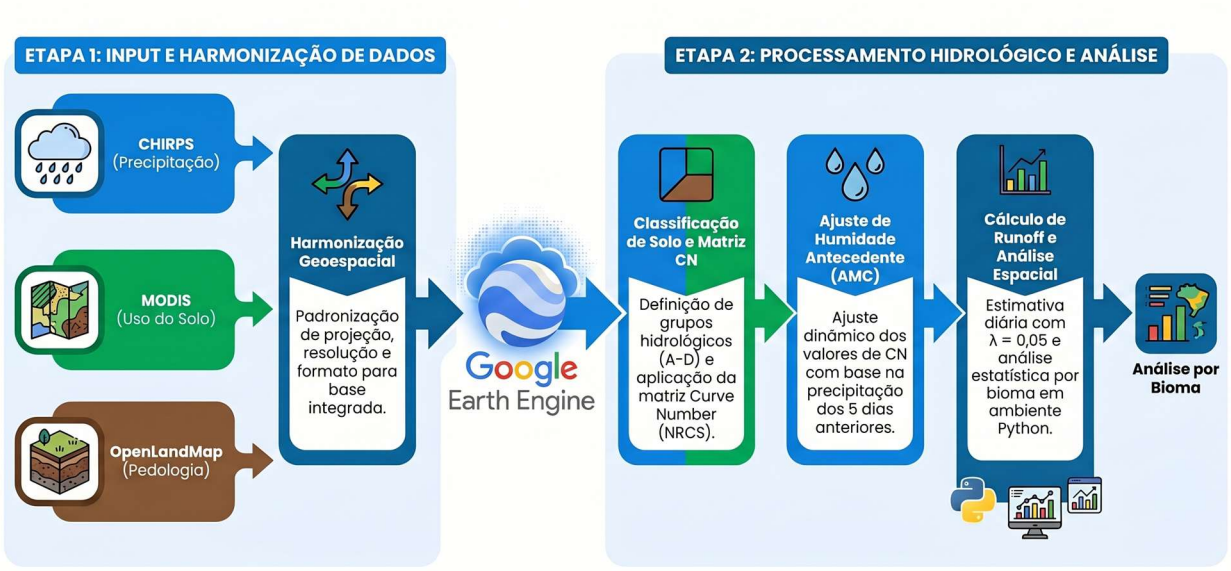


Figura 1. Fluxograma Metodológico

1) Instituto Federal de Roraima, Departamento de Ensino de Graduação, deividy.araujo@ifrr.edu.br
2) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, celso@ct.ufpb.br

Foram utilizados dados de precipitação diária do CHIRPS, informações de uso e cobertura da terra do MODIS MCD12Q1 e atributos pedológicos do OpenLandMap, os quais foram harmonizados quanto à resolução espacial e projeção cartográfica para aplicação em escala nacional. O processamento foi realizado no Google Earth Engine (GEE), permitindo manipulação eficiente de grandes séries temporais geoespaciais. Os grupos hidrológicos do solo (HSG) foram definidos a partir das classes texturais do OpenLandMap e integrados aos dados de uso e cobertura da terra por meio da metodologia Curve Number (CN), representando a resposta hidrológica do complexo solo–cobertura.

A condição de umidade antecedente (AMC) foi estimada diariamente com base na precipitação acumulada dos cinco dias anteriores, permitindo ajuste dinâmico do Curve Number ao longo do tempo. O escoamento superficial diário foi calculado pelo método NRCS-CN utilizando $\lambda = 0{,}05$, visando melhor desempenho em simulações hidrológicas de alta resolução temporal. Posteriormente, os resultados foram agregados anualmente, gerando 20 mapas contínuos de runoff para o Brasil, exportados em formato GeoTIFF e analisados em ambiente Python para avaliação espaço-temporal dos padrões hidrológicos nos diferentes biomas brasileiros.

RESULTADOS

Os padrões espaciais do escoamento superficial simulados entre 2001 e 2020 evidenciaram elevada heterogeneidade eco-hidrológica no Brasil (Figura 2), com maiores volumes de runoff concentrados nas regiões mais úmidas, como Amazônia e setores do Sul e Sudeste, enquanto áreas sazonalmente secas, especialmente o semiárido nordestino, apresentaram menores lâminas anuais devido à limitação hídrica e maior participação da evapotranspiração.

