



## Valoração econômica da perda de solos no cenário atual e conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) – AC



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Territorial  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **DOCUMENTOS 142**

# Valoração econômica da perda de solos no cenário atual e conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), AC

*Rogério Resende Martins Ferreira  
Gabriel de Paula Rodrigues  
Sérgio Gomes Tôsto  
Lauro Charlet Pereira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Territorial**  
Av. Soldado Passarinho, nº 303  
Fazenda Chapadão  
13070-115, Campinas, SP  
Fone: (19) 3211.6200  
www.embrapa.br/territorial  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Territorial

Presidente  
*Lucíola Alves Magalhães*

Secretária-executiva  
*Bibiana Teixeira de Almeida*

Membros  
*Ângelo Mansur Mendes, José Dilcio Rocha, Lauro Rodrigues Nogueira, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, André Luiz dos Santos Furtado e Paulo Augusto Vianna Barroso*

Supervisão editorial  
*Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida*

Revisão de texto  
*Bibiana Teixeira de Almeida*

Normalização bibliográfica  
*Vera Viana dos Santos Brandão*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações  
*Suzi Carneiro*

Ilustração da capa  
*Freepik.com*

**1ª edição**  
Publicação digital - PDF (2022)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Embrapa Territorial

---

Valoração econômica da perda de solos no cenário atual e conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), AC. / Rogério Resende Martins Ferreira, Gabriel de Paula Rodrigues, Sérgio Gomes Tôsto, Lauro Charlet Pereira. - Campinas: Embrapa Territorial, 2022. PDF (18 p.): il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 142).

1. Geotecnologia. 2. Serviços ecossistêmicos. 3. Reposição de nutrientes. I. Ferreira, Rogério Resende Martins. II. Rodrigues, Gabriel de Paula. III. Tôsto, Sérgio Gomes. IV. Pereira, Lauro Charlet. V. Título. VI. Série.

CDD 333.76

## Autor

### **Rogério Resende Martins Ferreira**

Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

### **Gabriel de Paula Rodrigues**

Aluno de Geografia da Unicamp, bolsista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

### **Sérgio Gomes Tôsto**

Agrônomo, doutor em Desenvolvimento, Espaço e Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

### **Lauro Charlet Pereira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento Rural Sustentável, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP



## Apresentação

A Embrapa Territorial é uma Unidade temática da Embrapa que atua na viabilização de soluções de inteligência, gestão e monitoramento territorial para a agricultura brasileira. Em seus projetos e ações, a Unidade desenvolve e aplica métodos que propiciam aos gestores públicos e privados maior conhecimento da complexidade do mundo rural, seus desafios e oportunidades.

Nossas equipes multidisciplinares fazem amplo uso das geotecnologias para gerar, integrar e analisar informações de diversas fontes e naturezas, em bases territoriais e em diversas escalas temporais.

O desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas e procedimentos permitem detectar, identificar, qualificar, cartografar, prever e monitorar os diversos aspectos e fatores que influenciam a dinâmica de atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ambientais em nível local, regional e nacional.

Bons prognósticos e diagnósticos territoriais são fundamentais na busca pelo desenvolvimento agropecuário sustentável, de modo a equilibrar as questões produtivas, socioeconômicas e ambientais. Além da caracterização de aspectos técnicos e agronômicos, a análise detalhada da agropecuária de uma determinada região implica compreender como essas características interagem com cada situação natural, agrária, agrícola, de infraestrutura e socioeconômica possibilitando o monitoramento de sua evolução.

Esta obra utiliza geotecnologias e associa perda de solo e valoração econômica para estimar e comparar a quantidade de fertilizantes necessários para repor os nutrientes perdidos na erosão e gerar estimativas de valores básicos para a reposição dos nutrientes removidos, com o propósito de auxiliar gestores ambientais e produtores locais a tomar melhores decisões sobre o cultivo e manejo do solo e planejar ações que contribuem para a preservação dos serviços ambientais.

Boa leitura!

*Gustavo Spadotti Amaral Castro*

Chefe-Geral da Embrapa Territorial



## Sumário

Apresentação .....	7
Introdução .....	11
Material e Métodos .....	12
Resultados e Discussão .....	14
Conclusão.....	17
Referências .....	17





## Introdução

O solo é um dos principais recursos naturais encontrados no meio ambiente. Um dos mais representativos serviços ecossistêmicos, desempenha importantes funções, seja no oferecimento de melhores condições para a produção de alimentos, no estruturamento de edificações e estradas, ou no seu aspecto mais importante, que é o de armazenagem de água e nutrientes. Com a constante ocorrência de erosão nas bacias hidrográficas, toda essa funcionalidade do solo e suas qualidades são perdidas, estimulando a deterioração das terras agricultáveis, a queda de produtividade e a perda de nutrientes essenciais (Thomaz, 2019).

