



Proposta metodológica para identificar o uso possível das terras em áreas rurais degradadas por processos erosivos

Methodological proposal to identify the possible use of land in rural areas degraded by erosive processes

Felipe Augusto Scudeller Zanatta , Cenira Maria Lupinacci 

Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – UNESP, Rio Claro, SP, Brasil

E-mail: cenira@rc.unesp.br

E-mail para correspondência: felipeasz@hotmail.com

Recebido (Received): 04/05/2022

Aceito (Accepted): 22/05/2023

Resumo: A perda e o desperdício de recursos naturais é um paradigma da sociedade atual, sobretudo nas áreas agrícolas, onde o uso indevido das terras acaba por intensificar a erosão do solo. Nesse sentido, esta pesquisa apresenta uma proposta metodológica para identificar o uso agrícola adequado às características dos terrenos, assim como aqueles setores que precisam ser recuperados e protegidos, para assegurar a estabilidade dos solos e dos processos ecológicos. Para tanto, selecionou-se como área modelo um conjunto de bacias localizadas no município de Marabá Paulista (SP), totalmente utilizadas para agropecuária, onde se encontram centenas de formas erosivas. Nessa área, foram mapeadas características físicas, do uso e cobertura da terra, das feições geomorfológicas em perspectiva histórica e áreas legalmente protegidas. Os dados dos mapeamentos foram analisados por meio das metodologias da Geoecologia da Paisagem, da cartografia geomorfológica retrospectiva e do Sistema de Capacidade de Uso das Terras. A partir da avaliação destas metodologias, elaboraram-se duas árvores de decisão, em que a combinação dos elementos indica o uso possível dos terrenos, norteando dois mapeamentos: ideal e viável, este com menor número de variáveis a serem utilizadas. Como resultado, os mapeamentos permitiram indicar padrões futuros de uso da terra que respeitam as limitações físicas e o histórico de uso dos terrenos. Buscou-se ainda incorporar a noção de vizinhança a estes padrões, compreendendo que as feições erosivas tendem a se expandir para o entorno.

Palavras-chave: Geoecologia da paisagem; Cartografia geomorfológica retrospectiva; Sistema de capacidade de uso das terras; Árvore de decisão.

Abstract: *The loss and waste of natural resources is a paradigm of today's society, especially in agricultural areas, where land misuse ends up intensifying soil erosion. This research presents a methodological proposal to identify the appropriated agricultural use according to the characteristics of the land, as well as those sectors that need to be recovered and protected, to ensure the stability of soils and ecological processes. We selected, as model area, a set of basins, located in Marabá Paulista city (São Paulo State - Brazil) that is totally used for agriculture and it's possible to find hundreds of erosive forms. There we mapped physical characteristics of land use and cover, geomorphological features in historical perspective and legally protected areas. The mapping data were analyzed using the methodologies of Landscape Geoecology, retrospective geomorphological mapping and Land Capability Classification. Based on the evaluation of these methodologies, we created two decision trees, in which the combination of the elements indicates the possible use of the land, guiding two mappings: the ideal and the viable one, which has fewer variables to be used. The mappings allowed us to indicate future patterns of land use that respect the physical limitations and the history of the land use. We also aimed to incorporate the notion of neighborhood to these patterns, considering that erosive features tend to expand into the surroundings.*

Keywords: *Landscape geoecology; Retrospective geomorphological mapping; Land capability classification; Decision tree.*

1. Introdução

No Brasil, a preocupação com os recursos naturais, aparentemente, começa já no primeiro ciclo econômico, do Pau-Brasil. Em 1605, foi promulgado o Regimento do Pau-Brasil, voltado ao controle da exploração da madeira e sobre a má utilização do solo, que reduziam os lucros do reino (SIQUEIRA, 2011). Desde então, novas Leis de proteção e uso dos recursos naturais foram sendo desenvolvidas, acompanhadas do reconhecimento das características dos recursos no território nacional, incorporando conceitos de ecossistema e meio ambiente, assim como noções de conservação, proteção e preservação.

A partir dos anos 1980, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA, Lei 6938/1981) estabelece que o meio ambiente é “patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo” (Art.2º, Inciso I). Isto é, embora os terrenos sejam propriedade de alguém, os solos, subsolos, a água, o ar e o ecossistema são de interesse nacional, sendo necessária a racionalização do uso destes a partir de práticas tanto conservacionistas, como de proteção e preservação, de maneira que a qualidade ambiental garanta condições ao desenvolvimento socioeconômico (Art. 2º).

A PNMA determina a “necessária racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar” (Art. 2º, Inciso I), incluindo o “controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras” (Inciso V), a “recuperação de área degradadas” (Inciso VIII) e a “proteção de áreas ameaçadas de degradação” (IX). Para a referida Lei, degradação é toda “alteração adversa das características do meio ambiente” (Art. 3º, Inciso II), acrescentando, via Decreto 97632 de 1989, “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (Art. 2º).

O Código Florestal vigente, Lei 12651 de 2012, estabelece que todo imóvel rural deve manter uma porcentagem da propriedade com mata nativa protegida (Reserva Legal, Art. 12º) e a localização de outras a serem preservadas permanentemente (Áreas de Preservação Permanente, Art. 4º), dada a instabilidade natural dos terrenos, como beira de rios (Inciso I), lagos e lagoas naturais (Inciso II), reservatórios (Incisos III), nascentes (Inciso IV) e encostas íngremes (Inciso V), sendo a responsabilidade do proprietário a demarcação e manutenção dessas áreas (Art.7º).

Na região Oeste do estado de São Paulo, sobre litologias areníticas do Grupo Bauru, sobretudo da Formação Adamantina, predominando solos arenosos e um clima tropical típico, trabalhos como de Stein (1993), Boin (2000), Dibieso (2000) e Zanatta (2018) destacaram o uso agrícola dos terrenos, principalmente para pecuária bovina, sem considerações com as características naturais do ambiente ou com as áreas legalmente protegidas. Assim, na região, além da perda notória de biodiversidade, tem-se o aumento da instabilidade dos terrenos, em que os usos potencializaram a ação de processos erosivos. Os processos erosivos nas vertentes modificaram a dinâmica destas, degradando os solos, afetando os fundos de vale, ao reduzir a qualidade e quantidade da água nos rios.

Em ambientes já muito modificados, se a preocupação é com a conservação, proteção e preservação dos recursos naturais, há uma necessária compreensão dessa nova dinâmica erosiva estabelecida pelo uso agrícola, no intuito de recuperar as áreas degradadas e proteger àquelas ameaçadas de degradação, como determina a PNMA (Art.2º, VII e VIII).

