

ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA NA OBTENÇÃO DE PERDAS DE SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA

Felipe de Souza Nogueira Tagliarini¹, Mikael Timóteo Rodrigues¹, Bruno Timóteo Rodrigues¹, Mateus de Campos Leme¹, Sérgio Campos¹

¹Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, felipe_tagliarini@hotmail.com; mikaelgeo@gmail.com; brunogta21@hotmail.com; mateus.leme93@gmail.com; seca@fca.unesp.br

RESUMO

A erosão consiste no fator principal de degradação do solo no ambiente agrícola e responsável pela perda de áreas agricultáveis. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma estimativa das perdas de solo por erosão, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e da análise multicritério, para avaliar o grau de degradação existente na bacia hidrográfica do córrego Anhumas, localizada entre os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, Estado de São Paulo. As perdas de solos evidenciaram que o processo erosivo resulta da interação de fatores abióticos (intrínsecos do meio) e bióticos (ação antrópica), porém sofreu maior influência do uso e ocupação do solo e das práticas de conservação do solo, principalmente devido a influência positiva da vegetação nativa e dos cordões de vegetação permanente. A maior parcela da área de estudo ficou dentro do limite tolerável de perdas, demonstrando que a bacia hidrográfica apresenta uma situação estável de degradação ambiental.

Palavras-chave — erosão, degradação ambiental, modelagem ambiental, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Erosion is the main factor of soil degradation in agricultural environment and responsible for the loss of agricultural areas. The present study aimed to estimate soil losses by erosion, using geoprocessing techniques and multi-criteria analysis, to evaluate the degradation degree of the watershed of Anhumas stream, located among the municipalities of Anhembi, Bofete and Botucatu, State of São Paulo, Brazil. Soil losses evidenced that the erosion process results of the interaction of abiotic (intrinsic of environment) and biotic factors (anthropic action), but it was more influenced by use and occupation of land and soil conservation practices, mainly due to the positive influence of native vegetation and cords of permanent vegetation. The largest portion of the study area was within the tolerable limit of soil losses, demonstrating that the watershed presents a stable situation of environmental degradation.

Key words — erosion, environmental degradation, environmental modeling, geoprocessing, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

O solo possui uma grande extensão de cobertura sobre o globo terrestre, sendo uma das maiores fontes de nutrientes para os organismos. O solo possui fatores que determinam suas características intrínsecas como: o clima, material de origem, topografia, biota e tempo, pois o não equilíbrio entre os seus constituintes desencadeia em processos de degradação, o qual é denominado de erosão ou processo erosivo do solo [1].

A predição das perdas de solo, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa por modelos, é uma ferramenta de grande utilidade e importância para a elaboração de planos conservacionistas e práticas a serem utilizadas no combate e prevenção da erosão, utilizando de dados como: tipo de solo, condições de uso e manejo, declividade e regime pluviométrico [2].

Aliado a isso, as técnicas de geoprocessamento e de análise multicritério, podem auxiliar no planejamento de atividades, pois abrangem a adaptação de uso das terras e outros critérios ambientais na tomada de decisão, com o uso da ferramenta de geoprocessamento, designada de Sistema de Informação Geográfica (SIG) propicia uma estimativa conjugada dos mesmos, adequando mais eficiência e credibilidade nos procedimentos e na tomada de decisão [3].

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar uma estimativa das perdas de solo por erosão, para avaliar o grau de degradação ambiental existente na bacia hidrográfica do córrego Anhumas, utilizando técnicas de geoprocessamento e a análise multicritério.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do córrego Anhumas está localizada na região de divisa entre os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, inserida na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo. A região possui situação definida nas coordenadas geográficas 48° 19' 37" a 48° 16' 13" de longitude W Gr. e 22° 59' 59" a 22° 54' 30" de latitude S, apresentando uma área de 2.649,66 ha.

Os fatores para a obtenção das perdas de solo da área de estudo foram: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, declividade, uso e ocupação do solo e práticas de conservação do solo. As classes internas a cada fator foram padronizadas para uma escala comum variando de 0 a 25 pontos, de acordo com o risco que oferecem para degradação do solo, sendo 0 para perda 'Nula', 5 para perda 'Muito Baixa', 10 para perda 'Baixa', 15 para 'Intermediária', 20 para 'Alta' e 25 para perda 'Muito Alta' [4].

O mapa de erosividade da chuva, ou a capacidade da chuva de provocar erosão em um terreno desprotegido de vegetação, foi elaborada a partir dos dados de erosividade do *software* livre netErosividade SP [5]. O município de Bofete teve erosividade na classe 'Baixa', Anhembí 'Intermediária' e Botucatu 'Muito Alta'.

