

Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental

Fábio Luiz Mação Campos¹

André Luiz Nascentes Coelho²

Danielle de Almeida Bressiani³

Ivna Carla Herzog Mação Campos⁴

RESUMO

O modelo hidrológico SWAT+ é amplamente usado em todo o mundo para quantificação e espacialização de processos hidrológicos em bacias hidrográficas, sendo uma valiosa ferramenta de apoio para processos de planejamento ambiental e metodologias baseadas em geoecologia das paisagens. O objetivo do trabalho foi demonstrar as saídas do modelo e o potencial de uso do modelo para subsidiar o planejamento geoecológico. Para isso, uma pequena bacia hidrográfica do Espírito Santo foi modelada e calibrada. Um cenário base e um cenário alternativo foram simulados para comparação dos processos entre as duas situações. As saídas do cenário base e a comparação com o cenário alternativo demonstram que a quantificação e a espacialização proporcionadas pelo uso do modelo mostraram que essa ferramenta pode ser muito útil na avaliação das complexas relações entre os vários elementos da paisagem, proporcionando uma análise mais assertiva e embasada científicamente.

Palavras-Chave: Modelagem hidrológica; Bacia hidrográfica; Unidades da paisagem.

USE OF THE SWAT+ HYDROLOGICAL MODEL TO QUANTIFICATION AND SPATIALIZATION PROCESSES IN SUPPORT OF ENVIRONMENTAL PLANNING

ABSTRACT

The SWAT+ hydrological model is widely used around the world for quantifying and spatializing hydrological processes in river basins and can be a valuable support tool for environmental planning and methodologies based on landscape geoecology. The objective of the work was to demonstrate the model outputs and the potential for using the model to support geoecological planning. For this, a small river basin in Espírito Santo was modeled and calibrated. A base and an alternative scenario was simulated to compare the processes between the two situations. The outputs from the base scenario and the comparison with the alternative scenario demonstrate that the quantification and spatialization provided by the use of the model allow it to be a very useful tool in evaluating the complex relationships between the various elements of the landscape, providing a more assertive analysis and scientifically based.

Keywords/Palabras Clave: Hydrological modeling; Watershed; Landscape units.

¹ Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), fabiomacao@gmail.com

² Universidade Vila Velha, UVV, Brasil, alnc.ufes@gmail.com

³ Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Brasil, daniebressiani@gmail.com

⁴ Instituto Federal do Espírito Santo, ivnachmc@gmail.com

Introdução

A Geoecologia das Paisagens realiza a análise das paisagens com o intuito de, entre outras coisas, promover o uso racional dos recursos naturais, a conservação da biodiversidade, geodiversidade e os valores culturais, históricos e estéticos (Teixeira *et al.*, 2022). Essa abordagem, assim como a Teoria Geográfica da Paisagem, considera cada unidade paisagística um sistema onde entram matéria, energia e informação, permitindo sua modificação pelo homem (Moraes; Oliveira-Costa, 2023). Trata-se de uma metodologia de planejamento ambiental promissora e que pode ser muito enriquecida com os recursos, ferramentas e metodologias atuais.

O conhecimento e o estudo da estrutura e do funcionamento das paisagens podem ajudar na elaboração de desenhos ou modelos de gestão e desenvolvimento dos territórios (Vidal; Mascarenhas, 2020) e as bacias hidrográficas são tidas no âmbito do planejamento territorial como a unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas com a perspectiva de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental (Carvalho, 2020). O estudo de bacias hidrográficas tem ganhado relevância frente aos aspectos institucionais ligados a esse conceito em questões de planejamento e gestão ambiental (Rodrigues; Adami, 2010).

A Geoecologia tem a finalidade de estabelecer tanto relações quantitativas quanto qualitativas entre os diversos componentes do geocomplexo (Klink, 1981; Trajano, 2022), auxiliando no planejamento ambiental. Frente às demandas de aplicação e avaliação desses métodos e conceitos ao planejamento de bacias hidrográficas, os modelos surgem como uma alternativa para quantificação de diversas variáveis, entradas e saídas do sistema.

Para Mateo Rodríguez *et al.* (2013), a modelagem das paisagens como procedimento investigativo é concebida como a pesquisa com ajuda dos modelos da estrutura, funcionamento, dinâmica e desenvolvimento das paisagens e das relações e processos que neles ocorrem. Para os autores, os modelos permitem combinar os princípios de reducionismo e integração sintética sendo, portanto, instrumentos insubstituíveis na investigação de objetos de organização tão complexas como são as paisagens.

Entre as diversas modalidades de modelagem existentes estão os modelos hidrológicos, que representam processos naturais ou artificiais complexos e permitem simulações e previsões muitas vezes diferentes das condições sugeridas pela observação direta (Rodrigues; Adami, 2010).

Um grande número de modelos hidrológicos foi desenvolvido para enfrentar os desafios e vários níveis de complexidade da bacia hidrológica (Kauffeldt *et al.*, 2016), entre esses, o SWAT se destaca por ter sido desenvolvido para avaliar os efeitos dos cenários de gestão de bacias hidrográficas e das condições climáticas sobre os recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica (Naseri; Azari; Dastorani, 2021).

Uma evolução deste modelo, o SWAT+, é uma versão completamente reestruturada da SWAT que foi desenvolvida para enfrentar os desafios presentes e futuros na modelagem e gestão de recursos hídricos e para atender às necessidades da comunidade mundial de usuários e é muito mais flexível em termos de representação espacial de interações e processos dentro de uma bacia hidrográfica (Bieger *et al.*, 2017).

Esta nova versão do modelo introduziu ainda o conceito de “unidades de paisagem” ou *Landscape Units* (LSUs), o que oferece uma heterogeneidade espacial melhorada, tornando-o mais adaptável que o SWAT na representação das interações e processos que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica (Barresi Armoa *et al.*, 2023).

Neste trabalho, foi implementada a modelagem de uma pequena bacia hidrográfica localizada no estado do Espírito Santo – Brasil, para que os processos atuantes possam ser demonstrados, especializados e quantificados através deste modelo. Com isso, são apontadas possibilidades do uso do modelo e de suas discretizações espaciais e temporais como subsídio à avaliação de processos de planejamento espacial de bacias hidrográficas através de métodos procedimentos e técnicas advindas da geoecologia das paisagens.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

A área de estudo, chamada de Bacia de Rio Bonito, é uma bacia hidrográfica delimitada a montante da estação fluviométrica PCH Rio Bonito Montante 2 (código ANA 57117000). Foi escolhida pois as medições de vazão no local viabilizam a calibração do modelo da bacia e aumentam a confiabilidade dos cenários a serem simulados. A localização da Bacia, assim como a rede hidrográfica e o mapa hipsométrico, são mostrados na Figura 1.

A Bacia de Rio Bonito corresponde ao alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória (BHSMV). O Rio Santa Maria da Vitória é um dos principais rios que abastecem a Grande Vitória, capital do Espírito Santo, metrópole brasileira onde reside cerca metade da população de todo estado. Localizada em latitude/longitude aproximadas de 20° S / 40° W, possui uma área de 154 km² e está totalmente compreendida no município de Santa Maria de Jetibá, município com grande destaque para produção de hortifrutigranjeiros (CBHSMV, 2021; SOMA, 2003).

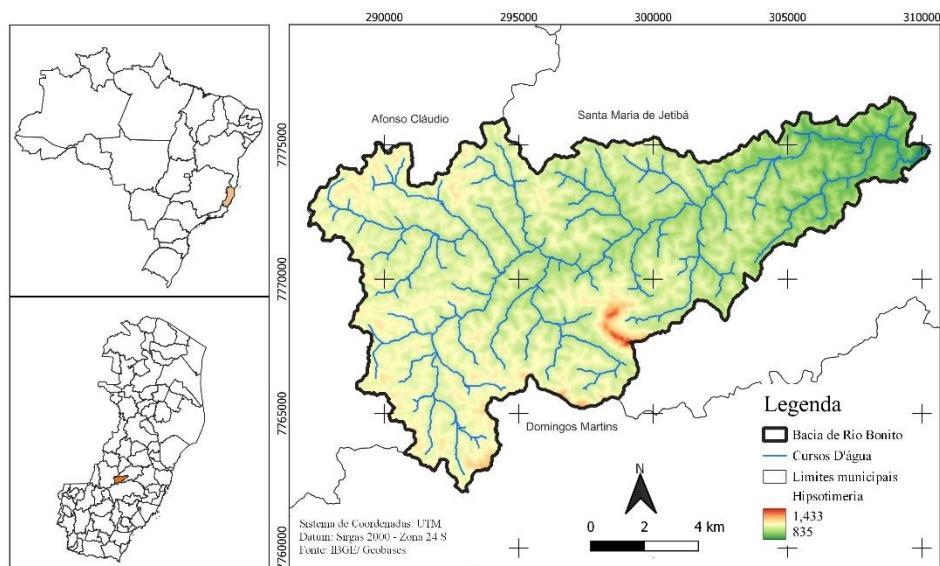


Figura 1: Rede hidrográfica e mapa hipsométrico da Bacia de Rio Bonito.