A questão da erosão é reconhecida como importante e estudada em diversas partes do mundo (POESEN *et al.*, 2003, TEBEBU *et al.*, 2010, BOARDMAN, 2014, GARCÍA-RUIZ *et al.*, 2013; CHU *et al.*, 2019; COUTO JUNIOR *et al.*, 2019, ANDERSON *et al.*, 2021, WELLS *et al.*, 2013, WANG *et al.*, 2016, KARIMOV *et al.*, 2015, CASTILLO; GOMÉZ, 2016, SHEN *et al.*, 2016, MAHMOODABADI; SAJJADI, 2016; ZHANG *et al.*, 2019, BRYK, 2018, BAYAT *et al.*, 2017). Destes diversos estudos, destaca-se a avaliação de García-Ruiz *et al.* (2013) que, em revisão bibliográfica sobre a região mediterrânea, afirmaram que a erosão do solo tornou-se um dos mais significativos problemas ambientais, sendo o foco de diversas pesquisas na Espanha, Itália, França, Portugal, Israel, Grécia e Norte de África, principalmente relacionadas às atividades humanas e sua interferência a curto e médio prazo. Chu *et al.* (2019), ao analisarem a ocorrência de processos erosivos em uma área submetida ao plantio de eucalipto no sul da China, identificaram uma diferenciação nos processos de perda de material e nutrientes entre parcelas com plantio tradicional de eucaliptos (área de controle) e outras de plantio misto, com a presença de eucaliptos e espécies de árvores nativas. Já Li *et al.* (2019), em áreas submetidas a pastagens voltadas para pecuária, buscaram compreender a relação entre o pastoreio de gado, as mudanças climáticas e a erosão do solo. Desta forma, os autores constataram uma maior taxa de redistribuição do solo correlacionada, significativamente, com o aumento do pastoreio, mas não com os dados de mudanças climáticas da região (precipitação e temperatura). No Brasil, Couto Júnior *et al.* (2019) afirmam que, em um cenário com expansão contínua da cultura de cana-de-açúcar, as taxas de perda de solo podem aumentar em até 370 vezes em relação ao cenário pretérito.

Ao considerar tais apontamentos, selecionou-se como objeto de estudo uma área representativa da degradação do Oeste Paulista, constituída por um conjunto de sub-bacias do Ribeirão Areia Dourada, que perfazem uma área de 2.117ha, localizadas no Município de Marabá Paulista (SP) (**Figura 1**). A área posiciona-se no Planalto Ocidental Paulista, sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, em condições climáticas tropicais, com média pluviométrica anual de 1.300mm, sendo as chuvas mal distribuídas ao longo do ano (BOIN, 2000).

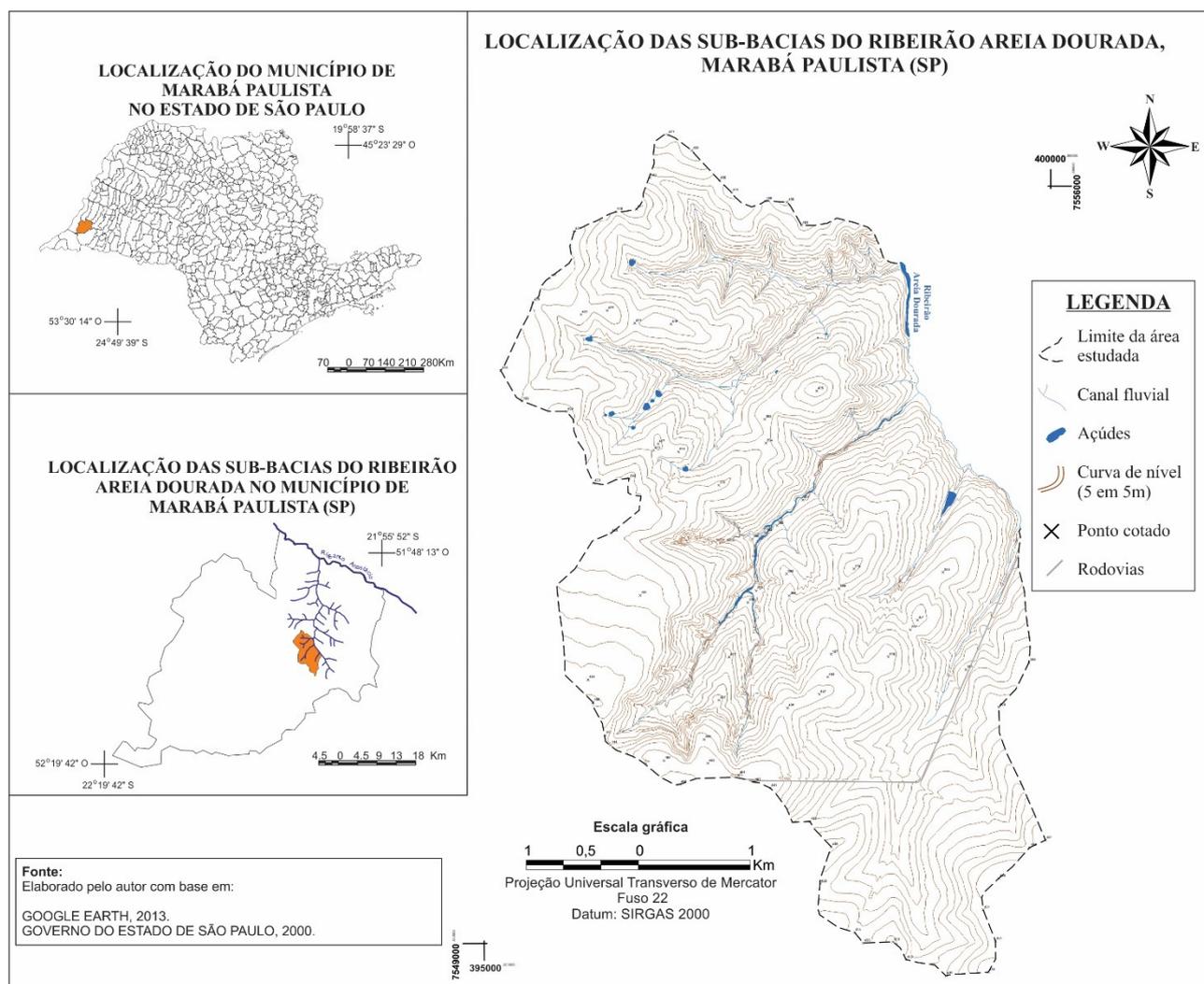


Figura 1: Localização da área estudada, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

A escolha deste objeto de estudo se deve a sua principal problemática: uma área inteiramente rural em que se destacam as centenas de feições erosivas lineares. De acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2012), no município de Marabá Paulista registraram-se 371 formas erosivas, sendo o segundo município mais problemático da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22). Zanatta (2014) levantou na alta bacia do ribeirão Areia Dourada, que abrange 4.623ha do município de Marabá Paulista, 530 formas erosivas lineares, sendo 385 sulcos, 138 ravinas e sete voçorocas.

