# ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS PARA UMA BACIA COM DADOS ESCASSOS UTILIZANDO O MODELO SWAT+

*Tuany Kerolayne de Oliveira Ferreira[1];Alaine de Sousa Pereira[2]; Susana Cristina Batista Lucena[3]; Jennifer Marinho do Nascimento[4]; Brian Tavares Moura[5]; Alexandro Medeiros Silva[6]; Victor Hugo Rabelo Coelo[7] & Richarde Marques da Silva[8]*

**RESUMO** – A erosão hídrica e a produção de sedimentos constituem importantes desafios para a gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, contribuindo para a degradação dos solos e o assoreamento de reservatórios. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo estimar a produção de sedimentos na BHAJ, Ceará, utilizando o modelo SWAT+. A modelagem foi realizada para o período de 1985 a 2023, em que a produção de sedimentos foi estimada por meio da MUSLE. O desempenho do modelo foi avaliado por indicadores estatísticos, sendo posteriormente realizada a calibração dos parâmetros. Os resultados demonstraram desempenho satisfatório do modelo após a calibração nos postos fluviométricos Iguatu e Malhada, com adequada representação da dinâmica hidrológica da bacia. A análise espacial evidenciou elevada variabilidade da produção de sedimentos na bacia, com predominância de taxas baixas a moderadas e ocorrência de áreas mais suscetíveis aos processos erosivos em porções específicas da bacia. De modo geral, o SWAT+ mostrou-se uma ferramenta adequada para a simulação hidrológica e a estimativa da produção de sedimentos, contribuindo para a compreensão da dinâmica hidrossedimentológica da BHAJ.

**Palavras-Chave** – SWAT+, Produção de sedimentos, Modelagem hidrológica

**ABSTRACT**– Water erosion and sediment yield are major challenges for water resources management in semiarid regions, contributing to soil degradation and reservoir siltation. In this context, this study aimed to estimate sediment yield in the BHAJ, Ceará, using the SWAT+ model. The modeling was carried out for the period from 1985 to 2023, with sediment yield estimated through the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). Model performance was evaluated using statistical indicators, followed by parameter calibration. The results demonstrated satisfactory model performance after calibration at the Iguatu and Malhada streamflow gauging stations, with an adequate representation of the basin's hydrological dynamics. Spatial analysis revealed high variability in sediment yield across the basin, with a predominance of low to moderate rates and the occurrence of areas more susceptible to erosion processes in specific portions of the watershed. Overall, SWAT+ proved to be an appropriate tool for hydrological simulation and sediment yield estimation, contributing to a better understanding of the hydrosedimentological dynamics of the BHAJ.

**Keywords:** SWAT+, Sediment Yield, Hydrological Modeling.

[1]) Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, thuanykerolayne@gmail.com
[2]) Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, alainejosefa.45@gmail.com
[3]) Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, susana.lucena@ifpb.edu.br
[4]) Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Geografia, CCEN, João Pessoa – PB, jennifer.marinho@hotmail.com
[5]) Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, CT, João Pessoa – PB, briantavares926@gmail.com
[6]) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, CCEN, João Pessoa – PB, alexandro.medeiros@academico.ufpb.br
[7]) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, CCEN, João Pessoa – PB, victor.coelho@academico.ufpb.br
[8]) Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, CCEN, João Pessoa – PB, richarde@geociencias.ufpb.br

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo e a consequente produção de sedimentos constituem importantes desafios para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Hatiye et al., 2026), especialmente em regiões semiáridas. Além de promover a perda da camada superficial do solo e reduzir a capacidade produtiva, o transporte excessivo de sedimentos contribui para o assoreamento de rios e reservatórios, comprometendo a qualidade da água e reduzindo a capacidade de armazenamento dos sistemas hídricos (Darota et al., 2024; Idrees, 2023 e Gonzalezet al., 2023). Esses impactos são, particularmente, relevantes em regiões onde a disponibilidade hídrica depende fortemente de reservatórios artificiais para o abastecimento humano, a irrigação e outras atividades socioeconômicas.

