

VALORAÇÃO ECONÔMICA DO USO DE FERTILIZANTES A PARTIR DA PERDA DE SOLO NA ÁREA DE ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IQIRI (ITUXI) EM ACRELÂNDIA-AC

Palavras-Chave: Geotecnologia; Serviços Ecossistêmicos; Reposição de Nutrientes

Autores/as:

Gabriel de Paula Rodrigues [Embrapa Territorial / Instituto de Geociências]

Dr. Rogério Resende Martins Ferreira [Orientador / Embrapa Territorial]

Dr. Sergio Gomes Tôsto [Co-autor / Embrapa Territorial]

INTRODUÇÃO:

A erosão do solo é um dos principais problemas que afeta os serviços ecossistêmicos de uma bacia hidrográfica, intensificando a degradação de terras agricultáveis, provocando uma queda da qualidade e produtividade do solo, além de provocar a perda de importantes nutrientes. Sendo assim, análises espaciais de indicadores associados à erosão permitem a identificação de áreas com maior propensão à erosão e transporte de sedimentos, e também, subsídio na recomendação de práticas de conservação mais eficazes para as condições de vulnerabilidade de cada trecho ou setor de uma bacia hidrográfica. De acordo com Gianinetto et al. (2019) a taxa média anual de perda de solo excede a taxa média anual de sua formação, fazendo com que o recurso possa ter comportamento de recurso não renovável. Com isso, para entender o real impacto da erosão do solo agrícola, é necessária uma valoração econômica (PIMENTEL et al., 1995; BERTOL et al., 2007).

Uma ferramenta importante para a gestão dos serviços ecossistêmicos e que ganha destaque no cenário atual é o software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) pela sua simplicidade e variedades de recursos. Desenvolvido como parte do “Projeto Capital Natural”, uma parceria entre Universidade de Stanford, *The Nature Conservancy* (TNC), *World Wildlife Fund* (WWF) e outras instituições (DENNEDY et al., 2016). No que diz respeito a perda de solos, o módulo SDR (Sediment Delivery Ratio) do software InVEST, estima a perda de solos por erosão laminar a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As metodologias de valoração econômica têm como característica a determinação do valor monetário do recurso natural perdido. Sob a esfera dos custos privados, os estudos de Hertzler et al. (1985), Gardner e Barrows (1985) e King e Sinden (1988) trabalharam com os efeitos da erosão e da conservação do solo sobre os valores das terras agrícolas. Os trabalhos de Swanson e Maccallum (1969) e Pope et al. (1983) avaliaram o impacto da erosão e da conservação do solo sobre a receita e o lucro do agricultor. No âmbito da pesquisa brasileira, Kitamura et al. (1982) estudaram o aspecto econômico de diferentes sistemas de conservação do solo.

O método de reposição baseia-se na avaliação dos gastos que seriam necessários para repor a capacidade reprodutiva de um recurso natural que tenha sido degradado, de maneira a restabelecer a qualidade ambiental inicial. Esses custos podem ser interpretados como o valor da degradação ambiental. Como são poucas as características do bem ambiental que serão repostas, as estimativas fornecem uma aproximação dos prejuízos econômicos causados pela alteração na provisão do recurso

natural, embora sejam subestimadas (CAVALCANTI, 2002). O presente estudo tem como objetivo avaliar a valoração econômica referente ao custo de reposição dos nutrientes removidos em decorrência de processos erosivos, bem como a sustentabilidade ambiental na área de estudo da Bacia do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia- AC.

METODOLOGIA:

Para determinar a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos inseridos na área de estudo da Bacia do rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia- AC, foi necessário conhecer alguns parâmetros relevantes para a obtenção dos valores econômicos da quantidade de fertilizantes que deve ser aplicada à reposição dos nutrientes removidos pela ação erosiva. Os parâmetros necessários foram: - Localização e identificação das áreas de estudo; - Determinação da perda de solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); - Determinação da densidade do solo; - Determinação da perda de solo (mm ano^{-1}); - Transformação 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 requerida pelo solo; - Valoração da quantidade de fertilizantes necessários, bem como do custo de aplicação da operação.

