

PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DA MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA E ESTUDO DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS DE USO E COBERTURA DO SOLO

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF WATERSHEDS FROM THE HYDROSEDIMENTOLOGICAL MODELING AND STUDY OF ALTERNATIVE LAND COVER SCENARIOS

Yenê Medeiros PAZ¹, Jadson FREIRE-SILVA¹, Romildo Morant de HOLANDA²,
Josiclêda Domiciano GALVÍNCIO¹

¹Universidade Federal de Pernambuco. Avenida Professor Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil.
E-mails: yenemedeiros@hotmail.com; jadsonfreireufpe@hotmail.com; josicledagalvinctio@ufpe.br

²Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, Brasil.
E-mail: romildomorant@ufrpe.br

Introdução

Material e métodos

Área de estudo

Considerações gerais sobre o SWAT (Soil And Water Assessment Tool): processamentos e entradas no modelo hidrossedimentológico

Informações gerais sobre o mapeamento e cenários do uso e cobertura do solo

Resultados e discussão

Considerações finais

Referências

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi analisar os resultados da modelagem hidrossedimentológica sob diferentes cenários alternativos de uso e cobertura do solo para a bacia hidrográfica do rio Goiana (Pernambuco), discutindo-se quanto ferramenta para o planejamento e ambiental de bacias hidrográficas. Utilizou-se o modelo hidrológico SWAT junto ao SWAT-CUP para execução dos produtos de vazão, sedimentos e cenários hipotéticos. O cenário alternativo de reflorestamento demonstra que as áreas de vegetação nativa reduzem as vazões de pico no período chuvoso e elevam a disponibilidade hídrica nos períodos que sucedem o período chuvoso. Para produção de sedimentos, o cenário de expansão urbana acarretou estimativas superiores, o que pode ser relacionado a redução de áreas florestais e aumento de áreas impermeabilizadas. O cenário do Uso Atual apresentou aporte considerável de sedimentos, demonstrando o impacto que a produção agropecuária possui nos processos erosivos. Em ambos os cenários se reconhece a necessidade do desenvolvimento de estratégias de conservação ambiental, em que se retrata neste trabalho os benefícios da recuperação de áreas degradadas e preservação de áreas florestais. Os resultados da modelagem hidrossedimentológica obtidos para os três cenários estabelecidos neste trabalho demonstram a possibilidade da aplicação desses como uma ferramenta de planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Modelos hidrológicos. Planejamento. Sedimentos. Hidrossedimentologia.

ABSTRACT - This research aimed to analyze the results of hydrosedimentological modeling under different alternative land use and land cover scenarios for the Goiana river watershed (Pernambuco), discussing it as a tool for watershed planning and environmental management. The SWAT hydrological model was used together with SWAT-CUP to run the flow, sediment, and hypothetical scenarios. The alternative reforestation scenario demonstrates that areas of native vegetation reduce peak flows in the rainy season and increase water availability in the periods following the rainy season. For sediment production, the urban expansion scenario resulted in higher estimates, which can be related to reducing forested areas and increasing sealed areas. Finally, the current use scenario presented considerable sediment contribution, demonstrating agricultural production's impact on the erosive processes. In both scenarios, the development of environmental conservation strategies is recognized. In addition, the results of the hydrosedimentological modeling obtained for the three scenarios established in this work demonstrate the possibility of applying them as a tool for watershed planning and management.

Keywords: Hydrological models. Planning. Sediments. Hydrosedimentology.

INTRODUÇÃO

No cenário atual mundial, muitas são as discussões ambientais sobre sustentabilidade ambiental, políticas e regulamentações ambientais, responsabilidade socioambiental, e até mesmo dos impactos das atividades antrópicas e soluções ambientalmente viáveis. Nesse âmbito, um tema que tem possibilitado diferentes análises físicas, territoriais, políticas e administrativas em conjunto é o planejamento e gestão ambiental.

Dentre os diversos objetos de estudo de

análises ambientais, a bacia hidrográfica tem sido foco de diversas pesquisas, visto que é uma unidade onde os diferentes fenômenos hidrológicos podem ser bem representados. Em relação a estas unidades, alguns trabalhos referentes ao planejamento e gestão vêm sendo desenvolvidos como o de Bernardi et al. (2012), Carvalho (2014), Fabbro Neto & Souza (2017a), Joia et al. (2018), Mauro et al. (2017), Miranda (2015), Peres & Silva (2013), Porto & Porto (2008) e Porto & Ferreira (2012).

Para a legislação brasileira, essa é considerada uma unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), que se constituem em unidades de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais (Brasil, 1991). Bacci & Pataca (2008) também descrevem a bacia hidrográfica como uma área composta por fatores naturais e antrópicos, influenciada pela ocupação humana.

Em relação aos distintos instrumentos de gestão de bacias hidrográficas, Porto & Porto (2008) esclarecem que estes devem ser utilizados de maneira a atender expectativas da comunidade, bem como condições naturais da área. Assim, a gestão territorial poderá incentivar ou reprimir algumas atividades, assim como uso e ocupação do solo, que possam impactar os recursos hídricos. Para Mauro et al. (2017), o planejamento de recursos hídricos pode auxiliar o desenvolvimento de planos e políticas públicas que contribuam para uma proteção dos recursos hídricos, assim como ainda pode gerir o acesso e usos da água, onde alguns fatores podem cooperar para o sucesso do gerenciamento permitindo a articulação de escalas locais e regionais, a integração com instrumentos de planejamento territorial, além da participação da sociedade (Fabbro Neto & Souza, 2017b).

A legislação enfatizada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433/1997 tem como fundamento uma gestão de recursos hídricos descentralizada, com participação da União, estados e municípios, e representação popular (Brasil, 1997), sendo uma das diretrizes que prezam a integração da gestão dos recursos hídricos à gestão ambiental. Peres & Silva (2013) apontam que o planejamento urbano junto a legislação mantém influência na gestão hídrica de bacias hidrográficas com relevante importância do plano diretor para proteção dos recursos hídricos, zoneamento, áreas especiais e os coeficientes urbanísticos. Por isso constata-se

a importância da integração das políticas públicas, para que haja uma adequação do uso e ocupação do solo para o bem-estar e qualidade de vida da população urbana e uso racional dos recursos naturais (Honda et al., 2015).

Nesse sentido, os modelos hidrológicos podem auxiliar no planejamento e gestão de bacias hidrográficas, visto que podem ser utilizados para avaliar impactos de mudanças no uso e cobertura do solo, auxiliar na determinação da disponibilidade hídrica atual e futura dos recursos hídricos, bem como contribuir para a seleção de áreas a serem conservadas ou preservadas. Assim, permitem ao comitê de bacias hidrográficas o conhecimento técnico para a tomada de decisões (ANA, 2011).

O modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) (Arnold et al., 1998) vem sendo utilizado por diferentes pesquisadores brasileiros e no mundo para analisar diferentes processos e quantificar impactos de manejo dentro da unidade de uma bacia hidrográfica, seja referente ao balanço hídrico, qualidade de água, sedimentos, nutrientes. E sua utilização para a gestão integrada de bacias hidrográficas, bem como para a discussão da integração desse modelo ao processo de tomada de decisões é um aspecto de interesse para o desenvolvimento sustentável. Sabendo-se que o estudo do uso e ocupação de uma bacia constitui-se de um fator de avaliação da degradação ambiental (Araújo et al., 2009; Schiavo et al., 2016; Valle et al., 2013), estando incluído como relevante fator que contribui nas pesquisas oriundas da modelagem hidrológica, o estudo de cenários alternativos de uso e cobertura do solo se torna uma ferramenta fundamental no planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Frente a isso, o objetivo deste trabalho foi analisar os resultados da modelagem hidrossedimentológica sob diferentes cenários alternativos de uso e cobertura do solo para a bacia hidrográfica do rio Goiana (Pernambuco), discutindo-se quanto ferramenta para o planejamento e ambiental de bacias hidrográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Localizada no estado de Pernambuco entre a latitude 07°22'20'' e 07°54'47'' sul e longitude entre 34°49'06'' e 35°41'43'' oeste (Figura 1), a bacia hidrográfica do rio Goiana cobre uma área de 2.847,53 km².