No semiárido brasileiro, os processos erosivos são influenciados por características naturais e antrópicas. A ocorrência de chuvas concentradas e de alta intensidade, associada à irregularidade climática, à susceptibilidade de determinados tipos de solo e às alterações no uso e cobertura da terra, favorece o aumento da produção e o transporte de sedimentos (Menezes et al., 2010). Nesse contexto, o conhecimento da dinâmica sedimentológica torna-se fundamental para subsidiar estratégias de conservação do solo e planejamento dos recursos hídricos.

A quantificação da produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica, no entanto, representa um desafio devido à elevada variabilidade espacial e temporal dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos (Macedo et al., 2012). Como alternativa, modelos hidrológicos distribuídos têm sido amplamente empregados para simular os processos de escoamento superficial, erosão e transporte de sedimentos (Hatiye et al., 2026). Entre eles, o Soil and Water Assessment Tools Plus (SWAT+) destaca-se por sua capacidade de integrar informações climáticas, topográficas, pedológicas e de uso da terra, permitindo a representação espacial dos processos hidrossedimentológicos em grandes bacias hidrográficas. Além disso, sua aplicação tem sido bastante reportada em estudos voltados à estimativa da produção de sedimentos e à identificação de áreas suscetíveis à erosão (Seixas et al., 2007).

Apesar dos avanços observados na modelagem hidrológica hidrossedimentológica, ainda existem lacunas relacionadas à compreensão da produção de sedimentos em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro. A elevada variabilidade climática, associada às mudanças no uso e cobertura da terra, impõe desafios à estimativa da magnitude e da distribuição espacial dos sedimentos gerados nas bacias. Essa limitação é particularmente relevante na Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe (BHAJ), localizada no sul do estado do Ceará, uma região estratégica para a segurança hídrica estadual devido à presença de importantes sistemas de armazenamento de água.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo estimar a produção de sedimentos na BHAJ utilizando o modelo SWAT+, avaliando sua distribuição espacial ao longo do período de 1985 a 2023. A análise busca contribuir para o entendimento dos processos de produção de sedimentos em uma bacia representativa do semiárido brasileiro.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe (BHAJ) localiza-se na porção sul do estado do Ceará, entre as coordenadas 5,30º a 7,30º Sul de latitude Sul e 38,30º a 40,50º de longitude Oeste, abrangendo uma área de aproximadamente 24.636 km² de extensão territorial e cerca de 24 municípios. Constitui área de cabeceira do Rio Jaguaribe, principal curso d'água da bacia e abriga importantes reservatórios estratégicos, como o açude Orós. Inserida no semiárido brasileiro, caracteriza-se pels elevada variabilidade das chuvas, anual variando de 500 a 800 mm, temperaturas médias entre 26ºC e 28ºC e taxas de evaporação superiores à 2.000 mm anuais. Predomina na região o embasamento cristalino, solos rasos e vegetação de Caatinga adaptadas às condições de escassez hídrica (COGERH, 2018).

