

APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWAT NA ESTIMATIVA DO SERVIÇO AMBIENTAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO UNA/PE

José Guimarães de Carvalho Neto ¹

RESUMO

Os serviços ambientais podem ser entendidos como qualquer atributo ou fenômeno da natureza que seja útil ao homem, compreendendo-se que há serviços que contemplam a água, em sua qualidade e quantidade. O presente trabalho objetivou analisar e evidenciar o debate que envolve os serviços ambientais da conservação do solo prestados por áreas de preservação permanente (APP), a citar as matas ciliares e encostas de morros com declividade superior a 45°, na bacia hidrográfica do rio Una, Pernambuco, através da aplicação do modelo hidrossedimentológico “*Soil And Water Assessment Tool*” (SWAT). Diversas políticas no Brasil e no mundo são empregadas para atribuir uma valoração dos serviços ambientais, contudo, a identificação e mensuração do serviço ainda é um obstáculo para se proceder com um efetivo programa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). No Brasil desponta-se o Programa Produtor de Águas da Agência Nacional de Águas (ANA). O modelo SWAT é capaz de estimar respostas hidrológicas identificadas enquanto serviços ambientais hidrológicos, como a conservação do solo proporcionando prevenção de erosão. A aplicação do modelo considerou o cenário atual do uso do solo da bacia, entre os anos de 1997 a 2008, averiguando a qualidade da simulação em quatro estações fluviométricas, possibilitando a análise com o cenário hipotético em que serão consideradas as APPs. Como resultado foi apurada a qualidade satisfatória da simulação e a percepção quantitativa da conservação do solo, conforme o cenário hipotético permite observar de forma contundente a redução da erosão do solo. Evidencia-se a necessidade de exploração deste campo de estudo.

Palavras-chave: Modelagem Hidrossedimentológica, SWAT, Serviço Ambiental, Pagamento por Serviço Ambiental.

INTRODUÇÃO

Torna-se bastante difícil não associar a pressão aos ecossistemas naturais ao crescimento populacional – que requer cada vez mais alimentos, habitações, produção industrial e outras. A ampliação de áreas para agropecuária e equivocados loteamentos habitacionais, em especial, resultam em diversos impactos ambientais, desde a erosão do solo até a depreciação da qualidade dos recursos hídricos.

A erosão hídrica é muita das vezes associada à falta de proteção da cobertura vegetal, causando empobrecimento do solo e declínio da produção agrícola, como também reduzindo a qualidade de mananciais – sendo por este motivo apontado como um dos mais sérios problemas ambientais do planeta (MINOTI, 2006; OUYANG et al., 2010; FU et al., 2011;

¹ Professor Doutor do Instituto Federal da Paraíba, IFPB, jose.guimaraes@ifpb.edu.br ;

APITZ, 2012). O solo apresenta componentes que são essenciais aos ecossistemas, compondo, inclusive, papel fundamental no ciclo hidrológico (APITZ, 2012). Neste sentido evidenciamos o conceito de serviços ambientais podem ser entendidos como os benefícios que a natureza proporciona aos seres humanos, ou a eles são úteis (MEA, 2005; VIGERSTOL; AUKEMA, 2011; PEIXOTO, 2011).

Em paralelo, Daily (1997) aponta que serviços ambientais são funções ecológicas que sustentam a vida e podem ser classificados em quatro categorias: (a) de provisão, (b) de regulação, (c) de suporte e (d) cultural. O intenso e rápido domínio do poder de transformação da natureza pelo homem (KREMEN, 2005) fomentam os estudos de estimativa de serviços ambientais, na medida em que conseguem, de forma explícita, relacionar conservação ambiental e bem-estar social, delineando medidas para a preservação do meio ambiente natural (VIGERSTOL; AUKEMA, 2011).

O entendimento de serviço ambiental faz surgir, enquanto ferramenta da Gestão Ambiental, as políticas de Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) de tal forma favorecer interesses por parte de agentes econômicos em atividades de proteção e uso sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2011). De acordo com Nusdeo (2012), o PSA pode ser entendido como a remuneração para determinados agentes responsáveis pela conservação ou reflorestamento de áreas específicas, a fim de possibilitar à natureza a prestação de um determinado serviço ambiental. Em amplo sentido, PSA é um instrumento econômico para financiamento da conservação que considera os princípios do usuário-pagador e provedor-recebedor, através do qual aqueles que se beneficiam dos serviços ambientais devem pagar por eles, e aqueles que contribuem para a geração desses serviços devem ser compensados (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) desponta com o programa Produtor de Água, um dos mais sólidos projetos de PSA do país. Sob o princípio do “provedor-recebedor” a ANA defende que quem contribui para melhorar a disponibilidade qualitativa de água, adotando práticas sustentáveis, deve receber por esse serviço prestado à bacia hidrográfica. O Programa Produtor de Água visa estimular a proteção dos recursos hídricos, ao potencializar a infiltração e contribuir com o abatimento da erosão no âmbito da bacia hidrográfica (ANA, 2012). Os projetos são implementados em trechos de bacias, visando especialmente as APP’s e áreas de reserva legal, alcançando assim uma representatividade municipal, contudo há possibilidades de se abranger regiões maiores ou mesmo a dimensão estadual. São três categorias de projetos elegíveis pelo Programa Produtor de Água: práticas mecânicas de conservação do solo, recuperação florestal pela prática de

restabelecimento da cobertura florestal e aqueles que dizem respeito à educação ambiental (ANA, 2012).