Através de um estudo de caso neste ambiente degradado, propõe-se apresentar uma metodologia que visa identificar as áreas a serem protegidas, bem como o uso possível das terras nas áreas rurais já degradadas por processos erosivos, em ambiente quente e úmido. Tal proposta busca produzir documentos cartográficos que orientem a gestão de terrenos já amplamente afetados por padrões anteriores de uso da terra, os quais provocaram o desenvolvimento dos processos erosivos.

Para tanto, na análise da problemática erosiva e identificação do uso possível, utilizaram-se, inicialmente, três metodologias distintas: duas que visam diagnosticar questões ambientais, a cartografia geomorfológica retrospectiva (RODRIGUES, 1990) e a Geoecologia da Paisagem (RODRIGUEZ *et al.*, 2006); e uma terceira para definir a capacidade de uso dos terrenos (LEPSCH *et al.*, 1983). Entende-se que essas metodologias trazem abordagens distintas sobre a análise ambiental, permitindo identificar a estrutura e a

função geocológica do sistema bacia (Geoecologia da Paisagem), as dinâmicas hidrogeomorfológicas e as interferências antrópicas (Cartografia Geomorfológica Retrospectiva), bem como a combinação de características dos terrenos que limitam as possibilidades do uso das terras (Sistema de Capacidade de Uso); ainda, os mapeamentos das áreas legalmente protegidas pela Lei 12.651 de 2012, apontando as Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal, foram incorporados à metodologia.

Contudo, apesar do mérito de tais metodologias, algumas bastante tradicionais, avaliou-se que, quando se trata de terrenos já degradados pela erosão, nenhuma destas atendeu plenamente as necessidades de zoneamento. Assim, tendo como hipótese a necessidade de uma metodologia específica para este cenário, foram identificadas as principais contribuições de cada metodologia e elaborada uma nova proposta adequada ao cenário estudado, de degradação por processos erosivos, considerando a PNMA (Art. 2º, Inciso IV, VIII e IX). Em um primeiro momento, na análise da contribuição das três metodologias, foram selecionadas todas as variáveis e situações a serem consideradas para indicar o uso adequado da terra. A esta proposta, chamou-se de ideal. No entanto, entendendo que muitos dos dados utilizados são de difícil e complexa elaboração, buscou-se, através da combinação de variáveis de mais simples levantamento, obter resultados próximos da proposta ideal, organizando uma segunda proposta, denominada de viável.

2. Materiais e procedimentos metodológicos

Os mapeamentos realizados neste trabalho foram na escala 1: 10.000, utilizando como base topográfica as cartas elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC, 2000), folhas 057/019, 057/20, 058/19, 058/20, com equidistância das curvas de nível em 5 metros.

Também foram usadas distintas fotografias aéreas (1963, 1979 e 1997) e imagens orbitais (2010 e 2013), dada a análise temporal exigida pela Cartografia Geomorfológica Retrospectiva. Embora de diferentes qualidades e escalas, entendeu-se que as feições mapeadas a partir destas fotografias e imagens eram passíveis de identificação a partir do zoom máximo, permitindo a padronização da escala 1:10.000. Os dados mapeados, sobretudo a partir de 2012, foram reambulados em campo, até o ano de 2016. Em campo, ainda se coletaram amostras para as análises, principalmente dos solos, como exigido pela metodologia do Sistema de Capacidade de Uso.

2.1. Geoecologia das paisagens

Para a aplicação dessa metodologia utilizou-se a proposta de análise do meio físico indicada por Leal (1993), com levantamento da litologia, de características dos solos e das formas de relevo. Ainda, como proposto por Oliveira (2003), trabalhou-se a declividade junto da dissecação horizontal e vertical, sintetizando as três informações na energia do relevo (MENDES, 1993).

Os dados produzidos por Zanatta (2018) para a área de estudo foram analisados, buscando avaliar quais variáveis eram mais significativas. Desse modo, da proposta da Geoecologia da Paisagem foram selecionados os parâmetros referentes à energia e formas do relevo. Compreende-se que esses parâmetros e suas combinações com as demais variáveis podem indicar a maior ou menor predisposição à formação e desenvolvimento dos processos erosivos lineares.

2.2. Cartografia geomorfológica retrospectiva

Esta metodologia foi aplicada na área estudada no intuito de analisar o histórico da distribuição das feições geomorfológicas, buscando entendê-las enquanto formas e processos. Para tanto, foram realizados mapeamentos geomorfológicos dos anos de 1963, 1979, 1997, 2012 e 2016, seguindo a metodologia de Tricart (1965), com adaptações ao universo estudado. A periodicidade dos mapeamentos não é regular devido à inexistência de materiais aerofotogramétricos dos cenários mais antigos. O uso de imagens orbitais dos cenários mais antigos também foi inviabilizado visto que não atendem a resolução necessária para este tipo de mapeamento, a 1:10.000.

A partir da aplicação dessa metodologia e da análise das feições erosivas lineares em perspectiva histórica, foi possível compreender os meios pelos quais a erosão evoluiu, formando ravinas e voçorocas, e os terrenos em que esta dinâmica é mais ativa. Constatou-se a necessidade de preservar os terrenos de entorno das ravinas e voçorocas, assim como aqueles que drenam para as cabeceiras de drenagem em que se encontram os voçorocamentos; verificou-se que tais terrenos evoluem em escala de tempo histórico, sendo esse então o segundo parâmetro a ser considerado na definição do uso adequado das terras.

2.3. Sistema de capacidade de uso das terras

A partir da avaliação da proposta de Lepsch *et al.* (1983), foram levantadas as seguintes informações: declividade, elaborada a partir da base topográfica; profundidade total dos solos (medida com trado e trena em campo), permeabilidade e textura da camada superficial e subsuperficial, a partir de coleta de amostras e análise de laboratório. Foram utilizadas também informações sobre as formas erosivas lineares (sulco, ravina e voçoroca), levantadas a partir da fotointerpretação das imagens orbitais do satélite Quickbird de 2013, com resolução de 0,6 m, reambuladas em campo (2015 e 2016). A proposta, diferente daquela apresentada por Lepsch *et al.* (1983), foi aplicada em uma bacia hidrográfica e não em propriedades rurais, uma vez que o recorte espacial da bacia se enquadra melhor à análise sistêmica da erosão linear, resultante da ação hídrica. Na combinação dos elementos mencionados, os terrenos foram classificados em grupos (A, B e C), referente à cobertura que os terrenos suportam, e classes (I, II, III, V, VI, VII e VIII), relativa aos problemas para conservação dos solos (ZANATTA; LUPINACCI; BOIN, 2019).

Desta metodologia, utilizou-se na proposta de uso adequado apresentada os procedimentos para o levantamento das características pedológicas, as limitações relativas ao solo e à erosão presente, bem como da estrutura de combinação das características dos terrenos para definição do uso possível, considerando o porte e tipo de enraizamento das culturas na proteção dos terrenos.