Esta bacia hidrográfica corresponde a uma

área de interesse econômico no estado de Pernambuco devido a elevada atividade agrícola e industrial, na qual podem ser pontuados alguns usos do solo na bacia, como monocultura da cana de açúcar, policultura, pecuária, ocupação urbana e industrial, aquicultura e áreas de vegetação arbórea e arbustiva (Condepe/Fidem, 2005).

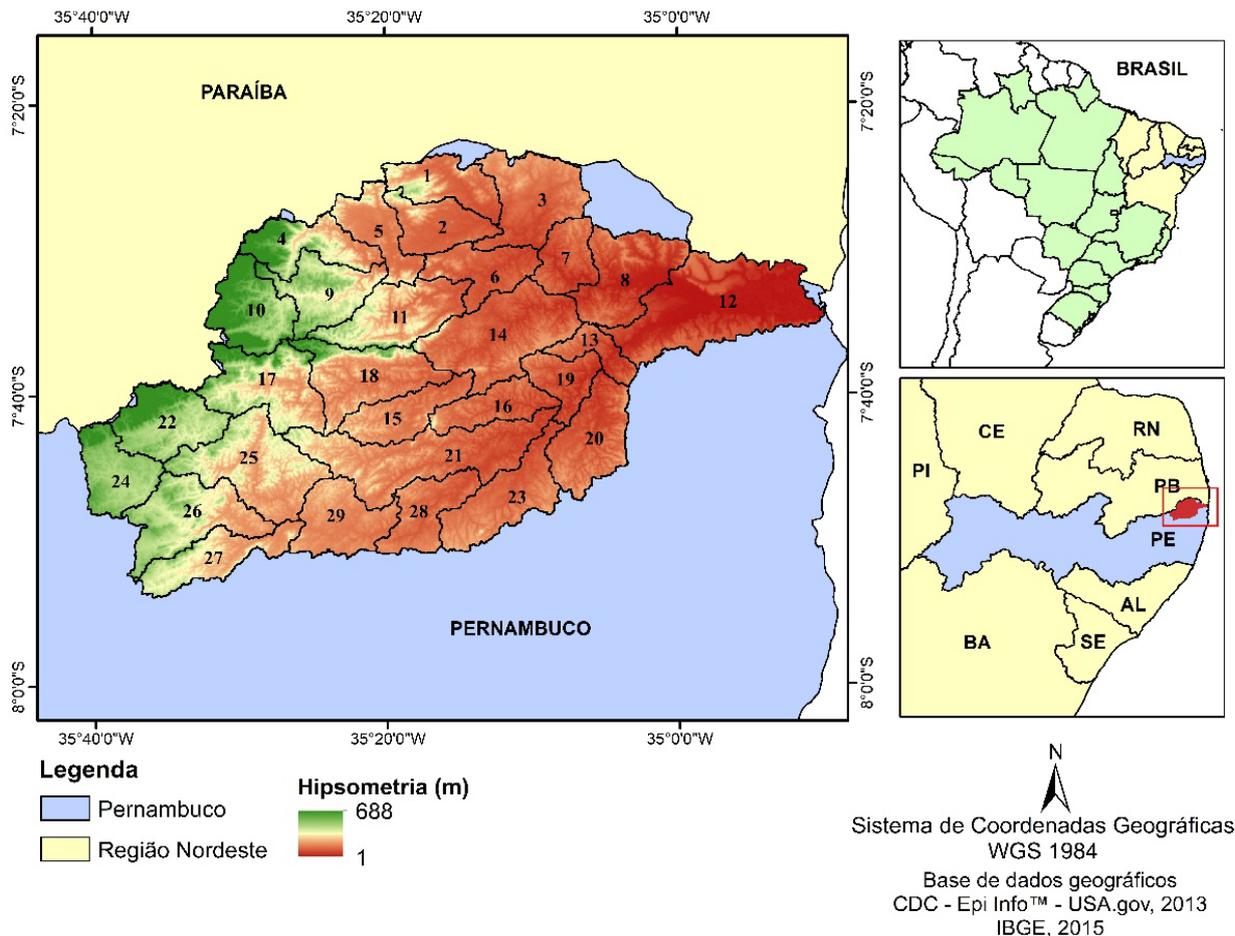


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudos, compreendendo a bacia hidrográfica do Rio Goiana, com a divisão das sub-bacias.

Considerações gerais sobre o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*): processamentos e entradas no modelo hidrossedimentológico

O SWAT (Arnold et al., 1998) é um modelo semi-distribuído que trabalha numa escala de bacia hidrográfica. Este modelo é capaz de prever diferentes parâmetros ambientais e tem sido bastante utilizado para estimativas de vazão, escoamento superficial, produção de sedimentos e qualidade dos recursos hídricos, como aponta o levantamento realizado por Gassman et al. (2007). Uma maior compreensão dos processos que ocorrem dentro da bacia hidrográfica e como estes são trabalhados dentro do modelo SWAT pode ser obtida através do trabalho desenvolvido por (Neitsch et al., 2011). O modelo é baseado na equação do balanço hídrico (Equação 1):

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

Onde SW_t se refere ao conteúdo final de água no solo (mm H₂O), SW_0 é o conteúdo inicial de água no solo no dia i (mm H₂O), t é o tempo em dia, R_{day} o quantitativo de precipitação no dia i (mm H₂O), Q_{surf} é a quantidade de escoamento

superficial no dia i (mm H₂O), E_a é a evapotranspiração no dia i (mm H₂O), W_{seep} é a percolação no dia i (mm), e Q_{gw} é o quantitativo do fluxo de retorno no dia i (mm H₂O).

O SWAT utiliza a equação modificada de perda de solo (MUSLE) para estimar a produção de sedimentos, descrita a seguir (Equação 2):

$$SED = 11.8 (Q \times qp)^{0.56} K C P L S \quad (2)$$

Onde Q é o volume de escoamento superficial (m³), qp é a vazão de pico (m³ s⁻¹), K se refere ao fator de erodibilidade média dos solos (t h MJ⁻¹ mm⁻¹), C é o fator de manejo do solo (adimensional), P é o fator de práticas conservacionistas e controle de erosão (adimensional) e LS o fator de comprimento da rampa e declividade das vertentes.

Dentre os métodos disponibilizados para estimativa da evapotranspiração potencial no modelo (Neitsch et al., 2011), selecionou-se Penman-Monteith, e para prever o escoamento superficial da chuva para diferentes tipos de solo e cobertura da terra, o método da equação da curva número (Arnold et al., 1998) em função da umidade solo.

Para realização da modelagem hidrossedimentológica, o SWAT precisa de dados de modelo de elevação digital (DEM), dados de solos, e uso e cobertura.

O modelo de elevação digital utilizado corresponde a imagem do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) disponibilizado pelo monitoramento por satélite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com uma resolução de 90m. A distribuição da declividade em toda a bacia hidrográfica se dá nas seguintes classes (Embrapa, 2003): plano (14,73%), suave ondulado (31,21%), ondulado (41,07%), forte ondulado (12,72%), montanhoso a forte montanhoso (0,27%).