Fonte: Autoria própria.

Procedimentos operacionais

Os procedimentos metodológicos realizados para realização da pesquisa, envolveram a aquisição, preparação de dados e a realização da modelagem/ calibração, criação de cenários e análise dos resultados. Essas etapas e os procedimentos operacionais são resumidos na Figura 3.

Os dados espaciais de entrada utilizados para realização da modelagem, além do MDE, foram o mapa de solos, o mapa de uso da terra e as estações pluviométricas e climáticas, que são representadas na Figura 2.

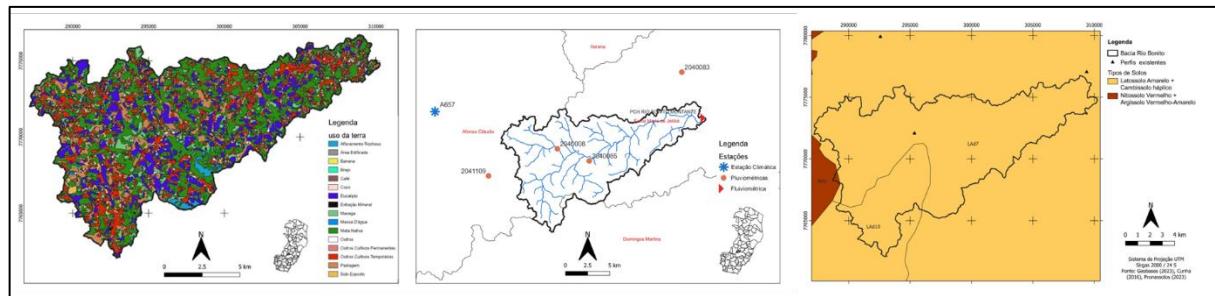


Figura 2: Dados espaciais de entrada utilizados para realização da modelagem.
Fonte: Autoria própria.

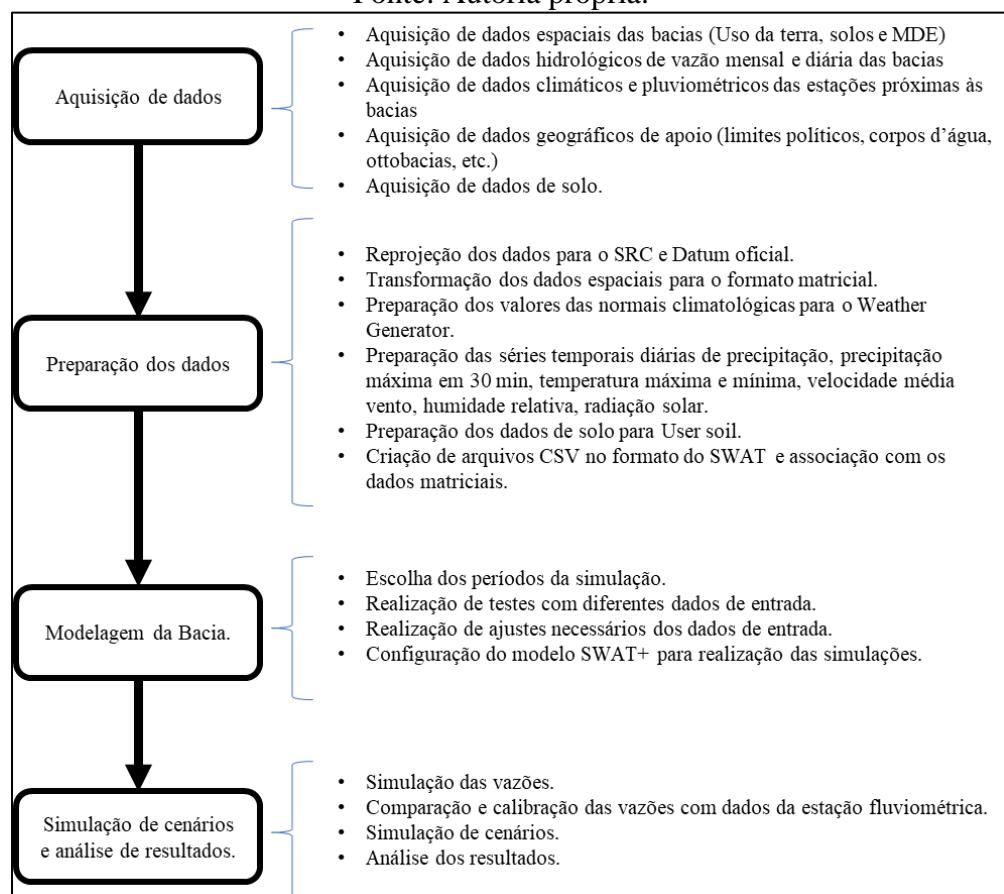


Figura 3: Etapas e procedimentos operacionais para realização da pesquisa.
Fonte: Autoria própria.

A modelagem da vazão foi realizada para os passos de tempo diário e mensal, para os quais haviam dados disponíveis para comparação e calibração dos resultados obtidos. A avaliação da modelagem é realizada através de critérios estatísticos de eficiência, sendo classificados em insatisfatório, satisfatório, bom e muito bom. A Tabela 1 mostra os índices obtidos após a calibração do modelo.

Tabela 1: Índices obtidos após a calibração do modelo.

Índice de eficiência avaliados	Simulação Mensal		Simulação Diária	
	Valor Obtido	Classificação	Valor Obtido	Classificação
R ²	0.58	Satisfatório	0.52	Satisfatório
NSE	0.58	Satisfatório	0.52	Satisfatório
Pbias	-4.44	Muito Bom	-4.64	Muito Bom
RSR	0.65	Satisfatório	0.69	Satisfatório

Fonte: Autoria própria.

Embora outras saídas possam ser calibradas, como sedimentos e cargas de nutrientes, a falta da disponibilidade desses monitoramentos impossibilitou sua realização. No entanto, uma vez que os critérios de avaliação da simulação realizada para a vazão foram considerados satisfatórios, pode-se inferir que o modelo está representando de maneira aceitável a maioria dos processos atuantes na bacia.

Resultados e Discussão

O processo de modelagem realizado pelo SWAT+ divide a bacia principal em sub-bacias, que por sua vez são subdivididas em Unidades de Paisagem (*Landscape Units – LSUs*). As LSUs são áreas que drenam diretamente para um determinado trecho de curso d’água, ou seja, são como sub sub-bacias. A Figura 4 mostra a discretização da bacia modelada em sub-bacias e o detalhamento da Sub-bacia 2 em LSUs.