2.4. O Código Florestal e as áreas legalmente protegidas

Os limites das Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL) foram obtidos junto ao Cadastro Ambiental Rural (CAR) Federal. Estes limites, adquiridos em formato vetorial (*shapefile*), foram adicionados ao banco de dados desta pesquisa. Para estas áreas, buscou-se na Lei N.º 12651/12 (Código Florestal) as condições de cobertura superficial exigidas e o grau de restrição ao uso destes terrenos. Assim, o primeiro parâmetro a ser considerado na busca pelo uso adequado dos terrenos constitui-se na restrição legal ao seu uso pela legislação ambiental vigente.

3. Resultados e discussões

3.1. A proposta ideal e a proposta viável

Na proposta, além de questões específicas à Legislação Ambiental, o foco foi a questão erosiva. Assim, as variáveis selecionadas ou combinação das variáveis tiveram como elemento norteador a erosão linear ou a tendência ao desenvolvimento desta, a partir de então definindo as coberturas necessárias para conter e impedir o desenvolvimento do processo erosivo.

Para facilitar a leitura da metodologia proposta, esta foi organizada em uma árvore de decisão, indicando as variáveis e a combinação destas que condicionam a um uso adequado das terras nas classes: I. reflorestamento com mata nativa e proteção; II. silvicultura; III. pasto; e IV. culturas temporárias ou anuais que ofertem boa proteção aos solos.

Em um primeiro momento elaborou-se uma árvore de decisão considerada ideal, que trabalha com um amplo universo de variáveis identificadas a partir das três metodologias supramencionadas: energia do relevo, fragilidade litológica, formas de relevo, características pedológicas, formas erosivas e terrenos de entorno de ravinas e voçorocas, além das APP's e RL (**Figura 2**).

A classe I corresponde aqueles terrenos de maior dinâmica erosiva e legalmente protegidos (Lei 12651 de 2012). Nessas áreas encontrou-se forte atuação ou tendência à formação e desenvolvimento dos processos erosivos lineares, sendo, portanto, o único uso possível a manutenção da vegetação nativa ou reflorestamento com espécies nativas.

Essas áreas em sua maioria são classificadas a partir de um único parâmetro determinante. Por exemplo, apenas a energia do relevo forte ou muito forte, ou a presença de solos subordinados ao hidromorfismo, já é suficiente para indicar a necessária proteção do terreno. A combinação de parâmetros ocorre somente no caso de concavidades em vertente, onde outras variáveis potencializam a ação erosiva, como a fragilidade litológica, a energia medianamente forte, textura arenosa do solo ou de permeabilidade lenta de alguma camada.

A execução da proposta ideal demanda um universo amplo de dados, de conhecimentos especializados e investimentos significativos. Assim, por exemplo, a análise detalhada da morfometria do relevo, demanda meses de trabalho, reambulação em campo e mão de obra treinada na área da geomorfologia. Ainda, os dados de permeabilidade dos solos dependem de equipamento de coleta de campo específico e de análises de laboratórios. Assim, a partir desta análise, foi proposta uma segunda árvore de decisão que apresenta um zoneamento similar ao da proposta ideal, reduzindo a quantidade e complexidade dos dados utilizados.

Em um primeiro momento, substituíram-se os dados de energia do relevo pela declividade, considerando este levantamento mais simples, reconhecido e de rápida elaboração. Posteriormente, removeram-se os dados de permeabilidade, pelo alto custo de equipamentos (martelo de *Ulhand* e cilindros de coleta) e testes de laboratório (condutividade hidráulica), o detalhamento da fragilidade das litologias e das formas de relevo. Assim, priorizaram-se as formas erosivas em ravina e voçoroca, os terrenos que drenam para voçorocas, a declividade, textura e profundidade dos solos. Essas variáveis permitiram obter de maneira satisfatória o zoneamento do uso adequado das terras nas classes I, II, III e IV. Desse modo, chegou-se a seguinte árvore de decisão da proposta viável (**Figura 3**).

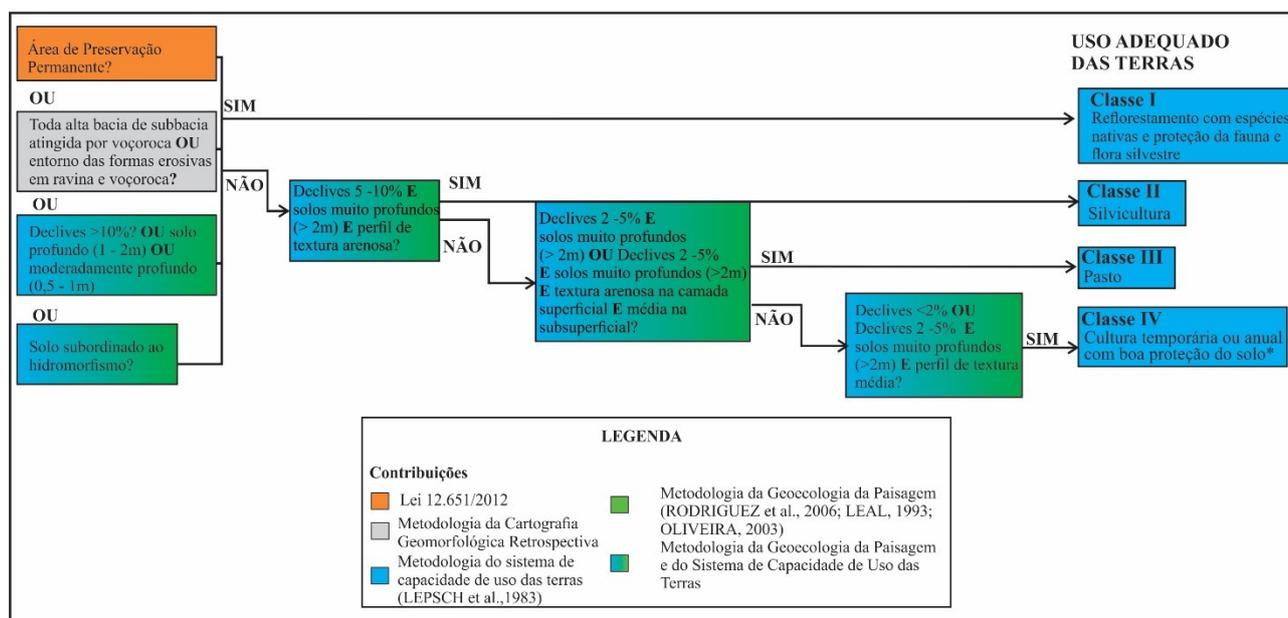


Figura 3: Árvore de decisão para identificar o uso adequado das terras em área rural degradada, proposta viável.

3.2. Validação das propostas

Neste tópico, apresentam-se os mapeamentos derivados das propostas ideal e viável, avaliando quantitativamente o grau de diferença das classes entre estas. Ainda, visando aferir a adequação das propostas, sobrepueram-se aos mapeamentos as formas erosivas de 2016.