Obteve-se a distribuição dos solos da bacia por meio do Zoneamento Agrícola de Pernambuco (ZAPE) da Embrapa solos, numa escala de 1:100.000. As classes de solo da área foram: Neossolo quartzarênico, neossolo litólico, espodosolo, latossolo amarelo, luvisolo, argissolo amarelo, argissolo vermelho, argissolo vermelho-amarelo, planossolo e gleissolo. As características físicas dos solos distribuídos pela região de estudo foram adquiridas através do Sistema de informação de solos brasileiros da Embrapa (<https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>) (Embrapa, 2003).

Para classificação do uso e cobertura do solo utilizou-se o mapeamento do Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira (Probio) coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Para este trabalho foi utilizado o SWAT versão 2012

(revisão 658) com a interface do ArcGIS 10.2.2 (ArcSWAT).

Informações gerais sobre o mapeamento e cenários do uso e cobertura do solo

Realizou-se uma análise do mapeamento do uso e cobertura do solo do Probio e posterior reclassificação dos usos, atribuindo-se novas categorias utilizadas pelo SWAT. Isso se deu uma vez que de acordo com Bressiani et al. (2015b), as próprias condições naturais brasileiras como biomas, clima, entre outros fatores configuram-se como desafios para a aplicação do modelo no país. Assim, a reclassificação das áreas foi baseada nas suas características, buscando-se similaridades entre o SWAT e a área de estudo. Isso se dá devido ao software ainda não possuir uma classificação detalhada para regiões tropicais.

Devido a categoria agricultura não ser detalhada no mapeamento, maiores informações foram adquiridas através do IBGE cidades (<http://cidades.ibge.gov.br>) onde verificou-se como principais culturas nesses municípios a cana de açúcar e banana, além de uma elevada concentração do coco-da-baía no município de Goiana. A distribuição final do uso do solo e as respectivas áreas ocupadas estão descritas na tabela 1. Dessa maneira, através das informações dessas culturas mais detalhadas, realizou-se uma divisão percentual das áreas de agricultura pelas principais culturas, bem como da área classificadas como agropecuária e savana que também possui registros de culturas expressivas.

Tabela 1 - Reclassificação do uso do solo nas categorias do SWAT.

Uso do solo	Uso do solo reclassificado	Área (%)
Floresta ombrófila aberta das terras baixas, Floresta ombrófila aberta submontana, Floresta ombrófila densa das terras baixas, Floresta ombrófila densa submontana	Floresta perenifólia	3,48
Agricultura	Agricultura*	3,94
Agropecuária e Savana	Pastagem**	86,22
Corpos d'água	Água	0,10
Áreas antrópicas indiscriminadas	Área urbana (média densidade)	0,21
Floresta estacional semidecidual das terras baixas e Floresta estacional semidecidual submontana	Floresta decídua	4,36
Formação pioneira com influência fluvial e/ou lacustre, Formação pioneira com influência fluviomarinha e Formação pioneira com influência marinha.	Áreas úmidas	1,68

*85% Agricultura (Cana de açúcar) e 15% Côco.

**38% Pastagem, 9% banana e 53% cana de açúcar.

O estudo do uso e cobertura possibilita a aquisição de maiores informações para discussão sobre os processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Para bacias hidrográficas localizadas no estado de Pernambuco, informações sobre unidades de conservação, biodiversidade e

biomas estão mapeadas e disponibilizadas através do Caburé Sistema de Informações Geoambientais de Pernambuco (<http://sigcabure.cprh.pe.gov.br>).

Para realização dos cenários, utilizou-se o modelo SWAT calibrado para o período de janeiro de 1999 a dezembro de 2009 para dados mensais

de vazão através do SWAT *Calibration and Uncertainty Procedures* (SWAT-CUP) (Abbaspour, 2015), analisado enquanto a sua sensibilidade e calibração e validade para sedimentos no período de 1999 a 2009 e 2010 a 2011 (Paz, 2018; Paz et al., 2018). Após a calibração trabalhou-se em três

diferentes cenários de uso do solo para um exercício metodológico conforme Blainski et al. (2011), não consistindo, portanto, de nenhuma proposta de modificação dos usos na bacia hidrográfica do rio Goiana. Os cenários utilizados consistiram em (Tabela 2).

Tabela 2 - Cenários de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco, Brasil.

Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Uso e cobertura do solo	(%)	Uso e cobertura do solo	(%)	Uso e cobertura do solo	(%)
FRSE	2,91	FRSD	2,96	URML	89,36
AGRL	55,26	FRSE	91,81	FRSD	3,00
PAST	36,50	FRST	3,48	FRSE	2,55
FRSD	3,24	WETL	1,76	AGRL	3,38
WETL	2,10			WETL	1,71

FRSE: Floresta perenifólia; AGRL: Agricultura; PAST: Pastagem; FRSD: Floresta decídua; WETL: Áreas úmidas; URML: Área urbana – média a baixa densidade.

De acordo com a tabela 2, o Cenário 1 corresponde ao uso atual da bacia hidrográfica. A área da bacia constitui-se predominantemente por pastagem e agricultura, com alguns fragmentos de florestas e áreas úmidas. Com esse cenário buscou-se explicar os processos hidrológicos reais ocorridos na bacia, além de introduzir discussões acerca das atividades agrícolas. O Cenário 2 existe a substituição da área total de pastagem e agricultura por vegetação nativa (floresta perenifólia, floresta decídua e mista). Neste segundo cenário pretendeu-se ilustrar os efeitos de um reflorestamento hipotético em toda a área ocupada por atividades agropecuárias. Em

um cenário de reflorestamento buscou-se destacar a importância das áreas verdes e da preservação do bioma da Mata Atlântica na bacia.

O terceiro cenário é uma simulação de uma expansão urbana e ocupação de toda a área previamente ocupada por pastagem, por uma área urbana de média densidade. Fragmentos de agricultura ainda estão presentes neste cenário, assim como áreas florestadas e áreas úmidas. A discussão acerca da ocupação urbana buscou trazer uma reflexão acerca dos impactos que a expansão de áreas urbanizadas, muitas vezes sem planejamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cenários de mudanças no uso e cobertura do solo, permitem uma maior compreensão dos impactos ambientais relacionados ao desmatamento, desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuária, urbanização, entre outros.

A partir dos cenários trabalhados, observa-se através da Tabela 3 que houve variação dos resultados encontrados para os três cenários avaliados, no que se refere a vazão e produção de sedimentos.

Tabela 3 - Valores mensais de vazão e sedimento para o período de 1999 a 2011 na bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco, Brasil.

Cenários	Vazão (m ³ /s)			Sedimentos (t/ha)		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Cenário 1 (Uso Atual - Agrícola)	10,71	0,03512	112,7	0,95	0,000161	16,45795
Cenário 2 (Reflorestamento)	11,45	0,01091	91,27	0,41	0,000000	9,344215
Cenário 3 (Expansão urbana)	13,36	0,04405	117,1	0,96	0,000232	15,96258

Verifica-se que a vazão média apresentou valor superior no Cenário 3 (Expansão Urbana), onde devido a impermeabilização do solo das áreas urbanas houve uma redução da infiltração da água no solo, aumento do escoamento superficial e elevação da vazão média dos rios. Isso corrobora com a discussão de Vanzela et al. (2010), em que uma redução da permeabilidade solo, pela compactação e impermeabilização do

solo respectivamente para ambos os Cenários 1 (Uso Atual) e 3 (Expansão Urbana), contribuem para redução da capacidade de armazenamento de água no solo.