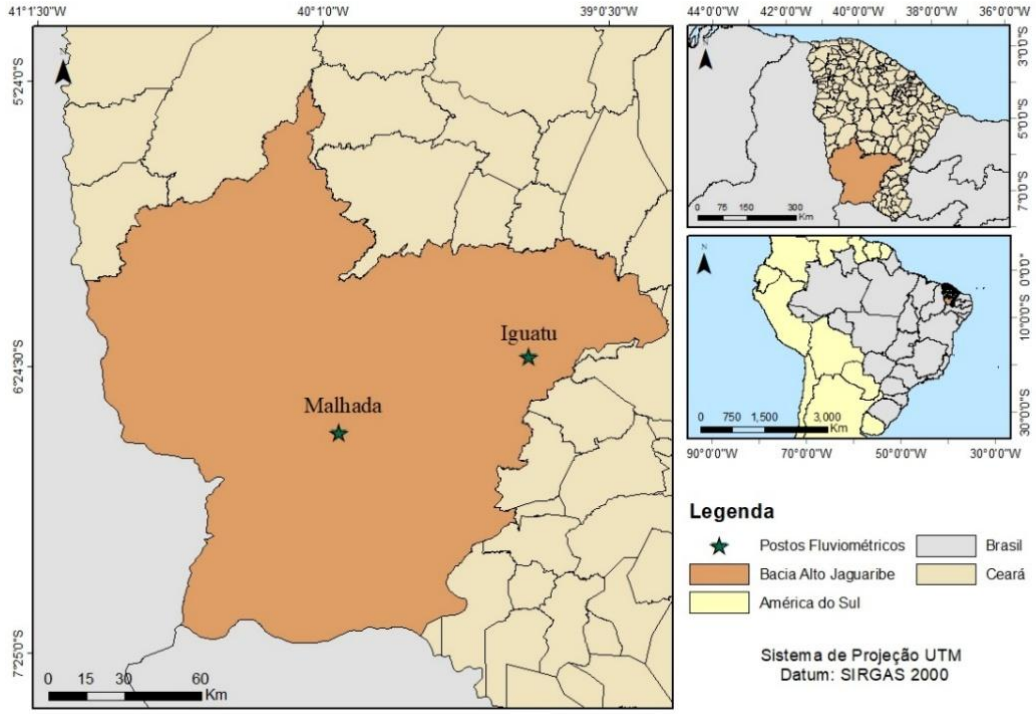



Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Rio Alto Jaguaribe

### 2.2. Dados utilizados

A implementação do modelo SWAT+ foi realizada com base na utilização de dados topográficos, pedológicos, hidrológicos e de uso e cobertura da terra. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido a partir da missão SRTM, com resolução espacial de 1 arco-segundo (30 metros).

As informações de uso e ocupação do solo foram extraídas da Coleção 8 do MapBiomas, enquanto os dados pedológicos foram adquiridos junto à Fundação FUNCEME e ao SISolos/EMBRAPA. A base climática foi composta por séries históricas de precipitação de 19 estações pluviométricas distribuídas na bacia, cobrindo o período de 1985 a 2023. Para a representação hidrológica e avaliação do desempenho do modelo, foram utilizados registros de vazão de dois postos fluviométricos referentes ao mesmo intervalo temporal. Os dados meteorológicos utilizados foram adquiridos no banco de dados do Global Weather Data, que disponibiliza dados do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) em escala global. Os dados foram obtidos para anos de 1985 a 2023, onde foram usados dados de 11 estações meteorológicas do banco de dados do SWAT+.

### 2.3. Modelagem Hidrossedimentológica

Para a modelagem hidrológica, foi usado o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT+), uma versão completamente reestruturada do SWAT, desenvolvida com o propósito de superar as limitações de sua versão predecessora e atender aos desafios futuros da modelagem hidrológica em bacias hidrográficas (Bieger et al., 2017). O processo da modelagem hidrológica para a BHAJ foi realizado por meio da interface QSWAT+ no QGIS, versão 3.34.15. O SWAT+ estima os processos hidrológicos com base na seguinte Equação 1:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=0}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad (1)$$

Onde: $SWt$ e SW0 quantidade final e inicial de água retida no solo (mm); t é o tempo (dias); $Rday$ quantidade de água precipitada no dia (mm); $Qsurf$ escoamento superficial no dia (mm); $Ea$ evapotranspiração no dia (mm); W$seep$ percolação no dia (mm); $Qgw$ escoamento de base (mm).

Para estimar a produção de sedimentos, o SWAT+ emprega a Equação Universal de Perda do Solo Modificada (Modified Universal Soil Loss Equation — MUSLE) (Williams, 1975), que consiste em uma versão modificada da Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation — USLE). A MUSLE substitui o fator de erosividade da chuva, presente na USLE, pelo fator de escoamento superficial e considera a umidade antecedente do solo para estimativa da produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica (Sadeghi et al., 2007; Williams e Berndt, 1977; Williams, 1975). A produção de sedimentos é estimada conforme a Equação 2:

$$Sed = 11{,}8 * \left(Q_{surf} * q_{peak} * area_{hru}\right)^{0{,}56} * K_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * LS_{USLE} * CFRG \quad (2)$$

Onde: *Sed* é a produção de sedimento em um determinado dia (ton); $Q_{surf}$ é o volume do escoamento superficial (mm/ha); $q_{peak}$ é a taxa de escoamento de pico (m³/s); areahru é a área da unidade de resposta hidrológica, na qual é estimada a produção de sedimentos (ha); $K_{USLE}$ é o fator de erodibilidade do solo (0,013 ton/m²/hr), $C_{USLE}$ é o fator de uso e manejo do solo; $P_{USLE}$ é o fator de

práticas conservacionistas; $LS_{USLE}$ é o fator topográfico; *CFRG* de fragmentação esparsa (adimensional).