Além desse, é possível citar o do ICMS Socioambiental, que surge através de uma ressignificação dos critérios de distribuição do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS). O ICMS socioambiental, de competência estadual, é um instrumento econômico de gestão ambiental que busca compensar e premiar os municípios que se destacam por boas práticas ambientais (MOURA, 2015), considerando funções compensatórias e incentivadoras (SOBRAL; SILVA JÚNIOR, 2014). A função compensatória diz respeito à busca por beneficiar municípios que sofrem diante de limitações em relação ao uso e à ocupação do solo, enquanto a função incentivadora trata de fomentar os municípios para com o compromisso com a sustentabilidade ambiental e qualidade de vida social (MATTOS; HERCOWITZ, 2011; SOBRAL; SILVA JÚNIOR, 2014).

Contudo, os serviços ambientais em toda sua extensão e, em especial os hidrológicos, carecem de uma concreta identificação e quantificação que relacione adequadamente o determinado serviço e qual fator o proporciona (WUNDER, 2005). Desta maneira, destaca-se a importância e o avanço da aplicação de modelos hidrossedimentológicos que permitam estimar matematicamente a magnitude dos componentes do ciclo hidrológico e, em paralelo, o processo de erosão do solo desde a separação da partícula de sedimento, o seu transporte até a sua deposição (CROKE; NETHERY, 2006).

Sendo assim, cita-se modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), produto de um legado de mais de 30 anos de trabalho conduzidos pelo Departamento de Agricultura e Pesquisa dos Estados Unidos, que é amplamente empregado no Brasil e no mundo na estimativa de processos hidrológicos e erosão, com amplo potencial investigativo de serviços ambientais hidrológicos (CARVALHO NETO, 2018). O referido modelo utiliza-se da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MEUPS) para cômputo da erosão laminar na bacia hidrográfica, promovendo resultados validados com dados observados. Ou seja, o modelo SWAT é uma ferramenta capaz de estimar e

Neste sentido, o presente trabalho² propõe a aplicação do modelo hidrossedimentológico SWAT na estimativa de serviço ambiental de conservação do solo, na bacia hidrográfica do rio Una, a partir do cenário hipotético em que a cultura de cana de açúcar é substituída por vegetação nativa nas Áreas de Preservação Permanente (APP) – com

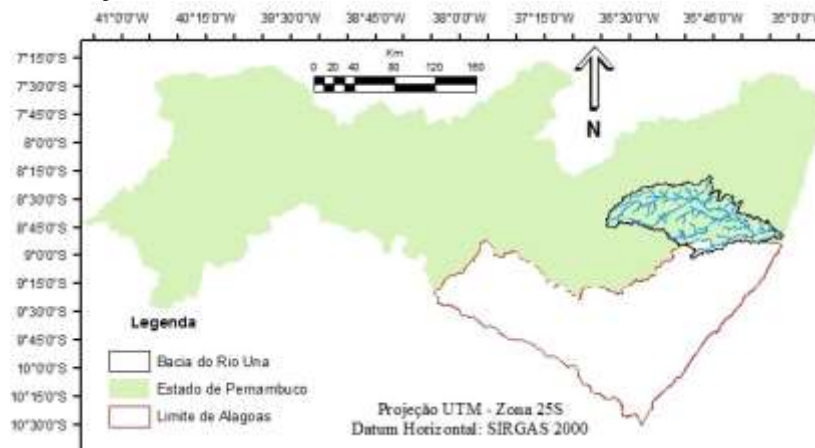
² Parte da tese de doutoramento do autor, cujo título é “Modelagem Hidrológica e Valoração de Serviço Ambiental na Bacia do Rio Una – Pernambuco”

declividades superior a 45° e margem de mata ciliar. Para tanto, a investigação baseou-se na metodologia proposta pelo Programa Produto de Água (ANA, 2012) que contempla a valoração dos serviços ambientais da vegetação nativa.

METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Una encontra-se entre as latitudes sul 8°17'14" e 8°55'28" e longitudes a oeste 35°07'48" e 36°42'10" (CEPAN, 2013). Esta bacia pos-ui uma área total de 6.789,79 km², dos quais 6.292,90 km² (92,74% da área total) pertencem ao Estado de Pernambuco, enquanto que os 492,89 km² (7,26% da área total) restantes estão situados no Estado de Alagoas, conforme Figura 1. Bastante reconhecida por desastres naturais ocasionados por enchentes, a bacia do rio Una apresenta climas de diferentes características: a Zona da Mata apresenta clima tropical sub-úmido e úmido, com totais anuais de precipitação superiores a 1.000 mm e a região do Sertão, com clima semiárido, apresenta uma estimativa entre de 600 a 800 mm de precipitação anual (PERNAMBUCO, 2006).

Figura 1. Localização da bacia do rio Una, entre os Estados de Pernambuco e Alagoas.



Fonte: Elaboração do mapa pelo autor (2017).

Para a simulação, o modelo SWAT incorpora oito componentes principais: hidrologia, aporte de sedimentos, clima, temperatura do solo, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e bacteriás e, por fim, práticas agrícolas. Para tanto faz-se necessário a inserção de três arquivos geoespaciais para a sua devida execução: modelo digital de elevação (DEM), mapa de tipo de solo e mapa de uso e ocupação do solo. Também é fundamental os dados tabulares que irão caracterizar as condições climáticas e promover a parametrização dos dados de solo e cobertura do solo. O SWAT provê todos os cálculos dispostos nos oito componentes citados no âmbito das Unidades de Resposta Hidrológica (URH), caracterizando-o como um modelo

semi-distribuído, considerando a heterogeneidade da bacia ao qual é aplicado – o que é fundamental na medida em que torna possível identificar as áreas de interesse e vislumbrar as contribuições do serviço ambiental de conservação do solo proveniente das APP's.

