



# APLICAÇÃO DO SOFTWARE INVEST NA PREDIÇÃO DE SEDIMENTOS EXPORTADOS EM DIFERENTES CENÁRIOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IQUIRI (ITUXI) EM ACRELÂNDIA-AC

**Palavras-Chave:** Uso e Cobertura da terra, Serviços Ambientais, Geotecnologias

**Autores:**

**Gabriel de Paula Rodrigues [Embrapa Territorial / Instituto de Geociências Unicamp]  
Dr. Rogério Resende Martins Ferreira [Embrapa Territorial]**

## INTRODUÇÃO:

Conforme aponta estudos, é de total conhecimento a vulnerabilidade dos meios físicos que cobrem uma bacia hidrográfica em consequência das alterações de uso e cobertura das terras. Com a degradação das florestas, o avanço da agricultura e o aumento da utilização do solo de forma não planejada, percebe-se alterações no meio natural que provocam efeitos tanto sobre os fluxos quanto os serviços ecossistêmicos (SHARP et al., 2016).

Devido ao avanço na área tecnológica, as reflexões que envolviam o serviços ecossistêmicos, que antes focavam na sua definição e classificação, vêm se alterando e ganhando destaque no uso de técnicas de modelagem, com ferramentas modernas para análise e avaliação dos serviços. Tais técnicas, podem ser utilizadas para compreensão dos impactos das atividades de uso do solo e das diferentes práticas sobre os processos hidrológicos, além da erosão do solo, do transporte e deposição dos sedimentos em bacias hidrográficas (GOLMOHAMMADI et al., 2014).

Dentre as ferramentas de gestão de serviços ecossistêmicos, destaca-se por sua simplicidade o software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), desenvolvido como parte do “Projeto Capital Natural” com parceria entre a Universidade de Stanford, *The Nature Conservancy* (TNC), *World Wildlife Fund* (WWF) e outras instituições. O software InVEST tem como objetivo avaliar os benefícios e os tradeoffs dos serviços ecossistêmicos sob uma variedade de cenários de uso e cobertura da terra, auxiliando o processo de tomada de decisão de gestores ambientais (DENNEDY et al., 2016).

O módulo SDR (Sediment Delivery Ratio) do software InVEST consiste, basicamente, em um modelo espacialmente explícito, pois utiliza *rasters* como fonte de informações e quase todos os seus resultados são expressos em mapas. Estima-se a perda de solos por erosão laminar a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Os resultados podem ser apresentados em termos econômicos (o custo do tratamento evitado devido à alteração na carga de sedimentos).

Apesar de suas limitações, se considera o modelo empírico mais conhecido e utilizado, sendo possível a verificação de áreas críticas e prioritárias que necessitam de monitoramento e conservação dos recursos hídricos. Com isso, programas de Serviços Ambientais que visam o controle da erosão e sedimentação podem ser implementados.

Visando uma maior precisão em futuras avaliações a respeito de perdas de sedimentos em bacias hidrográficas na Amazônia, a pesquisa vigente teve como objetivo estimar a exportação de sedimentos na área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia- AC por meio do software InVEST, baseado no cenário atual e futuro de uso e cobertura da terra.

## METODOLOGIA:

A área de estudo com 24.612,05 mil hectares, está situada no estado do Acre (Figura 1) entre as latitudes de 9° 54'S e 10° 5'S e longitudes de 66° 57'W e 67° 11'W. Abrange parte dos municípios de Acrelândia, Senador Guiomard e Plácido de Castro.

A bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) possui características pedológicas importantes, das quais se destacam três classes de solos (Figura 2), o Argissolo vermelho amarelo, o Argissolo vermelho e o Latossolo vermelho (SILVA et al., 2006):

- Argissolo vermelho amarelo: solo com textura média argilosa a argilosa, ocorre em 13.628 ha, em áreas com relevo suave ondulado a ondulado. É a classe de solos predominante na área de estudo. Sua aptidão é regular para lavouras e boa para pastagens.

