

**MODELO WEPP PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA PEQUENA HIDROGRÁFICA DA AMAZÔNIA****WEPP MODEL FOR PREDICTION OF THE SEDIMENT YIELD IN A SMALL CATCHMENT IN THE AMAZON**Liliane da Cruz Sampaio<sup>1</sup>Claudio José Cavalcante Blanco<sup>2</sup>**RESUMO**

O modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) foi aplicado para simular a produção de sedimentos de uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. Para a calibração e simulação do modelo, foram necessários dados climáticos e do tipo, uso e ocupação do solo; e de relevo da bacia, os quais foram encontrados na literatura ou adaptados do banco de dados do WEPP. Os parâmetros principais calibrados do modelo WEPP foram: saturação inicial do solo (Si), erosão pelo fluxo superficial (Ki), erosão pelo fluxo em canais ou em sulcos (Kr) e condutividade hidráulica saturada (Ke). Após a calibração, verificou-se que a maior parte da produção de sedimento está nos planos próximos ao exutório da bacia. E como era de se esperar, essa produção é maior em áreas com predominância de agricultura e pecuária. Os resultados da estimativa de produção de sedimentos calculada pelo modelo foram comparados a dados observados do ano de 2012. O modelo apresentou um valor 131,07 t/km<sup>2</sup>, valor próximo ao observado, que foi de 121,64 t/km<sup>2</sup>. Assim, percebe-se que os resultados alcançados através do modelo WEPP estão coerentes com a realidade da produção de sedimentos da pequena bacia hidrográfica analisada.

**Palavras-chave:** Erosão; Modelagem hidrosedimentológica; Uso e ocupação do solo.

**ABSTRACT**

The WEPP (Water Erosion Prediction Project) model was applied to simulate the sediment yield from a small hydrographic basin in the Amazon. The model is capable of estimating soil losses through physical processes based on climate, hydrology, hydraulics, soil mechanics, erosion and phytotechnics of the analyzed area. For model calibration and simulation, climatic data and the type, use and occupation of the soil were necessary; and basin relief, which were found in the literature or adapted from the WEPP database. The main calibrated parameters of the WEPP model were: initial soil saturation, erosion by surface flow, erosion by flow in channels and saturated hydraulic conductivity. After

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA) [lilianesampaio@ufpa.br](mailto:lilianesampaio@ufpa.br) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0523-8101>

<sup>2</sup>Docente da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará (UFPA) [blanco@ufpa.br](mailto:blanco@ufpa.br) ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8022-2647>

calibration, it was found that most of the sediment yield is in the planes close to the basin outlet. As expected, the yield is higher in areas with a predominance of agriculture and livestock. The results of the sediment yield calculated by the model were compared to observed data for the year 2012. The model presented a value of 131.07 t/km<sup>2</sup>, a value close to that observed, which was 121.64 t/km<sup>2</sup>. Thus, it is clear that the results achieved through the WEPP model are consistent with the reality of sediment production in the small hydrographic basin analyzed.

**Keywords:** Erosion; Hydrosedimentological modeling; Use and occupation of the soil.

## INTRODUÇÃO

Erosão é o desgaste ou o arraste da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos. Trata-se de um fenômeno importante por apresentar influência direta nas características ambientais e econômicas de uma região, como a inserção de contaminantes no meio hídrico. Nesse caso, destaca-se o processo erosivo produzido pelo escoamento superficial provocado pelas chuvas, podendo provocar sulcos, ravinas e voçorocas, causando problemas à cobertura do solo. Isso acarreta deposição de sedimentos nos corpos d'água, com prejuízos ao meio ambiente. Também a utilização do solo para a agricultura e o uso dos recursos hídricos para diversos fins, tem apresentado uma grande preocupação no que tange à quantificação no tempo e no espaço da produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Assim, diversas técnicas de controle de erosão hídrica e pesquisas em ciências do solo têm sido desenvolvidas. Por exemplo, modelos hidrossedimentológicos têm permitido estimar perdas de solo por erosão. Tais modelos evoluíram de modelos empíricos, como a USLE - Universal Soil Loss Equation (Wischmeier & Smith, 1965) para modelos de base física, como o WEPP - Water Erosion Prediction Project (Flanagan *et al.*, 2001).

O modelo WEPP vem sendo aplicado mundialmente, por exemplo, Amore *et al.* (2004) aplicaram os modelos USLE e WEPP numa bacia da Sicília - Itália, comparando os valores de sedimentos calculados com as medições de sedimentos depositados em um reservatório. Raclot & Albergel (2006) aplicaram o modelo na Tunísia, em uma área semiárida do Mediterrâneo. Zhang *et al.* (2009) aplicaram o modelo a uma pequena bacia

hidrográfica de uso principalmente agrícola em Black Hawk County, Iowa, USA. Singh *et al.* (2011) utilizaram o modelo para simular o escoamento e a produção de sedimentos com alta pluviosidade para condições de forte inclinação no leste do Himalaia. Zhang *et al.* (2014) avaliaram a taxa de perda de solo numa bacia da China. Akbari *et al.* (2015) simularam a produção de sedimentos para uma pequena bacia hidrográfica iraniana de relevo montanhoso e clima árido. Chandramohan *et al.* (2015) verificaram a aplicabilidade de três modelos de erosão do solo em pequenas bacias do rio Pamba de Kerala, Índia. Os modelos utilizados foram USG (Unit Sediment Graph), MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) e WEPP (Water Erosion Prediction Project). Kinnell (2017) comparou o desempenho dos modelos USLE-M, RUSLE2 and WEPP na simulação de eventos de erosão em áreas de pousio de bacias hidrográficas dos USA.

No caso específico da área de estudo da pesquisa, tem-se a seguinte literatura disponível: Cariello *et al.* (2014) aplicaram e calibraram a equação universal de perda de solo modificada (MUSLE). Santos *et al.* (2015) aplicaram a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Silva *et al.* (2015) analisaram o potencial de produção de sedimentos, através dos modelos Langbein-Schumm (Langbein & Schumm, 1958) e USLE, comparando os dados simulados com os dados observados de sedimento da bacia, observando que o modelo Langbein-Schumm se sobressaiu em relação à USLE. Analisando a literatura citada e produzida através de aplicação de modelos de base empírica, o modelo WEPP, que possui base física, pode fornecer resultados, também com confiabilidade e dispondo de parâmetros físicos (clima, hidrologia, hidráulica, mecânica dos solos, erosão e fitotecnia) da bacia hidrográfica analisada.

Assim, o objetivo do trabalho é simular a produção de sedimentos, utilizando o modelo WEPP em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia, comparando os resultados a dados observados e resultados de outros modelos disponíveis na literatura. A motivação do trabalho é destacar estudos de pequenas bacias hidrográficas da região,

desde que não se conhece tanto sobre a dinâmica do uso do solo e erosão dessas bacias em relação às grandes bacias amazônicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a pequena bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, localizada no Município de Capitão Poço, nordeste do Estado do Pará, Amazônia, Brasil. A bacia apresenta 82 km<sup>2</sup> de área de drenagem. Entretanto a área estudada é de 32,7 km<sup>2</sup> (Figura 1). Mapas como o mostrado na Figura 1, foram elaborados através de softwares do tipo SIG.