### 2.4. Calibração, validação e análise de desempenho

O desempenho do modelo foi avaliado por meio dos indicadores estatísticos: (a) o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (equação 3), (b) o Coeficiente de Determinação ($R^2$) (equação 4), (c) o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) (equação 5), (d) o Percentual de viés (PBIAS) (equação 6), (d) a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (equação 7) e, (e) o Índice de Eficiência de Kling-Gupta (KGE) (equação 8). A utilização conjunta dessas métricas permite uma análise abrangente da qualidade das simulações, considerando diferentes aspectos do ajuste entre os dados observados e simulados.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-\overline{Q_{obs}})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\overline{Q_{obs}})^2}\right] \quad (3)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\overline{Q_{obs}})(Q_{sim}-\overline{Q_{sim}})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\overline{Q_{obs}})^2\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-\overline{Q_{sim}})^2}\right] \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\overline{Q_{obs}})\,(Q_{sim}-\overline{Q_{sim}})}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\overline{Q_{obs}})^2 * \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-\overline{Q_{sim}})^2}} \quad (5)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-Q_{sim})}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs})}.100 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[(Q_{obs} - Q_{sim})]^2}, (0 \leq RMSE < +\infty) \quad (7)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (8)$$

onde, $Q_{obs}$ é a vazão observada, $\overline{Q_{obs}}$ é a média da vazão observada, $Q_{sim}$ é a vazão simulada, $\overline{Q_{sim}}$ é a média da vazão simulada, n é o número total de observações, r é a correlação de Pearson, α é a taxa entre o desvio padrão das series observada e simulada, e β é a taxa entre a média simulada e a média observada.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Calibração do modelo

A calibração do modelo SWAT+ foi realizada com base nos parâmetros identificados na etapa da análise de sensibilidade, empregando métodos de substituição de valores e alteração por porcentagem (Tabela 1). Para o posto Iguatum, foram ajustados os parâmetros cn2, esco, canmx, perco, alpha, revap_co e flo_min, relacionados principalmente ao escoamento superficial, fluxo de

base, interceptação da vegetação e percolação da água do solo. Para o posto Malhada, além desses parâmetros, foram necessários ajustes adiciomais em epco, cn3_swf, lat_ttime, revap_min, bf_mac, awc, k, chk, ovn e crk, evidenciando a maior complexidade da resposta hidrológica nessa seção da bacia.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros ajustados durante a calibração do SWAT+ para a BHAJ

| Parâmetros | Método | Iguatu | Malhada |
|---|---|---|---|
| cn2 | Porcentagem | -0.625 | 3.9462 |
| esco | Substituição | 0.828 | 0.5083 |
| epco | Porcentagem | - | 1.0000 |
| canmx | Substituição | 24.203 | 83.3811 |
| perco | Substituição | 0.953 | 1.0000 |
| cn3_swf | Substituição | - | 0.067 |
| lat_ttime | Substituição | - | 180.000 |
| alpha | Substituição | 0.552 | 0.7504 |
| revap_co | Substituição | 0.040 | 0.1091 |
| revap_min | Substituição | - | 17.0906 |
| bf_max | Substituição | - | 1.4808 |
| awc | Porcentagem | - | 10.0000 |
| k | Porcentagem | - | 20.0000 |
| chk | Porcentagem | - | 20.0000 |
| ovn | Substituição | - | 7.5135 |
| crk | Substituição | - | 1.0000 |
| flo_min | Substituição | 5.938 | - |

A análise visual dos hidrogramas de Iguatu e Malhada, figuras 2 e 3, respectivamente, mostra que o modelo foi capaz de representar satisfatoriamente a dinâmica temporal das vazões nos dois postos fluviométricos. No posto Iguatu (Figura 2), observa-se boa correspondência entre as séries observada e simulada, principalmente quanto à sazonalidade e aos principais eventos de escoamento, embora ainda ocorram discrepâncias na reprodução de alguns picos de vazão, como por exemplo no ano de 2004, apresentando uma subestimação do modelo. Para o posto Malhada (Figura 3), o modelo também representou adequadamente o comportamento hidrológico da bacia, acompanhando os picos de vazões observadas e apresentando melhor ajuste entre as séries ao longo do período analisado (1988 – 2010), apresentando melhor ajuste em relação às simulações preliminares.