Para a aplicação do módulo SDR e o cálculo da perda de solos no presente trabalho, foi utilizado a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), dada pela equação (1):

$$usle_i = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Onde: $usle_i$ = Perda de solo em $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R = fator erosividade, índice de erosão pela chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); K = fator erodibilidade dos solos face suas características físicas ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); 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 ($\text{Mg ha Mg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$); P = índice relativo à prática conservacionista adotada.

Os dados morfométricos (índices L e S) foram gerados pelo modelo digital de terreno hidrológicamente consistente – MDTHC utilizando o interpolador Topo to Raster e a extensão Arc Hydro Tools, presentes no ArcMap 10.8 (HUTCHINSON, 1988). A interpolação é realizada com base em dados vetoriais, com pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, o tamanho de cada célula (pixel) foi de 30 x 30 m. (HYSLOP, K.; GALDINO, S, 2021). Os dados referentes à erosividade (fator R) requeridos pelo InVEST foram preparados na forma de um mapa isoerodente, em formato raster (30m). Para a elaboração deste mapa, utilizaram-se os dados de erosividade obtidos por Oliveira et al. (2012). O fator K (erodibilidade do solo) foi atribuído para cada classe de solos de acordo com referências encontradas na literatura (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985). O mapa foi convertido para o formato raster (30 m) e reclassificado com base nos valores de erodibilidade ($\text{Mg ha h MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) para cada tipo de solo. Com o valor obtido de A ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), foi calculada a perda de solo expressa em altura (h, mm ano^{-1}) a partir da equação (2) a seguir:

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

Onde: h = Perda de solo [mm ano^{-1}]; A = Taxa anual de perda de solo [$\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$]; d = Densidade do solo [g cm^{-3}].

Como observado na equação (2), para transformar as taxas anuais de perda de solo de $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para mm ano^{-1} , empregaram-se os valores de densidade do solo para cada classe em questão Benites et al. (2007). Para estimar os valores econômicos necessários para repor os nutrientes potencialmente removidos em razão das taxas de perda de solo sobre todas as

áreas de estudo diante das diferentes considerações de cenários para os cultivos agrícolas, foi utilizada uma metodologia baseada no método de custo de reposição apresentado por Marques (1995), a qual necessitou de alguns ajustes.

Para conhecer a quantidade de nutrientes removidos anualmente em decorrência da ação erosiva, os valores referentes à perda de solo, em mm ano^{-1} , foram convertidos em unidade volumétrica, para que fosse possível estabelecer uma correlação linear com os valores encontrados para o teor de nutrientes presentes no solo, os quais foram determinados em unidade de massa por volume a partir da análise de solo realizada. Para tal, as alturas (em metros) determinadas para a remoção de solo foram multiplicadas pela área total de cada área de estudo, em metros quadrados, e resultaram no volume de solo removido em metros cúbicos por ano. Posteriormente, os valores dos nutrientes em cada ponto amostral foram convertidos de unidade de massa por decímetro cúbico para unidade de massa por metro cúbico e extrapolado linearmente para o volume total de solo removido, determinando, dessa maneira, a quantidade de nutrientes que pode ser removida anualmente a partir dos processos erosivos. Para determinar a quantidade de fertilizantes que deve ser aplicada objetivando a reposição de nutrientes para a área analisada, foi levada em consideração a porcentagem de cada nutriente nos respectivos fertilizantes. Segundo essa lógica, são necessários 56 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.

Os resultados para as quantidades de nutrientes e suas equivalências em quantidade de fertilizantes necessários, combinados ao valor de mercado para esses fertilizantes, possibilitaram determinar os valores econômicos referentes ao custo de reposição desses fertilizantes e ao seu custo de aplicação sobre os diferentes usos e ocupação da terra na área de estudo. Atualmente, o preço de mercado para os fertilizantes Fosfato Simples e Cloreto de Potássio está por volta de 5.198\$ e 6.266,2\$ a tonelada dos respectivos adubos, já o Calcário permanece no valor de 94.33\$ segundo o IEA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Diante desses processos e da aplicação do software InVEST com o módulo SDR, foi obtido importantes resultados para uma análise da gestão dos serviços ecossistêmicos na região de Acrelândia e em parte da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Ituxi), como a obtenção de estimativas de perda de solo e nutrientes para as diferentes classes de uso e manejo que cobre a área de estudo. A Tabela 1 traz os valores de perda de solo e a área da cobertura em hectares.