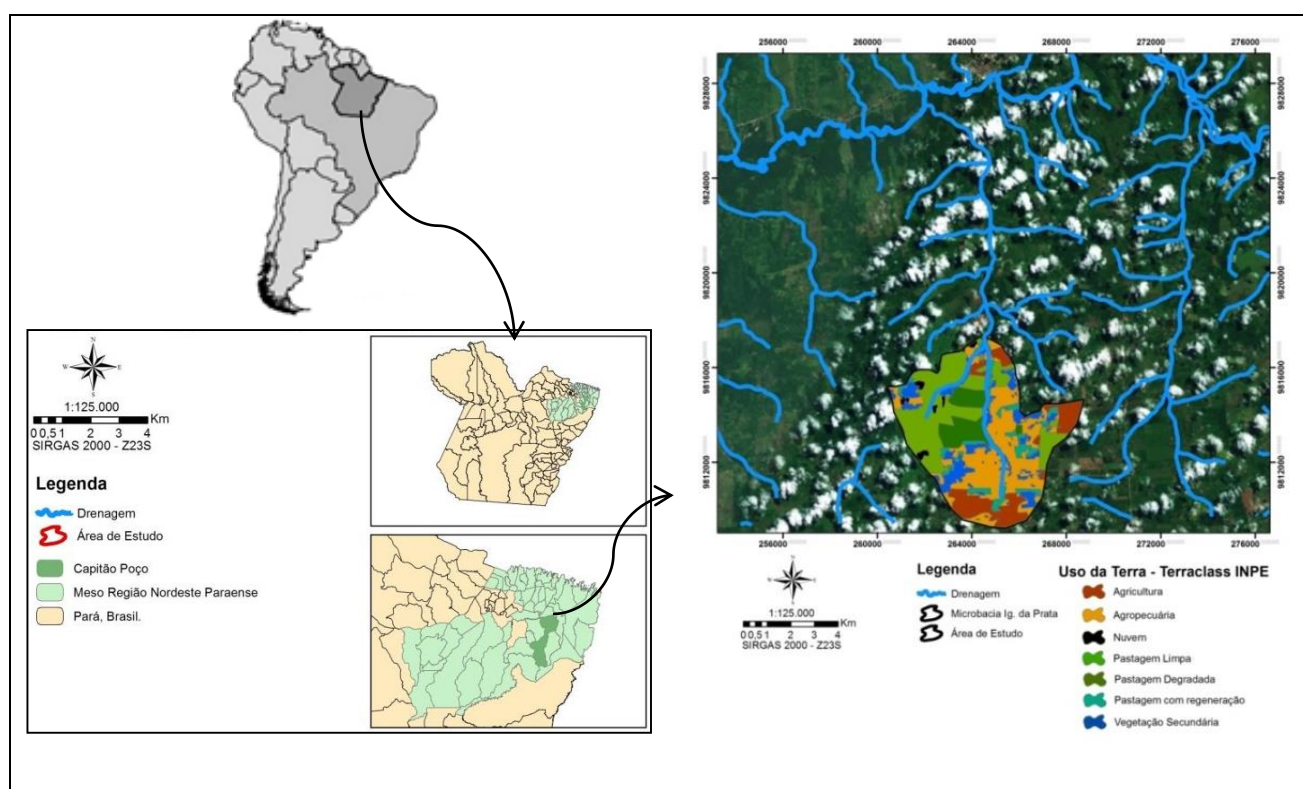


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e uso e ocupação do solo.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Essa região possui característica climática quente e úmida, com um clima chuvoso. As médias das temperaturas mínimas, médias e máximas são iguais a 21,4°C, 26,2°C e 32,7°C, respectivamente. No trecho da bacia estudada predominam os Latossolos Amarelos distróficos e Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos, com 84 e 14 % do total, respectivamente, ambos são solos profundos, homogêneos e quimicamente pobres. O uso

e ocupação do solo da área estudada são apresentados na Figura 1. Na Figura 2 é apresentado o mapa de declividade da área de estudo com cotas variando entre 54 e 102 m, possuindo declividade inferior com valor médio de 1,7%, não ultrapassando 8,5% nas áreas íngremes (Santos *et al.*, 2015).

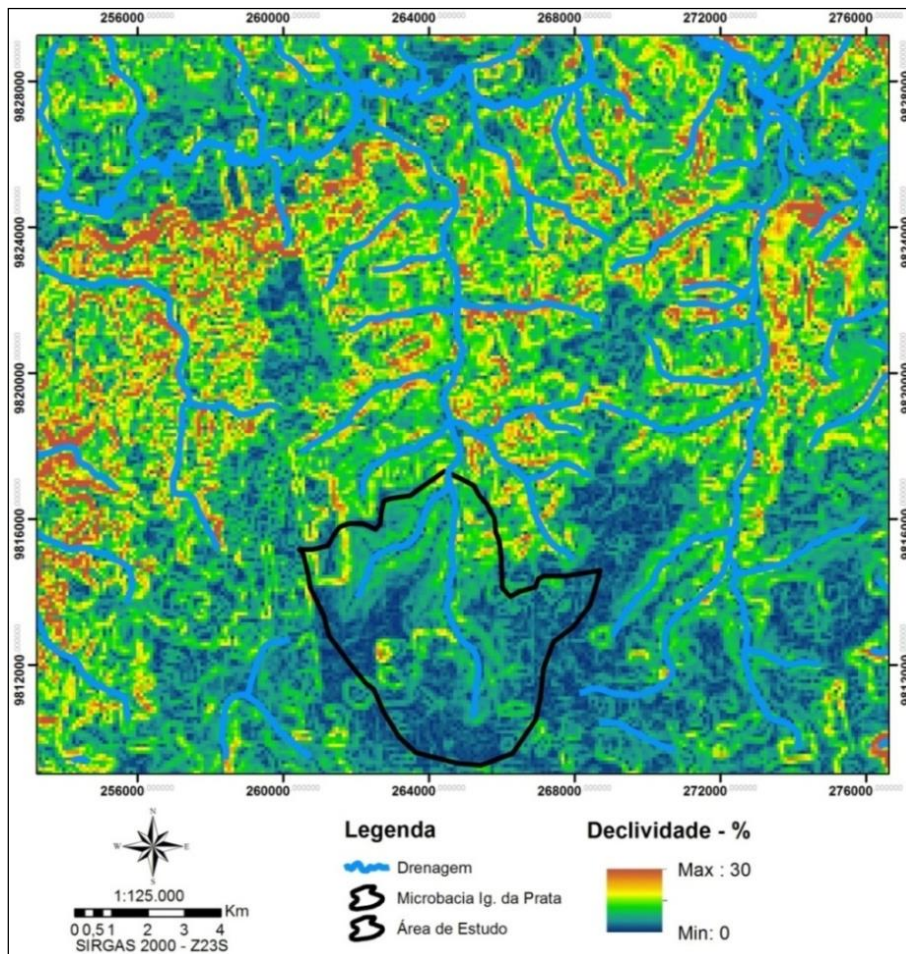


Figura 2. Mapa de declividade da região da bacia hidrográfica do igarapé da Prata.  
Fonte: Santos *et al.* (2015).