A execução do modelo SWAT ocorreu de forma integrada ao software de Sistemas de Informações Geográficas ArcGis, através da interface ArcSWAT, permitindo assim o pré e pós-processamento de dados além da confecção de mapas em que são visualizados os resultados quantitativos dos processos hidrossedimentológicos simulados.

A calibração é o ajuste dos parâmetros de um modelo para que se obtenha uma concordância aceitável entre os dados observados e simulados (ARNOLD et al., 2012). A performance do modelo SWAT foi realizada através da análise gráfica dos hidrogramas e dos coeficientes de eficiência de Determinação (R^2) e de Nash-Sutcliffe. Valores do coeficiente de Determinação (R^2) variam de 0 a 1, sendo os maiores valores indicativos de maior linearidade da relação entre dados observados e simulados. Valores superiores a 0,5 são considerados aceitáveis para a simulação (MORIASI et al., 2007). O coeficiente de Nash é um medidor estatístico adimensional que indica o quanto a simulação é melhor predictor que a média dos valores observados (MIDIERO; GARROTE; MARTÍN-CARRASCO, 2011). Seu valor varia de $-\infty$ a 1, valores negativos indicam que a média dos dados observados é melhor predictor que a utilização do modelo, quando zero a eficiência do modelo é igual a utilização da média. Segundo Moriasi et al. (2007), valores superiores a 0,5 fazem o desempenho do modelo satisfatório.

Os parâmetros foram calibrados segundo a área de contribuição, representada por um conjunto de sub-bacias, de cada estação fluviométrica – ajustando-se primeiro os valores dos parâmetros para as sub-bacias que contribuem, independentemente, para as estações de Capivara e Catende, e em seguida aquelas que contribuem para a estação de Palmares, para que, por fim, fosse possível calibrar os valores intrínsecos somente à estação de Barreiros. A Figura 2 ilustra a delimitação das sub-bacias e a divisão dos grupos das sub-bacias conforme sua área de contribuição para cada uma das estações fluviométricas e a Tabela 1 o período de investigação.

Tabela 1. Divisão do período disponível para a calibração e validação

Estação Fluviométrica	Etapa	Período	Nº de Meses
Capivara	Calibração	01/01/1997 a 12/31/2004	96
	Validação	01/01/2005 a 31/12/2008	48
Catende	Calibração	01/08/2000 a 12/31/2004	53
	Validação	01/01/2005 a 31/12/2008	48
Palmares	Calibração	01/01/1997 a 12/31/2004	96
	Validação	01/01/2005 a 31/12/2008	48
Barreiros	Calibração	01/12/2002 a 12/31/2004	25
	Validação	01/01/2005 a 31/12/2008	48

O processo de calibração foi realizado segundo o Cenário Atual, adaptado de Diagnóstico da Bacia do Rio Una (CPRH, 2011), conforme Figura 3. Enquanto que a Figura 4 exhibe a condição hipotética da mata ciliar pela manipulação do arquivo geoespacial da rede de drenagem considerando a faixa de APP de 30 metros para rios com menos de 10 metros de largura (afluentes mais significativos) e de 50 metros para rios entre 10 a 50 metros de largura (rio principal); ao passo que a Figura 5 identifica cinco sub-bacias de importância na análise dos resultados e a identificação das áreas com declividade superior a 45° foram obtidas pela análise do Modelo Digital de Elevação com resolução de 30 m, obtido pelo projeto TOPODATA. Isto posto, é possível apresentar a Figura 6 com as configurações hipotéticas tomadas para esta simulação, chamada de Cenário 1, além do mapa de solos segundo a classificação de Grupo Hidrológico para execução do Método NRCS-CN (NEITSCH et al., 2009) para estimativa do escoamento superficial, de acordo com a Figura 7.

Figura 2. Localização das estações fluviométricas, e suas respectivas sub-bacias de contribuição, e a rede de drenagem delimitada pelo rio principal e seus afluentes.

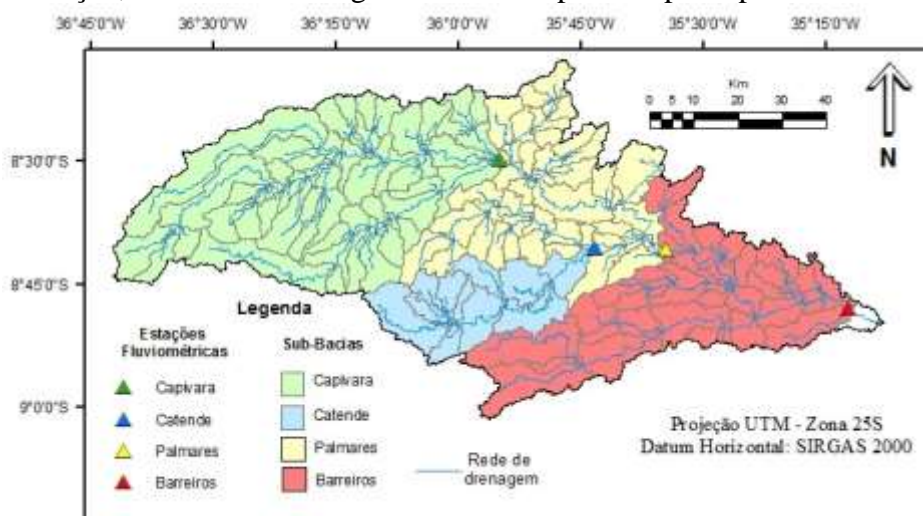


Figura 3. Cenário atual da bacia do rio Una para ajuste de calibração e validação do modelo.