O Cenário 2 (Reflorestamento), apesar de possuir uma média superior ao Cenário 1 (Uso Atual), teve um valor máximo de vazão inferior aos demais cenários. Menores picos de vazão podem ser correlacionados a redução do

escoamento superficial devido a maior rugosidade do solo, interceptação de parte da água da chuva pela vegetação e evapotranspiração pelas plantas. Além disso Perazzoli et al. (2013) apontam que a variação dos resultados obtidos a partir de distintos cenários também se dá por diferentes taxas de evapotranspiração de diferentes culturas e vegetação, e a infiltração da água devido ao sistema radicular da planta e ao manejo do solo em distintos usos do solo.

Apesar da vazão elevada ser considerada como um bom indicativo para determinadas regiões, principalmente onde há escassez de água, é necessário a avaliação dos impactos de uma vazão acima da média. Esses podem trazer transtornos para a população de áreas próximas aos rios e riachos urbanos, podendo provocar inundações e/ou deslizamento dos taludes dos canais. Além disso, uma vazão elevada acompanhada de um alto escoamento superficial de água no solo, como acontece nas áreas urbanas, pode carregar sedimentos e resíduos do solo para as águas, comprometendo assim sua qualidade.

Os resultados de Storck et al. (1998) estão alinhados aos encontrados nessa pesquisa, em que estes observaram que os picos de vazão se elevavam quando se reduzia a área vegetada através da colheita florestal. Moore & Wondzell (2005) apontaram em sua revisão que a devastação de florestas tanto implica no aumento do pico de vazão, como o aumento do período de retorno.

Essa devastação das áreas florestadas tanto pode ocorrer devido a utilização de áreas para cultivos agrícolas e pecuária, como demonstrado no Cenário 1 (Uso Atual) predominantemente agrícola, como pela expansão de áreas urbanas no Cenário 3.

A redução de áreas de vegetação da Mata Atlântica na bacia hidrográfica do rio Goiana foi uma das consequências da monocultura da cana de açúcar na Zona da Mata (Braga & Filho, 2013). A comercialização de madeira também pode ser um aspecto na redução de florestas, sabendo-se que as diversas indústrias da região utilizam a biomassa vegetal como combustível. Uma indústria de grande expressão na área da bacia hidrográfica e Zona da Mata Norte é a indústria de cerâmica vermelha (Paz et al., 2013), que além de demandar grande quantidade de lenha para queima dos fornos, também realiza a extração de argila que compromete a vegetação, revolve o solo e contribui para um aumento da

produção de sedimentos.

Com relação a produção de sedimentos, o cenário mais favorável é o de reflorestamento (Cenário 2), devido a condição que as florestas fornecem ao solo, como agregação das partículas do solo, interceptação foliar, redução do impacto da chuva no solo, diminuição da velocidade de escoamento e infiltração da água no solo. Todas essas características contribuem para uma redução da perda do solo e conseqüentemente uma diminuição da produção de sedimentos.

No cenário atual (Cenário 1), em que a bacia pode ser caracterizada como predominantemente agrícola, verifica-se que o constante revolvimento do solo, o posicionamento regular das plantas nos cultivos agrícolas, o pisoteio dos animais na pecuária, entre outros fatores contribuem para um alto valor médio de produção de sedimentos. Apesar da produção média de sedimentos ser superior para o cenário de expansão urbana, valores máximos superiores foram identificados no cenário atual. Outros trabalhos encontraram resultados similares demonstrando que áreas agrícolas, com elevado predomínio de agricultura produzem quantidade superior de sedimentos, como o de Burcher & Benfield (2006).

É importante analisar que os resultados aqui apresentados, ainda que sejam resultantes de cenários alternativos hipotéticos de uso e cobertura do solo. Esses demonstram a importância das florestas na preservação ambiental, impactando diretamente os ecossistemas da região e a sociedade que desenvolve suas atividades com recursos muitas vezes locais. A apresentação desses resultados para o poder público, usuários de recursos hídricos e sociedade civil pode ser realizada de modo a permitir a avaliação de situações cotidianas nos diferentes espaços da bacia, seja nas regiões urbanizadas ou áreas agrícolas e atentando-se aos impactos que essas provocam na qualidade ambiental da bacia hidrográfica.

No trabalho de Romano et al. (2018) com cenários futuros de mudanças de uso e cobertura do solo, os autores verificaram que determinadas mudanças como abandono do cultivo de cereais e substituição por florestas decíduas reduziram a produção de sedimentos em comparação com o cenário observado. Com isso estes apontaram que essas estimativas podem aumentar a eficácia das intervenções do controle dos processos erosivos.

Através da análise da vazão média mensal (Figura 1), constata-se que os picos de vazão são correspondentes ao período chuvoso do ano, o trimestre maio-junho-julho, e que a menor média registrada se refere ao período com menor incidência pluviométrica (outubro-novembro-dezembro). Observa-se que no Cenário 1 (Uso Atual) e 3 (Expansão Urbana) o pico de ambas as

curvas é superior ao alcançado pelo cenário 2 (Reflorestamento) e as curvas são mais acentuadas, o que mostra que em períodos em que há redução do volume de chuvas, a vazão também é reduzida. Verifica-se também que os valores médios mensais no período que sucede o chuvoso (agosto, setembro e outubro) são inferiores ao Cenário 2 (Reflorestamento).

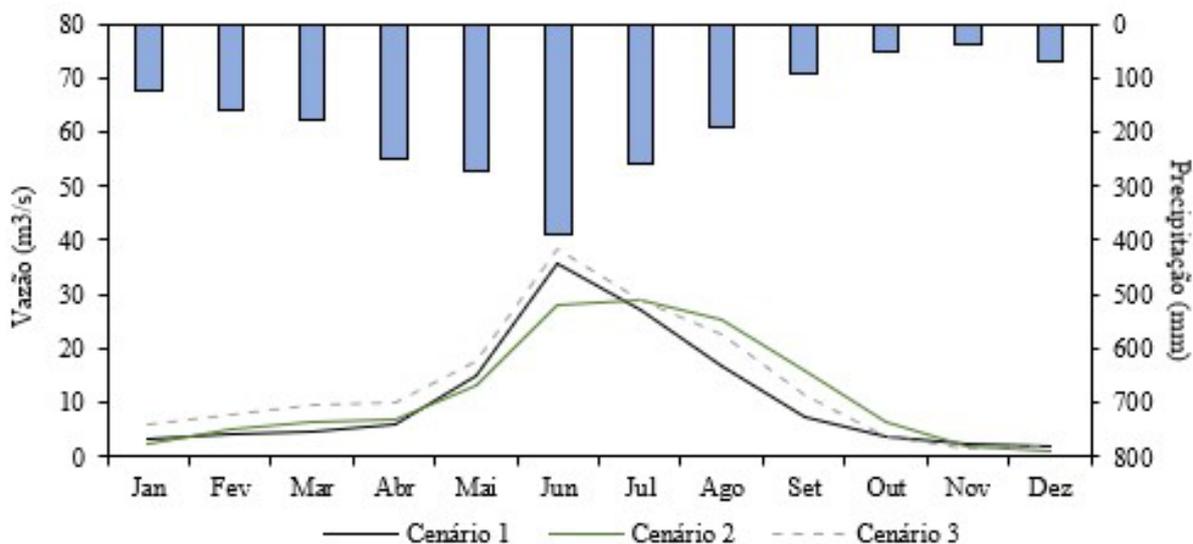


Figura 1 - Vazão mensal média simulada para o período de 1999 a 2011 para os cenários alternativos.

O cenário de reflorestamento (Cenário 2), mostra que em uma bacia hidrográfica onde há vegetação nativa, a curva da vazão se mantém em períodos de menor incidência de chuva, havendo um amortecimento na redução da vazão. Isso é reflexo do conteúdo de água no solo, em que nas florestas a perda de água é inferior aos outros cenários e com isso tem-se um armazenamento superior de água; contribuindo-se para um abastecimento da vazão dos rios em períodos com menor incidência de chuvas, como demonstrado graficamente.