A erodibilidade do solo, ou a capacidade natural do solo em se degradar, foi elaborada com base no mapa de solos do Estado de São Paulo, confeccionado em escala 1:500.000 pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC em formato impresso [6]. Na área de estudo há a ocorrência de três tipos de solos, que são: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd), com classe 'Baixa' de erodibilidade; Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com Neossolo Litólico Distrófico (PVAd2), com classe 'Intermediária'; e a Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd1), com classe 'Muito Alta' de erodibilidade.

O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo de Elevação do Terreno (MDE), arquivo matricial do Projeto TOPODATA [7]. Sendo posteriormente classificado de acordo com o declive em porcentagem e o formato do relevo propostos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA [8], e consequentemente agrupado nas classes: Plano (0 - 3 %), com classe 'Muito Baixa'; Suave ondulado (3 - 8 %), classe 'Baixa'; Ondulado (8 - 20 %), classe 'Intermediária'; Forte ondulado (20 - 45 %), classe 'Alta'; Montanhoso e Escarpado (> 45 %), com classe 'Muito Alta'.

Já o mapa referente ao uso e ocupação do solo foi obtido por meio da interpretação visual das imagens do satélite LANDSAT-8, onde foram vetorizados polígonos sobre cada classe de uso representante. As formas de uso e ocupação presentes na área de estudo são: Represa, Várzea e Vegetação Nativa, referentes a classe 'Muito Baixa'; Bairro de Anhumas, Edificações e Reflorestamento, enquadrados na classe 'Baixa'; Ferrovia e Rodovia, na classe 'Intermediária'; Café, Citrus, Culturas anuais e Pastagens, referentes a classe 'Alta'; e áreas de Solo exposto e com processos erosivos com classe 'Muito Alta'.

O processo de obtenção do mapa das práticas de conservação de solo foi semelhante ao que foi empregado para o uso e ocupação do solo, com a utilização das imagens do satélite LANDSAT-8 para o desenho das classes correspondentes a cada tipo de prática, com auxílio do *software* Google Earth Pro, para a melhor identificação dos tipos de práticas de caráter conservacionista. As práticas de conservação de solo observadas na bacia foram: Cordões de vegetação permanente, referentes a classe 'Muito Baixa'; Alternância de capinas e Plantio em contorno, presentes na classe 'Baixa'; Plantio em contorno, classe 'Intermediária'; e Plantio morro abaixo, referente a classe 'Muito Alta'.

Após a obtenção de todos os mapas foi realizado o processo de padronização dos fatores, que é indispensável para uniformizar as unidades de todos os mapas, aplicando uma escala comum de valores para que possam ser agregados para gerar um mapa final de perdas de solo. Uma das técnicas mais utilizadas na ponderação e atribuição de pesos a fatores é o Processo Hierárquico Analítico (PHA). O PHA faz uma comparação pareada entre cada um dos fatores, para determinar a importância que cada um possui, por meio de uma matriz quadrada em que os fatores são analisados em pares [9].

Dessa forma, cada uma das células da matriz é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de fatores [4]. Os valores então são derivados de uma escala contínua de nove pontos (Figura 1).



Figura 1. Escala de nove pontos para a comparação pareada entre fatores.

Um importante índice a ser determinado na PHA é a Taxa de Consistência (TC) dos pesos, devido a matriz de comparação pareada apresentar múltiplos caminhos pelos quais a importância relativa dos critérios pode ser avaliada. A TC indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso e seu valor para ser considerado ideal e validado deve ser inferior a 0,10 [9].

Por fim, após a geração dos planos de informações referentes a cada um dos fatores, estes foram ordenados de acordo com seus respectivos pesos e integrados na forma final de um mapa que representa as classes de perdas de solo existentes na bacia hidrográfica do córrego Anhumas. Dessa forma, cada pixel do mapa resultante representa a soma dos valores do mesmo pixel em cada plano de informação, ordenado de acordo com seu peso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do método utilizado no suporte à tomada de decisão da PHA, foi possível construir a matriz de comparação pareada e determinar os pesos referentes a cada fator, bem como a TC para a matriz (Tabela 1).

Tabela 1. Matriz de comparação pareada entre os fatores de perda de solo.