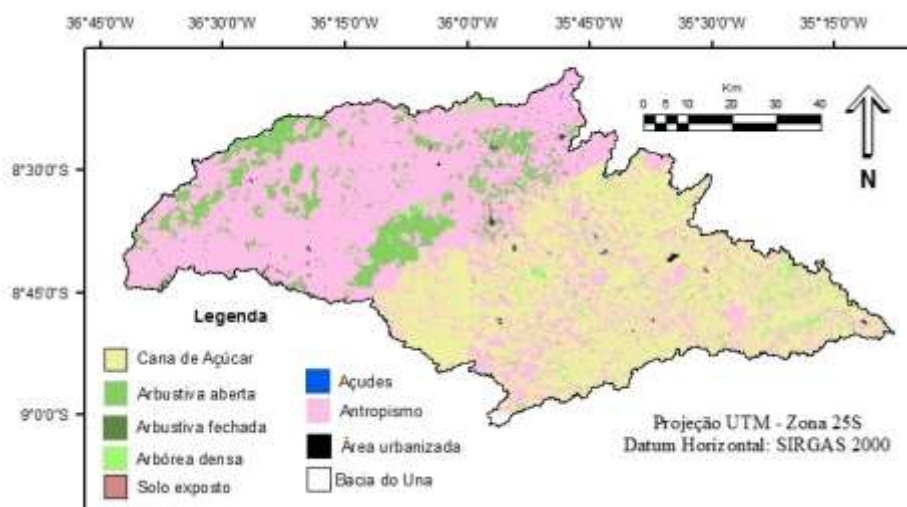


Figura 4. Identificação das áreas de APP demata ciliar com margem de 50 m para o rio principal e de 30 para afluentes mais significativos.

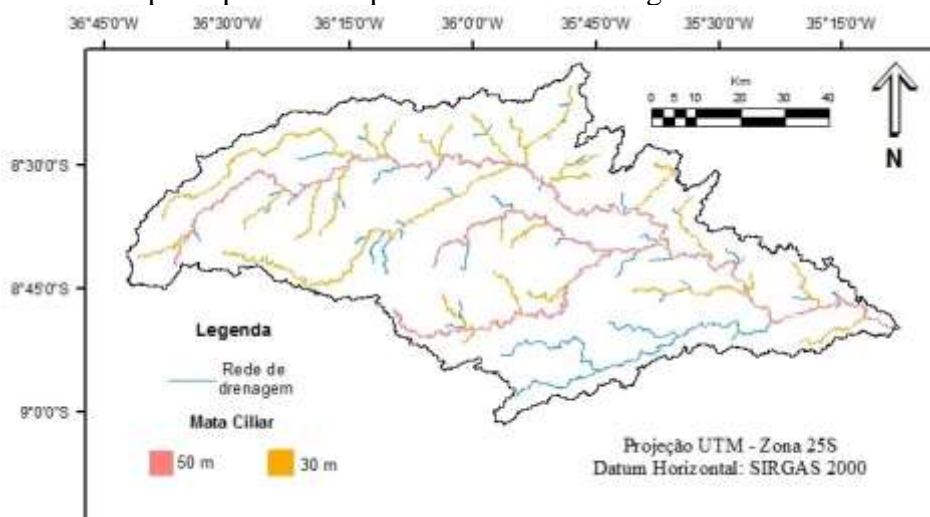


Figura 5. Identificação das áreas de APPs com declividade superior a 45° e identificação de sub-bacias para análises das estimativas obtidas.

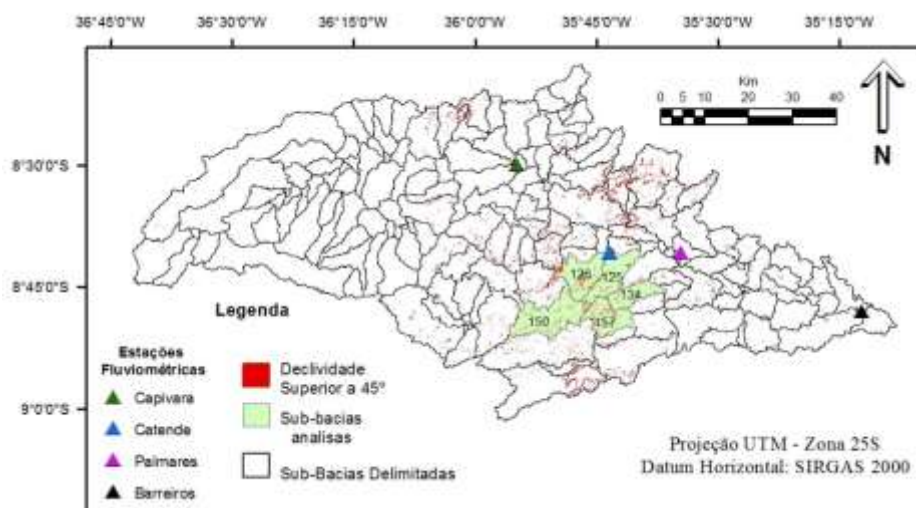


Figura 6. Cenário 1, configuração hipotética pela consideração das APP's.