Quando, em determinadas situações, encontramos uma taxa anual de perda de solo superior à taxa de renovação do solo da mesma área, esse recurso é considerado não renovável (Gianinetto et al., 2019), e são necessárias ações para a manutenção das melhores condições ambientais e redução do processo erosivo. Com o auxílio de importantes recursos e softwares espaciais, é possível mapear áreas com maior probabilidade para erosão e oferecer suporte e mais opções de uso de práticas conservacionistas nas regiões da bacia hidrográfica que apresentam altas condições de vulnerabilidade.

Entre os instrumentos computacionais que fazem essa integração entre espaço (natureza), gestão e serviços ecossistêmicos, o software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) apresenta maior proximidade com o cenário real da área estudada, ao exigir diferentes fatores de compensação e oferecer diversas possibilidades de integração. O InVEST foi produzido a partir da parceria entre Universidade de Stanford, The Nature Conservancy (TNC), World Wildlife Fund (WWF) e outras instituições (Dennedy-Frank et al., 2016). Para estimar a perda de solo, o software apresenta o módulo Sediment Delivery Ratio (SDR) como possibilidade de uso, e aplica em seu sistema a erosão laminar da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE – (Wischmeier; Smith, 1978).

Para quantificar a perda de um recurso natural, como é o caso do solo, existem métodos importantes de valoração econômica que são aplicados utilizando a simulação de mercados hipotéticos e mensurando a preferência do agricultor diante das alterações ocorridas no meio natural (Ribeiro, 2009). Alguns estudos aprofundaram-se em analisar as ações da erosão e da conservação do solo sob o valor econômico de terras agricultáveis, como é o caso de Hertzler et al. (1985).

O mecanismo de custo de reposição corresponde a uma análise das estimativas de perda do recurso ambiental com o seu devido custo de reposição, avaliando os gastos e a capacidade de reprodução dos nutrientes presentes no solo, com o objetivo de repor suas propriedades e qualidades. Os custos tendem a mudar de acordo com o grau de degradação do ambiente, e nem todas as características e os nutrientes são repostos na mesma proporção que antes, de forma que é apresentada apenas uma estimativa da valoração econômica ideal (Cavalcanti, 2002).

Neste estudo, apresentamos uma estimativa e análise da valoração econômica do custo de reposição dos nutrientes perdidos no processo de erosão, bem como uma avaliação dos serviços ecossistêmicos no cenário atual e de integração pecuária–floresta com práticas conservacionistas nas lavouras da área de estudo, na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), no município de Acrelândia, AC.

## Material e Métodos

Para fazer a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos presentes na área de estudo, na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) (Figura 1), e obter uma estimativa dos fertilizantes necessários para a reposição dos nutrientes removidos pela erosão, foi preciso integrar importantes parâmetros, entre eles:

- Delimitação das áreas de estudo;
- Determinação da perda de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ );
- Determinação da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );
- Determinação da perda de solo ( $\text{mm ano}^{-1}$ );
- Conversão da quantidade de solo removido em unidade volumétrica;
- Equivalência da quantidade de nutrientes removidos em unidade volumétrica;
- Determinação da quantidade de nutrientes removidos;
- Determinação da quantidade de fertilizantes necessários para a reposição ideal;
- Valoração da quantidade de fertilizantes necessários, bem como do custo de aplicação da operação.