- Argissolo vermelho: solo com textura de média argilosa e muita argilosa, ocorrem em 6.024 ha. O relevo suave ondulado predomina em áreas de ocorrência desse solo, mas há também áreas com relevo forte ondulado. Sua aptidão é boa a regular para lavouras e regular para pastagens.

- Latossolo vermelho: solo com textura argilosa, ocorre em 4.960 ha em áreas com relevo plano a suave ondulado, aptos para lavouras.

A integração dos dados morfométricos (declividades de rampa / índices L e S) que são obtidos automaticamente pelo InVEST através de um modelo digital de elevação (MDE); junto com dados de precipitações (erosividade); propriedades dos solos (erodibilidade) e classes de uso e cobertura da terra, permite que o módulo SDR determine o quanto de solo pode chegar a um ponto de interesse, conhecendo a capacidade de reter sedimentos e adicionalmente avaliar o custo de remoção do sedimento acumulado (THOMPSON; FIDALGO, 2013). Dessa forma, se calcula a quantidade de sedimento erodido ( $usle_i$ ), e posteriormente o sedimento exportado ( $SDR_i$ ) que é a proporção de perda de solo que realmente alcança o exutório da bacia.

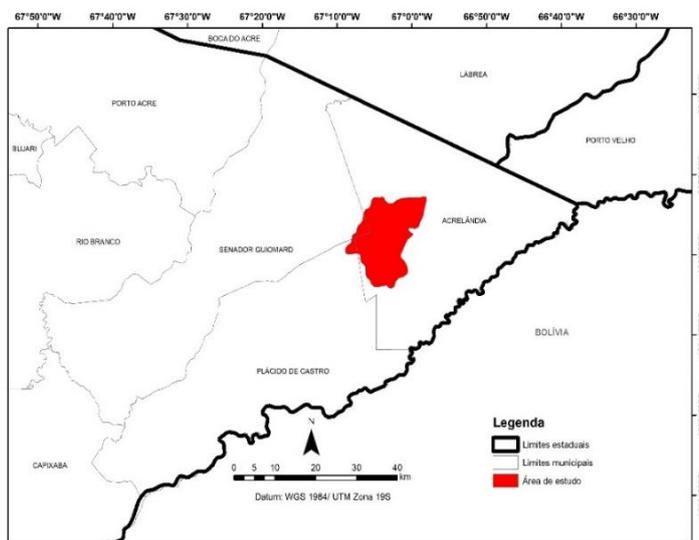


Figura 1. Área de estudo na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi), Acrelândia-AC.