### MODELO WEPP

O WEPP - Water Erosion Prediction Project (Flanagan *et al.*, 2001). É um modelo para estimativas de perda de solo de base física. Segundo Foster *et al.* (1995), o modelo é dividido em seis componentes (Figura 3): climático, crescimento de plantas, solos, hidrológico, erosão/deposição e irrigação, os quais são apresentados nessa ordem.

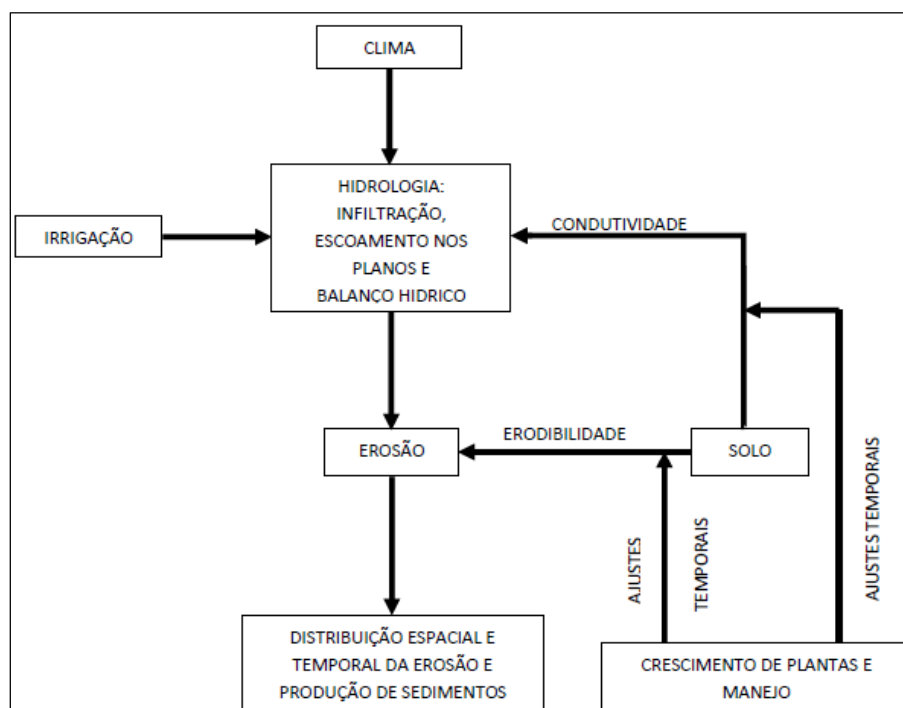


Figura 3. Esquema operacional do modelo WEPP.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

### COMPONENTE CLIMÁTICO

Para a simulação da infiltração, foi necessária a montagem do arquivo climático de entrada, esse arquivo é gerado com a execução do programa CLIGEN, que gera os dados climáticos no formato aceito pelo modelo WEPP. Os dados são obtidos com base nas observações da localização da estação pluviométrica como latitude, longitude, altitude, média da radiação solar, média das temperaturas máxima e mínima mensal, média mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos, média mensal do ponto de orvalho, probabilidade de ocorrências de dia com chuva, seguido de dia sem chuva. A precipitação foi registrada através de um pluviômetro (Figura 4) instalado na área de estudo, possuindo uma resolução de 0,2 mm e intensidade máxima de 3 mm/min. As informações iniciais de entrada do programa CLIGEN são referentes a dados diários de precipitação total, temperaturas máxima e mínima, longitude, latitude e elevação.



Figura 4. Pluviômetro da estação pluviométrica do Igarapé da Prata.  
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

#### COMPONENTE - CRESCIMENTO DE PLANTAS

Este componente simula as mudanças temporais nas variáveis vegetais, que influenciam nos processos de escoamento superficial e erosão, sendo aplicado às condições de terras agrícolas e de pastagens. Assim, foi montado um arquivo com base em condições locais (Tabela 1) e no banco de dados do WEPP (Sampaio, 2017), de maneira a representar as práticas de cultivos e manejos adotadas na bacia de estudo.

<b>Classe de uso</b>	<b>Uso do solo (%)</b>
<i>Agricultura anual</i>	13
<i>Agropecuária</i>	29
<i>Nuvem</i>	2
<i>Pasto limpo</i>	27
<i>Pasto degradado</i>	9
<i>Pasto com regeneração</i>	7
<i>Vegetação secundária</i>	13

Tabela 1. Classes de uso do solo.  
Fonte: Santos *et al.* (2015).

#### COMPONENTE - SOLO, TOPOGRAFIA, USO E MANEJO DO SOLO

As propriedades do solo são fatores importantes que afetam o escoamento superficial e a erosão do solo. Para o componente do solo, foram determinados os parâmetros físicos e químicos do solo, sendo definidos para uma camada bem distribuída

da bacia. Albedo, condutividade hidráulica efetiva, erodibilidade nos planos, erodibilidade nos canais e tensão crítica de cisalhamento foram calculados, utilizando equações sugeridas no manual do WEPP. Além desses dados, foi necessário definir a textura do solo através de estudos realizados por Martins (1987). O autor determinou a granulometria do latossolo amarelo da bacia, para um solo do tipo franco arenoso. Para a criação dos perfis representativos para cada vertente, foi necessário obter o comprimento e as cotas ao longo de cada vertente. A Figura 5a foi gerada com base no modelo digital de elevação (MDE), identificando a orientação e direção da encosta, obtendo-se o perfil representativo da vertente para a simulação (Figura 5b).

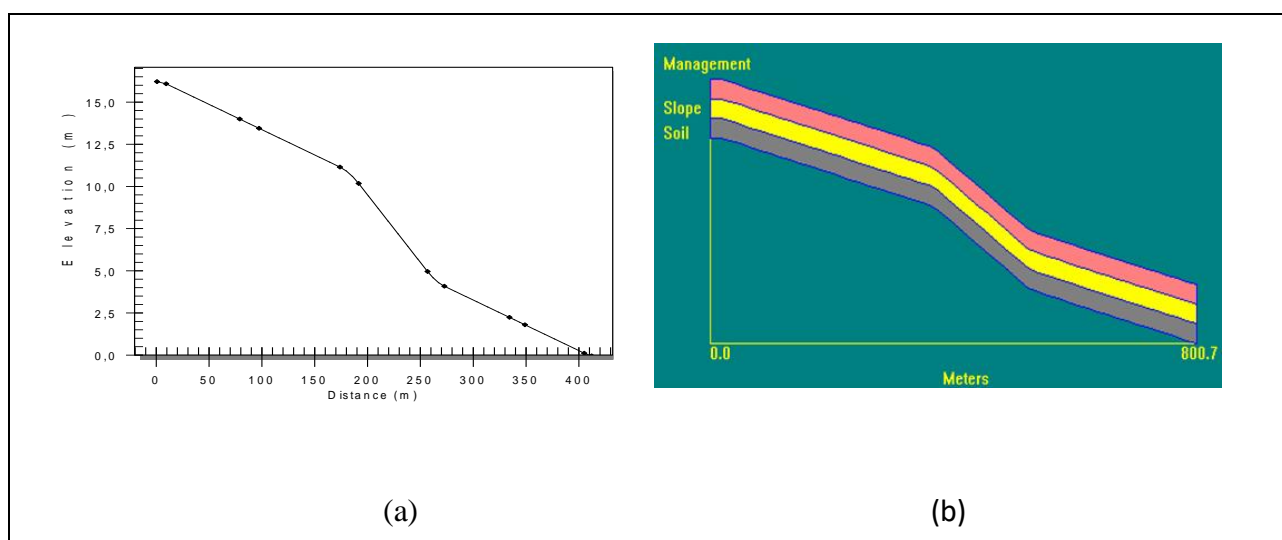


Figura 5. (a) Perfil representativo da vertente e (b) perfil utilizado na simulação.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Assim, os dados topográficos necessários, com informações de comprimento e altitudes obtidas em diversos pontos ao longo de cada vertente para representa-las, foram utilizados como base na geração do mapa de declividade do terreno, reclassificado em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979). Seguindo o procedimento, obteve-se para a área de estudo um relevo compreendido entre 3% e 8%, ou seja, um relevo suavemente ondulado. A Figura 6 representa o tipo de arquivo requerido pelo modelo para