Nos mapas das metodologias ideal e viável (**Figura 4**), os terrenos das sub-bacias N, W e SE (**Figura 1**), mais problemáticos em relação à quantidade e desenvolvimento das feições erosivas, foram classificados, em sua maior parte, dentro da classe I, própria para reforestamento e proteção da fauna e flora silvestre; enquanto a sub-bacia S, de menor problemática, apresenta maior área nas classes II e III.

Quantitativamente, registrou-se baixa diferença entre as classes de uso adequado da terra. A proposta viável, em relação à ideal, apresentou 1,95% a mais de terrenos na classe I e 0,55% a menos na classe IV (**Figura 4**). As diferenças mais significativas ocorreram entre as classes II e III, de maneira que a proposta viável, em relação à ideal, apresentou redução de 10,6% da área da classe II, com aumento da classe III em 9,21% (**Figura 4**).

Na sobreposição das cartas (**Figura 5**), constatou-se que 62,42% da área estudada apresentou a mesma classe de uso adequado das terras (**Figura 5**). A não concordância entre os mapeamentos da proposta ideal para a viável ocorreu na ordem de mudança de apenas um grau (+1 ou -1), como, por exemplo da classe III para a classe II, enquanto alterações mais expressivas, de grau dois e três, positivo ou negativo, foram pouco representativas quantitativamente, ocorrendo em 6,42% da área, sendo o grau -3 em apenas 0,04% (**Figura 5**).

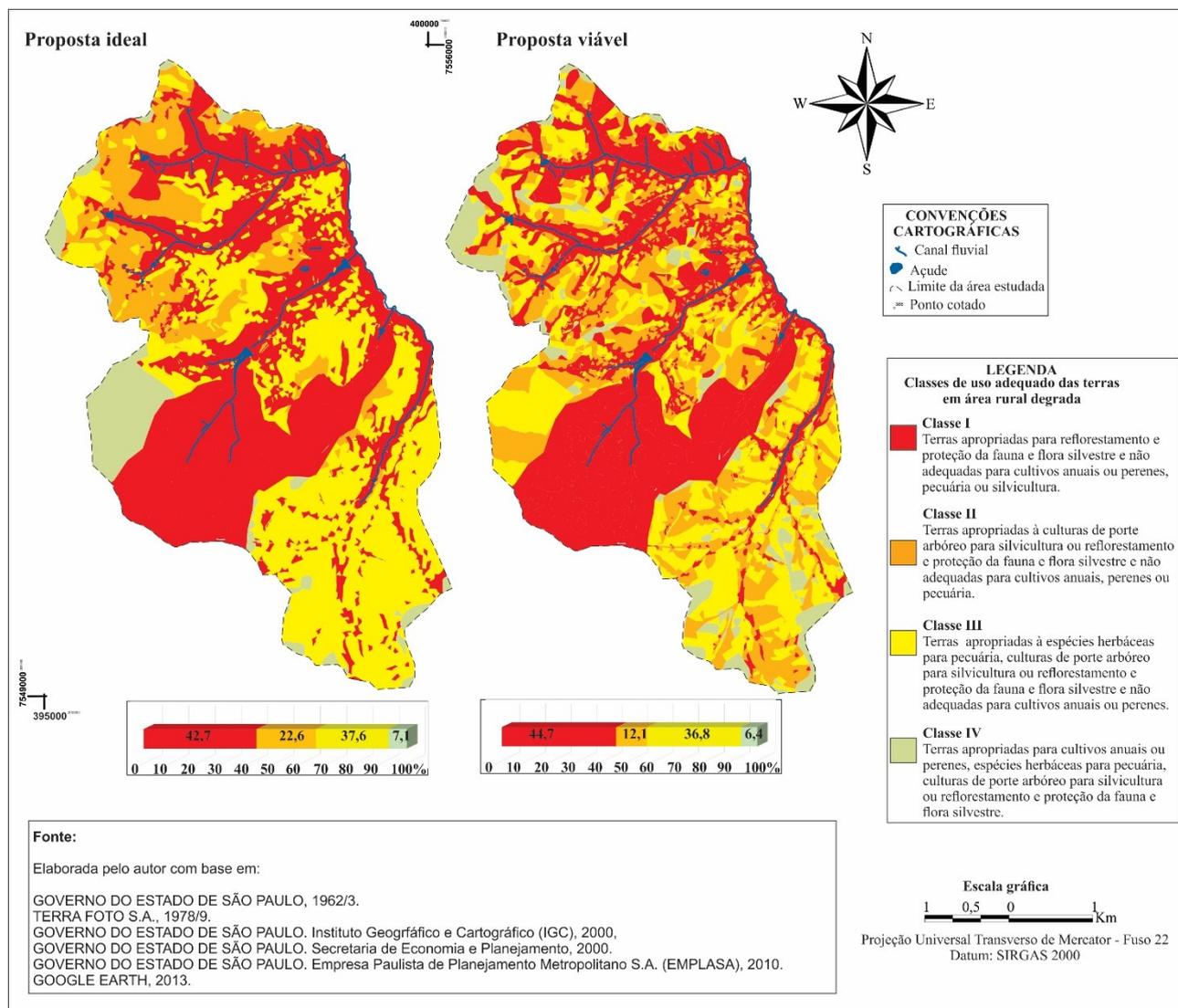


Figura 4: Área (%) ocupada por cada classe de uso adequado das terras em área rural degradada, metodologia ideal e viável, sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

A diferença de grau -3 ocorreu ao N da sub-bacia N, em área de topo, em que na proposta ideal encontra-se na classe I, devido à energia do relevo, enquanto na viável na classe IV. Comparando o grau de diferença entre os mapeamentos, registra-se que os setores mais problemáticos da bacia não apresentaram discordância (**Figura 5**).

As diferenças mais significativas ocorreram na sub-bacia S, principalmente as negativas de grau um. Nesta sub-bacia, no comparativo com as demais da área estudada, as características físicas deflagram baixo potencial à formação e desenvolvimento de processos erosivos, onde não se encontrou processo de voçorocamento ou significativa concentração de formas erosivas em ravina, de modo a considerar-se que tal mudança não representa um problema. Ainda, na baixa vertente, setor de maior potencial erosivo, a proposta viável apresentou-se mais restritiva, com as diferenças sendo positivas em grau um e dois (**Figura 5**).

Na proposta ideal, verificou-se que a classe IV ocorreu preferencialmente sobre áreas de topos, nas vertentes retilíneas e convexas com energia fraca e muito fraca e solos de textura média (**Figura 4**). Já na proposta viável, em que se avaliou principalmente o baixo declive, a classe IV ficou restrita às maiores altitudes, próximos ao limite da área estudada (**Figura 4**). No entanto, a maior contradição na espacialização da classe IV ocorreu a W da sub-bacia W, onde extensa área com baixo declive ficou caracterizada, na proposta viável, com classe IV, enquanto na proposta ideal, pela combinação entre energia do relevo, devido à dissecação vertical, e de vertente irregular, esta mesma área variou entre a classe II e III, resultando em uma diferença de grau -1 e -2 (**Figura 5**).