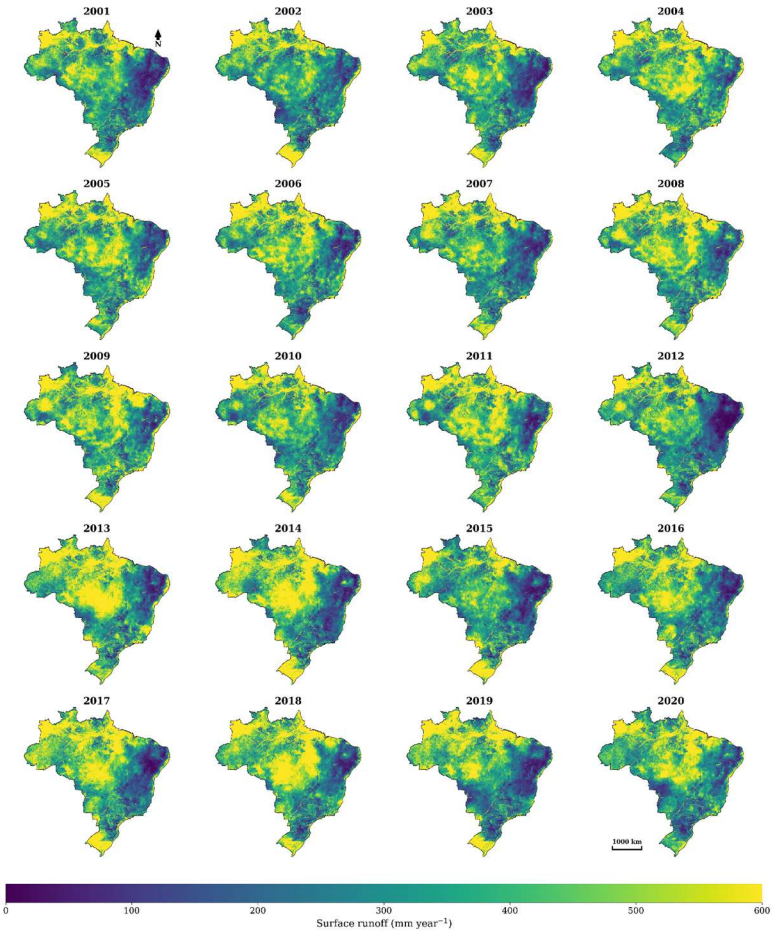


Figura 2. Padrões espaciais anuais do escoamento superficial simulado no Brasil (2001–2020). Mapas produzidos a 250 m utilizando o modelo NRCS-CN dinâmico no Google Earth Engine. Escala em mm ano⁻¹.

Os resultados também demonstraram influência de fatores como solo, relevo, uso e cobertura da terra e condições de umidade antecedente, além de forte variabilidade interanual associada a eventos hidroclimáticos extremos e teleconexões atmosféricas, como ENSO e oscilações do Atlântico Tropical. Dessa forma, a combinação entre CN dinâmico e AMC diária permitiu representar adequadamente a sensibilidade do escoamento superficial às variações climáticas e aos gradientes eco-hidrológicos do território brasileiro.

A análise temporal do escoamento superficial por bioma entre 2001 e 2020 (Figura 3) evidenciou contrastes hidrológicos marcantes na conversão chuva–runoff no Brasil, com maiores médias anuais observadas no Pampa e Amazônia, valores intermediários no Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal, e menores lâminas na Caatinga, refletindo a forte influência das condições hidroclimáticas e da disponibilidade hídrica regional. Os resultados também mostraram diferenças na variabilidade interanual entre os biomas, com maior estabilidade nos ambientes úmidos e maiores oscilações nos biomas sazonalmente secos, especialmente a Caatinga. Essas variações indicam elevada sensibilidade do escoamento superficial às anomalias climáticas, condições de umidade antecedente e mudanças no uso e cobertura da terra, reforçando a importância dos controles climáticos e eco-hidrológicos na dinâmica hidrológica brasileira.