.

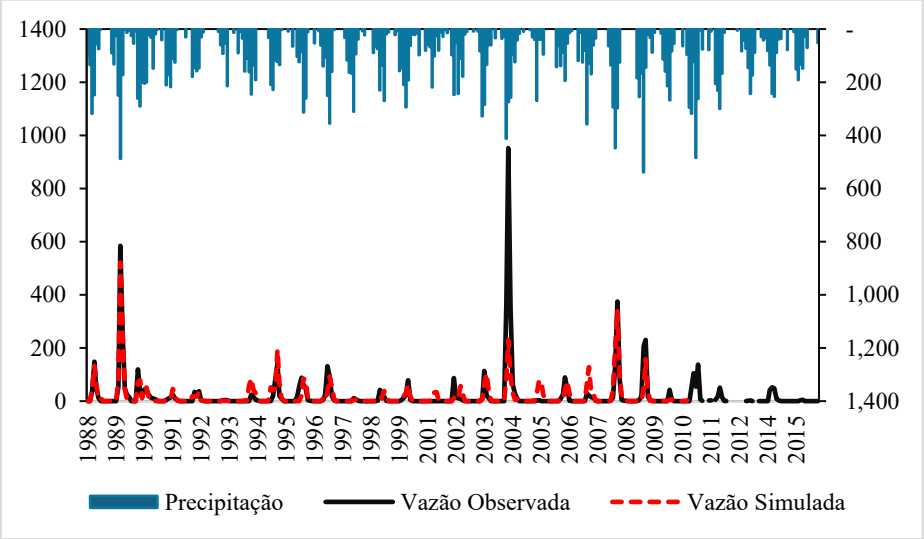



Figura 2 – Comportamento da vazão simulada com calibração do Posto Iguatu

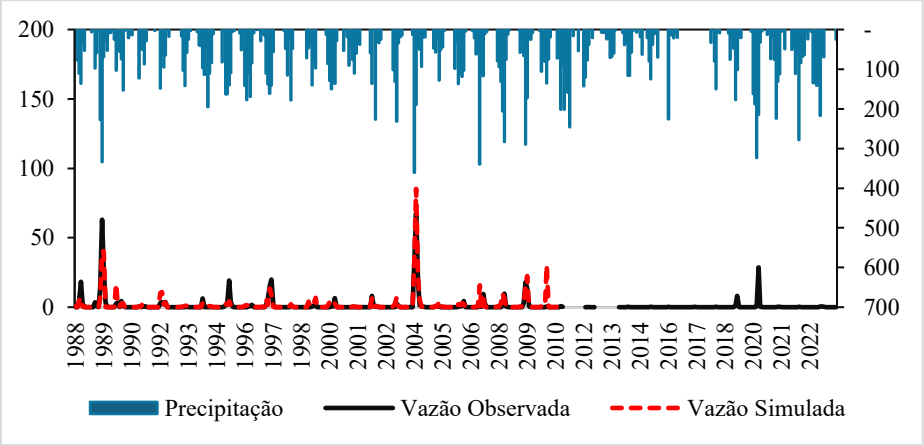



Figura 3 – Comportamento da vazão simulada com calibração do Posto Malhada

Os indicadores estatísticos, apresentados na Tabela 2, confirmam o desempenho do modelo após a calibração. No posto Iguatu, os valores de $R^2 = 0,59$; $r = 0,77$; NSE = 0,57 e KGE = 0,61, indicam desempenho satisfatório do modelo. A vazão média simulada (19,61 $m^3s^{-1}$) mostrou-se inferior à observada (22,68 $m^3s^{-1}$), refletindo uma tendência de subestimação dos picos de vazão, corroborada pelo PBIAS de 13,51%, indicando redução do viés da simulação. Já para o posto Malhada, o desempenho foi superior ao observado em Iguatu, com $R^2 = 0,77$; $r = 0,88$; NSE = 0,74 e KGE = 0,73, indicando boa representação das vazões simuladas. A vazão média simulada (2,04 $m^3s^{-1}$) apresentou proximidade em relação à observada (1,69 $m^3s^{-1}$), enquanto o PBIAS de -21,09% evidenciou leve tendência de superestimação. De modo geral, os resultados demonstram que a calibração permitiu representar adequadamente a dinâmica hidrológica da bacia, fornecendo uma base consistente para a estimativa da produção de sedimentos.

