



NOVO MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO REMOTA DAS PRINCIPAIS ÁREAS-FONTE DE SEDIMENTOS MECÂNICOS DE UMA BACIA – ESTUDO DE CASO: LAGOA DO NADO (BELO HORIZONTE – MG)

Daniel Peifer Bezerra - Programa de Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFGM. peiferdaniel@gmail.com

Bráulio Magalhães Fonseca - Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFGM. brauliomagalhaes@gmail.com.

RESUMO: Bacias hidrográficas são unidades fisiográficas fundamentais para o entendimento da dinâmica erosiva de uma área qualquer por determinarem uma área da superfície terrestre com potencial de drenar água, sedimentos e materiais solúveis para uma saída comum. Entretanto, as bacias hidrográficas não são homogêneas e o entendimento da distribuição espacial das principais áreas fontes de sedimento mecânico da mesma não é trivial - por dificuldades técnicas, sobretudo. As principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia representam componentes da paisagem que podem ou não estar associados à atividade humana sendo potencialmente prejudiciais a vários tipos de ocupação do solo como a agricultura e a construção civil. Assim, a identificação e espacialização das mesmas assume importância significativa no sentido de gestão e proteção de áreas atingidas. O presente trabalho realizou uma nova interpretação de documentos cartográficos gerados através da extensão *Topographic Position Index (tpi_jen.avx)* versão 1.3 (Jenness Enterprises) para o software ArcGis - versão 9.3. - de modo a identificar e espacializar de maneira rápida, ágil e prática as principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia. Esse método foi aplicado no Parque Fazenda Lagoa do Nado, Unidade de Conservação na região Norte de Belo Horizonte, Minas Gerais. Foram espacializados 7 ambientes erosivos na Lagoa do Nado, o que condiz com a realidade da mesma, que em um período de 14 anos teve seu volume reduzido em 50,22% - denotando assoreamento - função do elevado volume de sedimentos carreados à Lagoa através de sua bacia de contribuição.

Palavras-chave: Áreas-fonte de sedimentos mecânicos - Modelagem - Assoreamento

ABSTRACT: Watersheds are basic physiographic units for the understanding of the erosive dynamic of any region because they define an area of global surface with potential to drain



water, sediments and soluble materials for a common exit. However, watersheds are not uniform at all and the understanding of the spatial distribution of the substantial sources of mechanical sediments are not trifling - mainly for technical embarrassment. The primary sources of mechanical sediments of a watershed represent landscape elements who can or can't be associated with human activities being potentially harmful to a lot of soil occupation, like agriculture, what can mean negative environment impacts and socioeconomic damage. Thus, the identification and mapping of the chief sources of mechanical sediments on a watershed are very important in the way of management and protection of impacted areas. This work look to develop a new interpretation of cartographical documents generated by the Slope-Position modeling through the extension *Topographic Position Index (tpi_jen.avx)* version 1.3 (Jenness Enterprises) for the software ArcGis - version 9.3 - who could identify and map this environments in a quick and agile way. This method was applied in the Nado Lagoon, a small and shallow reservoir, located in a protected area on the Northern of Belo Horizonte, Minas Gerais. Seven intense erosive environments were mapped in the Nado Lagoon, what fits with the reality of the lake: in a fourteen years period the volume of the lake went cutdown by 50,22% (1994-2008) - the Nado Lagoon suffered significant silting; function of the relative elevate supply of sedimentary load up along the downhill's of his watershed.

Key-words: Primary sources of mechanical sediments - Modeling - Silting

1 INTRODUÇÃO

Um curso d'água se manifesta fisicamente através da interação dinâmica de sua geometria e morfologia com a mistura bifásica que o drena; tal interação pode ser dita bidirecional, em uma perspectiva de retroalimentação (SILVA e WILSON-JR, 2005). Esse comportamento pode ser entendido, dentro de uma abordagem sistêmica, na consideração dos ambientes fluviais enquanto sistemas abertos passíveis de atingirem o estado estacionário ou constante (BEZERRA et al., 2009; CHRISTOFOLETTI, 1980, 1981). Sob esse prisma analítico, um curso fluvial estará sujeito a permuta de materiais e energia em toda a sua extensão com o meio externo ao sistema, de acordo com processos hidrológicos dependentes de diversos fatores como quantidade, distribuição e intensidade das precipitações, litologia e estrutura geológica, temperatura, ventos, condições topográficas, cobertura vegetal, processos erosivos em diferentes escalas, características pedológicas, hidrogeológicas, ação antrópica,



entre outros. Essas variáveis condicionantes do aporte de água e sedimentos atuam ao longo de toda a bacia de contribuição com diferentes níveis de importância, determinando um cenário complexo de enorme gama de variáveis que estabelecem relações entre si e que estão em constante transformação devido a alterações – mesmo que sutis – da qualidade das suas variáveis e/ou das suas interações. Essa variabilidade dos atributos do sistema fluvial define reações por parte do sistema no sentido do equilíbrio, dotando à dimensão espaço-temporal dos mesmos um caráter dinâmico (BEZERRA et al., 2009; CHRISTOFOLETTI, 1980, 1981). Nesse sentido, áreas energeticamente desequilibradas, em que é produzido relativo grande montante de sedimentos mecânicos por determinada unidade de tempo - sobrecarregando os cursos fluviais - foram denominadas, nesse trabalho, "principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia" (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Tal denominação é auto-explicativa: essas são as principais áreas, dentro de uma bacia hidrográfica, a fornecerem sedimentos mecânicos para os cursos fluviais da mesma. Áreas com essas características possuem diferentes origens, que estão, geralmente, relacionadas às características dos materiais formadores da mesma e do contexto energético a que esses estão expostos. Entretanto, o presente trabalho busca a identificação e espacialização dessas e não a investigação de sua gênese.

As principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia não são necessariamente resultado direto de ações antrópicas; no entanto, a intervenção humana pode causar e acelerar os processos erosivos por meio da ocupação e uso intensivo do solo ao remover paulatinamente as camadas superficiais - chegando a formar sulcos, ravinas e voçorocas (POLITANO et al., 1992). Desse modo, podemos imaginar esses ambientes como potencialmente prejudiciais a vários tipos de uso do solo, como agricultura e construção civil, podendo representar assim impactos ambientais negativos e prejuízos socioeconômicos. Como exemplo desse caráter prejudicial, podemos citar as áreas cultivadas que sofrem com a intensificação erosiva - condicionante de grandes perdas na produção e desastres ambientais; moradias que são danificadas por movimentos de massa típicos dos processos de voçorocamento, entre outros. Mesmo um uso correlato à preservação pode ser negativamente afetado, tendo suas bases ecossistêmicas atingidas com a perda da cobertura vegetal.

Tendo tais apontamentos em vista, a identificação e espacialização das principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia, em especial aquelas onde o processo está em estágio avançado (com presença de movimentos de massa), assume importância significativa no sentido de gestão e proteção das bacias hidrográficas - permitindo que sejam



incentivadas ações que visem à prevenção da exacerbação desse processo. (BEZERRA et al., 2009; FELIPPE et al., 2009).

O presente trabalho buscou desenvolver um método a partir da interpretação de documentos cartográficos gerados pela extensão *Topographic Position Index (tpi_jen.avx)* versão 1.3 (Jenness Enterprises) para o software ArcGis - versão 9.3 - de modo a identificar e espacializar de maneira rápida, ágil e prática as principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia. Tal método foi aplicado no Parque Fazenda Lagoa do Nado, uma Unidade de Conservação na região Norte de Belo Horizonte, Minas Gerais. Inserido no contexto urbano, o entorno da Unidade de Conservação é constituído majoritariamente por superfície impermeabilizada, o que institui estreita relação de sua evolução geomorfológica com a atividade antrópica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo - o Parque Fazenda Lagoa do Nado é uma Unidade de Conservação (com 307.000 m²) que se localiza na região Norte de Belo Horizonte, Minas Gerais (Fig. 1). Encontra-se na microbacia do Córrego do Nado, sendo afluente do Córrego Vilarinho que por sua vez se une ao Ribeirão do Onça e posteriormente ao Rio das Velhas – todos fazendo parte da bacia do Rio São Francisco. Dentro do contexto fluvial do Parque, é digno de destaque a existência da Lagoa do Nado, um reservatório artificial de aproximadamente 2,2ha cercado em toda a sua extensão por vegetação secundária de grande porte (principalmente *Eucalyptus* sp.).

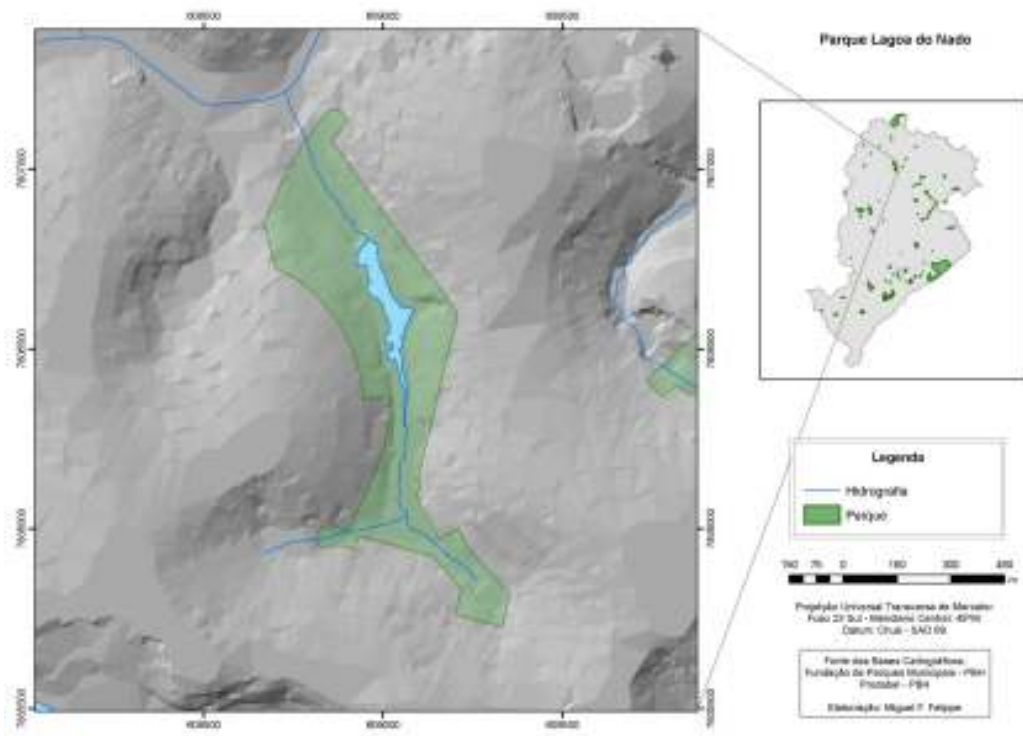


FIGURA 1. Contexto espacial da Lagoa do Nado. Fonte: BEZERRA et al. (2009).