Fatores	F1	F2	F3	F4	F5	Pesos
F1	1	1	3	5	9	0,36
F2	1	1	3	5	9	0,36
F3	1/3	1/3	1	2	7	0,15
F4	1/5	1/5	1/2	1	7	0,10
F5	1/9	1/9	1/7	1/7	1	0,03

TC = 0,05

onde: TC = Taxa de Consistência; F1 = uso e ocupação do solo; F2 = práticas de conservação de solo; F3 = erosividade da chuva; F4 = erodibilidade do solo; F5 = declividade.

A TC obtida para a matriz de comparação pareada foi de 0,05 (valor inferior a 0,10), indicando que os valores de comparação entre os fatores foram gerados de forma aleatória, não havendo a necessidade de uma posterior reorganização da matriz. A ponderação tem influência direta sobre a espacialização referente a cada uma das áreas de risco de perdas de solo a serem analisadas, dessa forma, espera-se nesse caso que as áreas referentes a classe ‘Muito Alta’ estejam em locais onde se tem como cobertura do solo as classes de culturas anuais, pastagens, solo exposto e com processos erosivos já instalados e em áreas de plantio morro abaixo, pois são referentes aos fatores que receberam o maior peso no processo de ponderação.

O modelo de perdas de solo engloba os fatores erosividade da chuva, erodibilidade do solo e declividade, que são os abióticos e intrínsecos do meio, e também engloba os fatores antrópicos como o uso e ocupação do solo e as práticas de conservação do solo, que são condicionantes de erosão e que de alguma maneira possuem a influência humana (Figura 2), sendo assim possível observar o produto desses cinco fatores divididos em classes de perdas de solo.

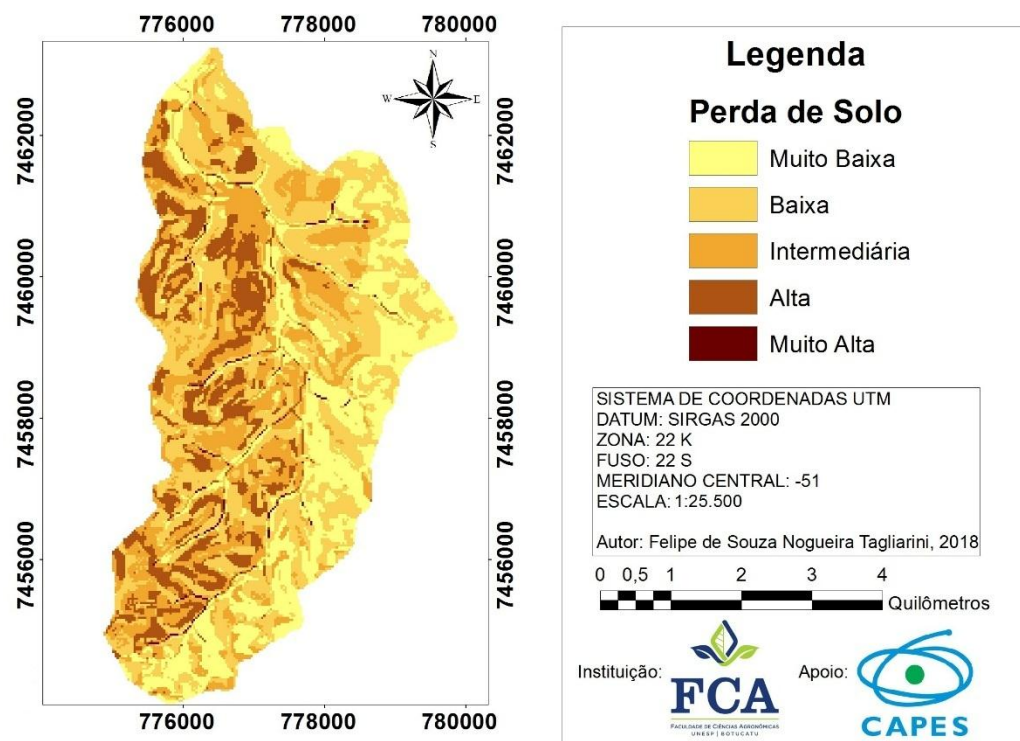


Figura 2. Classes de perdas solo da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas/SP.

A classe de perda de solo de maior representatividade, corresponde a classe ‘Baixa’ com 36,74 % de abrangência (973,43 ha), seguida pela classe ‘Muito Baixa’ com 24,30 % da área total (643,83 ha). Essas duas classes de perdas, com as menores taxas de erosão, se somadas representam 61,04 % da bacia hidrográfica, e evidencia que os fatores antrópicos do modelo estão colaborando de forma positiva com a redução da taxa de erosão na bacia hidrográfica em

mais de metade de sua totalidade conservando o solo e recursos hídricos da área. As demais classes em ordem de abrangência foram: ‘Intermediária’ com 23,53 % (623,72 ha), seguida pela classe ‘Alta’ 14,83 % (392,86 ha) e ‘Muito Alta’ com 0,60 % (15,82 ha).