simulação de mudanças temporais nas variáveis das plantas que podem influenciar os processos erosivos, sendo firmados com base em registros locais da bacia e em dados disponíveis no WEPP (Sampaio, 2017). A base de dados de cultivo e de manejo do solo foi selecionada para melhor representar as práticas adotadas na bacia (Figura 6).

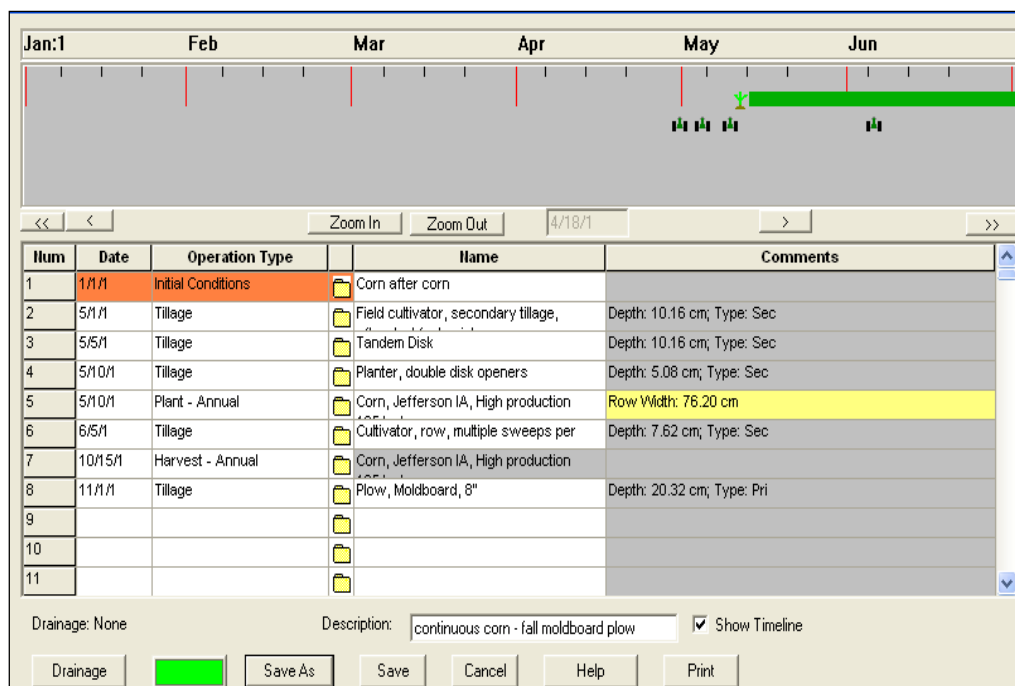


Figura 6. Representação do componente de uso e manejo do solo do modelo WEPP.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

## DISCRETIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a aplicação do modelo WEPP, é necessária a representação da bacia em forma de planos e canais. Assim, foram definidas as superfícies de cada plano que contribui com escoamento para cada canal, cruzando as curvas de níveis perpendiculares levando em consideração à declividade e toda a rede de drenagem. A declividade das encostas foi determinada pela diferença de cotas dividida pelo seu comprimento. Assim, a área considerada na Figura 1 foi dividida em duas sub-bacias, a sub-bacia 1, que foi discretizada em (16) elementos, sendo 5 canais e 11 planos (Figura 7); e a sub-bacia 2, que foi discretizada em 18 elementos, sendo 6 canais e 12 planos (Figura 8).

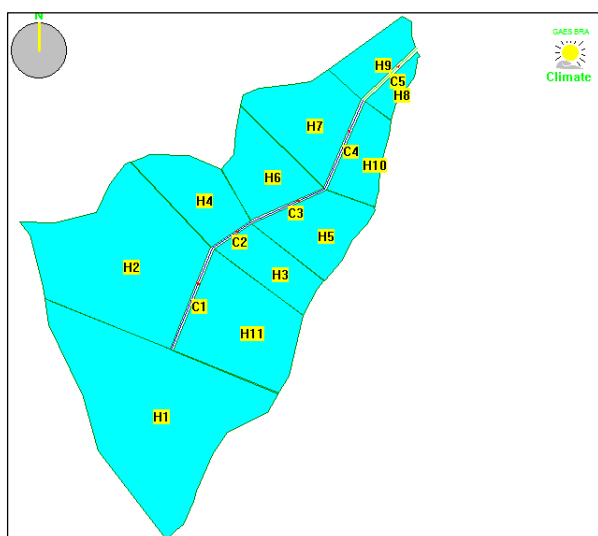


Figura 7. Discretização da sub-bacia 1.  
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

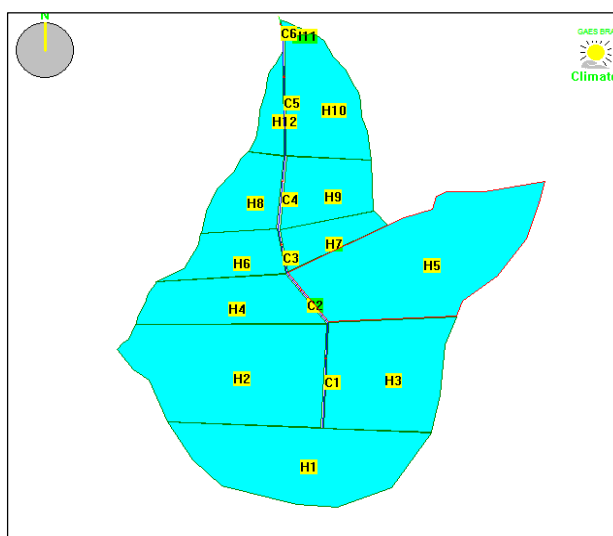


Figura 8. Discretização da sub-bacia 2.  
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO ( $K_i$ , $K_r$ , $T_c$ , $K_e$ E $S_i$ )

O modelo WEPP apresenta 5 parâmetros, que precisam ser calibrados para as simulações de produção de sedimentos, sendo: erodibilidade entressulco ( $K_i$ ), fator de erodibilidade do solo em sulco ( $K_r$ ), tensão crítica de cisalhamento ( $\tau_c$ ), condutividade hidráulica efetiva ( $K_e$ ) e fator de saturação inicial ( $S_i$ ) para o escoamento superficial. A calibração foi executada comparando-se a produção de sedimentos simulada com a produção de sedimentos medida (Silva *et al.*, 2015). Na Tabela 2 são apresentados os valores dos parâmetros em função de cada sub-bacia.