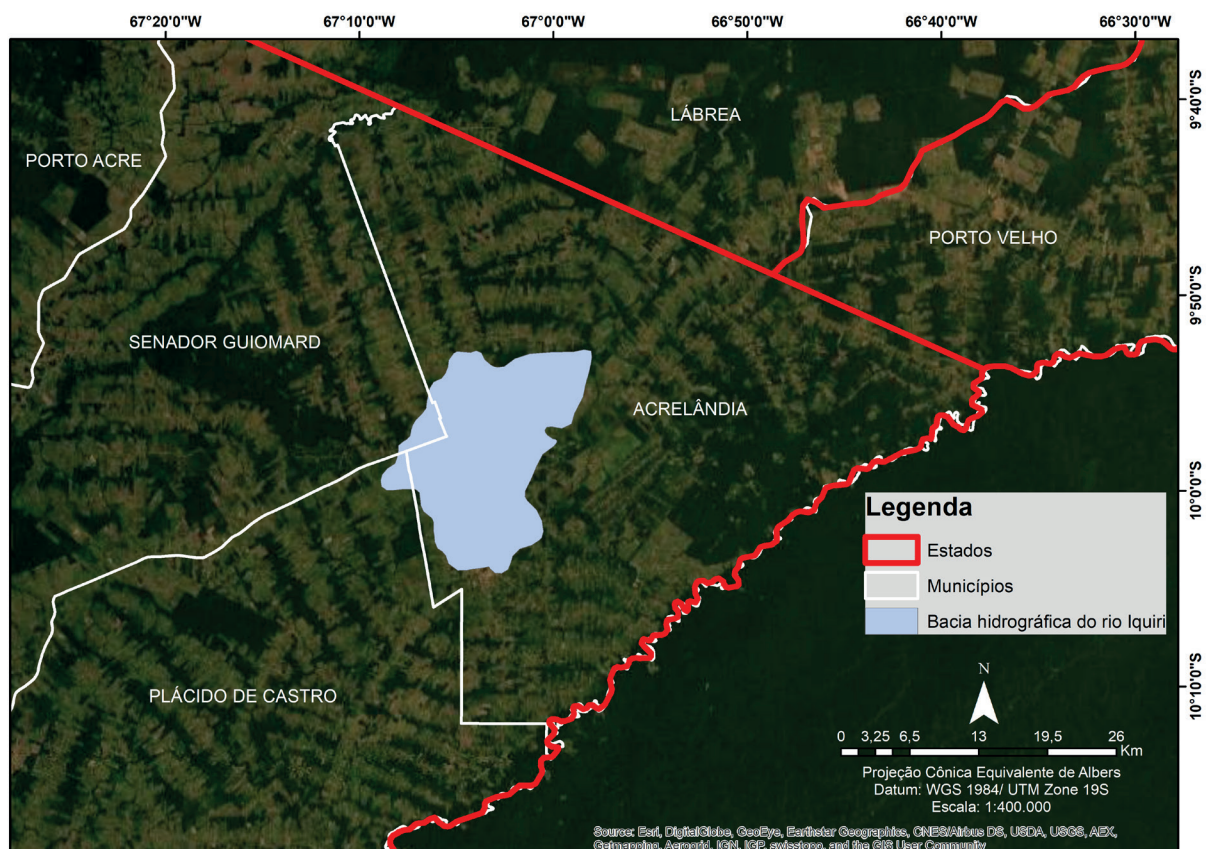


Figura 1. Área de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), Acrelândia, AC.

Na utilização do módulo SDR e na estimativa da perda de solo da área de estudo, foi aplicada a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), que é representada pela Equação (1):

$$USLE_i = R * K * L * S * C * P \tag{1}$$

Na qual:

USLE<sub>i</sub> = Perda de solo (Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

R = fator erosividade, índice de erosão pela chuva (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

K = fator erodibilidade dos solos em face de suas características físicas (Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>);

L = índice relativo ao comprimento da vertente ou rampa;

S = índice relativo à declividade média da vertente ou rampa;

C = índice relativo ao uso e manejo da terra;

P = índice relativo à prática conservacionista adotada.

Os fatores morfométricos L e S foram desenvolvidos a partir do modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) utilizando o interpolador *Topo to Raster* e a extensão Arc Hydro Tools, disponíveis no ArcMap 10.8 (Hutchinson, 1988). A interpolação é aplicada integrando dados vetoriais, como os pontos cotados, as curvas de nível e a hidrografia, e cada célula (pixel) é de 30 m x 30 m (Hyslop; Galdino, 2021).

Os elementos a respeito da erosividade (fator R) exigidos pelo InVEST foram moldados na forma de um mapa isoerodente, em formato *raster* (30 m). Para a produção desse mapa, foram utilizados os dados de erosividade obtidos por Oliveira et al. (2012). O fator K (erodibilidade do solo) foi conferido para as classes de solos seguindo as referências encontradas na literatura (Bertoni; Lombardi Neto, 1985). Além disso, para a aplicação do software, foi necessário usar uma tabela no formato CSV (*comma-separated values*) com os índices C (uso e manejo da terra) e P (práticas conservacionistas adotadas) para os cenários atual e conservacionista (Tabela 1) com referência também à literatura (Bertoni; Lombardi Neto, 1985).