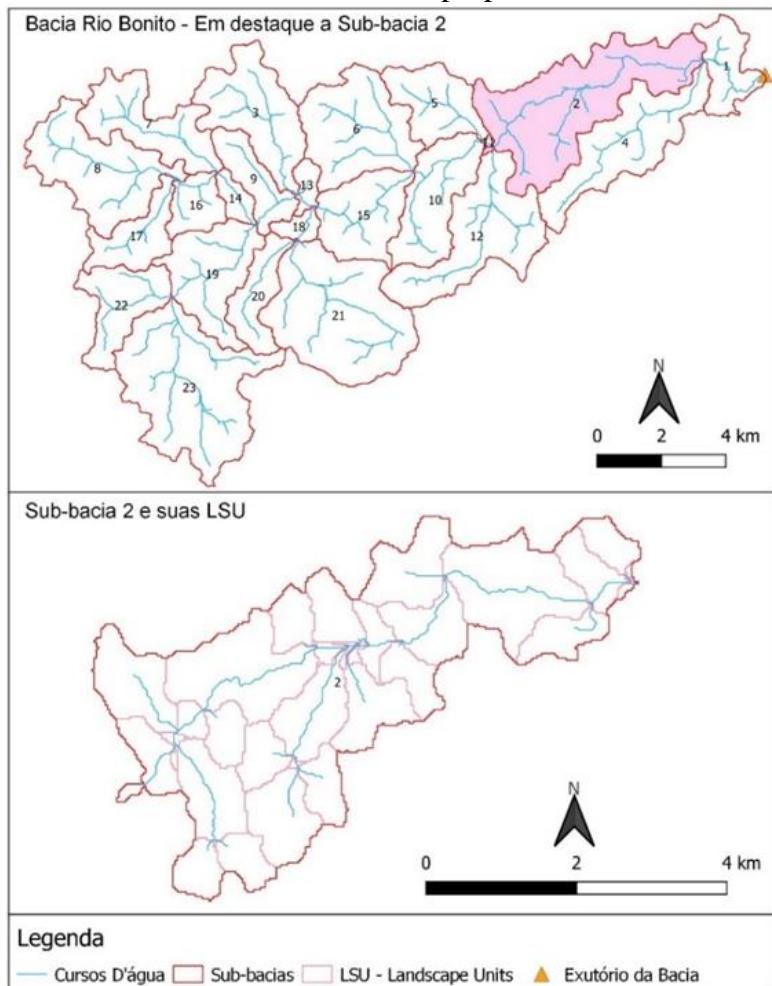
Concluído o processo de modelagem hidrológica e calibração dos valores de vazão, diversas variáveis podem ser representadas para cada um desses trechos de drenagem e para cada uma dessas LSUs, detalhando o comportamento da bacia em cada unidade.

A partir disso, diversos cenários podem ser simulados através do SWAT+, como de mudanças nas condições climáticas, alteração do uso da terra, implantação de práticas de manejo, adoção de práticas conservacionistas e etc.

Nesta sessão, serão apresentadas alguns dos resultados obtidos para a bacia modelada e suas possibilidades de utilização no planejamento ambiental e para avaliação de propostas construídas a partir dos métodos e técnicas da Geoecologia das Paisagens.

Figura 4: Sub-bacias e Unidades da Paisagem (LSUs).

Fonte: Autoria própria.



Vazão Hídrica

No projeto em questão, foram simulados os valores de vazão diária e mensal para o exutório da bacia modelada, que foram comparados com os valores de vazão observados pela estação fluviométrica existente. Os gráficos que comparando as vazões médias mensais simuladas e observadas, assim como os totais pluviométricos mensais da principal estação pluviométrica, são mostrados na Figura 5.

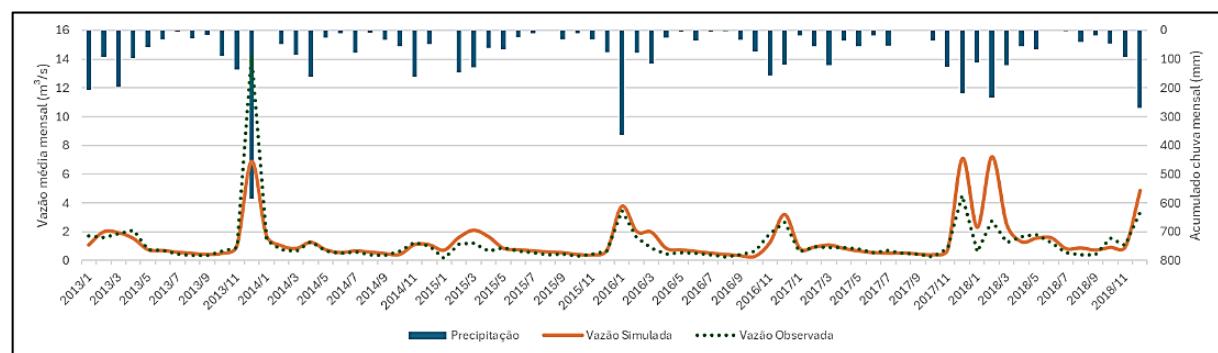


Figura 5: Comparação das vazões médias mensais simuladas e observadas, e totais pluviométricos mensais da estação 2040085.

Fonte: Autoria própria.

O modelo simula a vazão líquida e sólida para cada trecho de curso d'água e a fim de ilustrar e permitir a comparação entre a vazão de água e sedimentos, uma simulação da vazão média mensal (m^3/s) e da descarga sólida de sedimentos (toneladas) foi realizada e plotada para a sub-bacia 3 e pode ser visto na Figura 6.

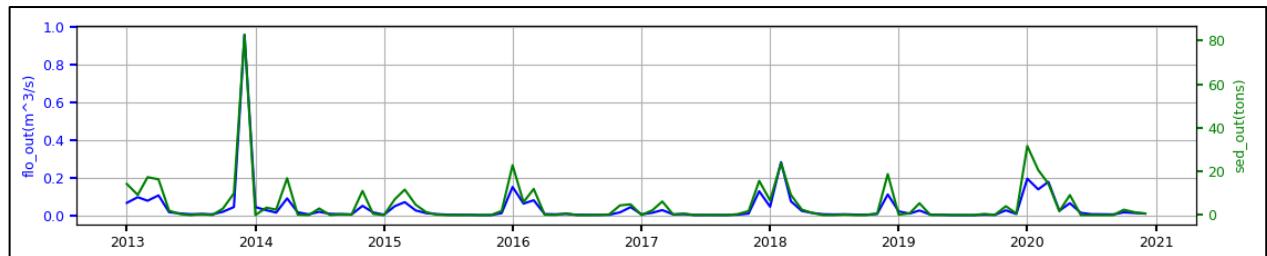


Figura 6: Gráfico mostrando a vazão média mensal e descarga sólida da sub-bacia 3.

Fonte: Autoria própria.

Como os valores de vazão não são simulados apenas para o exutório da bacia, mas para cada trecho de curso d'água da bacia, a vazão média em cada trecho pode ser obtida para um determinado dia, mês ou ano. Essas variáveis também podem ser mostradas cartograficamente, como pode ser observado na Figura 7, que mostra a vazão média no período simulado para os diversos cursos d'água existentes na bacia.

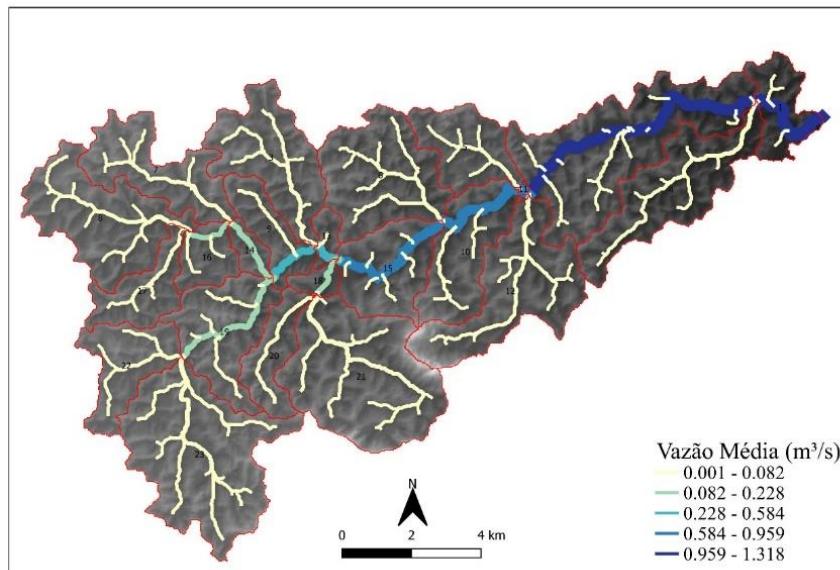


Figura 7: Vazão média no período simulado para os diversos cursos d'água existentes na bacia.

Fonte: Autoria própria.

O modelo é capaz de simular também outras características que podem, eventualmente, ser importantes para alguns projetos. Um exemplo dessas características é a variação da temperatura média mensal da água (Figura 8). Como há a entrada de dados topográficos e climáticos no modelo, essas características são simuladas e podem ser importantes na avaliação do ciclo do comportamento dos nutrientes e para entrada de algumas equações usadas no modelo.