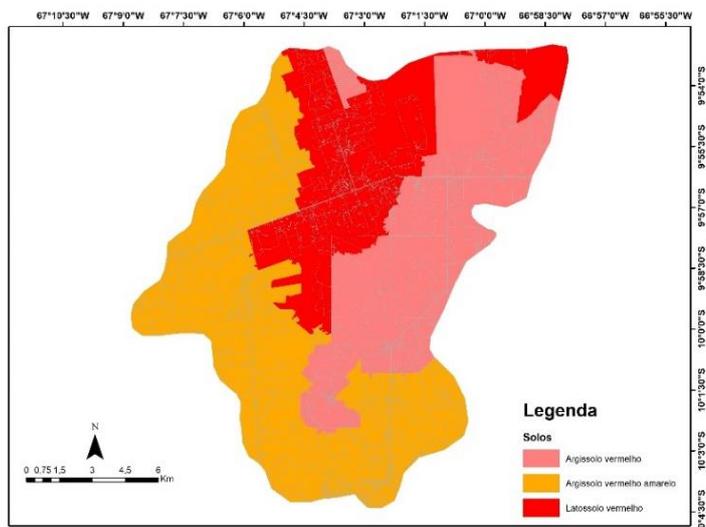


Figura 2. Mapa de solos

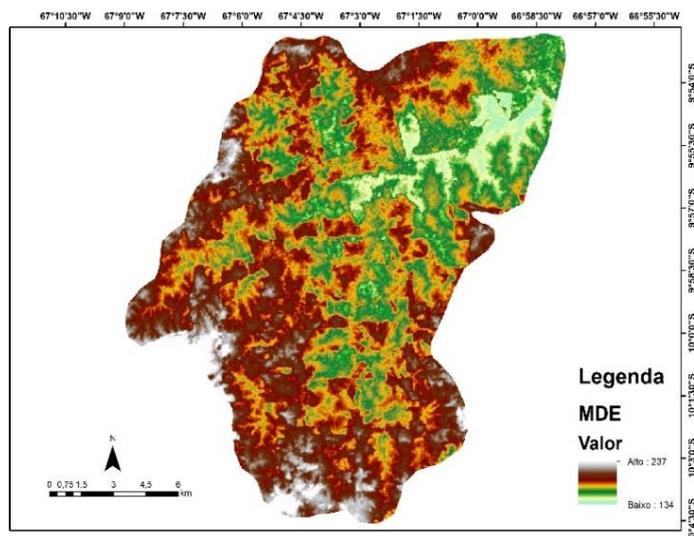


Figura 3. Modelo digital de elevação

Nessa pesquisa utilizou-se o produto da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) que geraram MDEs da área de estudo de 30 metros (Figura 3), devendo destacar o problema do modelo com a cobertura vegetal, pois as altitudes são tomadas no topo da vegetação e não no nível do solo, o que resulta em grandes desníveis.

Os dados referentes à erosividade (fator R) requeridos pelo InVEST foram preparados na forma de um mapa isoerodente, em formato raster (30 m). Para a elaboração deste mapa, utilizaram-se os dados de erosividade obtidos por Oliveira et al. (2012) (Figura 4). O fator K (erodibilidade do solo) foi atribuído para cada classe de solos de acordo com referências encontradas na literatura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985) (Figura 5). O mapa foi convertido para o formato raster (30 m) e reclassificado com base nos valores de erodibilidade ( $Mg\ ha\ h\ MJ^{-1}\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ) para cada tipo de solo.

Além do mapa de uso e cobertura da terra em formato *raster* (30 m), o InVEST requer uma tabela em formato CSV com os valores dos índices C (índice relativo ao uso e manejo da terra) e suas respectivas áreas (ha) (Tabela 1). Para os índices C foram utilizados dados da literatura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985; GALDINO, 2012). O índice P (índice relativo à prática conservacionista adotada) para cada classe de uso e cobertura da terra no cenário atual e no cenário com aumento de pastagem com solo exposto (Erosão) sem prática conservacionista adotou o valor 1, e no cenário futuro com práticas de sistemas integrados lavoura pecuária floresta (ILPF) adotou o valor 0,5 para o índice P. Os dados de entrada requeridos pelo InVEST, bem como, os produtos cartográficos finais foram preparados no ArcGIS 10.7.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela aplicação do módulo SDR do software InVEST, representam uma estimativa preliminar dos valores de sedimentos exportados frente ao cenário atual, com aplicação de ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) e Pastagem com Erosão de acordo com as classes de uso e cobertura da terra futuro.