Embasado pelo Complexo Belo Horizonte, o Parque pode ser definido litologicamente por gnaisses, granitos e migmatitos, que foram modelados em um vale (onde a lagoa ocupa a área de menor altitude) de declives suaves com 1.700m de comprimento médio na direção norte-sul e 900m de largura média. O manto de alteração possui profundidade de cerca de 40 metros (FELIPPE et. al, 2009).

O clima da região – tropical de altitude, segundo Köppen - é caracterizado por estações bem definidas, com um período quente e úmido de Novembro a Março e um período mais frio e seco de Abril a Outubro. A precipitação média anual varia de 1.400 mm a 1.600 (BEZERRA et. al, 2009).

2.2 Metodologia - a identificação das principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos na bacia do Parque Fazenda Lagoa do Nado foi realizada a partir da interpretação de documentos cartográficos gerados através da extensão *Topographic Position Index (tpi_jen.avx)* versão 1.3 (Jenness Enterprises) para o software ArcGis - versão 9.3.

Essa extensão utiliza o conceito originalmente desenvolvido por Andrew Weiss (2001) de Topographic Position Index (TPI) para classificar a paisagem em: (a) declividade-posição



na vertente; (b) morfologia do relevo. No presente trabalho, a classificação em declividade-posição na vertente foi a única utilizada – em detrimento da outra classificação possível que não se mostrou interessante aos objetivos almejados.

A elaboração teórica do Topographic Position Index (TPI) diz respeito à diferença entre a altimetria de uma célula específica dentro de uma matriz e a altimetria média de suas células vizinhas. Valores positivos indicam que a célula encontra-se em posição mais elevada que seus vizinhos; já os negativos indicam o contrário. Dessa maneira, a definição do que serão as células vizinhas é fundamental; diferentes definições de vizinhança (dada uma realidade geográfica) podem determinar resultados de TPI completamente diferentes – como pode ser visualizado na Fig. 2.

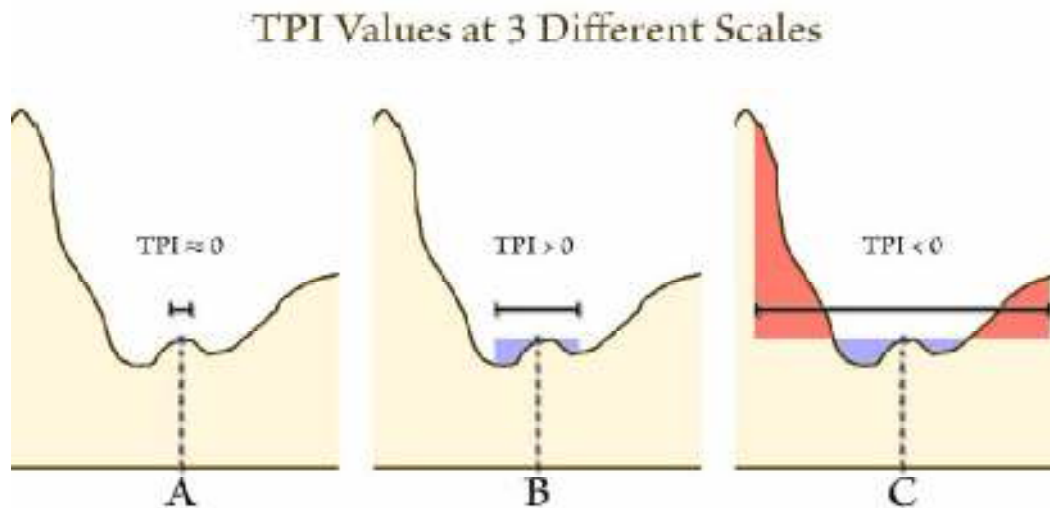


FIGURA 2. Diferenças no resultado do TPI de uma mesma área a partir de diferentes definições de vizinhança. Fonte: JENNESS (2006).

O valor de TPI de uma determinada célula, ao ser considerado sincronicamente com a declividade da mesma, é passível de ser classificado em termos de declividade-posição na vertente. Weiss (2001) compartimentou os resultados possíveis em seis classes distintas, denominando-as: (a) valley; (b) lower slope; (c) flat slope; (d) middle slope; (e) upper slope; (f) ridge. Tais classes e seus parâmetros definidores podem ser vistos na Fig. 3; nota-se que além do TPI e declividade é considerado também o desvio padrão do valor altimétrico de um célula com relação às suas vizinhas (registrando então a variabilidade altimétrica da vizinhança) – assim, células com um mesmo TPI e declividade podem ser classificadas de maneira diferente de acordo com o desvio padrão da vizinhança. As Fig. 4 e 5 realizam uma



representação espacial em perfil de tais classes (considerando diferentes definições de vizinhança):



FIGURA 3. Classes e parâmetros da classificação declividade-posição na vertente.
Fonte: JENNESS (2006).