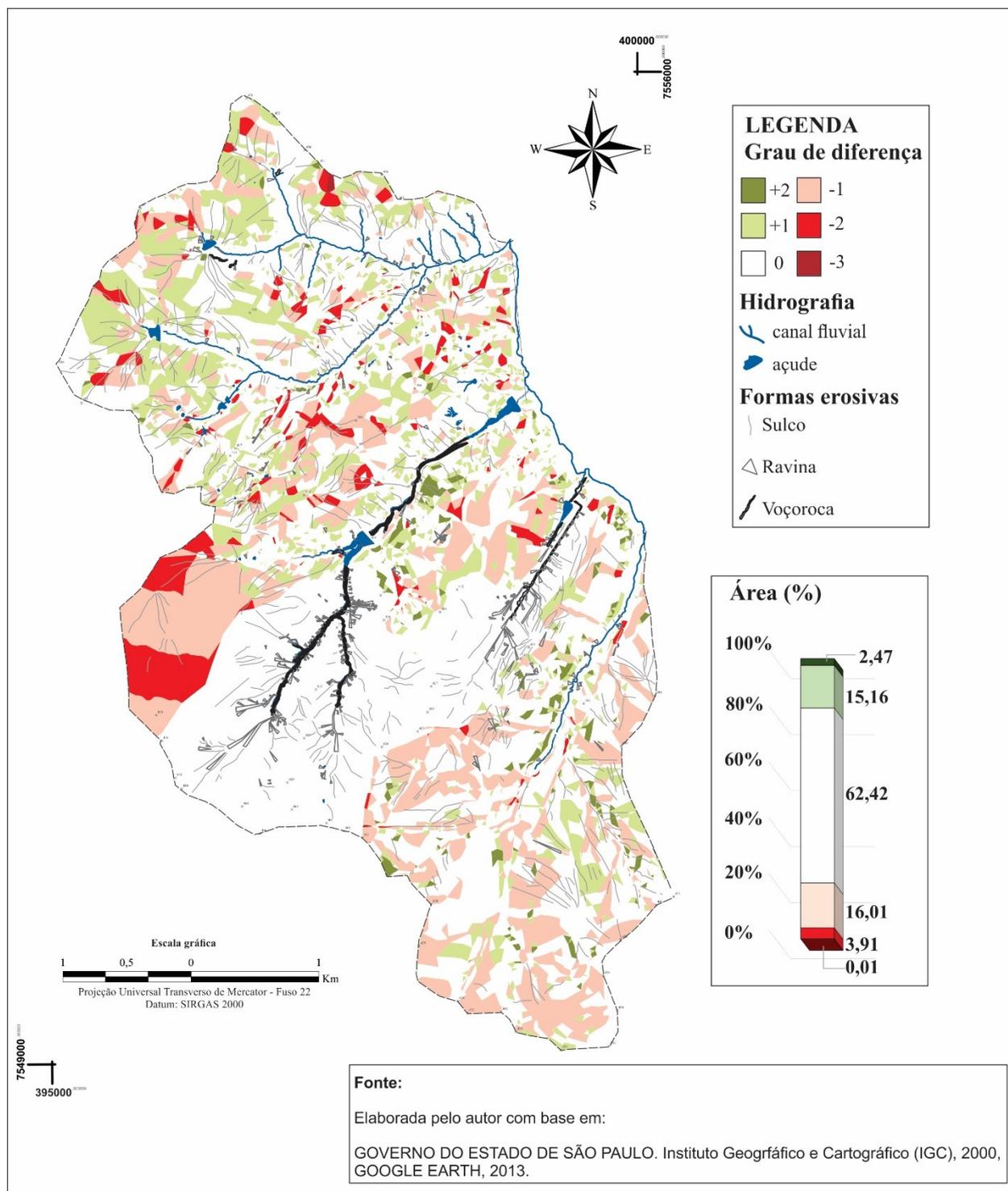


Figura 5: Grau de diferença das classes de uso adequado das terras da metodologia ideal para a viável. Sub-bacias do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP).

Os terrenos mais problemáticos da bacia estudada, quando cruzados os mapeamentos das propostas ideal e viável com as feições erosivas, encontraram-se na classe I, de maior restrição em ambas as metodologias (**Figura 6 e Figura7**). Nas figuras, os terrenos com maior número de feições erosivas, sobretudo de ravinas e voçorocas, foram identificados como pertencentes a classe I devido, principalmente, ao efeito de borda das formas erosivas na área de captação direcionada à voçoroca.

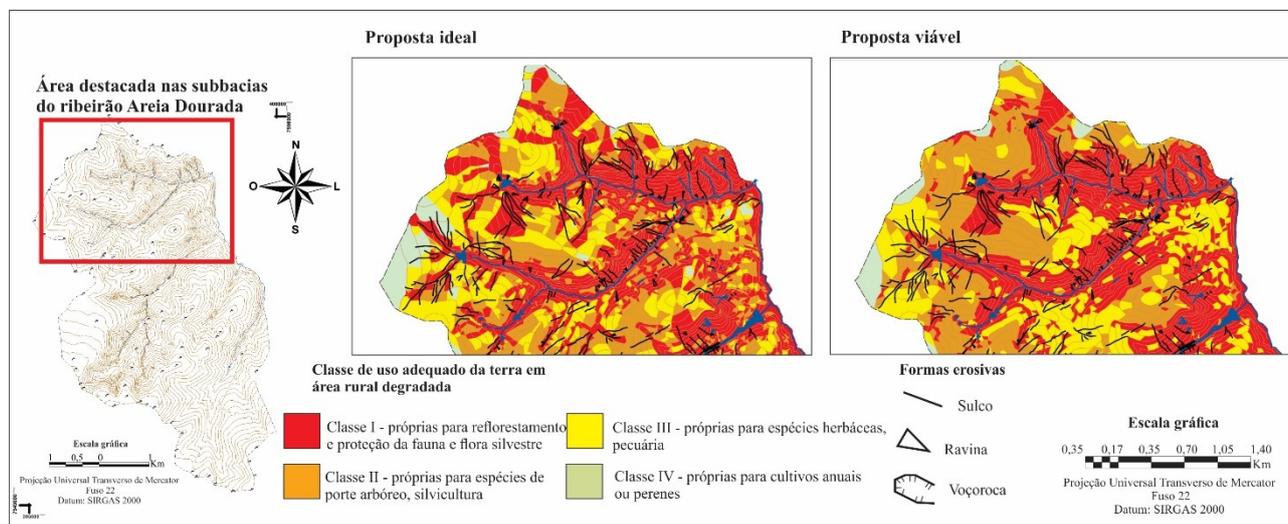


Figura 6: Mapeamentos das propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia N.