Para a produção de sedimentos (Figura 2), observa-se que o Cenário Atual e o Cenário Urbano correspondem as maiores estimativas de sedimentos, e que estes valores são superiores nos períodos mais chuvosos, devido a influência da precipitação e vazão. Romano et al. (2018) também indicam uma carga de sedimentos superior durante o período chuvoso.

No comparativo entre os três cenários, a produção de sedimentos foi superior para o Cenário 3 nos meses de janeiro a maio, setembro e dezembro, e nos demais meses do ano o Cenário 1 apresentou valores superiores. Estes cenários possuem um afastamento das condições naturais da bacia hidrográfica, o que Turner (2018) mencionaram na discussão de fatores para

a erosão do solo e regulação do escoamento superficial. Os autores ainda apontaram para localidades dos Estados Unidos em que as terras cultivadas contribuíram para um aumento dos processos erosivos, provocando desabamentos, elevação da turbidez da água e maior concentração de sólidos suspensos. Esses impactos ocorrem nas diferentes regiões do planeta e podem ser reduzidos através da avaliação das condições das bacias hidrográficas e da adoção de práticas mais sustentáveis em relação a cultivo e planejamento urbano.

Sabendo-se que o processo erosivo está fortemente relacionado ao manejo do solo (Thomazini et al., 2012), Vanzela et al. (2010) verificaram que as atividades agrícolas, associadas a outros fatores como solos de alta erodibilidade e condições deficitárias de conservação do solo, contribuem para perdas significativas de solo e provocam o assoreamento dos rios, que culminam com a redução da qualidade hídrica e redução da velocidade dos cursos de água.

Dessa maneira, para o alcance do desenvolvimento agrícola sustentável, é fundamental ações de políticas públicas que apontem para a manutenção dos recursos naturais (Pereira et al., 2016).

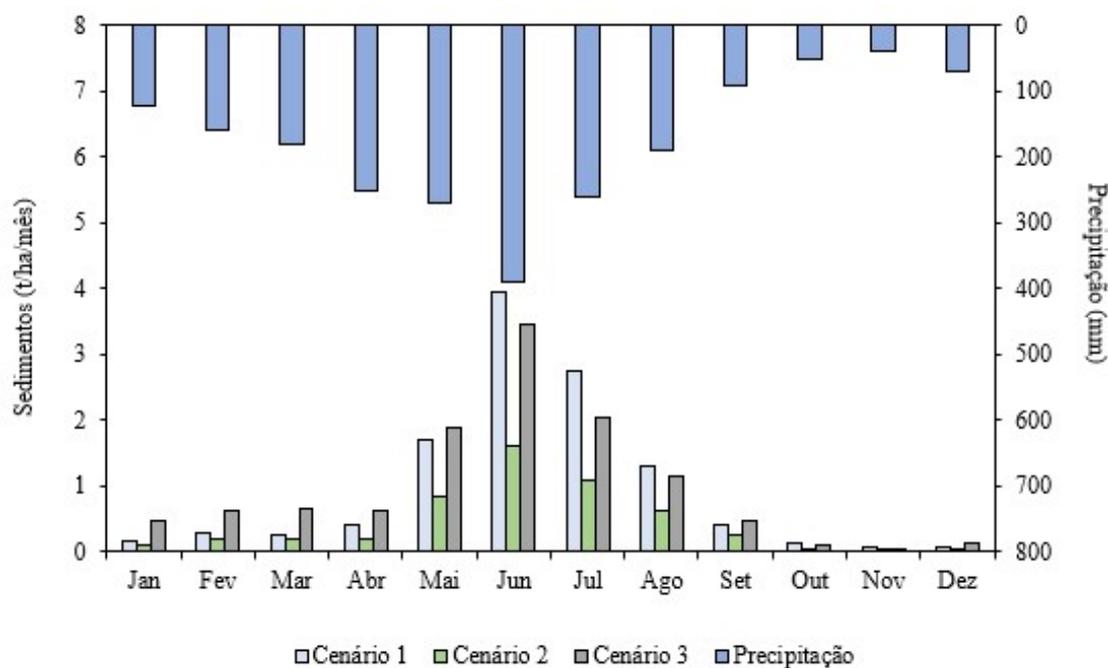


Figura 2 - Produção média mensal de sedimentos simulados no período de 1999 a 2009 para os Cenários 1 (Uso Atual), 2 (Reflorestamento) e 3 (Expansão Urbana).

O Cenário 2 (Reflorestamento) apresentou os menores valores de produção de sedimentos durante o ano todo, devido a proteção do solo pela cobertura vegetal e redução da exposição de solos mais susceptíveis à erosão, como verificado por Machado et al. (2003). Apesar da compreensão que a cobertura vegetal contribui para redução da erosão e produção de sedimentos, ainda existe uma ambiguidade entre os pesquisadores sobre a relação entre a diversidade das plantas e os processos erosivos (Hou et al., 2016). Entretanto, apesar dos estudos ainda não apresentarem uma correlação entre o tipo de cobertura da vegetação (homogênea e heterogênea), verifica-se através da simulação de cenários, o que também é constatado por diversos autores, que a cobertura do solo é importante para a conservação do solo.

Na distribuição espacial da vazão no período chuvoso (Figura 3), verifica-se que para todos os cenários, as sub-bacias em que se constata uma vazão superior são similares. Estas correspondem as de numeração 8, 12, 13, 19, 21, 28 e 29. Isso se dá pelas próprias características da bacia em relação a declividade e regiões de maior precipitação. Percebe-se que em todos os cenários a foz possui a maior vazão, isso também é devido a confluência de diversos córregos e rios que elevam a vazão nesta parte da bacia que deságua no Oceano Atlântico.

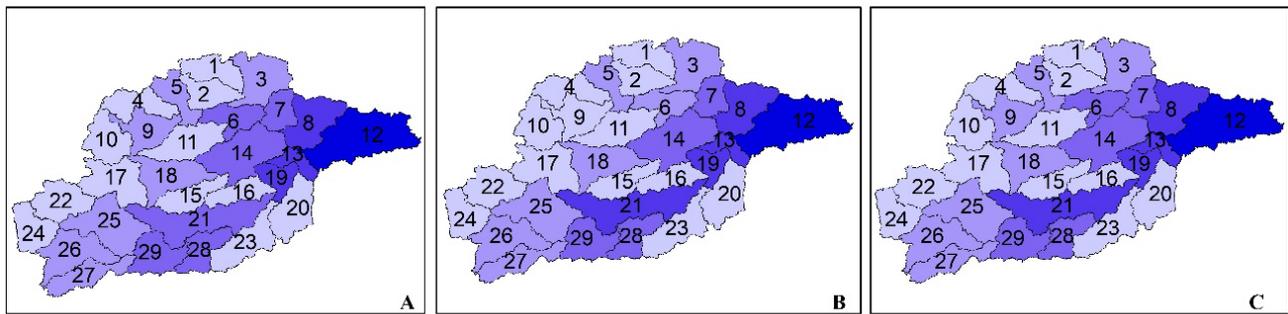
Além disso observa-se a diferença entre a vazão dessas sub-bacias destacadas para regiões de vazão inferior. Enquanto para áreas de vazão

superior os valores chegam a 60 -77 m³/s, para o mesmo período chuvoso, algumas regiões apresentam valores inferiores a 3m³/s. Essas diferenciações espaciais podem provocar modificações na vegetação, no tipo de cultura indicado, manejo do solo, irrigação, diferentes problemas urbanos provocados pela falta ou excesso de vazão, além da manutenção dos diferentes processos ecossistêmicos.