**Tabela 1.** Valores dos índices C e P adotados para os cenários atual e conservacionista da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), AC.

Classe de uso	Cenário atual		Cenário conservacionista	
	Índice C	Índice P	Índice C	Índice P
Outros usos	0,0000	1	0,0000	1
Quintal doméstico	0,0080	1	0,0080	1
Floresta primária e/ou secundária	0,0004	1	0,0004	1
Mata ciliar	0,0008	1	0,0008	1
Floresta plantada	0,0080	1	0,0080	1
Pastagem sem invasora	0,0070	1	0,0080	1
Pastagem com invasora	0,0084	1	0,0080	1
Pastagem com muita invasora	0,0026	1	0,0080	1
Pastagem com solo exposto	0,0250	1	0,0080	1
Lavoura perene	0,0400	1	0,0400	0,5
Lavoura temporária	0,0821	1	0,0821	0,5

O mapa foi modificado para o formato *raster* (30 m) e reagrupado com base nos valores de erodibilidade ( $\text{Mg ha h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) para cada tipo de solo. Com o valor encontrado da taxa anual de perda de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ), foi calculada a perda de solo expressa em altura ( $h$ ,  $\text{mm ano}^{-1}$ ) a partir da Equação (2):

$$h = 0,1 * A * d^{-1} \quad (2)$$

Na qual:

$h$  = Perda de solo ( $\text{mm ano}^{-1}$ );

$A$  = Taxa anual de perda de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ );

$d$  = Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Como visto na Equação (2), para transformar as taxas anuais de perda de solo de  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  para  $\text{mm ano}^{-1}$ , foram inseridos os valores de densidade do solo para cada classe em questão, segundo Benites et al. (2007). Diante dos diferentes cenários de cultivos agrícolas, a estimativa dos valores econômicos básicos para repor os nutrientes removidos foi feita a partir do método de custo de reposição apresentado por Marques (1995), com necessidade de alguns ajustes.

Para estimar os nutrientes removidos anualmente em resposta à erosão, os valores de perda de solo, em  $\text{mm ano}^{-1}$ , foram transformados em unidade volumétrica, o que possibilitou estabelecer uma correlação de mesma grandeza com os valores encontrados de nutrientes presentes no solo, determinados em unidade de massa por volume. As alturas (em metros) estabelecidas na remoção do solo foram multiplicadas pela área (hectares) da região de estudo, resultando no volume removido em metros cúbicos por ano. Em seguida, os valores dos nutrientes foram convertidos de unidade de massa por decímetro cúbico para unidade de massa por metro cúbico, para determinar a quantidade de nutrientes que pode ser retirada anualmente a partir das ações erosivas. Os resultados da quantidade de fertilizantes que devem ser aplicados na reposição dos nutrientes analisados levaram em consideração a porcentagem de cada nutriente presente nos respectivos fertilizantes. Foram considerados os seguintes adubos: superfosfato simples (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), cloreto de potássio (58%  $\text{K}_2\text{O}$ ) e calcário dolomítico (25%  $\text{CaO}$  + 13%  $\text{MgO}$ ). Dessa maneira, são necessários 5,6 kg de superfosfato simples para repor 1 kg de fósforo, 1,72 kg de cloreto de potássio para repor 1 kg de potássio, e 2,63 kg de calcário dolomítico para repor 1 kg de cálcio + magnésio.

Diante dos cenários abordados (integração pecuária e floresta – IPF –; práticas conservacionistas nas lavouras; curvas de nível – CN –), os resultados obtidos de quantidade de nutrientes e seus fertilizantes correspondentes, além do valor de mercado de cada um deles, permitiram determinar os valores econômicos referentes ao custo de reposição de cada fertilizante e de sua aplicação nos manejos em questão. O preço atual vigente no mercado para os fertilizantes fosfato simples e cloreto de potássio está por volta de R\$ 5.198,00 e R\$ 6.266,20 por tonelada dos respectivos adubos, enquanto o valor do calcário é de R\$ 94,33, segundo o Instituto de Economia Aplicada (2022).