Nos mapeamentos apresentados na Figura 7, observa-se que o desenvolvimento da voçoroca ocorre enquanto um sistema complexo, uma vez que atuam processos de superfície e subsuperfície, envolvendo assim toda a bacia de captação. Tais processos geram a instabilidade no talude erosivo, com avanço por erosão remontante, atingindo as vertentes em todo seu entorno. Nessas vertentes os processos erosivos são dinamizados, ramificando ravinas para as quais convergem sulcos de montante. Portanto, atua nessa condição um sistema de retroalimentação, de maneira que a maior instabilidade do talude erosivo gera a maior dinamização dos processos de vertente, e vice versa. Em bacias com voçorocamento, portanto, o entendimento local é insuficiente, sendo necessária a intervenção nos terrenos em nível de bacia.

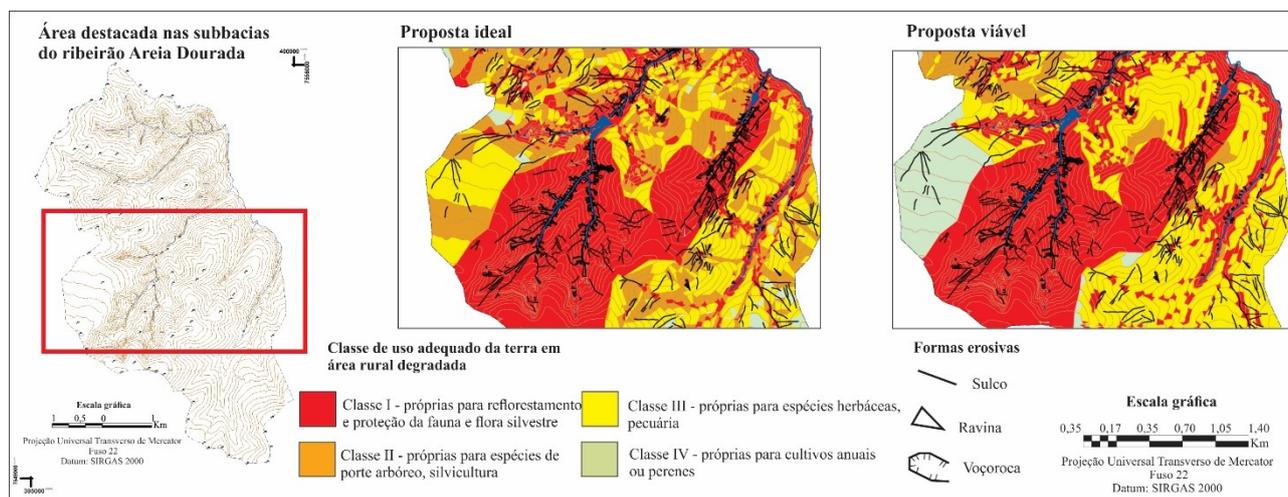


Figura 7: Mapeamentos elaborados pelas propostas ideal e viável e as feições erosivas (2016) na sub-bacia S, SE e W.

Nos demais casos, na ausência de processo de voçorocamento, as ravinas incidem próximas aos fundos de vale, nas concavidades e em terrenos com energia muito forte ou forte, pela proposta ideal, ou terrenos com declive superior a 10%, na proposta viável. O entorno destes setores que apresentaram características propícias ao desenvolvimento de tais feições, em ambas as metodologias, foram enquadrados na classe I.

Ao avaliar os mapeamentos produzidos pelas metodologias sugeridas, constatou-se uma significativa diferença em relação à proposta de Lepsch *et. al* (1983), a qual se apresentou pouco restritiva para uma área rural e degradada como a estudada nesta pesquisa (ZANATTA; LUPINACCI; BOIN, 2019). Na referida proposta, apenas 4,57% da área encontraram-se na classe de maior restrição, o que representa uma área 10 vezes menor que a proposta ideal e viável (Figura 4). Na proposta de Lepsch *et al.* (1983), a maior parte da área estudada foi classificada como própria para cultivos temporários ou anuais, ocupando 84,87% de toda área estudada - os autores ainda diferenciam este grupo em quatro distintas classes, aumentando a restrição a

tais cultivos e a quantidade de técnicas conservacionistas necessárias - enquanto nas propostas apresentadas nesta pesquisa, esta classe, em que as espécies cultivadas oferecem menor proteção aos solos, ocupou uma área 14 vezes menor.

Nos mapas das propostas ideal e viável identificaram-se os setores potenciais para formação e desenvolvimento dos processos erosivos lineares, aumentando a restrição ao uso da terra pelo histórico erosivo, bem como, utilizando este histórico para entender os mecanismos pelos quais a erosão se faz, ao identificar o efeito de borda das formas erosivas nas bacias de captação direcionadas à voçoroca. A partir de tais considerações, as metodologias apresentaram-se muito mais restritivas que a proposta por Lepsch *et al.* (1983), a qual tem como fundamento o maior uso agrícola possível, enquanto nesta pesquisa visou-se a maior proteção possível dos terrenos.

Um comparativo entre as metodologias propostas possibilitou constatar que a viável apresentou maior área destinada ao reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre que a ideal, diferenciando-se também nas demais classes, de modo a apresentar menor variação espacial das áreas para um tipo característico de cultivo, em que apenas uma classe ocupa uma área mais contínua da bacia estudada. Já a proposta ideal, que se mostrou de difícil aplicabilidade, devido ao maior número de variáveis utilizadas, proporcionou maior fragmentação da área entre as classes de uso adequado, o que, possivelmente, pode criar dificuldades para seu uso prático.

4. Considerações finais

A análise dos mapeamentos elaborados permitiu constatar que os terrenos das sub-bacias N, W e SE, mais problemáticos em relação à quantidade e desenvolvimento das feições erosivas, são próprios para reflorestamento e proteção da fauna e flora silvestre; enquanto a sub-bacia S, de menor problemática, pode ser ainda utilizada para silvicultura e pecuária. Considera-se que estas informações são relevantes para a gestão deste território, já tão comprometido pela atuação da erosão.

A metodologia desenvolvida permitiu identificar a combinação de elementos físicos e antrópicos, de uso da terra, que proporcionam a degradação dos solos pela erosão linear, buscando indicar os terrenos mais adequados para cada tipo de uso agrícola. Contudo, a proposta, denominada ideal é bastante complexa; portanto, buscou-se um caminho alternativo para produzir os mesmos resultados que foram avaliados como consistentes, de acordo com a validação apresentada. Na proposta simplificada, denominada viável, os terrenos com maior concentração de formas erosivas também foram enquadrados como destinados ao reflorestamento e proteção de fauna e flora silvestre. Ainda, o menor uso de variáveis na proposta viável proporcionou menor variação espacial das classes de uso adequado da terra, isto é, maior continuidade espacial nos usos sugeridos, o que se demonstrou mais significativo para o uso prático, considerando o universo estudado e as práticas agrícolas estabelecidas. Por fim, cabe destacar ainda que a validação final da pesquisa depende de futuras aplicações da metodologia proposta em outros cenários com problemas erosivos, contudo com características diferenciadas do meio físico.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do primeiro mês de pesquisa: de abril a maio de 2015 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto de doutorado, processo n.º 2015/00875-2, de maio de 2015 a abril de 2018.