Analisando a distribuição espacial da vazão nas sub-bacias, verifica-se que o Cenário de Expansão Urbana (3/C) possui o maior número de sub-bacias (65,52%) com vazão superior aos demais cenários.

O Cenário 1 (Uso atual/A) possui algumas sub-bacias com valores superiores (34,48%), enquanto o Cenário de Reflorestamento (2/B) detém as menores vazões em todas as áreas conforme destacado na representação espacial na Figura 3.

A relação da vazão com produção de sedimentos já foi verificada e com isso pode-se dizer que vazões muito elevadas contribuem para uma produção de sedimentos superior e consequente redução da qualidade das águas. Atrelado às condições da bacia hidrográfica do rio Goiana, onde se observam cultivos irrigados e lançamento de cargas de poluentes e sedimentos nos cursos de água da bacia devido ao desprovimento de sistema de esgotamento sanitário (Cprh, 2003), esses são aspectos importantes na discussão de políticas públicas.



Legenda

Vazão (m³/s)

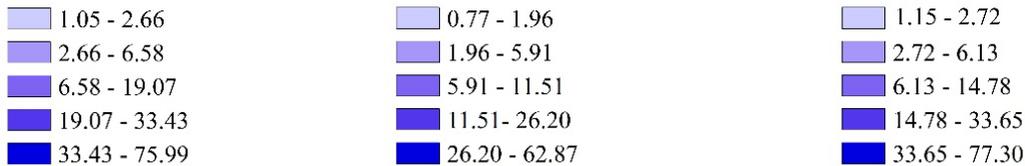


Figura 3 – Vazão média mensal simulada para as sub-bacias do Goiana durante o trimestre mais chuvoso do ano (maio-junho-julho) para os cenários (A) atual, (B) reflorestamento e (C) expansão urbana, no período de 1999 a 2011.

É relevante relacionar todas essas questões junto ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Para isso é importante a realização da discussão de quais os fatores que diretamente e indiretamente podem influenciar nesses resultados. Ademais, os pensamentos e implementações dessas estratégias devem estar alinhadas tanto as potencialidades da bacia hidrográfica, como também as legislações ambientais existentes e cabíveis como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) e Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2000), por exemplo.

Sobre a abordagem relacionadas ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas, Vanzela et al. (2010) concluíram que as áreas de mata e pastagem obtiveram resultados melhores quando comparadas com áreas habitadas, agricultadas ou com florestas degradadas em relação a vazão e qualidade de água para um córrego no estado de São Paulo. Na elaboração de estratégias para a conservação, recomenda-se a discussão de resultados confrontados com outras localidades, visto que o processo de desenvolvimento pode ser estimulado quando são apresentados outros estudos com suas respectivas recomendações.

Para a vazão média mensal no período seco (Figura 4) verifica-se que as sub-bacias que cujos dados resultaram em maiores valores de vazão apresentam similaridades para os três cenários, sendo estas as de números 8, 12, 13, 19 e 21, com média máxima de vazão alcançando o resultado de 8,61 m³/s. No cenário de Expansão Urbana

(3/C), a maior parte das sub-bacias apresentou resultado entre 0,05 e 0,38 m³/s.

Um maior número de sub-bacias com médias superiores foi verificado no Cenário 1 (A), em que a média ficou em torno de 0,18 a 0,68 m³/s. Contudo, os resultados apresentados são bastante similares no Cenário 1 (A) e 3 (C), em que nas sub-bacias 4, 15, 20 e 23, para o Cenário 1, a média de vazão foi inferior a 0,28 m³/s.

Durante o período de seca, no Cenário Atual (A) 65,52% das sub-bacias apresentaram valores ligeiramente superiores de vazão em relação as demais, o Cenário de reflorestamento (B) exibiu 24,14% de valores superiores e o Cenário de Expansão Urbana (C) resultou em 89,66% dos menores valores de vazão média. Apesar de mostrar os cenários com vazões superiores, destaca-se que estes resultados foram muito próximos.

O cenário de Reflorestamento também possuiu resultados baixos de vazão média (0,03 a 0,28 m³/s) em algumas sub-bacias, conforme observado na figura 4, contudo seus resultados se mostraram superiores aos demais cenários na foz apresentando média 8,61 m³/s. Para esta mesma sub-bacia no cenário de Expansão Urbana obteve-se 7,96 m³/s e no Cenário de Uso Atual 7,33 m³/s, demonstrando a pequena diferença entre eles.

De acordo com Silva et al. (2016), quando ocorre a supressão de vegetação nativa e ocupação desordenada do solo, pode ocorrer uma diminuição ou perda da capacidade de armazenamento de água no solo e na bacia

hidrográfica em sua totalidade. Essa redução contribui para elevação do escoamento superficial e aumento da vazão conforme os Cenários 1 (A)

e 3 (C) principalmente no período chuvoso. No período seco a vazão é reduzida consideravelmente para todos os cenários.

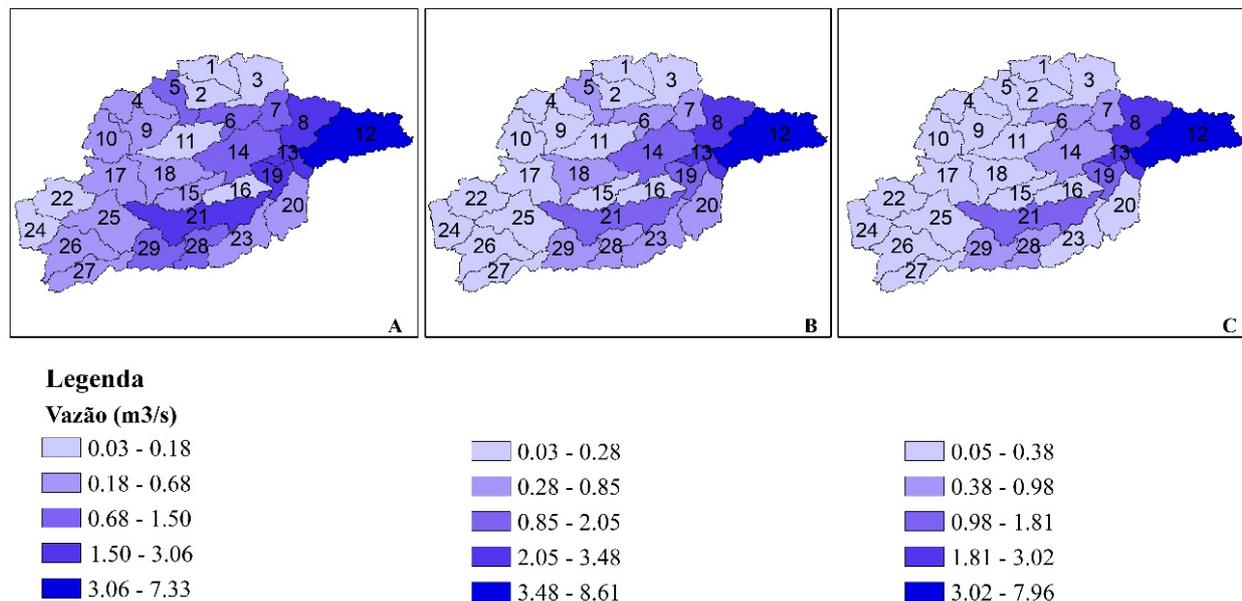


Figura 4 – Vazão média mensal simulada para as sub-bacias do Goiana durante o trimestre mais seco do ano (outubro-novembro-dezembro) para os cenários (A) atual, (B) reflorestamento e (C) expansão urbana, no período de 1999 a 2011.