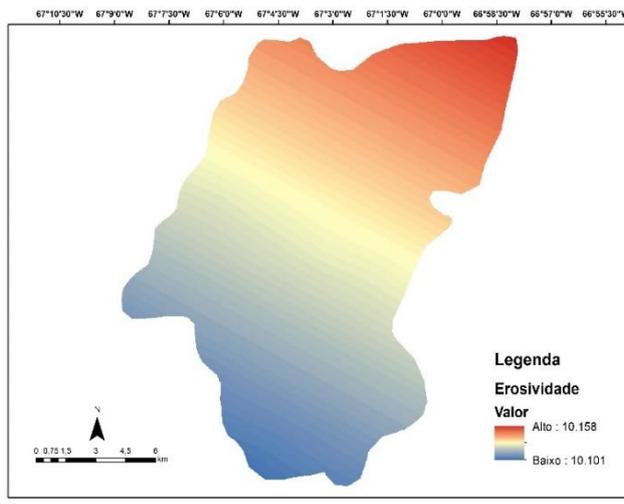


Figura 4. Erosividade da chuva

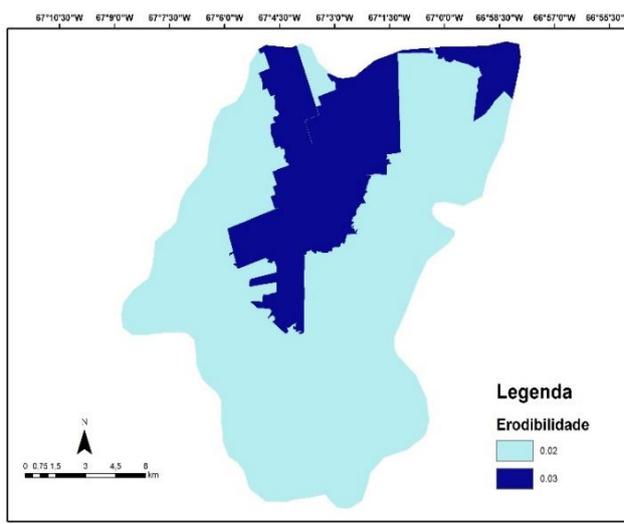


Figura 5. Erodibilidade do solo

Tabela 1. Valores referentes ao índice C (uso e manejo da terra) e área (ha) para às diferentes classes de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia – AC. Fontes: Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Galdino (2012).

Uso e cobertura da terra	Área (ha)	Índice C
Outros usos	574,99	0,0000
Floresta primária e secundária	8.829,46	0,0005
Mata ciliar	82,89	0,0017
Pastagem sem invasoras	12.063,05	0,0070
Floresta plantada	287,83	0,0080
Pastagem com invasoras	667,86	0,0084
Pastagem com muitas invasoras	1.711,31	0,0100
Pastagem com solo exposto	48,96	0,0610
Lavoura temporária	88,62	0,0800
Quintal doméstico	84,39	0,1100
Lavoura permanente	172,69	0,1100

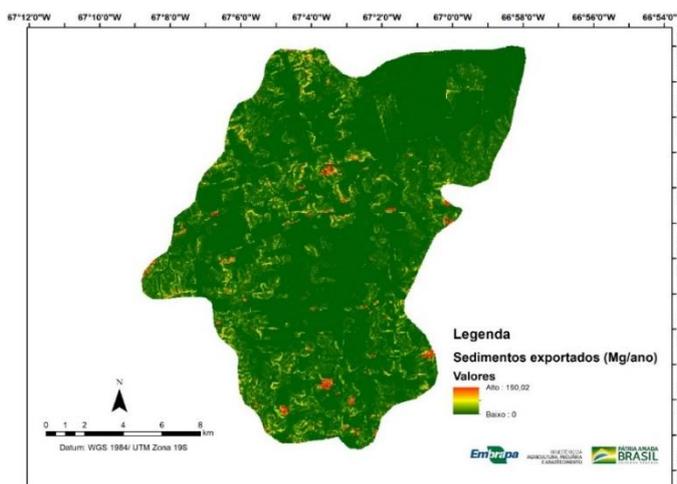
Conforme as estimativas apresentadas na Tabela 2, se desenvolveu uma predição de sedimentos exportados em três cenários diferentes. No cenário atual, se apresentou um valor de exportação de sedimentos total igual a 66.801,15 (Mg/ano), sendo o maior valor destinado as áreas de pastagem sem invasora com 40.798,70 (Mg/ano) e as lavouras perenes com 11.648,15 (Mg/ano). Com um cenário conservacionista de ILPF, o total de sedimentos exportados diminuiu (46%) com um valor de 35.647,99 (Mg/ano). Por fim, o cenário de pastagem com erosão teve um total de sedimentos exportados elevado (1.200%), chegando ao valor total de 802.127,28 (Mg/ano), destaque para as pastagem de solo exposto com 780.263,23 (Mg/ano).