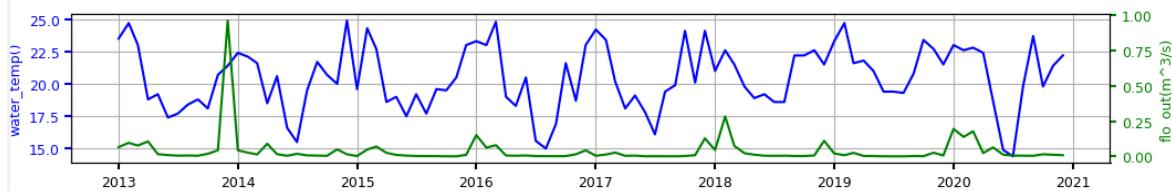


Figura 8: Gráfico mostrando a vazão média mensal (m^3/s) e a temperatura média da água ($^{\circ}C$) do curso d'água 55, exutório da Sub-bacia 3.

Fonte: Autoria própria.

A dinâmica da erosão e do transporte de sedimentos existente na bacia é calculada por meio da Equação Modificada de Perda de Solo (M-USLE), assim, conforme sejam as características do solo, da topografia, da vegetação e das chuvas, o total de sedimentos erodidos e transportados para os canais é calculado. Desta forma, com base na fase aquática do ciclo hidrológico e nas equações de transferência de matéria e energia, a entrada e saída de sedimentos de cada um dos trechos é estimado. Os resultados do aporte de sedimentos (entrada) e da descarga sólida (saída) em cada um dos trechos hidrográficos é comparado na Figura 9.

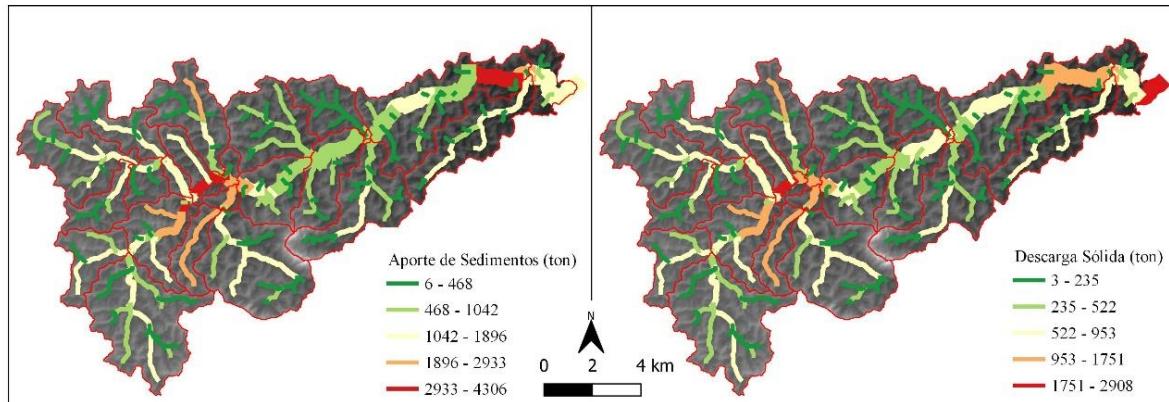


Figura 9: Comparação entre o aporte de sedimentos e a descarga sólida, ambos em toneladas, nos trechos hidrográficos.

Fonte: Autoria própria.

Com isso, o modelo simula outros fatores, como a quantidade média de sedimentos em suspensão presente em cada um dos trechos hidrográficos, o que pode ser observado na Figura 10. Além das quantidades de sedimentos, os módulos do modelo são capazes de simular também a presença de nutrientes (fósforo e nitrogênio) nos cursos d'água da bacia.

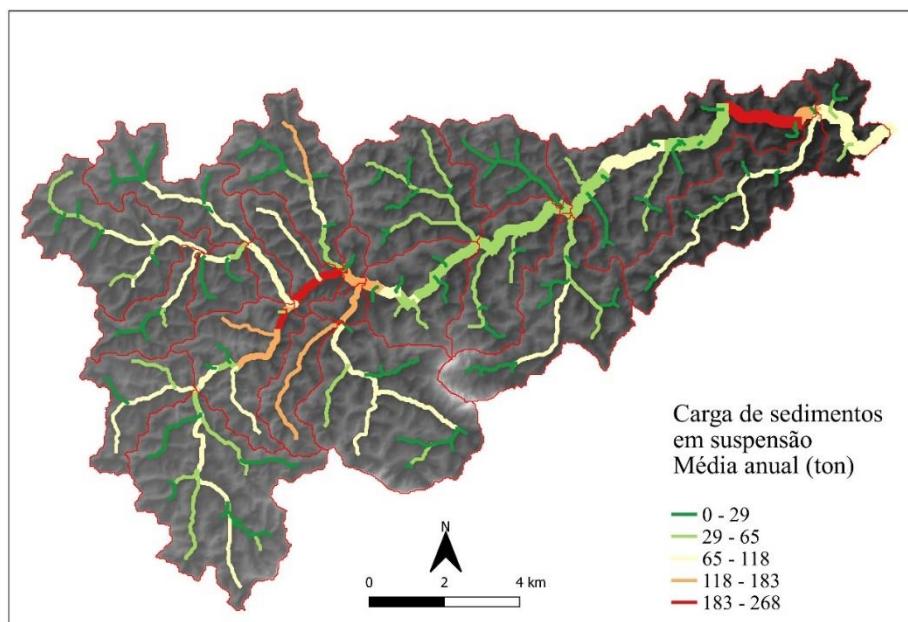


Figura 10: Quantidade média de sedimentos em suspensão (ton) presente nos trechos hidrográficos.

Fonte: Autoria própria.

Cabe ressaltar que o conhecimento das vazões, do aporte de sedimentos e da descarga sólida são aspectos essenciais para o planejamento hídrico e ambiental e a discretização espacial e temporal fornecida pelo modelo pode balizar fortemente a tomada de decisão inúmeros projetos, indicando trechos mais ou menos críticos da bacia e áreas que devem ser alvo prioritário para intervenções.

Balanço Hídrico

Alguns dos principais componentes do balanço hídrico da bacia também são simulados pelo modelo para as diversas unidades de paisagem e podem ser um importante aliado na concepção de projetos de planejamento ambiental. O modelo apresenta de forma ilustrada os diversos componentes do balanço hídrico para toda a bacia hidrográfica, conforme pode ser visualizado na Figura 11 e na tabela 2.

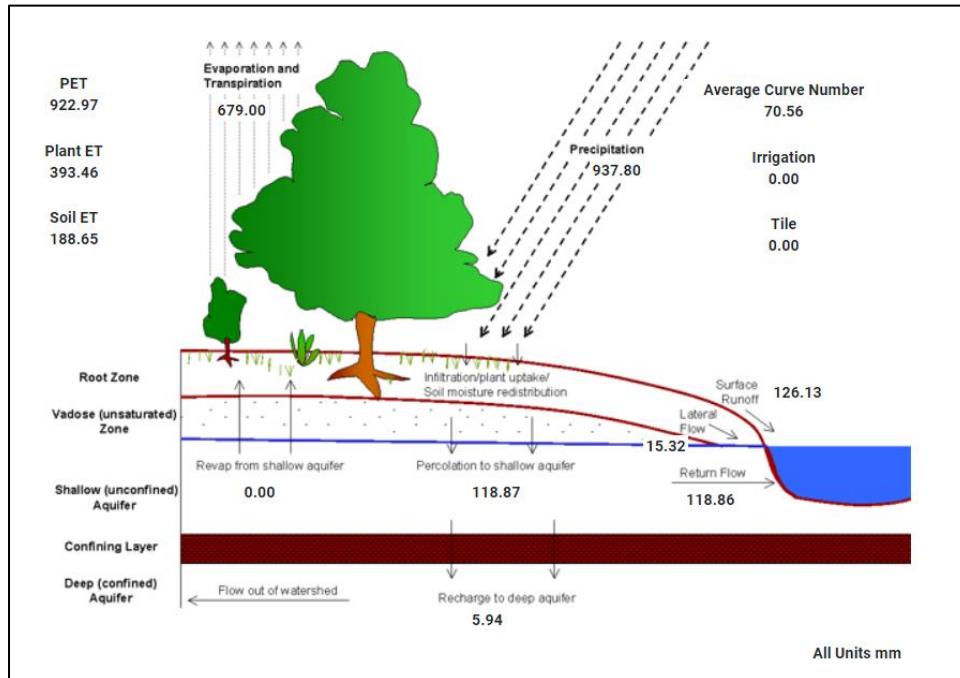


Figura 11: Valores médios do balanço hídrico fornecidos pelo modelo na Bacia de Rio Bonito para o período simulado.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Taxas relativas ao balanço hídrico na Bacia de Rio Bonito para o período simulado.