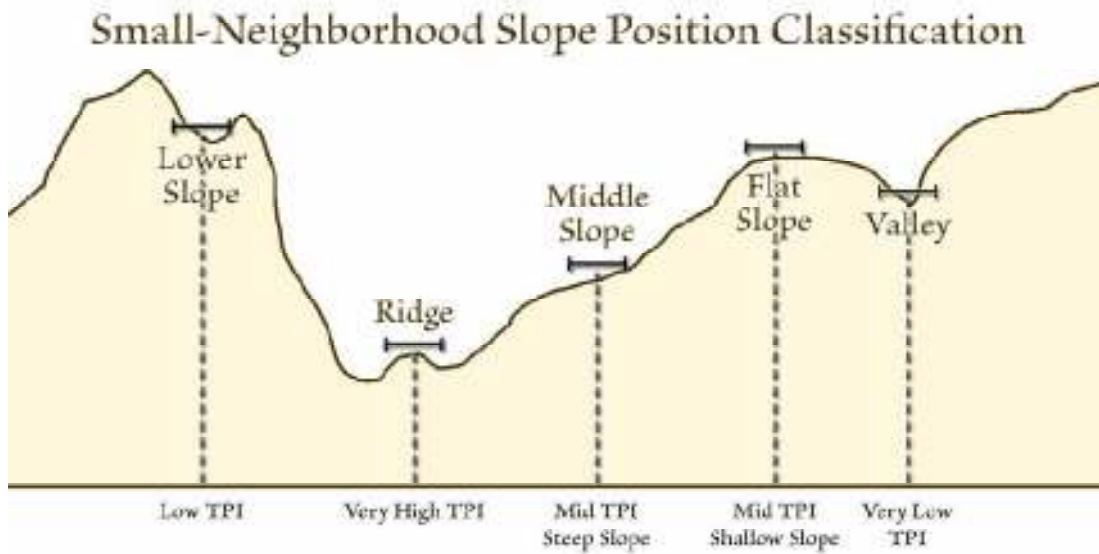


FIGURA 4. Representação esquemática em perfil das classes definidas por Weiss (2001) para a classificação declividade-posição na vertente (vizinhos de abrangência curta).
Fonte: JENNESS (2006).

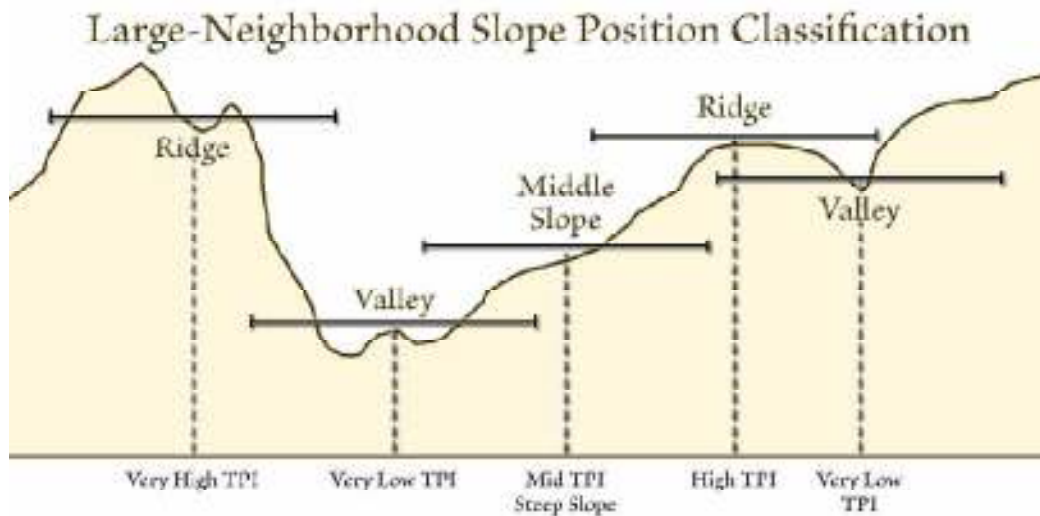


FIGURA 5. Representação esquemática em perfil das classes definidas por Weiss (2001) para a classificação declividade-posição na vertente (vizinhos de abrangência longa). Fonte: JENNESS (2006).

Através dos algoritmos disponíveis na extensão *Topographic Position Index* (*tpi_jen.avx*) foram calculados TPI's que posteriormente foram classificados em Declividade-Posição na Vertente (que são representados em documentos cartográficos) para a bacia da Lagoa do Nado. Os dados de entrada do modelo dizem respeito à introdução de uma matriz em que cada célula tenha armazenada sua própria altimetria.

De modo a testar as possibilidades de relevância dos documentos cartográficos de saída do modelo, foram utilizadas diferentes definições de vizinhança para cada bacia: seguindo as recomendações de Weiss (2001), foi testada vizinhança circular, anular e retangular (os mais utilizados em pesquisas) – tal qual apresentados na Fig. 6. Cada tipo de vizinhança foi experimentada segundo 4 parâmetros de abrangência diferentes (escala): a escala padrão dos algoritmos, $\frac{1}{2}$ da escala padrão do algoritmo, $\frac{1}{4}$ da escala padrão e 2 vezes a escala padrão.

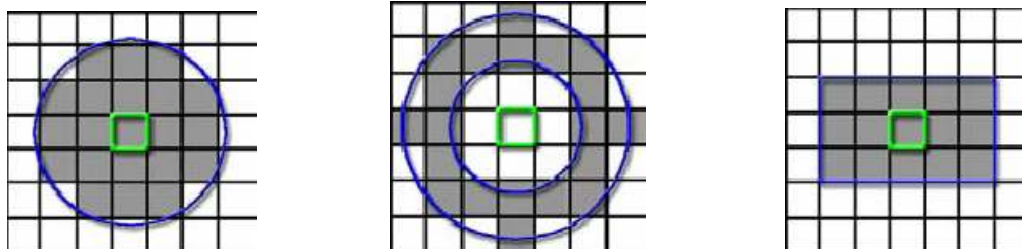


FIGURA 6. Vizinhança circular, anular e retangular - respectivamente. Fonte: JENNESS (2006).