Tabela 1. Área e estimativas de perda de solo por classe de uso e cobertura de solo em parte da Bacia Hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia - AC.

Classes de uso	Área ha	Perda de solo		Perda média de solo/mm ano	
		Mg/ano	Mg/ha ano	Latossolo	Argissolo
Outros Usos	574,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Quintal Doméstico	84,39	87,45	1,04	0,14	0,15
Floresta Primária Secundária	8.829,46	538,24	0,06	0,008	0,008
Mata Ciliar	82,89	14,07	0,17	0,02	0,02
Floresta Plantada	287,83	553,69	1,92	0,26	0,28
Pastagem sem invasora	12.063,05	10.949,56	0,91	0,12	0,13
Pastagem com invasora	667,86	922,31	1,38	0,18	0,202
Pastagem muita_invasora	1.711,31	419,58	0,25	0,03	0,03
Pastagem Solo Exposto	48,96	109,44	2,24	0,30	0,32
Lavoura Perene	172,69	1.268,64	7,35	0,99	1,08
Lavoura Temporária	88,62	1.160,14	13,09	1,78	1,92
TOTAL	24.612,05	16.023,12			

As classes de uso Lavoura Temporária, Perene e Pastagem com solo exposto, apresentam as maiores perdas de solo mesmo convertendo as estimativas em mm ano , variando de 0,3 mm ano para solo exposto e 1,78 mm ano para lavouras temporárias em Latossolos, já nos Argissolos esse intervalo é maior, indo de 0,32 mm ano até 1,92 mm ano . No que diz respeito

à quantidade de fertilizantes requeridos na reposição de nutrientes, se destaca a classe de uso Pastagem sem invasora, sendo o uso com maior extensão de área em hectares e uma estimativa média de perda de solo, os valores de fertilizantes pode variar de 0,16 (t) para o fosfato simples até 11,87 (t) para o calcário dolomítico. Outras classes como Lavoura Perene e Temporária, ganham destaque pela perda de solo em mm ano e pela requisição de fertilizantes, variando de 0,01 (t) para fosfato simples e 1,37 (t) para calcário dolomítico.

Com os resultados apresentados na tabela anterior, sendo eles a extensão territorial das classes de uso; as estimativas de perda de solo em Mg/ha ano e a perda média de solo em mm ano, se obteve uma valoração econômica da aplicação de fertilizantes na reposição dos nutrientes Fosfato simples (P); Cloreto de Potássio (K) e o Calcário Dolomítico (Ca+Mg).

Tabela 2. Valoração econômica da reposição de nutrientes em parte da bacia hidrográfica do rio Iquiri (Itúxi) em Acrelândia – AC.

lucode	Uso_cobertura_Aseam	Custo reposição Nutrientes Latossolo (R\$)			Custo reposição Nutrientes Argissolo (R\$)			
		P	K	Ca+Mg	P	K	Ca	Mg
1	Outros Usos	0	0	0	0	0	0	0
2	Quintal Doméstico	0,006	3,45	0,2	7,45	8,27	0,8	0,09
3	Floresta Primária Secundária	41,5	208,6	1,16	451,1	503,1	54,0	5,7
4	Mata Ciliar	1,11	5,0	0,3	11,4	12,53	1,4	0,1
5	Floresta Plantada	43,6	217,4	13,0	465,7	523,2	56,3	6,0
6	Pastagem sem invasora	844,1	4.341,2	259,1	9.373,0	10.428,2	1.120,8	120,0
7	Pastagem com invasora	72,7	364,6	22,3	788,5	876,0	94,1	10,0
8	Pastagem muita invasora	33,7	169,1	10,1	365,9	406,6	43,6	4,6
9	Pastagem solo exposto	8,3	43,2	2,5	93,5	104,0	11,1	1,1
10	Lavoura Perene	100,3	501,9	29,9	1.085,8	1.206,2	129,6	13,8
11	Lavoura Temporária	91,4	458,6	27,3	992,2	1.102,2	118,4	12,6