Taxas do Balanço Hídrico	Valor
Vazão / Precipitação	28%
Fluxo de Base / Vazão total	52%
Escoamento Superficial / Vazão Total	48%
Percolação / Precipitação	13%
Recarga de aquífero profundo / Precipitação	1%
Evapotranspiração / Precipitação	72%

Fonte: Autoria própria.

Além da atribuição dos valores para toda a bacia, os componentes do balanço hídrico podem também ser mostrados para cada uma das sub-bacias ou unidades de paisagem definidas no projeto. Um exemplo dessa apresentação pode ser vista na Figura 12, onde os valores da evapotranspiração potencial e efetiva são mostrados para cada uma das unidades de paisagem da Bacia.

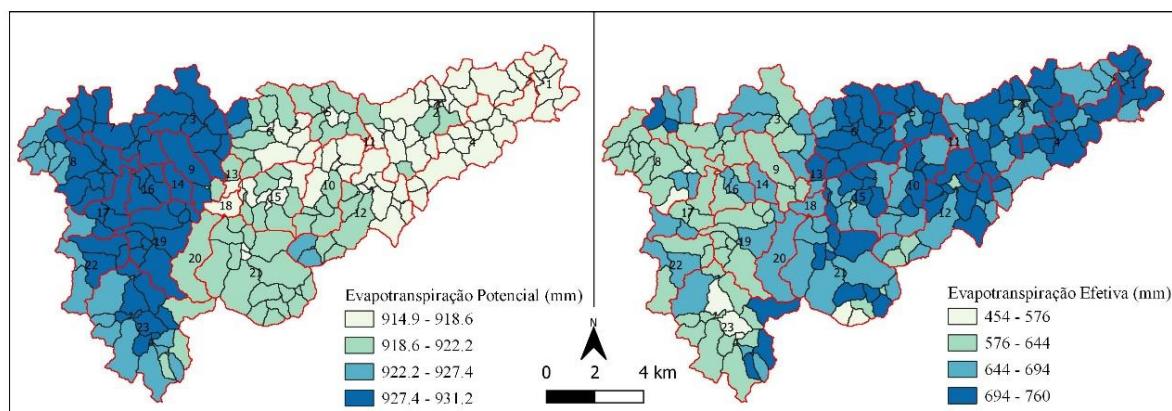


Figura 12: Valores médios de Evapotranspiração Potencial e Efetiva, em milímetros, para as Unidades da Paisagem (LSUs).

Fonte: Autoria própria.

As entradas de precipitação recebidas em cada uma das sub-bacias e unidades de paisagem podem estar associadas a diferentes estações pluviométricas. Essa quantidade de água recebida por meio das chuvas é distribuída conforme as características do solo e da vegetação, podendo ser destinada ao consumo e transpiração das plantas, escoada, percolada para o aquífero raso ou perdida para o aquífero profundo.

A parte da água que é drenada por escoamento superficial para os cursos hídricos ou chega até eles por escoamento lateral ou fluxo de retorno é a que contribui efetivamente para o incremento da vazão ou produção de água da bacia, podendo ser discriminada por unidade paisagem, conforme mostrado na Figura 13.

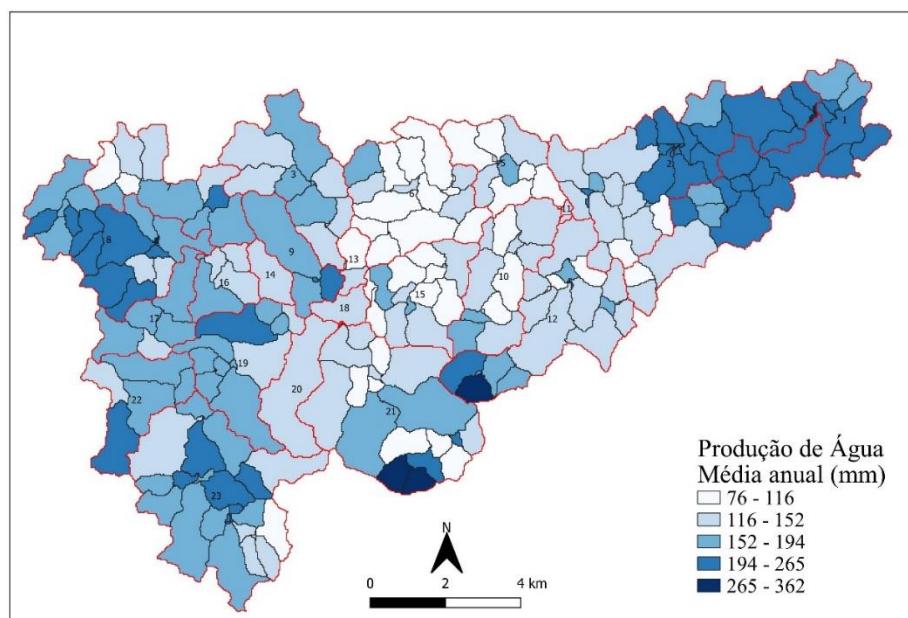


Figura 13: Média anual de produção de água (mm) nas Unidades da Paisagem (LSUs). .

Fonte: Autoria própria.

Como visto acima, é possível separar a proporção da água destinada a cada uma das etapas do ciclo hidrológico. Assim, por meio dos dados de declividade do terreno, tipo de

solo e vegetação, uma estimativa do escoamento superficial ocorrido em cada unidade de paisagem pode ser realizada, como pode ser observado na Figura 14.

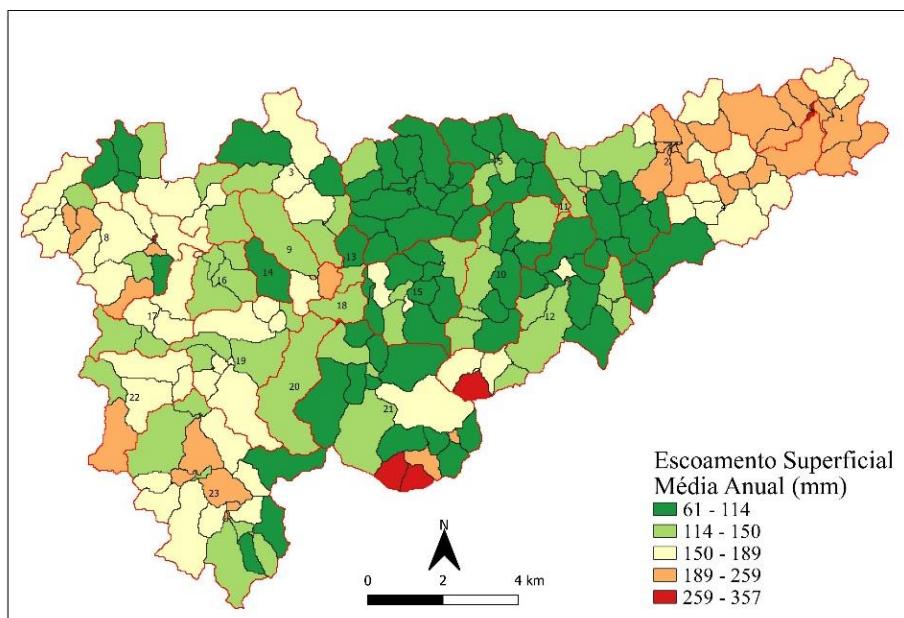


Figura 14: Média anual do escoamento superficial (mm) nas Unidades da Paisagem (LSUs).

Fonte: Autoria própria.

A produção de sedimentos por unidade de paisagem também é calculada pelo modelo (Figura 15), podendo auxiliar uma avaliação das áreas mais críticas em termos de erosão e aporte de sedimentos nos cursos d'água e indicando áreas prioritárias para ações de conservação de água e solo.