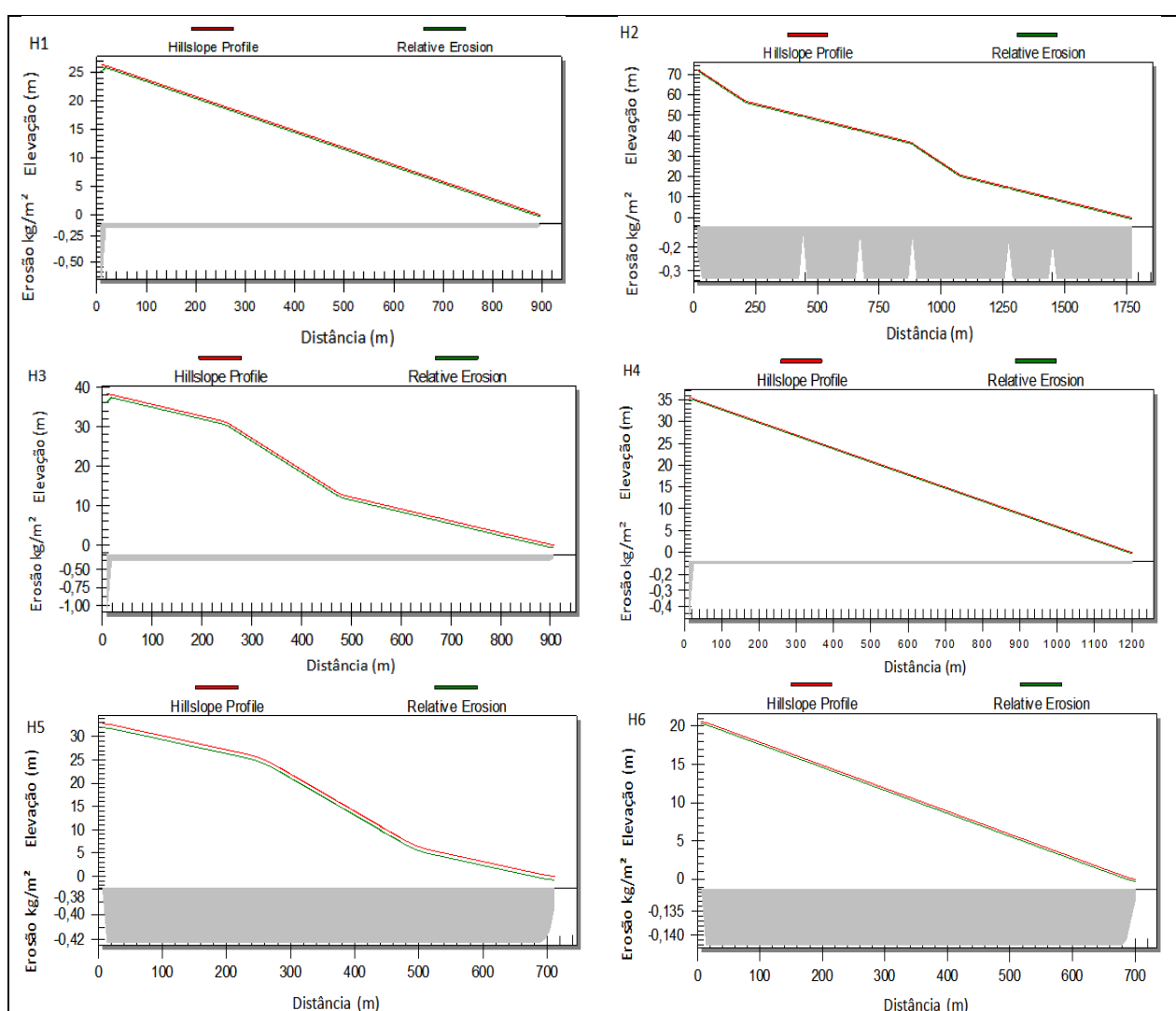
	$k_i$ (kg.s/m <sup>4</sup> )	$k_r$ (s/m)	$k_e$ (mm/h)	$\tau_c$ (Pa)	$s_i$ (%)
Sub-bacia 1	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-4</sup>	7,50	22,0	81,5
Sub-bacia 2	10 <sup>5</sup>	10 <sup>-4</sup>	12,5	20,0	75,0

Tabela 2. Parâmetros de calibração do modelo para cada sub-bacia.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Os valores de  $k_i$ ,  $k_r$ ,  $k_e$ ,  $\tau_c$  e  $S_i$  estão de acordo com valores calibrados dos trabalhos de Cantalice (2001) e Santos *et al.* (2012). Com a determinação desses parâmetros, foram

realizadas simulações, representando a distribuição do perfil topográfico para cada plano das sub-bacias (Figuras 9 e 10). Na Figura 9 os processos erosivos foram moderadamente acentuados, as alterações na superfície do solo, áreas de desagregação e deposição ao longo da encosta foram moderadas. Observando que o aporte de sedimento e as perdas de solo foram iguais em grande parte dos planos, havendo deposição de sedimentos em apenas um plano (Plano H10).