**Tabela 2.** Valores dos sedimentos exportados (Mg/ano) no cenário atual, com ILPF e Pastagem com Erosão, com base em diferentes classes de uso e cobertura, na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia – AC.

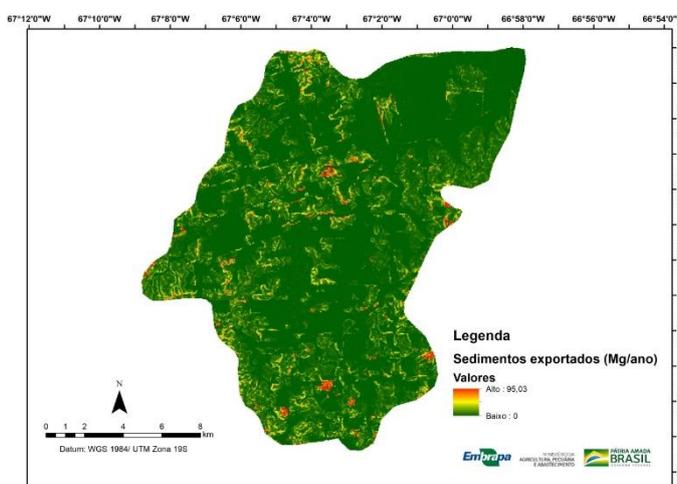
Uso e cobertura	Sedimento Exportado Cenário Atual (Mg/ano)	Sedimento Exportado Cenário ILPF (Mg/ano)	Sedimento Exportado Cenário Pastagem Erosão (Mg/Ano)
Cenário atual – ILPF – Pastagem Erosão			
Outros Usos	0,00	0,00	0,00
Quintal Doméstico	2.695,73	1.200,63	2.695,73
Floresta Primária Secundária	1.294,47	576,54	1.294,47
Mata Ciliar	31,35	13,96	31,35
Floresta Plantada	1.218,35	26.452,75	1.218,35
Pastagem sem Invasora	40.798,70	-----	-----
Pastagem com Invasora	2.251,00	-----	-----
Pastagem Muita Invasora	423,09	-----	-----
Pastagem Solo Exposto	1.464,30	-----	780.263,23
Lavoura Perene	11.648,15	5.187,89	11.648,15
Lavoura Temporária	4.976,00	2.216,22	4.976,00
<b>TOTAL</b>	<b>66.801,15</b>	<b>35.647,99</b>	<b>802.127,28</b>

Além das estimativas de sedimentos exportados em valores da Tabela 2, foi possível elaborar três figuras de sedimentos exportados (Mg/ano) que correspondem as aos cenários atuais e futuros nas áreas de estudo da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia –AC. O cenário atual (Figura 6), apresenta cores concentradas em vermelho que representam áreas com maior quantidade de sedimentos exportado, cerca de 16.624,15 Mg/ano destinado as lavouras. No cenário conservacionista com ILPF (Figura 7), se percebe uma queda nos tons concentrados em vermelho, o que estima uma queda de sedimentos exportados nas lavouras perenes e temporárias (7.404,11 Mg/ano). Em contraponto, o cenário com aumento das áreas de pastagem com erosão apresenta uma maior distribuição de sedimentos exportados (780.263,23 Mg/ano) da classe dentro da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi). Neste cenário as cores amarelas e vermelhas são de áreas com aumento de exportação de sedimentos.