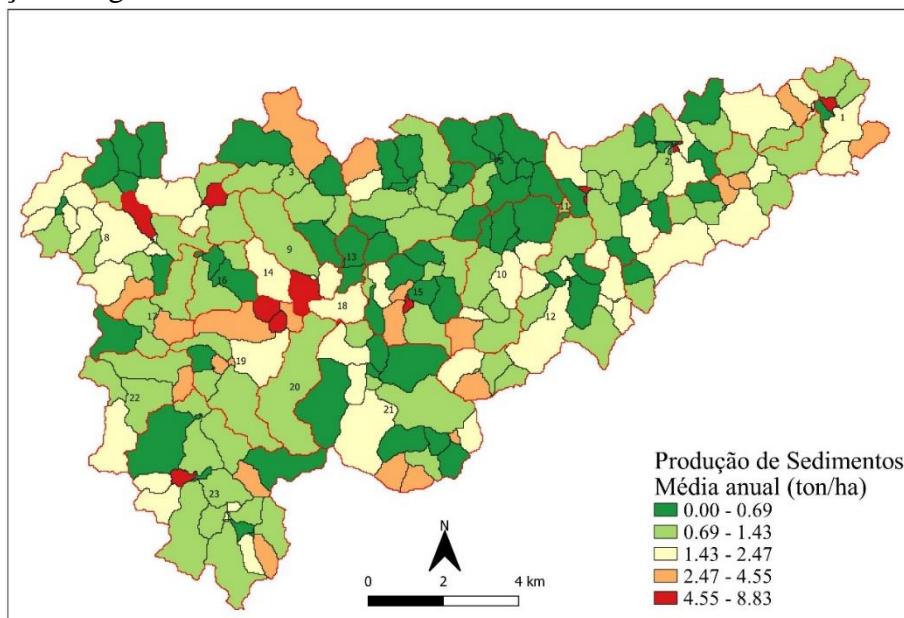


Figura 15: Média anual da produção de sedimentos (ton/ha) nas Unidades da Paisagem (LSUs).

Fonte: Autoria própria.

Outros componentes

O SWAT+ acopla uma série de outros modelos desenvolvidos paralelamente. Entre eles, os componentes agronômicos são capazes de simular muitas variáveis ligadas ao crescimento e produtividade de culturas. Com isso, algumas questões de interesse para o processo de planejamento ambiental podem ser simuladas pelo modelo, como por exemplo o Índice de Área Foliar (Figura 16) e a produção de biomassa (Figura 17).

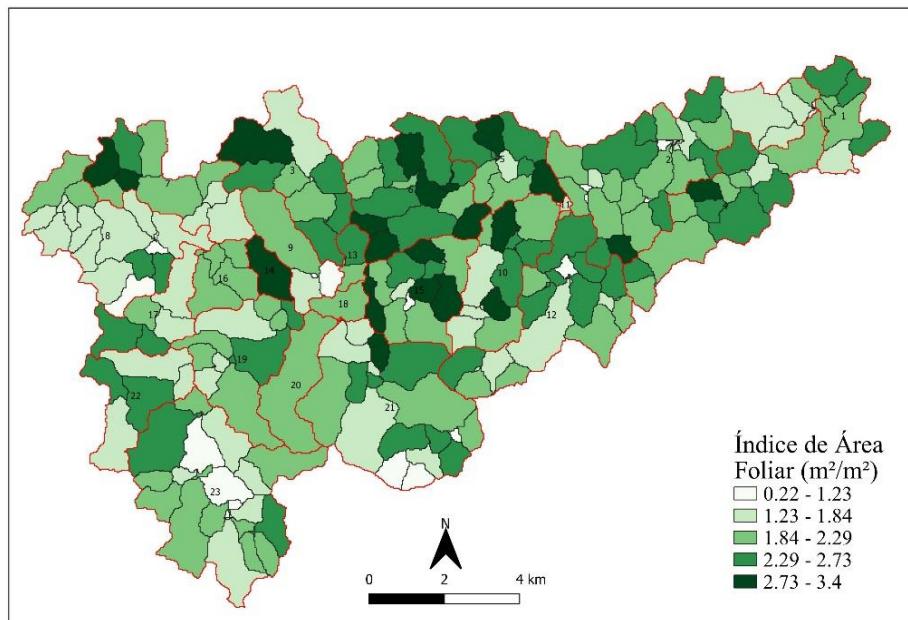


Figura 16: Índice de Área Foliar (m²/m²) nas Unidades da Paisagem (LSUs).
Fonte: Autoria própria.

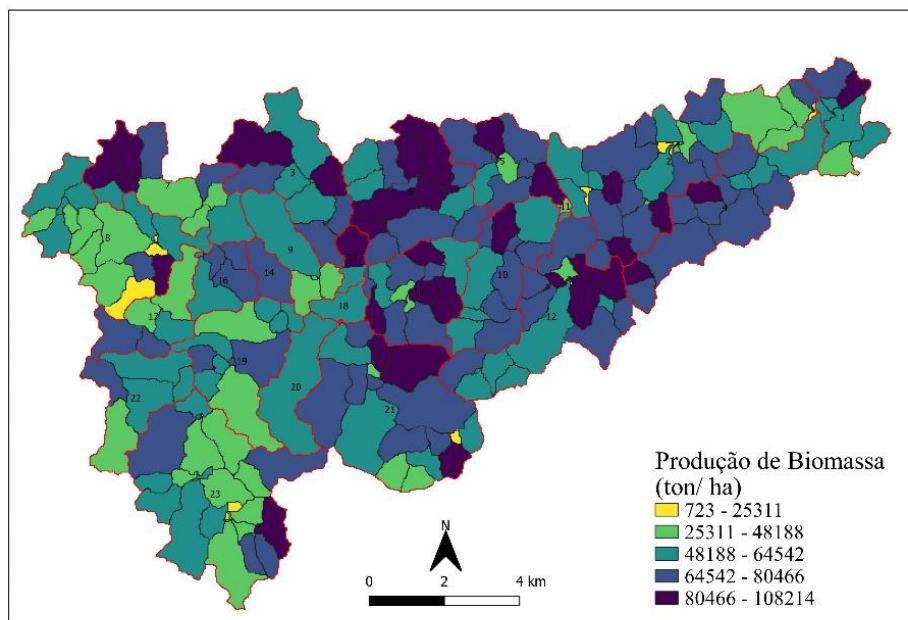


Figura 17: Produção de Biomassa (ton/ha) nas Unidades da Paisagem (LSUs).
Fonte: Autoria própria.

A partir da simulação realizada pelo modelo também é possível estimar questões ligadas à presença e ao movimento da água no solo. Em um de seus aspectos mais interessantes, o modelo calcula, com base na fase terrestre do ciclo hidrológico, os índices de recarga dos aquíferos (Figura 18). Para fins de delimitação de aquíferos, o modelo usa automaticamente as sub-bacias geradas a partir da rede de drenagem, haja vista que por não se tratar de um modelo hidrogeológico, o fluxo e a qualidade das águas subterrâneas não são o foco principal.

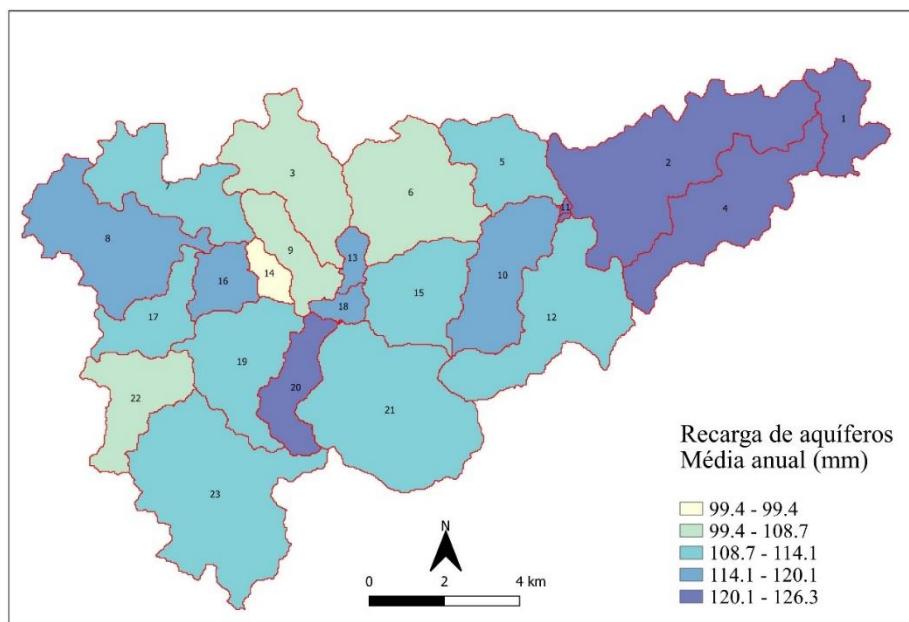


Figura 18: Índices de recarga de aquíferos (mm), por sub-bacia.
Fonte: Autoria própria.