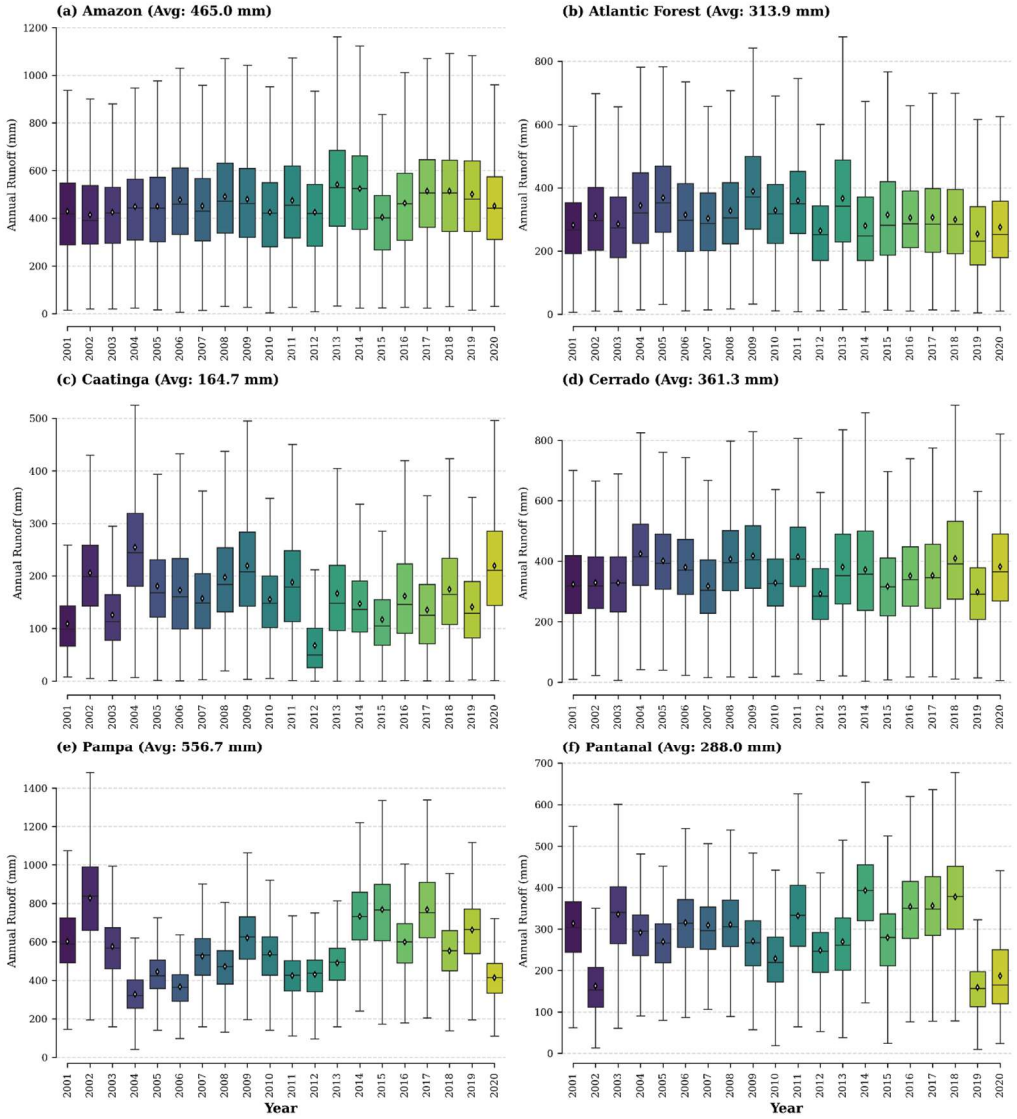


Figura 3. Série temporal do escoamento superficial por bioma (2001–2020), com remoção de outliers via IQR. Boxplots revelam variabilidade interanual e hierarquia hidrológica entre biomas com valores em mm ano⁻¹.

CONCLUSÕES

O modelo NRCS-CN dinâmico representou adequadamente os padrões espaciais e temporais do escoamento superficial no Brasil entre 2001 e 2020. Os resultados evidenciaram forte influência do clima, uso da terra, solo e umidade antecedente na geração de runoff. A integração entre sensoriamento remoto e Google Earth Engine mostrou-se eficiente para análises hidrológicas em larga escala, contribuindo para estudos de recursos hídricos e mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALSHEHRI, B.; ZHANG, Z.; LIU, X. (2025). “A Review of Google Earth Engine for Land Use and Land Cover Change Analysis: Trends, Applications, and Challenges”. ISPRS International Journal of Geo-Information, v.14, n.11, p.416.

FERRAZ, L. L.; DE SOUSA, L. F.; DE JESUS, R. M.; COSTA, K. A.; SANTOS, C. A. S.; ROCHA, F. A. (2024). “Climate and land use changes impacts on streamflow in the Brazilian Cerrado basin”. Ecohydrology & Hydrobiology.

FIALHO, W. M. B.; CARVALHO, L. M. V.; GAN, M. A.; VEIGA, S. F. (2023). “Mechanisms controlling persistent South Atlantic Convergence Zone events on intraseasonal timescales”. Theoretical and Applied Climatology, v.152, p.75–96.

FLEISCHMANN, A. S.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F. M. (2024). “The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil: Process, impacts and lessons learned”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.29, p.e12.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. (2015). “The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes”. Scientific Data, v.2, p.150066.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. (2017). “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone”. Remote Sensing of Environment, v.202, p.18–27.

JING, Q.; HE, J.; LI, Y.; YANG, X.; PENG, Y.; WANG, H.; YU, F.; WU, J.; GONG, S.; CHE, H.; ZHANG, X. (2024). “Analysis of the spatiotemporal changes in global land cover from 2001 to 2020”. Science of the Total Environment, v.908, p.168354.