## Resultados e Discussão

Com aplicação do software InVEST (módulo SDR) e as etapas dos cálculos concluídas, foram obtidos importantes resultados para a análise da região em um hipotético cenário de integração pecuária–floresta (IPF) e de práticas conservacionistas (curvas de nível – CN – no plantio de lavouras). Esses resultados podem embasar melhores escolhas e decisões por parte da gestão

dos serviços ecossistêmicos na área de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi). Nesse contexto, na Tabela 2, são apresentadas as quantidades de fertilizantes requeridas para repor as propriedades ideais do solo no cenário atual de manejo e, na Tabela 3, as quantidades requeridas para um cenário conservacionista.

**Tabela 2.** Quantidade de fertilizantes requerida no cenário atual, para reposição de nutrientes na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) na cidade de Acrelândia, AC.

Uso e cobertura	Perda média de solo (mm ano <sup>-1</sup> )		Quantidade de fertilizantes requerida (kg ha <sup>-1</sup> )						
			Latossolo				Argissolo		
	Latossolo	Argissolo	P	K	Ca+Mg	P	K	Ca	Mg
Outros usos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quintal doméstico	0,14	0,15	0,00001	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,009	0,001
Floresta primária e/ou secundária	0,008	0,008	0,008	0,03	0,13	0,086	0,08	0,57	0,061
Mata ciliar	0,02	0,02	0,0002	0,0008	0,0034	0,0022	0,002	0,014	0,0015
Floresta plantada	0,26	0,28	0,008	0,03	0,13	0,08	0,08	0,59	0,06
Pastagem sem invasora	0,12	0,13	0,16	0,69	2,74	1,8	1,6	11,87	1,27
Pastagem com invasora	0,18	0,202	0,01	0,05	0,2	0,15	0,13	0,99	0,1
Pastagem com muita invasora	0,03	0,03	0,006	0,02	0,1	0,07	0,06	0,4	0,04
Pastagem com solo exposto	0,3	0,32	0,001	0,006	0,02	0,01	0,01	0,11	0,01
Lavoura perene	0,99	1,08	0,01	0,08	0,31	0,2	0,19	1,37	0,14
Lavoura temporária	1,78	1,92	0,01	0,07	0,29	0,19	0,17	1,25	0,13

**Tabela 3.** Quantidade de fertilizantes requerida no cenário conservacionista, para reposição de nutrientes na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi), na cidade de Acrelândia, AC.

Uso e cobertura	Perda média de solo (mm ano <sup>-1</sup> )		Quantidade de fertilizantes requerida (kg ha <sup>-1</sup> )						
			Latossolo				Argissolo		
	Latossolo	Argissolo	P	K	Ca+Mg	P	K	Ca	Mg
Outros usos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quintal doméstico	0,14	0,15	0,00001	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,009	0,001
Floresta primária e/ou secundária	0,008	0,008	0,008	0,03	0,13	0,086	0,08	0,57	0,061
Mata ciliar	0,02	0,02	0,0002	0,0008	0,0034	0,0022	0,002	0,014	0,0015
Floresta plantada	0,26	0,28	0,008	0,03	0,13	0,08	0,08	0,59	0,06
Pastagem sem invasora (IPF)	0,14	0,15	0,18	0,78	3,1	2,02	1,86	13,17	1,42
Pastagem com invasora (IPF)	0,17	0,19	0,012	0,052	0,209	0,142	0,13	0,93	0,1
Pastagem muita invasora (IPF)	0,1	0,1	0,019	0,079	0,315	0,191	0,176	1,26	0,13
Pastagem com solo exposto (IPF)	0,09	0,1	0,0004	0,002	0,0081	0,0054	0,005	0,036	0,003
Lavoura perene (CN)	0,49	0,53	0,009	0,039	0,15	0,102	0,094	0,67	0,07
Lavoura temporária (CN)	0,87	0,95	0,008	0,035	0,14	0,094	0,086	0,61	0,06

As classes de manejo que apresentaram maior necessidade de reposição de nutrientes foram os usos “pastagem sem invasora”, “pastagem com invasora” e “pastagem com muita invasora”, mesmo tendo sido estimado um cenário de integração entre pastagem e floresta. Para “lavoura perene” e “lavoura temporária”, foi adotado um cenário de práticas conservacionistas, o que afetou diretamente a necessidade de fertilizantes no sentido positivo, com menor valoração econômica para as lavouras. Com a quantidade de fertilizantes requerida para cada classe de uso e manejo,

foi possível calcular a valoração econômica da reposição de nutrientes para cada classe, tanto no cenário atual (Tabela 4) quanto no cenário conservacionista (Tabela 5).