Comparação de Cenários

Como citado anteriormente, o SWAT+ tem a capacidade de simular cenários diversos conforme as mudanças implementadas pelos usuários nos dados de entrada ou nas configurações iniciais.

A partir de um cenário inicial baseado no comportamento real da bacia (cenário base), todas as variáveis simuladas pelo modelo para um ou mais cenários alternativos podem ser comparadas a fim de se verificar as melhores opções para atingimento de metas mitigação de impactos negativos ou potencialização de efeitos positivos.

A fim de exemplificar essa possibilidade, foi criado para a bacia simulada um cenário alternativo onde uma prática conservacionista (terraços) foi aplicada em todos os locais onde haviam culturas agrícolas, plantações de eucalipto e pastagens, que ocupavam juntas cerca de 45% da área total.

A título de ilustração, foram comparadas as diferenças da evapotranspiração efetiva, do escoamento superficial e da produção de água nas diferentes unidades de paisagem da bacia para cada um dos cenários.

A aplicação de terraços possibilita uma redução do escoamento superficial, haja vista que essa técnica tem como um dos principais objetivos reduzir os índices de erosão através do aumento da infiltração. Esta alteração no escoamento pode ser visualizada na Figura 19, que indica que algumas unidades tiveram uma redução de até 23%.

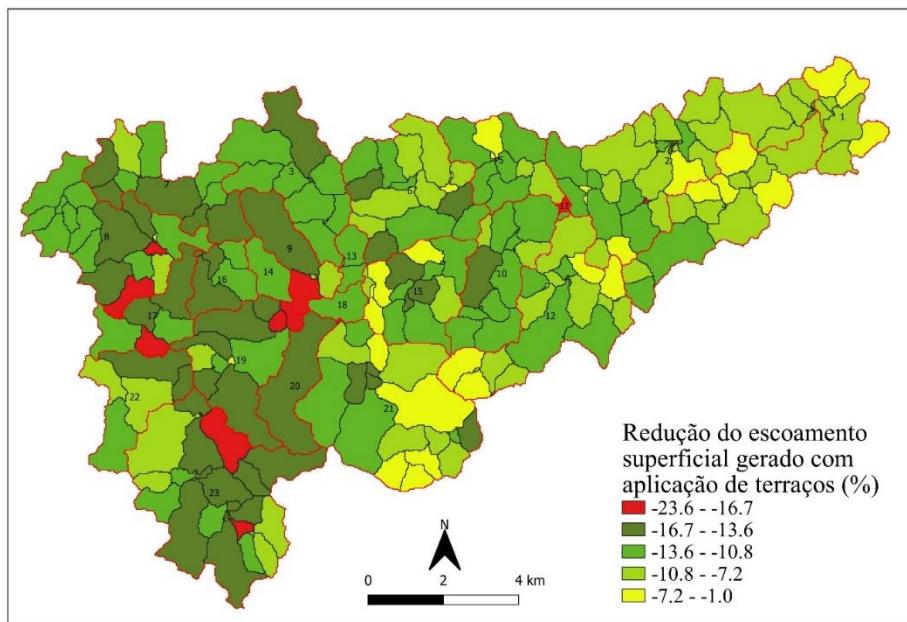


Figura 19: Comparação do escoamento superficial gerado no cenário base com o gerado, com a aplicação de terraços, por Unidade da Paisagem (LSU).

Fonte: Autoria própria.

Com a maior retenção de água no solo e maior disponibilidade para consumo das plantas, a tendência é que haja também uma alteração nos índices de evapotranspiração. Esse aumento pode ser medido por meio da comparação entre as duas simulações realizadas e é visualizado na Figura 20, onde é possível perceber que os valores de evapotranspiração podem aumentar em mais de 5%.

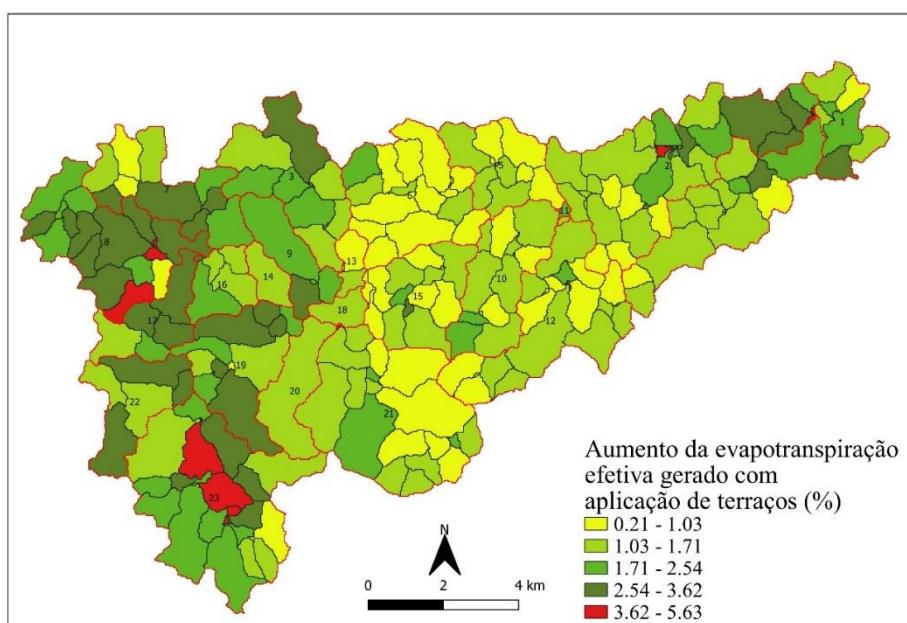


Figura 20: Comparação da evapotranspiração efetiva no cenário base com o gerado com a aplicação de terraços, por Unidade da Paisagem (LSU).

Fonte: Autoria própria.

A aplicação do cenário conservacionista proposto e avaliado reflete, por fim, numa redução da produção de água nas diversas unidades de paisagem da bacia, como pode ser observado na Figura 21. Consequentemente, a vazão média dos cursos d'água sofreu uma redução em semelhante proporção (Figura 22) e que foi de cerca de 4,33% no exutório da bacia.

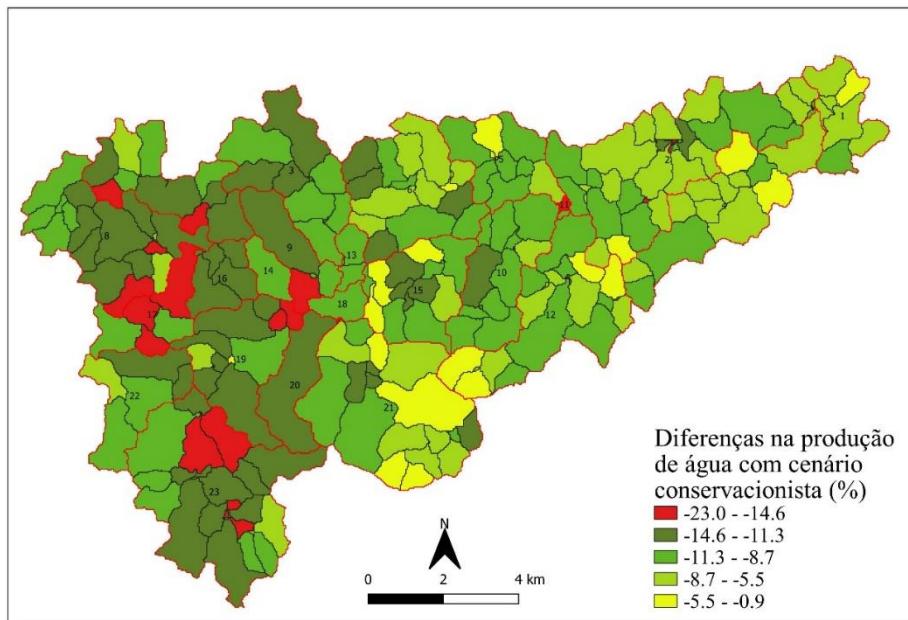


Figura 21: Comparação da produção de água no cenário base com o gerado com a aplicação de terraços, por Unidade da Paisagem (LSU).

Fonte: Autoria própria.