Tabela 2 – Indicadores estatísticos de desempenho do modelo SWAT+ para os postos fluviométricos Iguatu e Malhada

| Parâmetro estatístico | Vazão Observada | | Vazão Simulada Calibrada (1988-2010) | |
|---|---|---|---|---|
| | Iguatu | Malhada | Iguatu | Malhada |
| Média | 22.68 | 1.69 | 19.61 | 2.04 |
| Desvio Padrão | 82.51 | 6.83 | 51.24 | 7.28 |
| $R^2$ | - | - | 0.59 | 0.77 |
| NSE | - | - | 0.57 | 0.74 |
| Correlação (r) | - | - | 0.77 | 0.88 |
| KGE | - | - | 0.61 | 0.73 |
| PBIAS | - | - | 13.51 | -21.09 |
| RMSE | - | - | 54.20 | 3.51 |

### 3.2. Estimativa da produção de sedimentos

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da produção de sedimentos na bacia do Alto Jaguaribe, evidenciando elevada variabilidade entre as sub-bacias e unidades de respostas hidrológicas (URH). Observa-se predominância de valores compreendidos entre 2,01 e 10 t/ha.ano, distribuídos por grande parte da área de estudo, enquanto as maiores taxas (>20 t/ha.ano) concentram-se principalmente nas porções sul, sudeste e leste da bacia. Nessas regiões também são observadas áreas com produção superior a 50 t/ha.ano, indicando maior suscetibilidade aos processos erosivos e maior potencial de contribuição de sedimentos para a rede de drenagem.

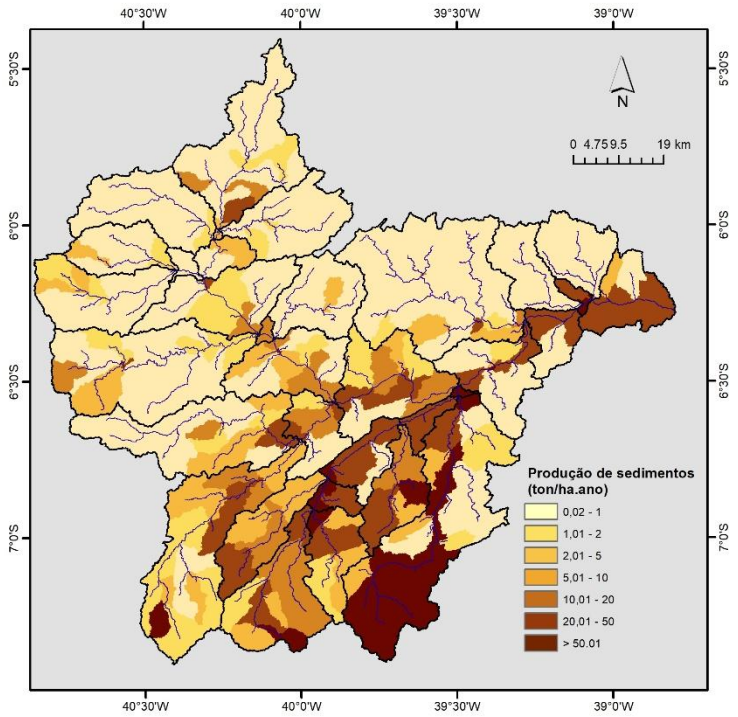



Figura 4 – Distribuição espacial da produção de sedimentos na bacia do Alto Jaguaribe.