**Tabela 4.** Valoração econômica no cenário atual da reposição de nutrientes na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) na cidade de Acrelândia, AC.

Uso e cobertura	Área (ha)	Custo de reposição de nutrientes para Latossolo (R\$)			Custo de reposição de nutrientes para Argissolo (R\$)			
		P	K	Ca+Mg	P	K	Ca	Mg
Outros usos	574,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quintal doméstico	84,39	0,06	3,45	0,20	7,45	8,27	0,80	0,09
Floresta primária e/ou secundária	8.829,46	41,50	208,60	1,16	451,10	503,10	54,00	5,70
Mata ciliar	82,89	1,11	5,00	0,30	11,40	12,53	1,40	0,10
Floresta plantada	287,83	43,60	217,40	13,00	465,70	523,20	56,30	6,00
Pastagem sem invasora	12.063,05	844,10	4.341,20	259,10	9.373,00	10.428,20	1.120,80	120,00
Pastagem com invasora	667,86	72,70	364,60	22,30	788,50	876,00	94,10	10,00
Pastagem com muita invasora	1.711,31	33,70	169,10	10,10	365,90	406,60	43,60	4,60
Pastagem com solo exposto	48,96	8,30	43,20	2,50	93,50	104,00	11,10	1,10
Lavoura perene	172,69	100,30	501,90	29,90	1.085,80	1.206,20	129,60	13,80
Lavoura temporária	88,62	91,40	458,60	27,30	992,20	1.102,20	118,40	12,60

**Tabela 5.** Valoração econômica no cenário conservacionista da reposição de nutrientes na Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) na cidade de Acrelândia, AC.

Uso e cobertura	Área (ha)	Custo de reposição de nutrientes para Latossolo (R\$)			Custo de reposição de nutrientes para Argissolo (R\$)			
		P	K	Ca+Mg	P	K	Ca	Mg
Outros usos	574,99	0	0	0	0	0	0	0
Quintal doméstico	84,39	6,87	34,36	2,05	73,64	81,8	8,78	0,94
Floresta primária e/ou secundária	8.829,46	41,1	205,53	12,26	411,10	456,70	49,06	5,25
Mata ciliar	82,89	0,96	4,80	2,86	9,60	10,67	1,14	0,12
Floresta plantada	287,83	43,56	217,75	13,00	469,10	521,15	55,98	6,00
Pastagem sem invasora (IPF)	12.063,05	983,17	4.914,44	293,27	10.533,89	11.626,00	1.242,50	134,66
Pastagem com invasora (IPF)	667,86	66,09	330,37	19,71	738,72	820,56	88,14	9,44
Pastagem com muita invasora (IPF)	1.711,31	99,62	497,99	29,71	996,28	1.106,65	118,87	12,73
Pastagem com solo exposto (IPF)	48,96	2,56	12,80	0,76	28,46	31,62	3,39	0,36
Lavoura perene (CN)	172,69	49,25	246,21	14,69	532,8	591,83	63,57	6,81
Lavoura temporária (CN)	88,62	44,87	224,33	13,38	490,07	544,36	58,47	6,26

As Tabelas 4 e 5 trazem os resultados da valoração econômica da aplicação de fertilizantes na área de estudo, diante das estimativas feitas no cenário atual de manejo e no cenário de adoção de práticas conservacionistas nas lavouras. A valoração econômica da região teve variação de R\$ 0,12 (Mg) nas matas ciliares até R\$ 11.626,00 (K<sub>2</sub>O) na classe “pastagem sem invasora”. Na estimativa feita sem a aplicação dos cenários de integração e adoção de práticas conservacionistas (Tabela 4), a valoração econômica oscilou entre R\$ 0,10 (Mg) e R\$ 10.428,00 (K<sub>2</sub>O).

Nos resultados obtidos, destaca-se a aplicação do cenário de adoção de práticas conservacionistas para o manejo de lavouras, tanto perenes quanto temporárias. Nas estimativas feitas sem a aplicação do cenário conservacionista (Tabela 4), “lavoura perene” apresentou a valoração mais baixa de R\$ 13,80 (Mg) e a mais alta de R\$ 1.206,00 (K<sub>2</sub>O). Já no cenário conservacionista (Tabela 4), o valor mais baixo apresentado foi de R\$ 6,81 (Mg) e o mais alto, R\$ 591,83 (K<sub>2</sub>O), uma queda considerável da valoração econômica. Para as lavouras temporárias, no cenário atual, a valoração mais baixa foi de R\$ 12,60 (Mg) e a mais alta, R\$ 1.102,00 (K<sub>2</sub>O); com a aplicação do cenário conservacionista, a valoração econômica variou de R\$ 6,26 (Mg) a R\$ 544,36 (K<sub>2</sub>O), mostrando que a adoção de práticas conservacionistas no manejo de lavouras pode ter retorno financeiro positivo.