Foram consideradas áreas de grande probabilidade de serem as principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos de uma bacia hidrográfica aquelas que apresentaram, de maneira adjacente, células classificadas como os dois extremos (a saber, valley e ridge) em termos de Declividade-Posição na Vertente. Isso determina contexto de grande flexão do conteúdo energético das águas superficiais nessas áreas quando comparados a todos os seus circunvizinhos, que é a justificativa para tal interpretação; temos, portanto, delineada a dinâmica erosiva mecânica superficial de uma bacia hidrográfica, em nível de fonte primária dos sedimentos mecânicos, sem entrar no entanto na gênese de tal contexto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos gerais, poder-se-ia imaginar que não seriam encontrados processos erosivos intensos (ou acelerados) no Parque caso o balizador desse raciocínio fosse o desenvolvimento da densa vegetação secundária de grande porte no mesmo (Fig. 7), bem como suas suaves declividades. Entretanto, esse raciocínio não é válido: Bezerra et. al (2009) afirma, mediante uma comparação quantitativa de parâmetros morfométricos da Lagoa em 1984 e 2008, que nesse período o volume do lago foi reduzido em 50,22%, enquanto a área do espelho d'água decresceu 21,70%, função do fornecimento relativamente elevado de carga sedimentar ao longo das encostas da bacia de contribuição – denotando assim, erosão intensa; Bezerra et. al (2009) vai explicar essa evolução morfológica através de contexto singular da Lagoa frente a sua bacia de contribuição (área de menor altimetria da bacia e intensa impermeabilização no entorno da Lagoa) e também pelo desenvolvimento geomorfológico natural dos lagos.



FIGURA 7. Lagoa do Nado e vegetação no entorno. Fonte: Google Earth.

Os resultados do cálculo de TPI da bacia da Lagoa do Nado, bem como a sua classificação em Declividade-Posição na Vertente condizem com as afirmações de Bezerra et. al (2009). Os vizinhos que apresentaram resultados mais satisfatórios, ou seja, que melhor possibilitaram a identificação de ambientes erosivos intensos foram circular 6 – anular 2-6 – retangular 9-9 (os números dizem respeito aos parâmetros definidores da vizinhança – no caso, definidos em nível de número de células); os documentos cartográficos gerados por essas definições de vizinhos apresentaram-se muito semelhante. Eles são representados nas Fig. 8, 9, 10.

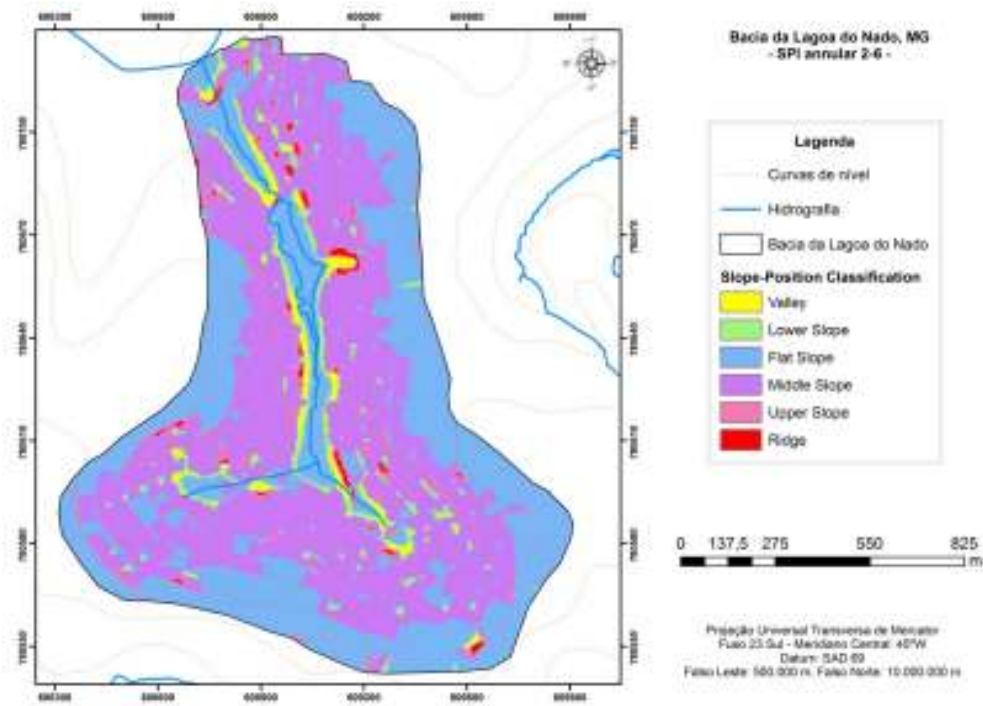


FIGURA 8. Classificação Declividade-Posição na Vertente; vizinhança definida como anular 2-6.