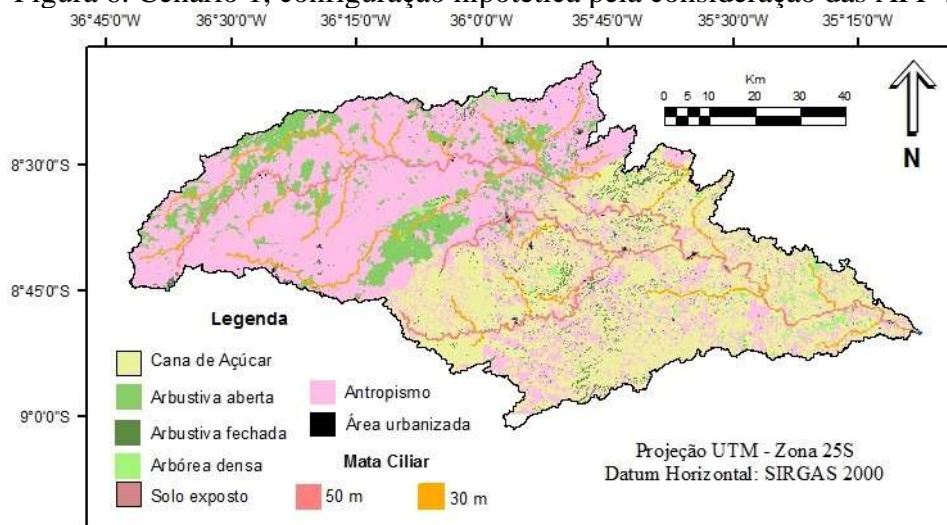
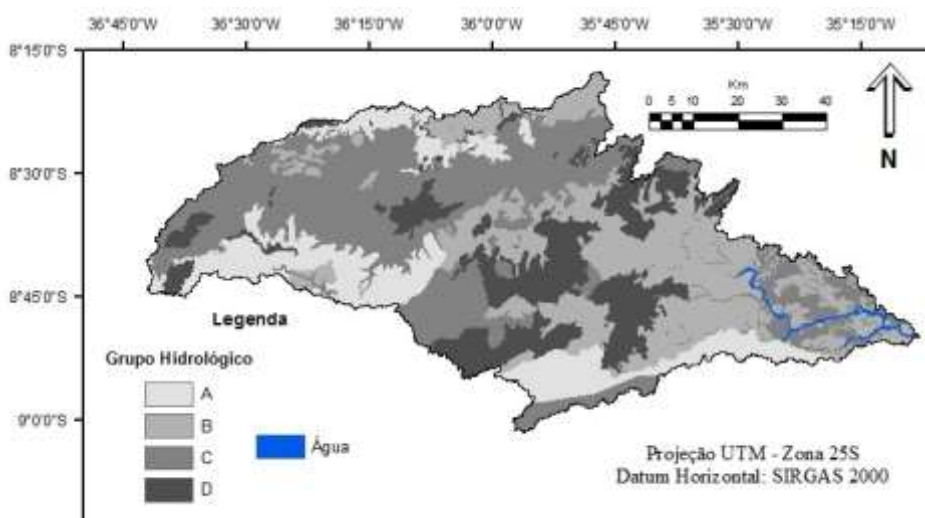


Figura 7. Definição do mapa de solo segundo sua classificação hidrológica.



As estimativas de erosão do solo resultantes do Cenário 1 perante o Cenário Atual são consideradas para todo o período de simulado, entre 1997 a 2008. Com isto torna-se possível atrelar a presente investigação à metodologia empregada no Programa Produtor de Água tendo por base os valores de referência de pagamento (VRP) para cômputo dos ganhos prestados pelo serviço ambiental de conservação do solo oriundos da vegetação nativa em substituição a cultura de cana de açúcar que se encontrava em áreas de preservação permanente.

A Agência Nacional de Águas (ANA) desponta com o programa Produtor de Água, um dos mais sólidos projetos de PSA do país. Sob o princípio do “provedor-recebedor” a ANA defende que quem contribui para melhorar a disponibilidade quali-quantitativa de água, adotando práticas sustentáveis, deve receber por esse serviço prestado à bacia hidrográfica.

O Programa Produtor de Água visa estimular a proteção dos recursos hídricos, ao potencializar a infiltração e contribuir com o abatimento da erosão no âmbito da bacia hidrográfica (ANA, 2012). Os projetos são implementados em trechos de bacias, visando especialmente as APP's e áreas de reserva legal, alcançando assim uma representatividade municipal, contudo há possibilidades de se abranger regiões maiores ou mesmo a dimensão estadual. São três categorias de projetos elegíveis pelo Programa Produtor de Água: práticas mecânicas de conservação do solo, recuperação florestal pela prática de restabelecimento da cobertura florestal e aqueles que dizem respeito à educação ambiental (ANA, 2012).

ANA (2012) segue a metodologia em que a razão do Fator de Cobertura do Solo (Fator C) da MEUPS da condição final pela condição inicial resulta no Percental de Abatimento de Erosão (PAE). Contudo cálculos demonstram que a aplicação da Equação Universal Modificada não implica nesta relação linear (da razão entre o Fator C final pelo inicial), por este motivo justifica-se a aplicação do modelo SWAT de modo que através da execução da MEUPS são obtidos valores mais próximos da realidade.