## Conclusão

Este estudo buscou estimar a perda de solo usando o software InVEST e o seu módulo SDR e, a partir dessa estimativa, estimar também a valoração econômica de importantes nutrientes presentes no solo e que foram perdidos no processo de erosão, através de um levantamento dos custos de reposição de nutrientes a partir da degradação do solo. Para essas estimativas, foram introduzidos dois cenários hipotéticos para possíveis melhorias ambientais e financeiras, como a integração pastagem–floresta e a adoção de práticas conservacionistas. Cabe salientar que há poucos dados e informações disponíveis sobre a região de estudo, o que inviabiliza uma análise comparativa com outras pesquisas, visto que muitas variáveis são desconhecidas ou de difícil mensuração.

Dessa maneira, o maior benefício da aplicação do modelo de valoração econômica é o fato de ser possível identificar as regiões mais suscetíveis a erosão e estimar, em reais (R\$), o custo da aplicação de fertilizantes. Os manejos de pastagem ainda apresentam os maiores valores para a reposição de fertilizantes, mesmo em um cenário de integração pastagem–floresta, com valores chegando na casa de R\$ 10 mil (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e R\$ 11 mil (K<sub>2</sub>O). Em contrapartida, a adoção de práticas conservacionistas no manejo de lavouras proporcionou grande vantagem financeira, saindo de uma valoração econômica de R\$ 1.206,00 (K<sub>2</sub>O) para uma estimativa de R\$ 544,36 (K<sub>2</sub>O), cenário positivo financeiramente.

Diante do exposto acima, o método de reposição de nutrientes é de grande auxílio para nortear as políticas públicas e ações conjuntas dos órgãos de assistência técnica, pesquisa e governos para a conservação do solo e da água, pois representa os gastos do produtor rural para manter o nível desejado de produção. O maior problema encontrado no estudo da mensuração dos recursos ambientais é a falta de dados estatísticos para o seu desenvolvimento. Mas isso não significa que os estudos devam ser interrompidos. É mais um fator para que esses tipos de trabalhos sejam estimulados com o intuito de procurar seu aprimoramento para o sucesso de projetos e pesquisas posteriores.

## Referências

BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, v. 139, p. 90-97, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocetes, 1985. 392 p

CAVALCANTI, C. (Org.) **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. São Paulo: Cortez, 2002.



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. 15, p. 331–340, 2016.

GIANINETTO, M.; AIELLO, M.; POLINELLI, F.; FRASSY, F.; RAVAZZANI, G.; SONCINI, A. VEZZOLI, R. D-RUSLE: a dynamic model to estimate potential soil erosion with satellite time series in the Italian Alps. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 4, 2019.

HERTZLER, G.; IBAÑEZ-MEIER, C. A.; JOLLY, R. W. User costs of soil erosion and their effect on agricultural land prices: costate variables and capitalized hamiltonians. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 67, n. 5, 1985.

HUTCHINSON, J. N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology: Proc. 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, 10–15 July 1988. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**, v. 26, 1988.

HYSLOP, K.; GALDINO, S. Geração de modelo digital de terreno hidrologicamente consistente para delimitação de bacia hidrográfica na Amazônia. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2021, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto de Zootecnia, 2021. 12 p.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). **Estatísticas da produção paulista**. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjectiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjectiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1) Acesso em: 19 ago. 2022.

MARQUES, J. F. **Efeitos da degradação do solo na geração de energia elétrica**: uma abordagem da economia ambiental. 1995. 257 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. **Rainfall erosivity in Brazil**: a review. *Catena*, v. 100, p. 139-147, 2012.

RIBEIRO, G. D. **Valoração ambiental**: síntese dos principais métodos. 2009. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

THOMAZ, E. L. **Erosão do solo**: teorias, métodos e perspectivas. Curitiba: CRV, 2019. 260 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA-ARS Agriculture Handbook, 1978.

**Embrapa**

---

**Territorial**