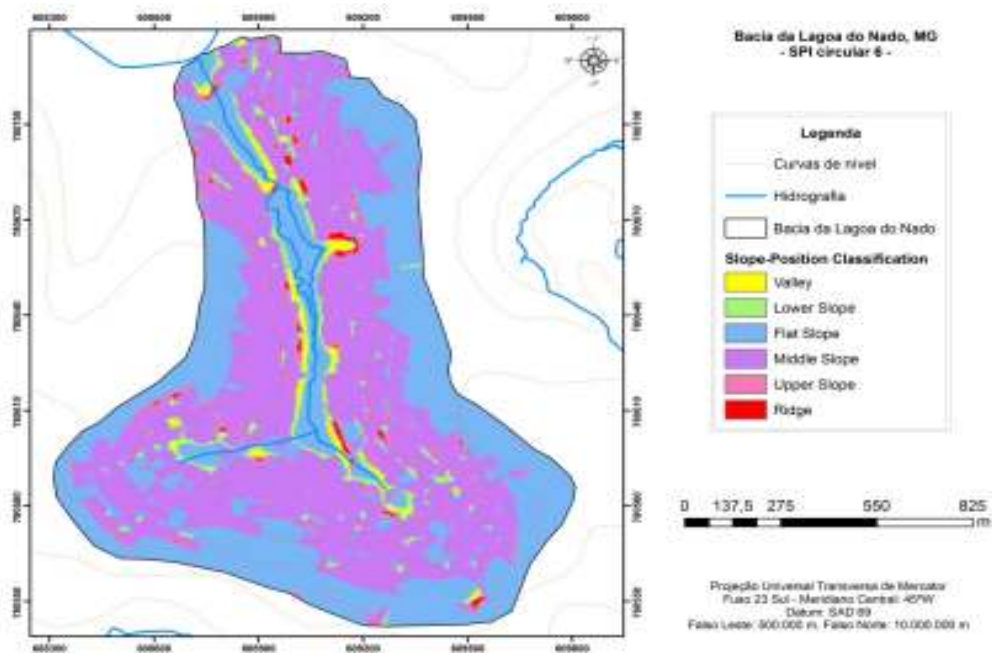


FIGURA 9. Classificação Declividade-Posição na Vertente; vizinhança definida como circular 6.

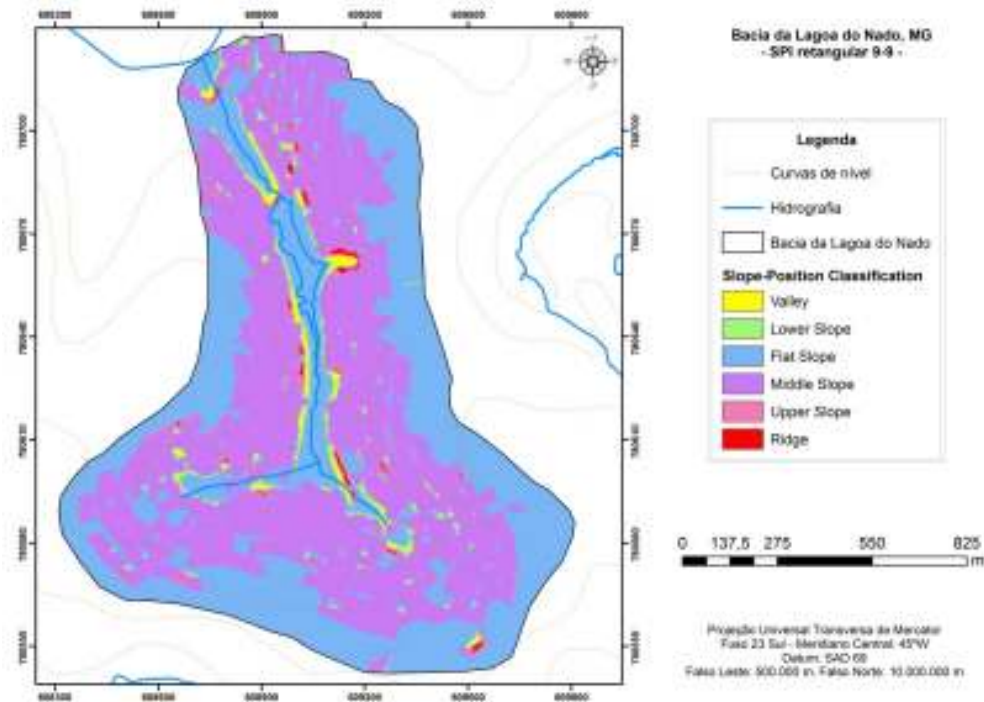


FIGURA 10. Classificação Declividade-Posição na Vertente; vizinhança definida como retangular 9-9.

Dessa maneira, foram indicadas como áreas com grande probabilidade de serem ambientes erosivos intensos, aquelas que apresentaram de maneira adjacente as duas classes de Declividade-Posição na Vertente extremas (Valley e Ridge); a espacialidade dessas áreas é mostrada na Fig. 11. Cada uma das áreas foi individualizada e numerada de 1 a 7. Enquanto prováveis áreas erosivas intensas, em nível teórico, as águas superficiais pluviais devem exercer papel fundamental em sua dinâmica; dessa maneira, a geometria urbana assume papel analítico fundamental, a partir da distribuição espacial das áreas impermeabilizadas. Tal relação é mostrada na Fig. 12.