Os valores apresentados na tabela 2 representam a quantidade em reais (R\$) da reposição dos nutrientes em cada classe de uso e manejo de solo. Vale pontuar que em todos os casos, o tipo de solo Argissolo estimou os maiores valores de reposição. De acordo com as estimativas, as classes de Pastagem sem invasora; Lavoura Perene e Temporária extrapolaram a casa do milhar para alguns nutrientes. No caso da Pastagem, os maiores valores ficaram para os nutrientes: Fosfato simples (P) com R\$ 9.373,03 reais e Cloreto de Potássio (K) com R\$ 10.428,2 reais no solo Argissolo, além de R\$ 4.341,2 reais de Cloreto de Potássio nos Latossolos. Para as Lavouras, a Perene apresentou um valor de R\$ 1.085,8 reais para reposição do nutriente Fosfato, e cerca de R\$1.206,2 reais para o Potássio no solo Argissolo, no caso da Temporária o nutriente Potássio apresentou a maior valoração necessária, com cerca de R\$ 1.102,2 reais para a reposição em solo Argissolo. As demais classes apresentaram valores intermediários ou baixos, variando de R\$ 0,006 reais de P em Quintais domésticos a R\$788,53 reais de também P, em Pastagem com invasora.

CONCLUSÃO:

As estimativas de perda de solo proporcionadas pelo modelo SDR do software InVEST, permitiu que se realizasse uma valoração econômica da perda de importantes nutrientes presentes no solo. Cabe aqui ressaltar a necessidade de implementação de práticas conservacionistas em Lavouras Perene e Temporária, além da Pastagem sem invasora, sendo as classes que apresentaram maiores valores de reposição. Acrescente-se a esse cenário, a dificuldade em encontrar uma boa base de dados e resultados de pesquisa no estado do Acre para a atribuição de valores para os fatores e índices empregados no modelo para as diferentes classes de uso e cobertura da terra.

Neste estudo, a grande vantagem de realizar essa valoração e aplicação de modelo, é conseguir identificar as áreas mais vulneráveis à erosão e conseguir obter estimativas em reais (R\$) do uso de fertilizantes. Como foi dito anteriormente, o local que necessita de maior investimento em nutrientes foi o manejo de Pastagem sem invasora com R\$ 10.428,2 reais em Cloreto de Potássio e R\$ 9.373,03 reais em Fosfato Simples, possibilitando assim adoção de práticas conservacionistas para diminuição da erosão e possíveis futuros investimentos em tomadas de decisões, por parte dos agricultores.

BIBLIOGRAFIA:

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*, Amsterdam, v. 139, p. 90-97, 2007.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. **Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 133-142, 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. April, p. 331-340, 2016.

GARDNER, K.; BARROWS, R. **The impact of soil conservation investments on land prices.** *American Journal of Agricultural Economics*, v. 67, p. 943-947, 1985.

GIANINETTO, M., AIELLO, M., POLINELLI, F., FRASSY, F., RAVAZZANI, G., Andrea Soncini & Renata Vezzoli (2019): **D-RUSLE: um modelo dinâmico para estimar o potencial do solo a erosão com séries temporais de satélite nos Alpes italianos.** *European Journal of Remote Sensing*

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 1988V1, P3-35. Publ Rotterdam: A A Balkema, 1988. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 26.

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.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. ~~Estadísticas da produção paulista.~~ Disponível em: . Acesso em: 22 set. 2017.

KING, D. A.; SINDEN, J. A. **Influence of soil conservation on farm land values.** *Land Economics*, v. 64, p.242-55, 1988.

KITAMURA, P. C.; LANZER, E. A.; ADAMS, R. I. **Avaliação econômica de sistemas conservacionistas no uso de solos agrícolas: o caso do binômio trigo-soja no Rio Grande do Sul.** *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 20, p. 104-124, 1982.

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.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.; CRIST, S.; SPHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. **Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits.** *Science*, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

POPE, C. A. III, BHIDES, S.; HEADY, E. O. **Economics of conservation tillage in Iowa.** *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 38, p. 370-373, 1983.

SWANSON, E. R.; MACCALLUM, D. E. **Income effects of rainfall erosion control.** *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 24, p. 56-59, 1969.

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