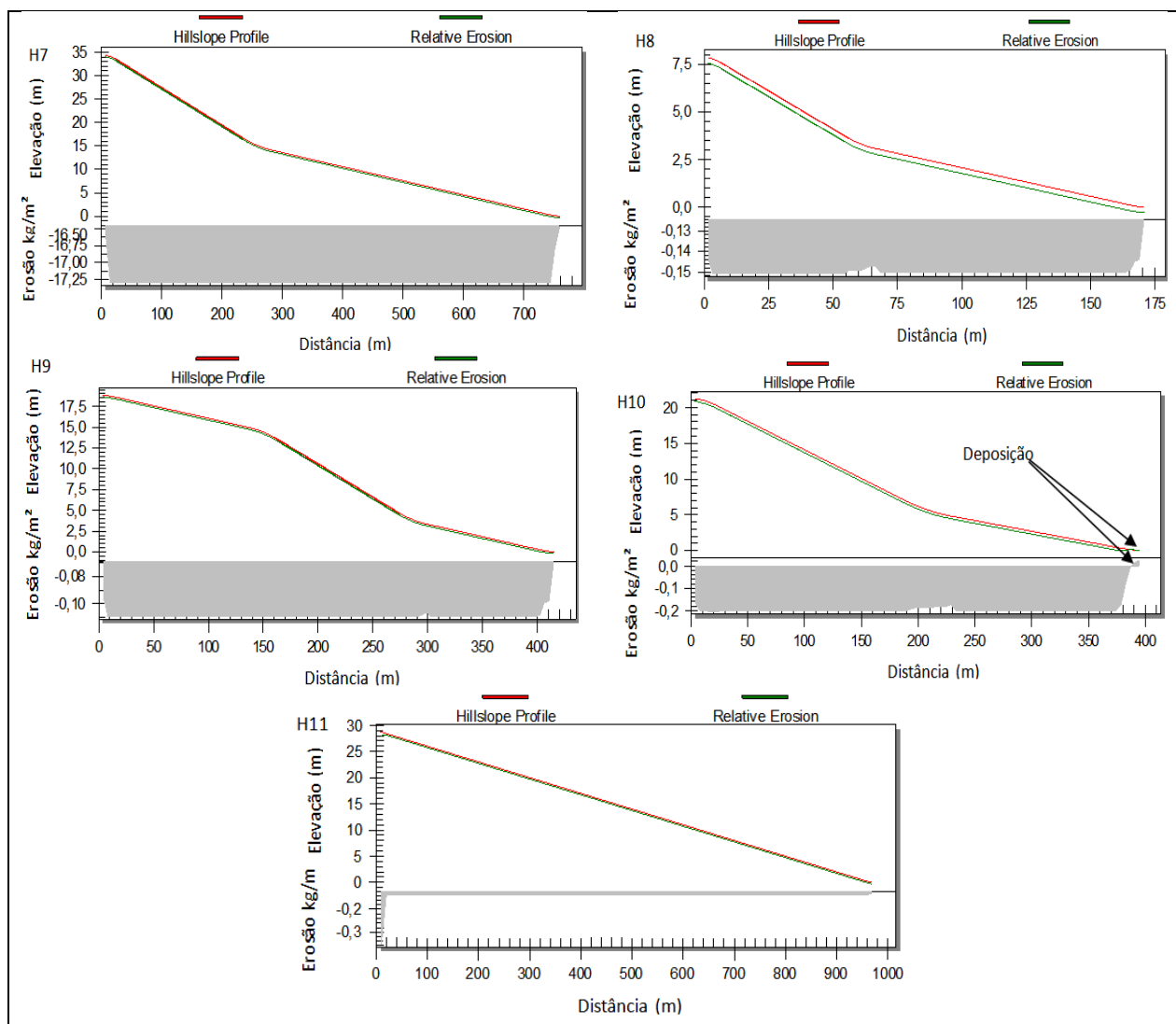
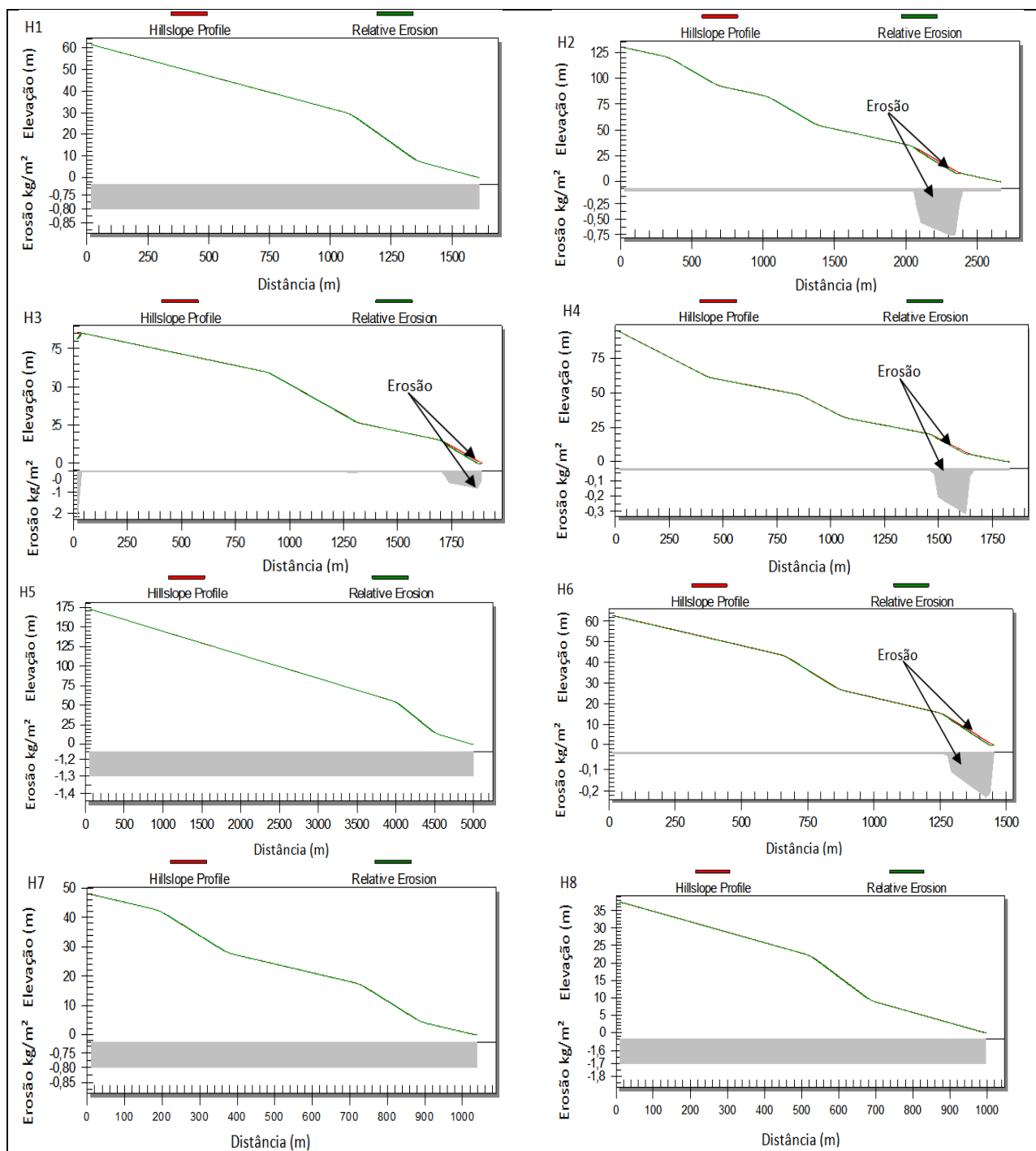


Figura 9. Distribuição espacial do perfil do terreno para a desagregação de solo da sub-bacia 1.  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Na Figura 10 os processos erosivos foram moderadamente acentuados, não se constatando alterações nas condições da superfície do solo, verificando que em alguns planos (H2, H3, H4 e H6), a erosão do solo é concentrada na parte inferior da encosta, com isso o aporte de sedimento foi igual às perdas de solo, não havendo deposição de sedimentos.