Isto posto, apresenta-se aos critérios de embolso do programa Produtor de Água, e também utilizado no Programa Conservador de Águas do município de Extrema, em Minas Gerais (YOUNG; BAKKER, 2015) tendo por base os Valores de Referência de Pagamento (VRP), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Valores de referência para pagamento de serviços ambientais

Índice	Nível de Abatimento de Erosão e Respectivos Valores de Pagamentos		
PAE (%)	25-50	51-75	>75
VRP (R\$/ha/ano)	50	75	100

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação para cada uma das quatro estações fluviométricas mostram-se bastante satisfatórios, conforme Tabela 3, na medida em que todos os valores do coeficiente de Determinação (R^2) foram superiores a 0,84 e valores positivos de Nash, com o mínimo de 0,76 – exceções encontradas para o R^2 de valor de 0,78 e Nash de 0,56, ambos para a verificação da simulação na estação fluviométrica de Capivara. A obtenção destes resultados, que acompanham um bom ajuste de picos e forma do hidrograma (CARVALHO NETO, 2018), proporcionam uma análise robusto das estimativas obtidas de erosão e transporte de sedimentos.

Tabela 3. Coeficientes de Eficiência para as estações fluviométricas analisadas.

Estação Flu. →	Capivara		Catende		Palmares		Barreiros	
	<i>R</i> ²	<i>Nash</i>	<i>R</i> ²	<i>Nash</i>	<i>R</i> ²	<i>Nash</i>	<i>R</i> ²	<i>Nash</i>
Calibração	0,84	0,76	0,91	0,90	0,88	0,84	0,96	0,90
Verificação	0,78	0,56	0,84	0,73	0,93	0,88	0,92	0,78

Estimativas médias anuais para toda a bacia dos principais processos hidrológicos entre os dois cenários, obtidas pelo modelo SWAT, estão dispostas na Tabela 4. Percebe-se que as condições favoráveis a sociedade foram encontradas no Cenário 1, onde ameniza-se o processo de escoamento superficial e, por consequência, da produção de sedimentos a ele associado e, na mesma medida, redução do escoamento favorece a processos de infiltração que virão a implicar na contribuição e recarga do aquífero. Em amplo contexto, infere-se que a redução do escoamento superficial promove a redução de vazões, onde a problemática na referida bacia está nos eventos extremos a que ela tem apresentados nos últimos anos.

Tabela 4. Média de processos hidrossedimentológicos para todo o período simulado

Processo hidrossedimentológico	Cenário	
	Atual	1
Escoamento Superficial (mm)	80,98	78,46
Contribuição do aquífero (mm)	86,28	86,53
Recarga do aquífero (mm)	188,96	189,97
Produção de Sedimentos (t/ha) ³	6,620	6,036

A erosão do solo obtida pelo Cenário Atual é disposta na Figura 8, enquanto que aquela resultante do Cenário 1 na Figura 9. Analisando ambas as figuras conjuntamente, percebemos o grupo de cinco sub-bacias, dispostas anteriormente na Figura 5, apresentam sensível atenuação da erosão do solo, fato este associado as amplas áreas de cultivo de cana de açúcar em solo com propensão a geração de escoamento superficial. Desta forma, a alocação da vegetação nativa favoreceu ao processo de infiltração e redução da erosão do solo.

³ A produção de sedimentos reflete a carga efetiva de sedimentos que é transportada através de uma determinada seção do rio.

Figura 8. Distribuição espacial da perda de solo média anual entre 1997 e 2008 para o Cenário Atual.