Com relação a distribuição espacial de sedimentos (Figura 5), as menores médias anuais estão no Cenário de Reflorestamento (B), o que ratifica os resultados encontrados na análise mensal no comparativo entre os três cenários. As áreas florestais diminuem os sólidos suspensos nos corpos hídricos, pois estas funcionam como uma proteção para os solos, aumentando sua capacidade de infiltração e reduzindo a velocidade de escoamento superficial (Pinto et al., 2013). E ainda que esse cenário seja apenas hipotético e não seja possível a modificação dos usos atuais para florestas em toda a bacia hidrográfica, a adoção de práticas de conservação do solo reduz a produção de sedimentos como observado no trabalho de Thomazini et al. (2012) e Zhang et al. (2017).

Analisando-se espacialmente os três cenários, as áreas de produção mais expressivas de sedimentos coincidem, sendo estas as sub-bacias 12, 13 e 19. E quando se compara com as sub-bacias de maior vazão, verifica-se que essas áreas têm altos valores.

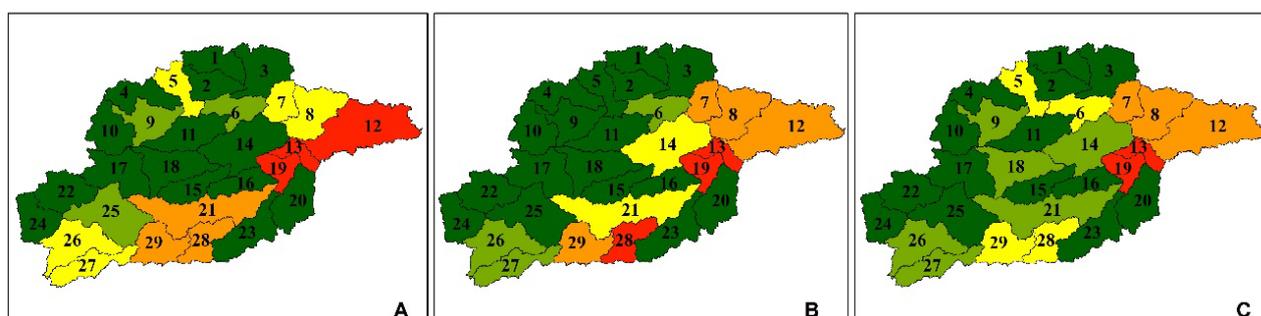
Dessa maneira, corrobora-se que a vazão influencia na produção de sedimentos. A sub-bacia 13 apresenta o valor mais elevado para os três cenários, tendo uma produção de 10,94 t/ha/ano, 5,11 t/ha/ano e 11,54t/ha/ano, respectivamente para os Cenários 1, 2 e 3. Essa sub-bacia já foi evidenciada como região de maior produção de sedimentos da bacia hidrográfica do rio Goiana

(Paz, 2018) onde nesta análise, atenta-se que processos erosivos são intensificados com a remoção da vegetação natural (Corrêa et al., 2018).

Além disso, é importante observar que os fatores influenciadores da produção de sedimentos podem ser descritos pela MUSLE (Equação 2) e estes foram discutidos anteriormente mostrando que além da erodibilidade referente ao tipo de solo, a produção de sedimentos é influenciada pela declividade do terreno, uso e cobertura do solo, manejo, práticas conservacionistas e escoamento superficial.

Na foz da bacia (sub-bacia 12), os valores superiores foram verificados para o Cenário 3 (Expansão Urbana/C), alcançando valores de 6,53 t/ha.

Para o Cenário 1/A (Uso Atual), nessa mesma sub-bacia o valor encontrado foi de 4,17 t/ha; já para o reflorestamento (Cenário 2/B) os resultados foram bem inferiores com 1,95 t/ha. A influência da urbanização e da exposição dos solos à produção de sedimentos foi aferida por Cabral et al. (2013) que estudaram a bacia hidrográfica do rio Jacarecica em Maceió através do modelo hidrossedimentológico de base física KINEROS 2 e da ferramenta hidrológica AGWA2. Os autores também observaram que a vegetação na parte baixa da bacia reduz a produção de sedimentos.



Legenda

Produção de Sedimentos t/ha/ano

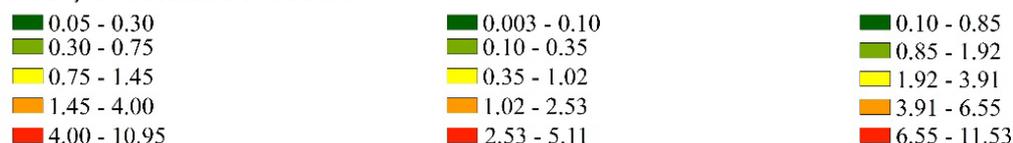


Figura 5 - Distribuição da produção média anual de sedimentos simulados nas sub-bacias do Goiana para os cenários (A) atual, (B) reflorestamento e (c) expansão urbana, no período de 1999 a 2011.

Em bacias essencialmente agrícolas também há um destaque para a degradação ambiental, onde Machado et al. (2017) realizaram a modelagem hidrológica para a bacia do rio Japarutuba em Sergipe através do SWAT composta por 82,61% de cana de açúcar e concluíram que a presença de pastagem além do cultivo da cana de açúcar contribuiu para a degradação do solo, indicando que através dos resultados evidenciados o modelo poderia ser utilizado para o manejo de bacias hidrográficas.

A partir da identificação das modificações nos processos hidrossedimentológicos pela introdução de cenários alternativos na modelagem, ratifica-se sua importância como ferramenta de apoio na tomada de decisões e planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Corroborando com isso, Betrie et al. (2011) apontaram para a possibilidade da utilização da modelagem como uma

importante ferramenta de gestão, quanto a implantação de práticas conservacionistas, nas quais os autores identificaram que através dessas práticas consegue-se reduzir o transporte de sedimentos para os recursos hídricos. Blainski et al. (2017) também indicaram seu uso para elaboração de planos de bacias hidrográficas, sendo a confiabilidade dos modelos atestada pelo exercício de calibração e validação.

Compreende-se a importância das discussões acerca dos diferentes usos da bacia e alinhamento aos planos diretores municipais para um melhor planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Além disso, o estímulo a participação da sociedade em diversos espaços como conselhos municipais e comitê de bacia hidrográfica pode contribuir para ações compatíveis ao desenvolvimento local pela coerência de interesses do poder público e da sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da modelagem hidrossedimentológica obtidos para os três cenários estabelecidos neste trabalho demonstram a possibilidade da aplicação desses como uma ferramenta de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. O cenário alternativo de reflorestamento demonstra que as áreas de vegetação nativa reduzem as vazões de pico no período chuvoso e elevam a disponibilidade hídrica nos períodos que sucedem o período chuvoso. Ainda que este cenário seja hipotético, é importante a discussão do papel que estas desempenham na infiltração da água no solo, redução do escoamento superficial e diminuição de perdas de solo e

produção de sedimentos. Para tal, sendo a bacia hidrográfica do rio Goiana caracterizada como predominantemente agrícola, práticas de conservação do solo e sistemas agroflorestais são fundamentais para o alcance da qualidade ambiental, sem que haja impacto no desenvolvimento das atividades econômicas pela redução de terras agricultáveis.