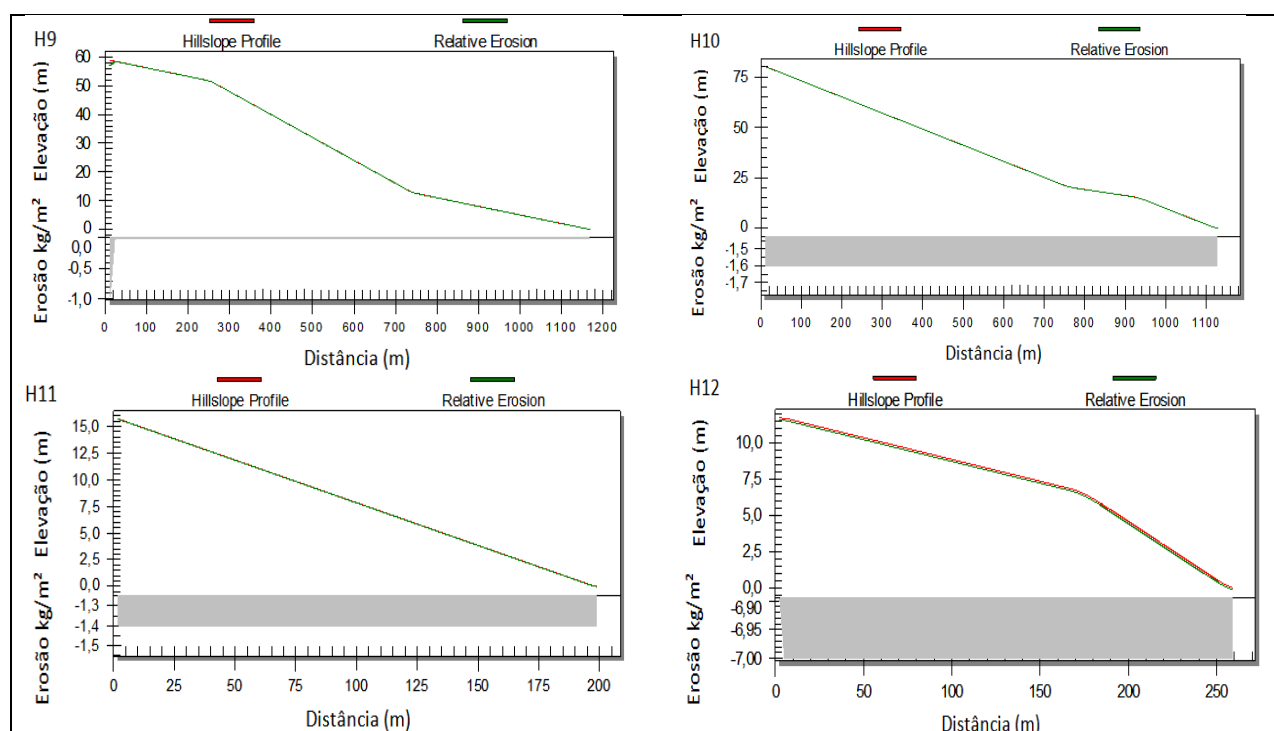


Figura 10. Distribuição espacial do perfil do terreno para a desagregação de solo da sub-bacia 2.  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

### ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Com a calibração do modelo estabelecida e seus parâmetros determinados, foram realizadas simulações de produção de sedimento referentes ao ano de 2012 para todos os planos da bacia. O ano escolhido corresponde ao período com dados experimentais de produção de sedimentos (Silva *et al.*, 2015). Na Tabela 3 é apresentada a área dos planos e a produção de sedimentos por plano e por sub-bacia.

Planos	Sub-bacia 1		Sub-bacia 2	
	Área (km <sup>2</sup> )	PS (t)	Área (km <sup>2</sup> )	PS (t)
H1	2,51	418,79	3,78	55,03
H2	1,98	824,54	4,68	861,62
H3	0,43	154,06	3,30	689,20
H4	0,57	95,26	1,89	146,03
H5	0,59	222,83	5,21	57,10
H6	0,57	95,09	1,07	74,44
H7	0,74	135,60	0,77	6,40
H8	0,13	22,75	1,19	21,23
H9	0,32	51,52	1,42	21,64
H10	0,39	94,97	2,11	54,68
H11	1,09	182,49	0,06	0,57
H12	--	--	0,51	30,27

Tabela 3. Produção de sedimentos (PS) para cada plano de cada sub-bacia.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A Figura 11, elaborada a partir da Tabela 3, apresenta o modelo digital da produção de sedimentos da pequena bacia do igarapé da Prata, permitindo uma melhor avaliação da distribuição espacial da produção de sedimentos, a qual variou de 0 a 420 t/km<sup>2</sup> em algumas áreas. A distribuição mostrou-se bastante variável, notando-se que poucas áreas são responsáveis por valores elevados de sedimentos que chegam ao curso d'água.

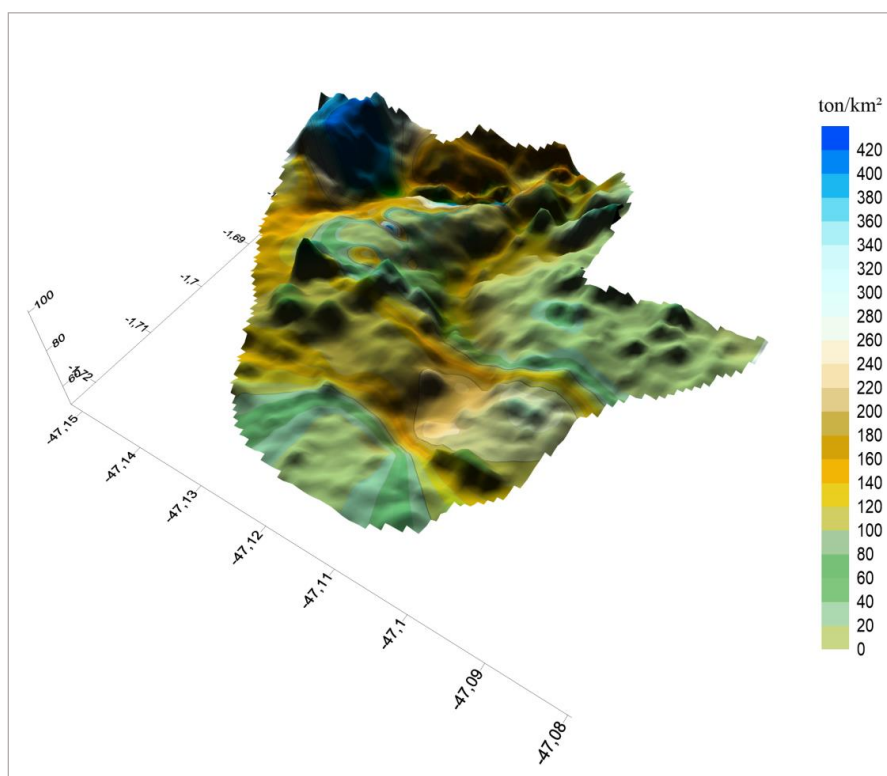


Figura 11. Modelo digital da produção de sedimentos da pequena bacia hidrográfica analisada.

Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

A aplicação do modelo WEPP tem sido utilizada por diversos pesquisadores que estimaram a produção de sedimento em várias partes do mundo. Dentre esses, pode-se destacar os trabalhos realizados por Zhang *et al.* (2009), que simularam um valor de 137,79 t/km<sup>2</sup> para uma pequena bacia hidrográfica de uso agrícola em Black Hawk County, Iowa, USA. Akbari *et al.* (2015), que simularam a produção de sedimentos para uma pequena bacia hidrográfica iraniana de relevo montanhoso e clima árido, onde a produção anual média de sedimentos foi igual a 42,79 t/km<sup>2</sup>. Sparovek *et al.* (2000) simularam a produção de sedimentos em uma micro bacia hidrográfica com cultura de cana de açúcar no sudeste brasileiro, cujo o valor foi igual a 1300 t/km<sup>2</sup>. Essa importante produção de sedimentos é devida ao plantio intensivo de cana de açúcar e à declividade do terreno, que é igual 16%, ou seja, um terreno consideravelmente acidentado. No caso da bacia do Igarapé da Prata, a produção de sedimentos apresentou um valor de 131,07 t/km<sup>2</sup> (Tabela 4), comparável aos valores encontrados em outras bacias por Zhang *et al.* (2009) et Akbari *et al.* (2015),



autores mencionados anteriormente, lembrando que o último caso apresenta clima árido, o que deve explicar a menor produção de sedimentos.