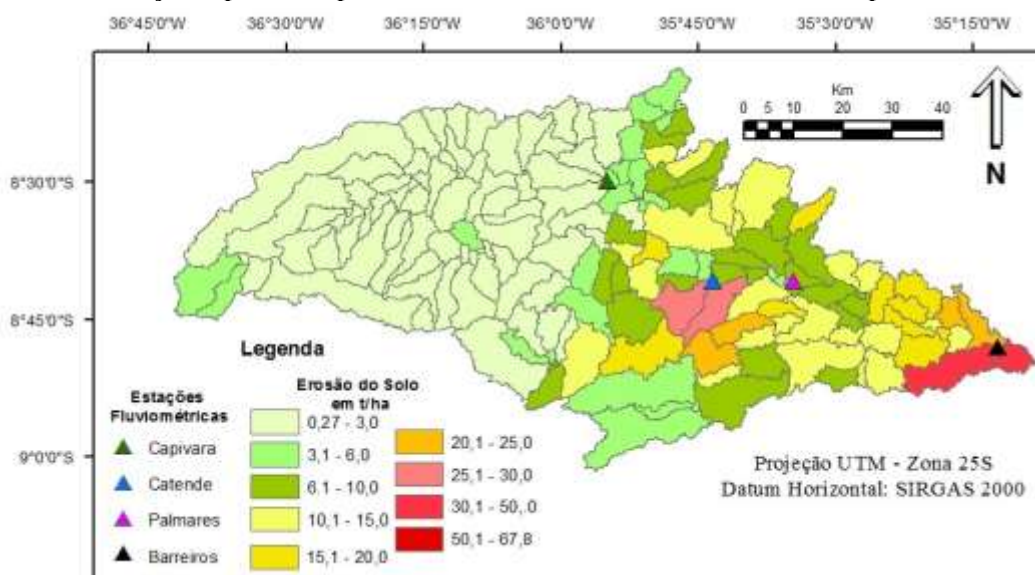
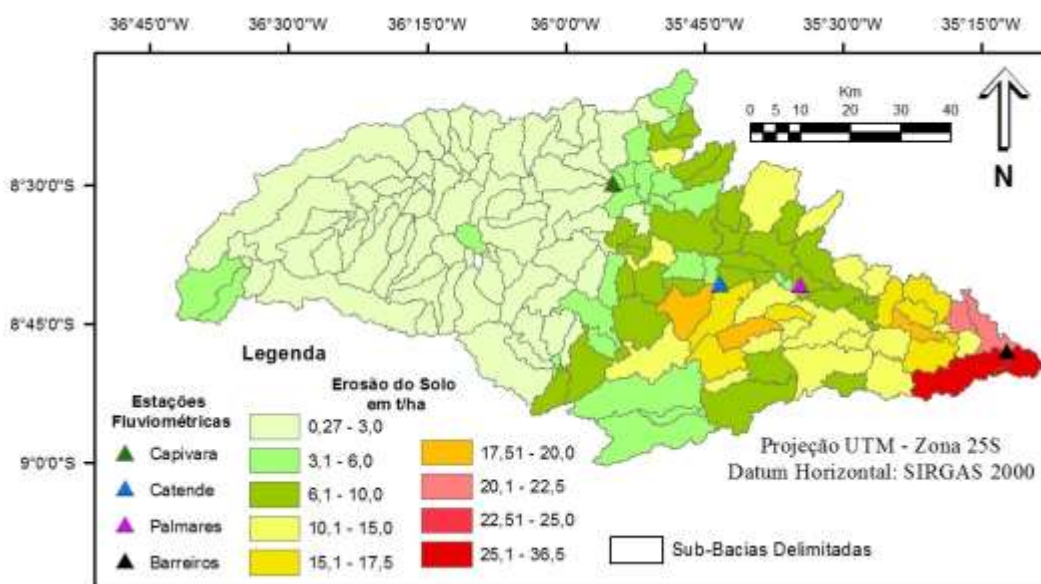


Figura 9. Distribuição espacial da perda de solo média anual entre 1997 e 2008 para o Cenário 1.



A observação da Tabela 5 evidencia uma relação exponencial entre a redução do escoamento superficial e a da erosão do solo, enaltecendo a importância da vegetação nativa no serviço ambiental de conservação do solo em comparação ao cultivo de cana de açúcar em APPs. Ou seja, para o Cenário Atual nas sub-bacias 125 e 126 haviam grandes áreas de declividade superior a 45° cuja cobertura do solo eram outras senão vegetação nativa. E quando da substituição da cobertura que ali havia pela representação da vegetação nativa, obedecendo as condições do Código Florestal, no Cenário 1 foi possível tornar mais evidente os impactos ambientais positivos de conservação do solo nas sub-bacias mencionadas pela sensível redução da erosão do solo estimada.

A redução da erosão do solo, indicada como Percentual de Abatimento de Erosão, é aplicada na metodologia da ANA (2012), conforme tabela 6, obtendo-se o pagamento médio anual na ordem de 15,5 mil e 32,25 mil R\$ pela conversão das áreas do Cenário Atual para o Cenário 1, hipotético.

Tabela 5. Valores dos processos hidrológicos para sub-bacias 125 e 126 entre os cenários Atual e 1.

Sub-Bacia	Processo Hidrológico	Cenário	Valor	Amplitude Entre o Cenários 1 e o Atual	Redução em %
125	Escoamento Superficial (mm)	Atual	169,8	-2,00	1,18
		1	167,8		
	Erosão do Solo (ton/ha)	Atual	25,4	-8,00	31,39
		1	17,4		
126	Escoamento Superficial (mm)	Atual	199,71	-24,54	12,29
		1	175,17		
	Erosão do Solo (ton/ha)	Atual	25,22	-6,79	26,93
		1	18,43		

Tabela 6. Pagamento por serviço ambiental

Sub-Bacia	Área Convertida em Cobertura Florestal (ha)	PAE (%)	VRP (R\$/ha/ano)	Valor a ser investido (R\$/ano)
125	310,81	31,39	50	15.540,5
126	625	26,93		31.250

É importante ressaltar que o presente trabalho não identificou as propriedades inseridas na bacia do Rio Una, analisando-se somente as sub-bacias sob a perspectiva de um contexto único no cômputo dos ganhos por serviço ambiental. Ou seja, vislumbrou-se o método de quantificação a partir do Programa Produto de Água e tomou como mecanismo de pagamento o ICMS Socioambiental presente no Estado de Pernambuco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi capaz de mostrar como a modelagem hidrossedimentológica, associando o ciclo da água aos dos sedimentos, é capaz de propiciar investigações robustas no tocante ao uso e ocupação do solo, identificando oportunidades no processo de gestão ambiental. Nesta investigação as seguintes conclusões são ressaltadas:

- O modelo SWAT apresentou resultados satisfatórios, em seus procedimentos de calibração e validação, e comprovou sua robustez quanto a investigação de cenários hipotéticos;