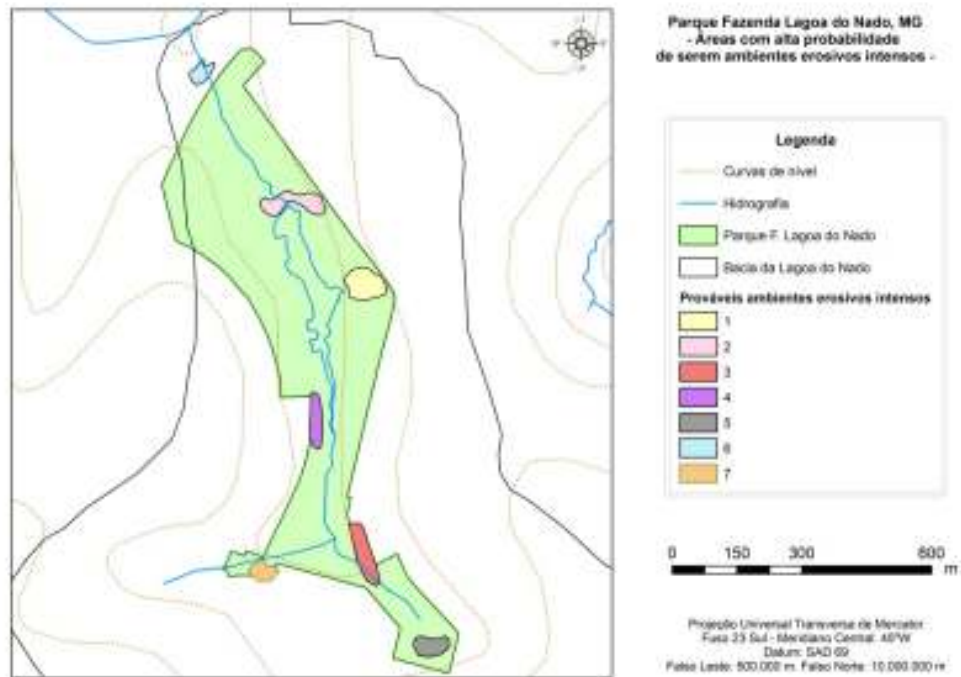


FIGURA 11. Áreas com alta probabilidade de serem ambientes erosivos intensos.

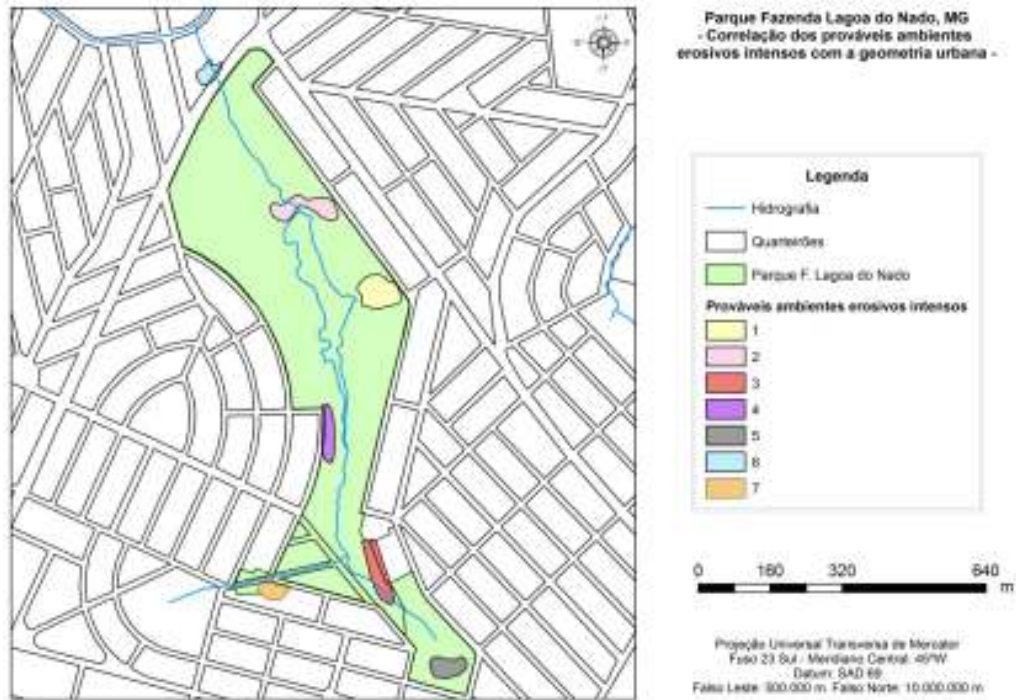


FIGURA 12. Relação dos prováveis ambientes erosivos intensos com a geometria urbana.



A simples análise visual da correlação com a geometria urbana nos leva a delinear um raciocínio explicativo: o traçado das ruas facilita a concentração do escoamento superficial na maioria das áreas espacializadas – o que parece fundamental no estabelecimento da dinâmica dos mesmos (talvez a única exceção seja a região 5). Mas existem outras áreas em que o traçado das ruas parece concentrar igualmente o fluxo pluvial; por que a mesma dinâmica não acontece nessas áreas? A distribuição espacial da declividade no Parque e entorno pode ser elucidativa – a mesma é apresentada na Fig. 13.

De fato, nas áreas espacializadas como prováveis ambientes erosivos intensos a declividade é significativamente maior que o entorno das mesmas, denotando maior flexão do conteúdo energético das águas pluviais nessas áreas. Essas informações são incapazes de explicar a gênese dos mesmos, mas são capazes de explicar (ao menos em parte) a dinâmica atual diferencial entre essas áreas e as que não apresentam (provavelmente) processos erosivos intensos.