Referências

ANDERSON, R. L.; ROWNTREE, K. M.; LE ROUX, J. J. An interrogation of research on the influence of rainfall on gully erosion. *Catena*, v. 206, p. 105482, 2021. DOI: 10.1016/J.CATENA.2021.105482

BRASIL, **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. [2012]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 8 nov. 2016.

- BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, n. 303, p. 150–164, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.003>
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosão no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. 264p.
- BOARDMAN, J. How old are the gullies (dongas) of the Sneeuberg uplands, Eastern Karoo, South Africa? **Catena**, v. 113, p. 79–85, 2014. DOI: 10.1016/J.CATENA.2013.09.012
- BRYK, M. Resolving compactness index of pores and solid phase elements in sandy and silt loamy soils. **Geoderma**, v. 318, p. 109–122, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.030>
- CASTILLO, C.; GOMÉZ, J. A. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 160, p. 300-319, 2016. DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.07.009
- COUTO JÚNIOR, A. A.; CONCEIÇÃO, F. T.; FERNANDES, A. M.; SPATTI JÚNIOR, E. P.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**. v. 172, p. 313–323, 2019.
- CHU, S.; OUYANG, J.; LIAO, O. D.; ZHOU, Y.; LIU, S.; SHEN, D.; WEI, X.; ZENG, S. Effects of enriched planting of native tree species on surface water flow, sediment, and nutrient losses in a Eucalyptus plantation forest in southern China. *Science of the Total Environment*, v. 675, p. 224–234, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.214>
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo (USP), v.6, 1992, p.45-60.
- GARCÍA-RUIZ, J. M.; NADAL-ROMERO, E.; LANA-RENAULT, N.; BEGUERÍA, S. Erosion in M. Mediterranean Landscapes: Changes and future challenges. **Geomorphology**, v.198, p. 20-36, 2013.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aerolevantamento de 1962/3**. Fotos: 5503; 5504; 55005; 6273; 6; /274; 6275. Escala: 1:20.000, 1962/3.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). **Aerolevantamento de /Presidente Venceslau e áreas correlatas (1997)**. Fotos: 07/5884; 07/5885; 07/8856. Escala: 1:35.000, UTM, 1997.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano Cartográfico do Estado de São Paulo**. Folhas: 057/019; 057/20; 058/19; 058/20. Carta topográfica. Escala: 1: 10.000, equidistância das curvas de 5 metros, projeção UTM, 2000.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (EMPLASA). **Projeto de atualização cartográfica do estado de São Paulo**. Ortofotos: SF_22_Y_B_I_2_NE; SF_22_Y_B_II_1_SO; SF_22_Y_B_II_1_NO; SF_22_Y_B_I_2_SE. Resolução: 45m, 2010.]
- GOOGLE EARTH. **Imagens do satélite Quickbird**. Resolução: 0,6 metros, 2013.
- KARIMOV, V., SHESHUKOV, A., BARNES, P. Impact of precipitation and runoff on ephemeral gully development in cultivated croplands. **Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.** v. 367, p. 87–92, 2015. DOI: 10.5194/PIAHS-367-87-2015
- LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca-Campinas, SP.154f**. Dissertação (Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1995.

- LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JR., D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1983.
- LI, Y.; LI, J.; ARE, K. S.; HUANG, Z.; YU, H.; ZHANG, Q. Livestock grazing significantly accelerates soil erosion more than climate change in Qinghai-Tibet Plateau: Evidenced from ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pbex measurements. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 285, p. 106643, 2019.
- MAHMOODABADI, M.; SAJJADI, S. A. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. **Geomorphology**, v. 253, p. 159–167, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.010>
- MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba – SP**. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- OLIVEIRA, R. C. **Zoneamento ambiental como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo no Município de Corumbataí (SP)**. 149p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2003.
- POESEN, J.; Nachtergaele, J.; Verstraeten, G.; Valentin, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133, 2003. DOI: 10.1016/S0341-8162(02)00143-1
- RODRIGUES, C. **Urbanização e intervenções no meio físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo: uma abordagem geomorfológica**. Dissertação (mestrado em Geografia Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza (CE): Editora UFC, 2004. 222 p.
- SALOMÃO, F. X. T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: Guerra, A. J. ; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- SHEN, H.; ZHENG, F.; WEN, L.; HAN, Y.; HU, W. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 429–436, 2016.
- SIQUEIRA, M. I. Considerações sobre ordem em colônias: a legislação na exploração do pau-brasil. **Revista de Pesquisa Histórica**. v.29, n.1, 2011.
- STEIN, D. P. **Avaliação da degradação do meio físico. Bacia do rio Santo Anastácio. Oeste Paulista**. 197p; Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 1999.
- TEBEBU, T. Y., ABIY, A. Z., ZEGEYE, A. D., DAHLKE, H. E., EASTON, Z. M., TILAHUN, S. A., COLLICK, A. S., KIDNAU, S., MOGES, S., DADGARI, F., Steenhuis, T.S. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 14, n. 11, p. 2207–2217, 2010. DOI: 10.5194/HESS-14-2207-2010
- TERRA FOTO S.A. **Atividade de Aerolevanteamento**. Fotos: FX91A-22857; FX91A-2858; FX92-2871; FX92-2873. FX 93-2921; FX93-2922. Escala aproximada de: 1: 25.000, 1978/9.
- TRICART, J. **Principes et méthodes de lagéomorphologie**. Paris: Masson, 1965, 496p.
- ZANATTA, F. A. S. **Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia - Organização do Espaço). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014. 140f.

ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. O sistema de capacidade de uso da terra como instrumento para análise de área rural degradada. **Caminhos de Geografia**. Universidade Federal de Uberlândia, v.20, p.54-76, 2019.

ZHANG, J.; YANG, M.; DENG, X.; LIU, Z.; ZHANG, F. The effects of tillage on sheet erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 235–245, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.014>

WANG, Y., KUANG, S., SU, J. Critical caving erosion width for cantilever failures of river bank. *Int. J. Sediment Res.* v. 31, p. 220–225, 2016. DOI: 10.1016/J.IJSRC.2016.05.003

WELLS, R. R., MOMM, H.G., RIGBY, J. R., BENNETT, S.J ., BINGNER, R. L., DABNEY, S.M. An empirical investigation of gully widening rates in upland concentrated flows. **Catena**, v. 101, p. 114–121, 2013. DOI: 10.1016/J.CATENA.2012.10.004



BY



NC



SA

Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).