Ano	Produção de sedimentos (t/km <sup>2</sup> )		
	Medida	Silva <i>et al.</i> (2015)	WEPP
2012	121,64	142,47	131,07

Tabela 4. Produção de sedimentos medida e simulada por Silva *et al.* (2015) e pelo modelo WEPP para o ano de 2012.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O valor de 131,07 t/km<sup>2</sup> foi determinado, somando-se a PS total da sub-bacia1 e a PS total da sub-bacia 2, dividindo esse resultado pela área da bacia, que é igual a 32,7 km<sup>2</sup>. Ao se analisar a Tabela 4, percebe-se que a produção de sedimentos estimada pelo modelo WEPP foi maior que a produção de sedimentos medida. Entretanto, o resultado do WEPP aproximou-se mais dos dados medidos que o resultado de Silva *et al.* (2015), que estimou a produção de sedimentos via modelo de Langbein-Schumm (Langbein, Schumm, 1958). Essa comparação revelou que o modelo apresentou um bom desempenho para a região.

## CONCLUSÃO

O modelo WEPP aproximou-se da realidade da produção de sedimentos da bacia hidrográfica do igarapé da Prata ao simular um valor próximo ao medido. Entretanto, o modelo tende a superestimar a produção de sedimentos. Uma das razões para superestimação de sedimentos é a alta sensibilidade do modelo às declividades dos canais, que precisam ser levantadas no campo cuidadosamente. Uma vantagem do modelo WEPP é o maior acervo de banco de dados interno, seguido da possibilidade de parametrizar o modelo para bacias sem dados hidrossedimentológicos, objetivando estimativas preliminares do escoamento e erosão em eventos isolados ou sequenciados. O modelo WEPP é eficiente na estimativa dos valores de erosão líquida (produção de sedimentos) para bacias hidrográficas em que há efetiva deposição de sedimentos. A diferença de 7,75 %

entre os valores medidos e simulados de produção de sedimentos pode ser reduzida com um melhor monitoramento de dados hidrossedimentológicos e de terreno. Nesse último caso, foram usadas imagens de satélite SRTM com resolução de 30x30m, podendo explicar o erro inerente de qualquer modelo, mas que se amplia no WEPP devido a sua alta sensibilidade às declividades dos canais, como citado anteriormente. Assim, sugere-se para trabalhos futuros a determinação da topografia in loco, com técnicas que determinem a topografia com uma melhor resolução, o que deve permitir uma melhor modelagem da produção de sedimentos e a reaplicação da metodologia para outras pequenas bacias hidrográficas da Amazônia.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES – código de financiamento 001. A primeira autora agradece ao CNPq por uma bolsa de mestrado. O segundo autor também agradece ao CNPq por uma bolsa de produtividade em pesquisa, processo n. 304936/2015-4.

### REFERÊNCIAS

- AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M.A.; SANTORO, V. C. Scale Effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. **Journal of Hydrology**, v. 293, n. 1-4, 2004. p. 100-114. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.018>>
- AKBARI, A.; SEDAEI, L.; NADERI, M.; SAMAH, A. A.; SEDAEI, N. The application of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for the estimation of runoff and sediment on a monthly time resolution. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, 2015. p. 5827 – 5837. <<https://doi.org/10.1007/s12665-015-4600-7>>
- CANTALICE, J. R. B. **Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo**. Porto Alegre, 2001, 140 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; GOMIDE, I. S.; BARBOSA, A. J. S.; SANTOS, D. B. O. Analysis of the Modified Universal Soil Loss Equation to estimate the sediment yield in a small Amazon catchment. **Sylwan**, v. 158, 2014. p. 347-359.

CHANDRAMOHAN, T.; VENKATESH, B; BALCHAND, A. N. Evaluation of Three Soil Erosion Models for Small Watersheds. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015). **Anais...** 2015. p. 1227–1234.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos*, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro, 1979. 83 p (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FLANAGAN, D. C.; ASCOUGH, J. C.; NEARING, M.A.; LAFLEN, J. M. The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model. *In: HARMON, R. S.; DOE, W. W. (eds) Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Springer: Boston, MA, 2001. <[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4_7)>

FOSTER, G .R.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A.; LANE, L. J.; RISSE, L. M.; FINKNER, S. C. Hillslope erosion component. *In: USDA, Walter erosion prediction Project – WEPP*. West laffayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, cap.11, p.11.1-11.12 (Technical documentation. NSERL, Report, 10), 1995.

KINNELL, P. I. A. A comparison of the abilities of the USLE-M, RUSLE2 and WEPP to model event erosion from bare fallow areas. **Science of the Total Environment**, v. 596–597, 2017. p. 32–42. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.046>>

LANGHEIN, W. B.; SCHUMM, S. A. Yield of Sediment in Relation to Mean Annual Precipitation. **Trans. American Geophysical Union**, v. 39, n. 6, 1958. p. 1076-1084,.

MARTINS, P. F. S. **Propriedades de solos sob floresta natural e sua alteração em consequência do desmatamento e cultivo, na Amazônia Oriental**. Piracicaba, 1987, 233 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo.

RACLOT, D.; ALBERGEL, J. Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment. **Physics and chemistry of the Earth. B. Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 31, 2006. p.1038-347 <<https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.07.002>>

SAMPAIO, L. C. **Modelo WEPP para estimativa da produção de sedimentos em uma pequena hidrográfica da Amazônia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém, 2017.

SANTOS, D. B. O.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. RUSLE para Determinação da Tolerância de Perda de Solo. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, 2015. p. 78-83 <<http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n4p78-83>>

SANTOS, L. L.; SRINIVASAN, S. S.; ARAGÃO, R. Modelagem hidrossedimentológica no semi-árido paraibano utilizando o modelo WEPP e o efeito de escala sobre os seus parâmetros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, 2012. p. 53-63 <DOI: 10.21168/rbrh.v17n1.p53-63>

SILVA, D. S. S.; BLANCO, C. J. C.; SANTOS, K. N. S.; PESSOA, F. C. L. Modelo de Langbein-Schumm e estimativa de produção de sedimentos de bacias com áreas preservadas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 7, n. 4, 2015. p. 121-139.

SINGH, R. K.; PANDA, R. K.; SATAPATHY, K. K.; NGACHAN, S. V. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya, India using the WEPP model. **Journal of Hydrology**, v. 405, 2011. p. 261–276. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.022>>

SPAROVEK, G.; BACCHI, O. O. S.; SCHUNUG, E.; RANIERI, S. B. L.; MARIA, I. C. Comparison of three water erosion prediction methods (137Cs, WEPP, ELSE) in south-east Brazilian sugarcane production. **Der Tropenlandwirt -Beiträge zur tropischen Landwirtschaft und Veterinärmedizin**, v. 101, 2000. p. 107 – 118.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. **Agriculture Handbook**, 282. US Department of Agriculture, Agriculture Research Service: Washington DC, 1965.

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. **Land Degradation & Development**, v. 20, 2009. p. 84-91. <<https://doi.org/10.1002/ldr.893>>

ZHANG, Q.; DONG, Y.; LI, F.; ZHANG, A.; LEI, T. Quantifying detachment rate of eroding rill or ephemeral gully for WEPP with flume experiments. **Journal of Hydrology**, v. 519, 2014. p. 2012–2019. <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.040>>