- As percepções oriundas das análises nas sub-bacias, permitem apontar que um imenso espectro de pequenas áreas apresentam um vasto campo de estudo para identificar e mensurar diversos serviços ambientais, em especial os hidrológicos;
- A metodologia proposta pelo Programa Produtor de Água evidencia uma simplicidade que em muito favorece à aplicação simples e direta em propriedades rurais. O presente trabalho tratou de extrair maior veracidade do Percentual de Abatimento de Erosão através da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo Modificada;
- Os valores obtidos pelo pagamento por serviço ambiental de conservação do solo por parte do Programa Produtor de Água, é ilustrativo para uma única oportunidade: a de prevenção de erosão. Contudo várias outras possibilidades se abrem quando proporciona o crescimento da vegetação nativa, que atrai biodiversidade, favorece a regulação do ciclo da água e explora a viabilidade do turismo ecológico – de tal forma agregando valor ao pagamento já assegurado.
- A idéia que permeia Serviço Ambiental ainda é recente e sua exploração pouco divulgada. O movimento que se deseja desencadear diz respeito a ampliação do alcance deste conceito que evidencia a necessidade da conservação ambiental na medida em que a natureza, em seus mais diversos processos, proporcionam a nossa vida em sociedade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. 2. ed. Brasília: ANA, 74p, 2012.

APITZ, S. E. Conceptualizing the role sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SEcoRA). **Science of the Total Environment**. n. 415, pp 9-30. 2012.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers, **Transactions of the ASABE** , v. 55(4), pp. 1491-1508., 2012a.

CARVALHO NETO, J. G. **Modelagem Hidrológica e Valoração de Serviço Ambiental na Bacia do Rio Una – Pernambuco**. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2018.

CENTRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS DO NORDESTE (CEPAN). **Memorial Descritivo para o Planejamento das Ações de Restauração Ecológica na Bacia Hidrográfica do Rio Una**. 167p, 2013.

CONSTAZA, R.; De GROOT, R.; SUTTON, P.; PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, 26, pp. 152–158, 2014.

CROKE, J.; NETHERY, M. Modelling runoff and soil erosion in logged forests: Scope and application of some existing models. **Catena**. 67, pp 35-49, 2006.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystem**. Washington, DC.: Island Press. 1997.

ENGEL, S., S. PAGIOLA; S. WUNDER. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, 65(4), 2008, pp.663-674.

FU, B.; LIU, Y.; LÜ, Y.; HE, C.; ZENG, Y.; WU, B. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. **Ecological Complexity**, 8, pp 284-293, 2011.

GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R.; LOMAS, P. L.; MONTES, C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. **Ecological Economics**. 69, pp.1209–1218, 2010.

KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology. **Ecology Letters**, 8, pp 468-479, 2005.

MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. **Economia do Meio Ambiente e Serviços Ambientais: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas**. Brasília, DF. Embrapa. 294p, 2011.

MIDIERO, L.; GARROTE, L.; MARTÍN-CARRASCO. Probabilistic calibration of a distributed hydrological model for flood forecasting. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 56, 1129 – 1149p, 2011.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis**. Washington, D.C.: Island Press. 2005.

MINOTI, Ricardo Tezini. **Abordagens Qualitativa e Quantitativa de Micro-bacias Hidrográficas e Áreas Alagáveis de um Compartimento do Médio Mogi-Superior, SP**. 247 p. 2006. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2006.

MONTAGNÉ, C.; HAROU, P.; GARCIA, S.; JACOB, J.; STENGER, A. **Référentiel pour l'évaluation économique des biens, services et dommages environnementaux liés à la forêt française**. Nancy: Laboratoire d'Economie Forestière, Agro Paris Tech, 161 pgs, 2008.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 50, n.3, 885-900p, 2007.

MOURA, A. S. Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços Socioambiental: incentivos institucionais e legislação ambiental no Brasil. **Revista Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 49(1), pp165-187, jan./fev. 2015.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. Soil And Water Assessment Tool – Theoretical Documentation. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 494p. 2009.

NUSDEO, Ana Maria de Oliveira. **Pagamentos por Serviços Ambientais: Sustentabilidade e disciplina jurídica.** São Paulo: Atlas, 2012.

OUYANG, W.; HAO, F.; SKIDMORE, A. K.; TOXOPEUS, A. G. Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the Yellow River. **Science of the Total Environment**, n. 409, pp. 396-403. 2010.

PEIXOTO, J. S. **Estimativa das perdas de solo e do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica no entorno da cidade de Santo Amaro da Purificação, Bahia.** 89p. 2013. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia Mestrado em solos e qualidade de ecossistemas Cruz das Almas, BA, 2013.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM). **Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL4 e GI 5.** (Séries Bacias Hidrográficas de Pernambuco, n. 3, SEPLAN, Recife, 85p, 2006.

SOBRAL, E. F. ; SILVA JÚNIOR, L. H.. O ICMS Socioambiental de Pernambuco: Uma avaliação dos componentes socioeconômicos da política a partir do processo de Markov. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 42, p. 189-217, 2014.

VIGERSTOL, K. L.; AUKEMA, J. E. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. **Journal of Environmental Management** 92, pp.2403 – 2409, 2011.

WUNDER, S. Payments for environmental services: Some nuts and bolts. **CIFOR Occasional Paper**, n.42. Bogor: CIFOR. 2005.

YOUNG, C. E. F.; BAKKER, L. B. D. Instrumentos econômicos e pagamentos por serviços ambientais no Brasil. In: FOREST Trends (ed.) **Incentivos Econômicos para Serviços Ecológicos no Brasil.** pp. 33-56. Rio de Janeiro, 2015.