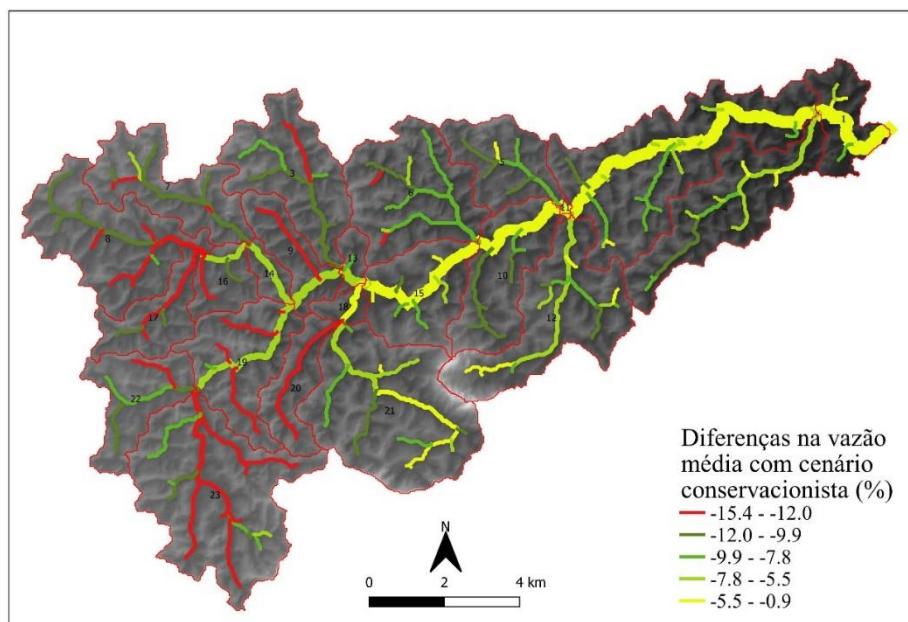


Figura 22: Diferenças de vazão média no cenário base com o gerado com a aplicação de terraços nos diversos trechos hidrográficos.

Fonte: Autoria própria.

Embora possa parecer com a análise dos valores médios que a aplicação das práticas conservacionistas seja um resultado negativo para a bacia, como o modelo simula a vazão em diferentes passos de tempo essa análise pode ser mais bem elaborada.

Ao realizar a análise estatística dos dados diários de vazão (Tabela 3) observou-se que houve uma redução das vazões de pico em dias de total pluviométrico elevado e aumento das vazões mínimas registradas em períodos de estiagem. Esses resultados, ao contrário do percebido ao se analisar a média de forma isolada, são bastante positivos e implicam na redução dos efeitos das enchentes e menos problemas com racionamento e escassez de água na bacia.

Índices Estatísticos	Vazão dos Cenários		Variação (%)
	Base	Terraços	
Média	1.318	1.261	-4.30%
Mínima	0.266	0.285	7.10%
Percentil 5	0.402	0.427	6.20%
Percentil 10	0.464	0.478	3.00%
Percentil 90	2.23	2.061	-7.60%
Percentil 95	3.83	3.519	-8.10%
Máxima	40.5	36.8	-9.10%

Tabela 3: Índices estatísticos da vazão diária simulada para o exutório da bacia modelada.

A análise dos valores de vazão diária mostra que a vazão mínima no período simulado aumentou cerca de 7% e, assim como as vazões de estiagem mais severas (5% menores), tiveram um aumento que pode ser determinante na captação e uso pela comunidade local.

Campos, Fábio Luiz Mação; Coelho, André Luiz Nascentes; Bressiani, Danielle de Almeida; Campos, Ivna Carla Herzog Mação; ***Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental.*** Revista Pantaneira, V. 24, EDIÇÃO ESPECIAL CIGEPPAM(UFC), UFMS, Aquidauana-MS, 2024.

As vazões de pico com potencial para causar enchentes indesejadas, por outro lado, tiveram uma redução nos valores diárias. Esses valores devem ser ainda mais significativos no passo de tempo diário, porém não haviam dados pluviométricos que possibilitessem a simulação nesse intervalo para a bacia.

Considerações Finais

A paisagem é formada pela interrelação entre diversos componentes naturais e antrópicos que se influenciam mutuamente para resultar nas variáveis ligadas à gestão dos recursos hídricos. Os processos de planejamento ambiental das bacias hidrográficas podem, então, ser fortemente enriquecidos com os dados quantitativos advindos dos modelos hidrológicos. A versatilidade e abrangência do SWAT+ faz dele um dos mais utilizados modelos da atualidade, sendo de grande utilidade sua integração aos métodos de análise espacial e ambiental.

Grande parte dos valores mostrados neste trabalho referem-se à média anual ou totais. Porém, como o modelo realiza a simulação em diferentes passos temporais, é possível gerar mapas que indiquem a distribuição das variáveis no passo mensal, diário e até sub-diário, caso isso seja importante para a análise desejada.

Além disso, a espacialização dos resultados permite que o planejamento ambiental e as metodologias ligadas à Geocologia das Paisagens sejam melhor avaliados, tornando o processo mais assertivo e direcionado e possibilitando a proposição de intervenções localizadas e avaliação dos resultados em outras variáveis da bacia hidrográfica.

Conclui-se, assim, que a incorporação de métodos quantitativos ligados à dinâmica hídrica no planejamento ambiental, tal qual os possibilitados pela adoção de modelos hidrológicos, são de grande utilidade e devem ser incentivados sempre que possível.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pelo apoio à pesquisa e à UFES – Universidade Federal do Espírito Santo e ao IFES – Instituto Federal do Espírito Santo pela participação de seus quadros na pesquisa.

Referências

- BARRESI ARMOA, Osvaldo Luis *et al.* Representation of Hydrological Components under a Changing Climate—A Case Study of the Uruguay River Basin Using the New Version of the Soil and Water Assessment Tool Model (SWAT+). **Water**, [s. l.], v. 15, n. 14, p. 2604, 2023.
- BIEGER, Katrin *et al.* Introduction to SWAT+, A Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 115–130, 2017.
- CARVALHO, Andreza Tacyana Felix. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno prudentino de Geografia**, [s. l.], v. 1, n. 42, p. 22, 2020.
- CBHSMV, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória. **De Olho no Rio - Santa Maria da Vitória**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/cbh-smv>. Acesso em: 7 dez. 2022.
- KAUFFELDT, A. *et al.* Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 75, p. 68–76, 2016.

Campos, Fábio Luiz Mação; Coelho, André Luiz Nascentes; Bressiani, Danielle de Almeida; Campos, Ivna Carla Herzog Mação; ***Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental.*** Revista Pantaneira, V. 24, EDIÇÃO ESPECIAL CIGEPPAM(UFC), UFMS, Aquidauana-MS, 2024.

KLINK, H. J. **Geoecologia e Regionalização Natural.** 1. ed. São Paulo: IGEO - USP, 1981. (, v. Geoecologia e regionalização natural: bases para a pesquisa ambiental). v. 1

MATEO RODRÍGUEZ, José Manuel; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 4^a eded. Fortaleza: UFC, 2013.

MORAIS, Antônia Nayara Sério de; OLIVEIRA-COSTA, Jorge Luis P. O que é geoecologia das paisagens? Elementos para uma síntese. **Revista Ciência Geográfica**, [s. l.], v. XXVII, n. 2, p. 1077–1096, 2023.

NASERI, Farzaeh; AZARI, Mahmood; DASTORANI, Mohammad Taghi. Spatial optimization of soil and water conservation practices using coupled SWAT model and evolutionary algorithm. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 566–577, 2021.

RODRIGUES, Cleide; ADAMI, Samuel Fernando. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental.** 1. ed. São Paulo: Editora Sarandi, 2010.

SOMA, Soluções em Meio Ambiente. **Estudo de Impacto Ambiental PCH Timbuí Seco rio Santa Maria da Vitória.** [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/EIA-2003>. Acesso em: 7 dez. 2022.

TEIXEIRA, Nagila Fernanda Furtado *et al.* Subsídios teórico-metodológicos da geoecologia das paisagens ao planejamento ambiental. **Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 62–71, 2022.

TRAJANO, Tárcis Dos Santos. **Geoecologia das paisagens aplicada a identificação de impactos ambientais no estuário do Rio Potengi-RN.** 2022. Dissertação Mestrado em Geografia – PPGe - UFRN, Natal - RN, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/49722>. Acesso em: 25 fev. 2024.

VIDAL, Maria Rita; MASCARENHAS, Abraão Levi Dos Santos. Estrutura e funcionamento das paisagens litorâneas cearenses à luz da Geoecologia das Paisagens. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 600–615, 2020.