Ainda com relação as classes ‘Muito Baixa’ e ‘Baixa’, muito de sua representatividade no Córrego Anhumas se deve ao fato da boa presença de remanescentes de

Vegetação Nativa, sendo usados como Cordões de Vegetação (prática de conservação de solo) para a proteção de solo e água. A presença de vegetação ciliar nativa ao longo da maior parte dos cursos d'água também merece destaque, cumprindo seu papel ambiental de barreira física contra o escoamento superficial e a partícula de solo desprendidas, comprovando a eficiência dessa faixa de proteção aos recursos hídricos instituída na legislação brasileira.

Com relação as classes 'Alta' e 'Muito Alta', que apesar de terem as menores abrangências são as que merecem maior destaque com relação a perdas de solo por erosão. Os locais de ocorrência das duas classes de perdas, são basicamente áreas com declividades mais elevadas, com o maior valor de erosividade e também com a presença de Argissolos.

Dessa forma, apenas 15,43 % da área da bacia hidrográfica do córrego Anhumas pertencem às classes de maiores perdas de solo, que estão fora do limite médio considerado ideal. Nessas áreas, principalmente devido ao maior valor de declividade e erosividade é de fundamental importância a adoção de práticas conservacionistas como o plantio em nível e utilização de terraços, além de cordões de vegetação nativa para a diminuição do fluxo de escoamento superficial e consequentemente o transporte de partículas de solo dessas regiões para as mais baixas.

Apesar de bem preservada com relação a vegetação nativa e de possuir pouca área sob grandes riscos de degradação por perdas de solo, é de fundamental importância para o correto funcionamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego Anhumas, que essas áreas sejam cultivadas de acordo com o que é considerado ideal de manejo no que tange a diminuição das perdas de solo por erosão, para que se obtenha a conservação de solo e água integral dessa região. Dessa forma, se faz necessário desenvolver uma proposta de ocupação racional da bacia, sob a ótica conservacionista de manejo agrícola e ambiental.

4. CONCLUSÕES

Grande parcela da bacia hidrográfica possui classes de perda de solo entre 'Muito Baixa', 'Baixa' e 'Intermediária', estando dentro do limite considerado tolerável de perdas por processos erosivos, demonstrando que a bacia hidrográfica do córrego Anhumas apresenta uma situação estável de degradação ambiental.

Os fatores bióticos, oriundos de ações antrópicas como o uso do solo e práticas de conservação foram os que mais influenciaram de forma positiva para a baixa perda de solos na área de estudo.

Apesar de bem preservada e de sua situação estável de degradação é importante o desenvolvimento de propostas de utilização racional da bacia hidrográfica, visando o manejo conservacionista da área.

A aplicação das técnicas de geoprocessamento em conjunto com a análise multicritério em ambiente SIG,

mostraram-se eficazes para a obtenção das perdas de solo por erosão, a partir desse método permitiu assegurar-se que todos os julgamentos realizados foram coerentes, gerando resultados confiáveis.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Tagliarini, F.S.N. *Técnicas de geoprocessamento aplicadas na quantificação de perdas de solo em bacia hidrográfica*. 121 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.
- [2] Vasquez, B.A.F. e Winick, R.B. Erosão - princípios e recomendações de controle. In: Poletto, C. (Org.) *Bacias hidrográficas e recursos hídricos*, Interciência, Rio de Janeiro, cap. 6, p. 125-158, 2014.
- [3] Barros, A.C. *Análise multicritério aplicada ao zoneamento agrícola do município de Itaberá-SP*. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.
- [4] Nicolette, D.A.P. e Zimback, C.R.L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas, *Revista Agroambiental*, v. 5, n. 3, pp. 55-62, 2013.
- [5] Moreira M.C.; Cecílio, R.A.; Pinto, F.A.C. e Pruski, F.F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais, *Engenharia na Agricultura*, v. 14, n. 2, pp. 88-92, 2006.
- [6] Instituto Agrônomo de Campinas. IAC. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo*, Escala 1:500.000, Campinas, 1999.
- [7] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE. *TOPODATA*: Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- [8] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro, pp. 306, 2013.
- [9] Saaty, T. *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, Nova York, pp. 287, 1980.