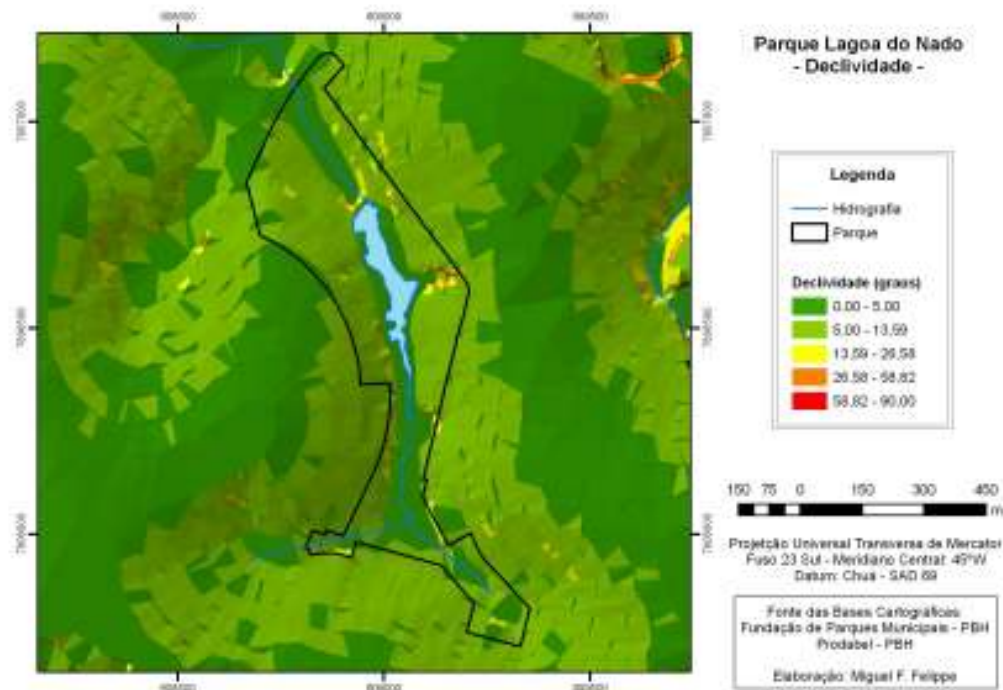


FIGURA 13. Declividade do Parque Lagoa do Nado e entorno. Fonte: BEZERRA et al. (2009).

A literatura discursou sobre processos erosivos intensos na Lagoa do Nado em alguns momentos e pode ser correlacionada com os resultados do presente trabalho: por exemplo, é digna de menção a correlação entre a área 1 e o trabalho realizado por Moura e Saadi (1989). Eles chamaram essa área de voçoroca – um ambiente erosivo intenso – que foi prontamente



identificada pela classificação Declividade-Posição na Vertente realizada para o Parque. Interessante também a citação de que a área 2 está de acordo com o que foi postulado por Bezerra et. al (2009), de intensificação ou reativação de processos erosivos a jusante de uma barragem – o que está ligado, sobretudo, à retenção de sedimentos pela mesma.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho são promissores e existem diferentes indícios de que: (1) essa metodologia é realmente eficaz na identificação das principais áreas-fonte de sedimentos mecânicos – uma metodologia simples, prática e ágil que pode (2) subsidiar pesquisas com diferentes finalidades, bem como (3) ações no sentido de gestão e manejo/conservação do solo. Entretanto, (4) campanhas de campo são estritamente necessários em trabalhos dessa natureza – tanto para apurar os resultados da modelagem quanto para o avanço do entendimento acerca da gênese e evolução da dinâmica erosiva da bacia hidrográfica em questão.

A Lagoa do Nado está sendo assoreada em ritmo acelerado e as áreas identificadas e espacializadas devem ser as principais áreas fornecedor-transmissoras de sedimentos que acabam assoreando a mesma. Nesse sentido, as mesmas devem ser prioritárias em todo o tipo de intervenção que vise estabilizar e/ou diminuir o assoreamento da Lagoa.

De maneira geral, os resultados aqui apresentados podem (5) subsidiar as decisões tomadas em âmbito público e privado, por gestores e população em geral, no sentido de preservar esse corpo aquático que é dotado tanto de funções ecológicas (em nível de relações metabólicas, reprodutivas e alimentares da sua biota) quanto de funções sociais (que dizem respeito às relações sociais historicamente construídas entre a sociedade civil e a Lagoa do Nado); o próprio nome da Unidade de Conservação – Parque Fazenda Lagoa do Nado – simboliza a grande importância e a relação afetiva entre a população e o reservatório.

5 REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BEZERRA, D. P.; DINIZ, P. H. S.; DOLABELLA, D. A.; MAGALHÃES JR., A. P. *Evolução morfológica contemporânea da Lagoa do Nado (Belo Horizonte, MG)*. In:



- SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3, 2009, Viçosa. Anais... [s.n], 2009.
- BEZERRA-NETO, J. F.; COELHO, R. M. P. *A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais*. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 2, p. 285-290, 2002.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial: o canal fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- FELIPPE, M. F.; MAGALHAES JR., A. P.; LAVARINI, C.; BEZERRA, D. P.; DOLABELA, D. *Espacialização e Caracterização das Nascentes em unidades de Conservação de Belo Horizonte-MG*. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande - MS. Anais do... Campo Grande - MS : ABRH, 2009.
- JENNESS, J. *Topographic Position Index (T.P.I.) v1.2*, Flagstaff (EUA), Jenness Enterprises, 2006.
- MOURA, A. M. F.; SAADI, A. *Diagnóstico da situação ambiental do Parque Fazenda Lagoa do Nado (Belo Horizonte – MG) e propostas para implantação*. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3., 1989. Nova Friburgo. Anais... Nova Friburgo: [s.n.], 1989. p. 35-52.
- POLITANO, W.; LATANZE, R.J.; LOPES, L.R.; AMARAL, C.; CORSINI, P.C.; SILVA, G.W. de L. *Ocupação do solo e estados da erosão acelerada no município de Mococa, SP*. *Revista de Geografia*, São Paulo, v.11, p.47-61, 1992.
- SILVA, R.C.V.; WILSON-JR, G. *Hidráulica Fluvial*. Rio de Janeiro: Coppe / UFRJ, 2005. Vol II.
- WEISS, A. *Topographic Position and Landforms Analysis*. Poster Presentation. ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.