Em contrapartida, as menores taxas de sedimentos (<2 t/ha.ano) predominam nas porções norte e central da bacia, sugerindo condições mais favoráveis à conservação do solo. A concentração das

maiores taxas em áreas específicas da bacia indica que os processos erosivos não ocorrem de forma homogênea, sendo influenciadas pelas características locais do relevo, dos solos e do uso da terra. Esses resultados evidenciam a heterogeneidade espacial dos processos erosivos na bacia e permitem identificar áreas prioritárias para adoção de práticas de conservação voltadas à redução das produções de sedimentos.

## 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o modelo SWAT+ foi capaz de representar satisfatoriamente a dinâmica hidrológica da bacia do Alto Jaguaribe após a calibração, apresentando desempenho adequado nos postos fluviométricos de Iguatu e Malhada. A estimativa da produção de sedimentos evidenciou uma distribuição espacial heterogênea na bacia, com predominância de áreas de baixa a moderada produção e concentração das maiores taxas em regiões mais suscetíveis aos processos erosivos. Esse comportamento reforça a influência das características físicas da bacia na geração e no transporte de sedimentos. De modo geral, a aplicação do SWAT+ mostrou-se adequada para a simulação hidrológica e a estimativa da produção de sedimentos na bacia, contribuindo para ampliar o entendimento dos processos hidrossedimentológicos na região do Alto Jaguaribe.

## REFERÊNCIAS


BIEGER, K.; ARNOLD, J.G.; RATHJENS, H.; WHITE, M.J.; BOSCH, D.D.; ALLEN, P.M.; VOLK, M.; SRINIVASAN, R. (2017). “Introduction to SWAT+, a completely restructured version of the Soil and Water Assessment Tool”. Journal of the American Water Resources Association 53(1), pp. 115-130.

DAROTA, F.D.; BORKO, H.B.; ADINEW, C.D.; EDAMO, M.L. (2024). “Prediction of sediment yield and hotspot areas in the Hamesa watershed, Ethiopia, for effective watershed management”. Journal of Water and Climate Change 15(4), pp. 1855-1868.

GONZALEZ RODRIGUEZ, L.; MCCALLUM, A.; KENT, D.; RATHNAYAKA, C.; FAIRWEATHER, H. (2023). “A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: recent changes and causal factors”. Aquatic Sciences 85(2), p. 60.

HATIYE, S.D.; TILAHUN, T.K.; EDAMO, M.L. (2026). “Modeling surface runoff, sediment yield and conservation measures using SWAT in the Ajima watershed, Upper Blue Nile, Ethiopia”. Scientific Reports 16, p. 4592.

IDREES, M.B. (2023). “Surface water reservoir storage depletion due to sediment deposition and possible management options” in Water and Environment for Sustainability: Case Studies from Developing Countries. Springer, pp. 131-144.

MACEDO, F.L.; MÉLLO JÚNIOR, A.V.; MARCELLINI, S.S.; PEDROTTI, A. (2012). "Modelagem da produção de sedimentos na sub-bacia hidrográfica do Riacho Jacaré - SE". Ra'e Ga: O Espaço Geográfico em Análise 24, pp. 206-227.

MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B.; LIMA, R.A.F.A. (2010). "Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14, pp. 181-186.

MOISA, M.B.; DEJENE, I.N.; HIRKO, O.; GEMEDA, D.O. (2022). "Impact of deforestation on soil erosion in the western Ethiopian highlands using geospatial techniques: a case study of the Upper Anger watershed". Asia-Pacific Journal of Regional Science 6(2), pp. 489-514.

SADEGHI, S.; MIZUYAMA, T.; GHADERI, V. (2007). "Conformity of MUSLE estimates and erosion plot data for storm-wise sediment yield estimation". Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 18(1), pp. 117-128.

SEIXAS, M.G.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. (2007). "Estimativa da produção de sedimentos no semiárido nordestino" in Anais do IX Encontro de Extensão e X Encontro de Iniciação à Docência, João Pessoa, 2007.

WILLIAMS, J.R. (1975). "Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor" in Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources: Proceedings of the Sediment Yield Workshop, Oxford, Mississippi, Nov. 1972, pp. 244-252.

WILLIAMS, J.R.; BERNDT, H.D. (1977). "Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology". Transactions of the ASAE 20, pp. 1100-1104.