Nesse contexto, a sustentabilidade ambiental das bacias hidrográficas tem como objetivos

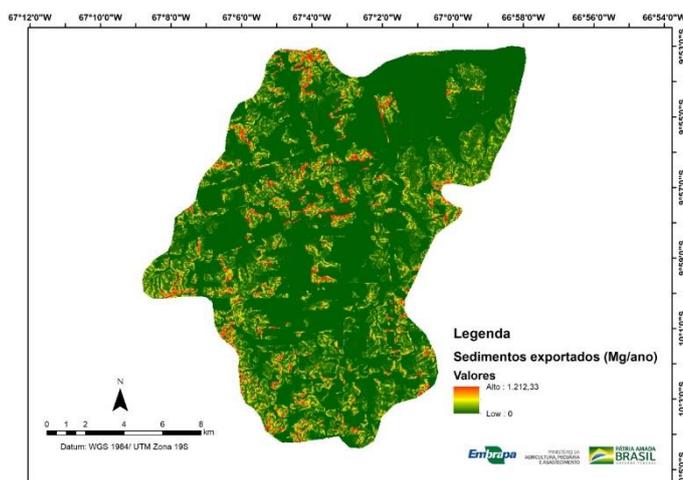


**Figura 6.** Sedimentos exportados (Mg/ano) no Cenário atual de uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia-AC.



**Figura 7.** Sedimentos exportados (Mg/ano) no Cenário Conservacionista ILPF de uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia-AC.

melhorar a qualidade da água, restabelecer habitats específicos e a função do ecossistema, ajudar na recuperação de espécies e manter a prestação de serviços ecossistêmicos (SHARP et al., 2016). Para o planejamento territorial, é fundamental entender os benefícios resultantes das práticas conservacionistas, para um melhor uso do solo e gestão de serviços ecossistêmicos. Assim, proteger e recuperar bacias hidrográficas degradadas contempla uma parte essencial das estratégias futuras para fornecer água potável e garantir segurança hídrica.



**Figura 8.** Sedimentos exportados (Mg/ano) no Cenário de Pastagem com Erosão de uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia-AC.

## CONCLUSÃO

As estimativas das taxas de sedimentos exportados, por meio da aplicação do software InVEST e seu módulo SDR na área de estudo da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia- AC, devem ser utilizadas com bastante precaução, ao se considerar as críticas existentes já que simula apenas erosão laminar e estimativas anuais, não permitindo um análise da variação sazonal e de eventos extremos. Neste estudo, a vantagem da aplicação do SDR está na indicação dos locais vulneráveis à exportação de sedimentos (Lavouras e Pastagens), além de possibilitar estimativas e projeções em diferentes cenários.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ e ao programa PIBIC pela oportunidade de bolsa oferecida, também a Embrapa Territorial e meu orientador pelo acompanhamento realizado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p
- DENNEDY-FRANK, P. J.; MUENICH, R. L.; CHAUBEY, I.; ZIV, G. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions. **Journal of Environmental Management**, v. 177, n. April, p. 331–340, 2016.
- GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do alto Taquari- MS/MT**. 2012. 115 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, SP.
- GOLMOHAMMADI, G.; PRASHER, S.; MADANI, A.; RUDRA, R. Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. **Hydrology**, v. 1, p.20-39; 2014.
- SHARP, R., TALLIS, H.T., RICKETTS, T., GUERRY, A.D., WOOD, S.A., CHAPLINKRAMER, R., NELSON, E., ENNAANAY, D., WOLNY, S., OLWERO, N., VIGERSTOL, K., PENNINGTON, D., MENDOZA, G., AUKEMA, J., FOSTER, J., CAMERON, D., ARKEMA, K., LONSDORF, E., KENNEDY, C., VERUTES, G., KIM, C.K., GUANNEL, G., PAPERFUS, M., TOFT, J., MARIK, M., BERNHARDT, J., GRIFFIN, R., GLOWINSKI, K., CHAUMONT, N., PERELMAN, A., LACAYO, M. MANDLE, L., HAMEL, P., VOGL, A.L., ROGERS, L., 3 BIERBOWER, W. 2016. **InVEST +VERSION+** User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- THOMPSON, D.; FIDALGO, E. C. C. Vulnerabilidade dos Solos à Erosão: Estimativa da Perda de Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu – RJ, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 237, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2015. 30 p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. USDA-ARS Agriculture Handbook, Washington DC, 197