Com relação a produção de sedimentos, o cenário de expansão urbana acarretou estimativas superiores, o que pode ser relacionado a redução de áreas florestais e aumento de áreas impermeabilizadas. Porém o cenário do Uso Atual (voltado ao agrícola) também apresentou aporte

considerável de sedimentos, demonstrando o impacto que a produção agropecuária possui nos processos erosivos. Em ambos os cenários se reconhece a necessidade do desenvolvimento de

estratégias de conservação ambiental, em que se retrata neste trabalho os benefícios da recuperação de áreas degradadas e preservação de áreas florestais.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K.C. **Swat-Cup: SWAT Calibration and Uncertainty Programs Manual**. Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland. 2015. 100 p.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **O comitê de bacia hidrográfica: prática e procedimento**. Brasília, DF, 2011. (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 2).
- ARAÚJO, L.E.; SOUSA, F.D.A.S.; NETO, J.M.M.; SOUTO, J.S.; REINALDO, L.R.L.R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualitas**, Campina Grande, V. 8, n. 1, p. 1-18, 2009.
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998.
- BACCI, D. La C. & PATACA, E.M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 211-226, 2008.
- BERNARDI, E.C.S.; PANZIERA, A.G.; BURIOL, G.A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.
- BETRIE, G.D.; MOHAMED, Y.A.; VAN GRIENSVEN, A.; SRINIVASAN, R. Sediment management modelling in the Blue Nile Basin using SWAT model. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 807–818, 2011.
- BLAINSKI, E.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 2, p. 226-237, 2017.
- BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F.A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L.H.P.; VIANNA, L.F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 24, n. 1, 2011.
- BRAGA, M. C. A.; FILHO, M. N. M. B. Planos diretores na Zona da Mata pernambucana: a importância do espaço rural no planejamento e gestão territorial como enfoque. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, Recife, v. 02, n. 01, p. 124-147, 2013
- BRASIL, 1991. **Lei nº 8171, de 17 de janeiro de 1991**. Dispõe sobre a política agrícola. Diário Oficial da União, Brasília, 18 janeiro de 1991. Acesso em: 17 jan. 2018. Disp. em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8171.htm>
- BRASIL, 1997. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 9 janeiro de 1997. Acesso em: 9 jan. 2018. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, §1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, 19 de julho de 2000.
- BRESSIANI, D.A.; SRINIVASAN, R.; JONES, C.A.; MENDIONDO, E.M. Effects of spacial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling a semi-arid basin, Northeast Brasil. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 125-139, 2015.
- BURCHER, C. L.; BENFIELD, E. F. Physical and biological responses of streams to suburbanization of historically agricultural watersheds. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 25, n. 2, p. 356-369, 2006.
- CABRAL, S. L.; REIS, R. S.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da Bacia do Rio Jacarecica/AÇ mediante uso de modelo hídrossedimentológico distribuído. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1073-1080, 2013.
- CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. especial, n. 36, p. 26-43, 2014.
- CONDEPE/FIDEM. AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. **Rio Goiana e GL 6**. Recife: 2005. 65p.
- Correa, E.; Moraes, I.C.; Cunha, C. M. L.; Pinto, S.D.A.F. Influência do cultivo de cana-de-açúcar nas perdas de solo por erosão hídrica em cambissolos no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, p. 231-243, 2018.
- CPRH. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2003. 214p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SANTOS, H.G. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FABBRO NETO, F. & SOUZA, M. P.. Leitura integrada da gestão dos recursos hídricos com o uso do solo em Caraguatubá (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 853-862, 2017a.
- FABBRO NETO, F.; SOUZA, M. P. de. O planejamento integrado de bacia hidrográfica e uso do solo na Escócia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1215-1223, 2017b.
- GASSMAN, P.W.; REYES, M.R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J.G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.
- HONDA, S.C.D.A.L.; VIEIRA, M.D.C.; ALBANO, M.P.; MARIA, Y.R. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p.62-73, 2015.
- Hou, J.; Wang, H.; Fu, B.; Zhu, L.; Wang, Y.; Li, Z. Effects of plant diversity on soil erosion for different vegetation patterns. **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 632-637, 2016.
- JOIA, P. R.; ANUNCIACAO, V. S.; PAIXAO, A. A. da. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 19, n. 2, p. 343-358, 2018.
- MACHADO, C.A.; FACCIOLI, G.G.; AGUIAR NETTO, A.O.; ALMEIDA, C.A.P.; FOPPEL, E.F.C.; CUNHA, M.M.; SILVA, M.G. Modelagem hidrológica como instrumento de manejo ambiental de bacias hidrográficas. **Educação Ambiental em Ação**, v. 62, p. 1, 2017.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 727-733, 2003.
- MAURO, C.A.; MAGESTE, J.G.; LEMES, E.M. As bacias hidrográficas como critério para o planejamento territorial. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 64, p. 472-482, 2017.

- MIRANDA, G.M. Potencial da Gestão Municipal de Recursos Hídricos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, SP. **Geografia**, Londrina, v. 24, n. 1. p. 05 – 17, 2015.
- MOORE, R.; DAN, WONDZELL, S.M. Physical hydrology and the effects of forest harvesting in the Pacific Northwest: a review. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 41, n. 4, p. 763-784, 2005.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation: Version 2009**. U.S. Department of Agriculture–Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory and Texas AgriLife Research. Institute Technical Report N. 406. Texas A&M University System, College Station, TX. 2011.
- PAZ, Y. M. Estimativas hidrossedimentológicas como ferramenta de planejamento e gestão ambiental em bacias hidrográficas. **Tese**. Universidade Federal de Pernambuco. Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2018.
- PAZ, Y. M.; GALVINCIO, J. D.; HOLANDA, R. M.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A. Análise de sensibilidade e calibração espacial do modelo SWAT aplicado em uma bacia do litoral pernambucano através de dados climáticos observados e de reanálise. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 371-388, 2018.
- PAZ, Y. M.; MORAIS, M. M.; HOLANDA, R. M. Desenvolvimento Econômico Regional e o Aproveitamento de Resíduos Sólidos no Pólo da Indústria da Cerâmica Vermelha de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 6, p. 1682-1704, 2013.
- PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia – SC. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p.859-869, 2013.
- PEREIRA, D.D.R.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; DA SILVA, D.D. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 7, p. 14-37, 2016.
- PERES, R. B.; SILVA, R. S. Análise das relações entre o plano de bacia hidrográfica Tietê-Jacaré e os planos diretores municipais de Araraquara, Bauru e São Sarlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 349-362, 2013.
- PINTO, L. C.; MELLO, C. R. de; AVILA, L. F. Water quality indicators in the Mantiqueira Range region, Minas Gerais state. **CERNE**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 687-692, 2013.
- PORTO, K. G.; FERREIRA, I. M. Gestão das bacias hidrográficas urbanas e a importância dos ambientes ciliares. **Geografia em Questão**, v. 5, n. 2, p.43-57, 2012.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- ROMANO, G.; ABDELWAHAD, O. M. M.; GENTILE, F. Modeling land use changes and their impact on sediment load in a Mediterranean watershed. **Catena**, Amsterdam, v. 163, p. 342-353, 2018.
- SCHIAVO, B. N.V.; HENTZ, Â.M.K.; DALLA CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 464-474, 2016.
- SILVA, M. P.; SANTOS, F. M.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego da Olga, UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 409-428, 2016.
- STORCK, P. Application of a GIS-based distributed hydrology model for prediction of forest harvest effects on peak stream flow in the Pacific Northwest. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 12, p. 889-904, 1998.
- THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONÇA, E. S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 150-159, 2012.
- TURNER, B. L. Scientific case studies in land-use driven soil erosion in the central United States: Why soil potential and risk concepts should be included in the principles of soil health. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 1, p. 63-78, 2018.
- VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.
- ZHANG, J.; ZHANG, X.; LI, R.; CHEN, L.; LIN, P. Did streamflow or suspended sediment concentration changes reduce sediment load in the middle reaches of the Yellow River? **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 546, p. 357- 369, 2017.

*Submetido em 3 de novembro de 2021
Aceito para publicação em 30 de setembro de 2022*