

Um exemplo de aplicação do método de SOLOMON na hierarquização de sub-bacias afetadas por erosão acelerada - Um estudo de caso: bacia do rio Camapuã - MG

Flora Marione César
Isabel Cristina R. R. C. Menezes
Diretoria de Tecnologia Ambiental - DTA

Ivanir Geraldo Dias Coelho
Maria Elizabeth Albino Zebral Jardim
Instituto de Geociências Aplicadas - IGA

Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC
Belo Horizonte - MG

Abstract. This study intends to show the Water Resources Assessment Methodology (SOLOMON, 1977) applied for environment quality. One case study is presented – Camapuã River basin, MG – in which five study units were ordered by environment quality indexes concernig to erosion processes and land use.

Introdução

Os estudos de áreas degradadas por erosão acelerada inserem-se no conjunto dos levantamentos que compõem o projeto: "Diagnóstico Ambiental do Vale do Paraopeba", desenvolvido pelo Instituto de Geociências Aplicadas - IGA/CETEC, com o apoio financeiro da FAPEMIG. Este diagnóstico teve a finalidade de caracterizar a situação atual da bacia no que se refere aos aspectos ambientais, bem como indicar os principais fatores responsáveis pela degradação ambiental, através da aplicação da metodologia WRAM (Water Resources Assesment Methodology).

O objetivo do presente estudo foi testar a aplicabilidade dessa metodologia, desenvolvida originalmente para avaliação e prognóstico de impactos ambientais resultantes da utilização de recursos hídricos, em estudos de qualidade ambiental, envolvendo variáveis de natureza qualitativa, tais como formas de erosão e tipos de uso e ocupação da terra, visando o seu emprego futuro no estudo de qualidade ambiental da Bacia do rio Paraopeba.

Para escolha da área teste foi levada em consideração a grande concentração de erosão nas cabeceiras do rio Paraopeba, em especial na sub-bacia do rio Camapuã, seu tributário da margem esquerda. Trata-se de uma área de 1.103,43 km², compreendida entre os paralelos de 20°30' e 20°55'S e os meridianos 43°55' e 44°15'WG. Para efeito de análise, a área foi dividida em seis unidades de estudo, correspondente às sub-bacias dos rios: Camapuã (unidade 1); Brumado (unidade 2), Grande (unidade 3), Caiuaba de Cima (unidade 4), Faleiros (unidade 5) e ribeirão dos Paulos (unidade 6).

Caracterização do Quadro Natural

A área de estudo está inserida numa grande unidade de relevo denominada Planaltos Dissecados do Centro-sul e do Leste de Minas (CETEC, 1983). Trata-se de uma área de topografia acidentada, com altitudes elevadas, variando de 900 a 1000m. O relevo é constituído por colinas de topos arredondados e vertentes predominantemente convexas, em associação com cristas e vales encaixados com vertentes retilíneas. Tais formas são resultantes da dissecação fluvial promovida pela drenagem do rio Camapuã em rochas granito-gnáissicas do Embasamento Pré-Cambriano. Observam-se extensas planícies fluviais, constituídas por sedimentos inconsolidados do Quaternário, em vales de fundo chato ao longo do rio Camapuã e seus principais afluentes.

Os solos da área são descritos como associações compostas por duas ou mais unidades de solos (CETEC, 1984), e são encontradas as seguintes unidades: Podzólicos com associação de Cambissolos, na sub-bacia do rio Caiuaba de Cima, a montante do rio Camapuã, e nas sub-bacias do rio Brumado e do ribeirão das Pedras; Cambissolos, na parte central da área e na bacia do rio Grande; Latossolos, em associação com Podzólicos, nos interflúvios dos rios

Nova Ponte, Brumado e Rio Grande; nas planícies ao longo dos principais tributários, são encontrados solos aluviais eutróficos.

Predominam na região os campos e as pastagens. A vegetação arbórea, caracterizada pela mata secundária remanescente da "Floresta Estacional Semidecidual" (IBGE/1993), ocorre de forma descontínua, em capões, apresentando maior concentração nas cabeceiras do rio Camapuã.

Por suas características fisiográficas essa é uma área suscetível à erosão acelerada, tendo em vista a predominância de um relevo de colinas com vales encaixados e declividades médias a altas, e ainda a existência de rochas granito-gnáissicas com domínio de solos Podzólicos e Cambissolos. Tal predisposição natural à erosão é agravada pela ação antrópica predominante na região, que é a atividade agropecuária.

Metodologia

• O método WRAM

A metodologia WRAM (Water Resources Assesment Methodology) concebida por SOLOMON, R.C., 1977, foi desenvolvida pelo grupo de engenharia do Exército Americano para atender a requisitos legais referentes à gestão dos recursos hídricos. O objetivo essencial da metodologia é integrar variáveis sociais, econômicas e biogeofísicas em uma análise única, visando determinar o impacto ambiental final. O método permite, ainda, avaliar os impactos das várias alternativas propostas, fornecendo subsídios para a ordenação dessas alternativas. Possibilita a identificação dos impactos resultantes das ações e fornece critérios para a distinção do grau de severidade dos mesmos, através de um coeficiente de escolha alternativa (Alternative Choice Coefficient-ACC).

No estudo em pauta, não se trata de avaliar impactos resultantes de um empreendimento ou da análise de um elenco de alternativas de ações, mas sim, de identificar o estágio de degradação da área e o nível de qualidade ambiental existente. Em vista disso, no presente estudo, o ACC foi substituído pelo Índice de Qualidade Ambiental (IQA).

Uma característica importante desse método é permitir a seleção das variáveis representativas do meio ambiente, destacando as mais relevantes ou críticas dentro de cada tema ou componente de estudo. A seleção das variáveis baseia-se na comparação entre pares de variáveis, com o objetivo de determinar os coeficientes de importância relativa das mesmas (Relative Importance Coefficient - RIC) ou Peso, que é o resultado da ponderação e o escalonamento das variáveis para se chegar a uma matriz final escalada.

A avaliação do impacto previsto é obtida pelo produto dos valores prognosticados de cada variável, expressos pelo Índice de Qualidade Ambiental (IQA), pelos seus respectivos Pesos. As técnicas para a determinação dos pesos das variáveis e dos Índices de Qualidade Ambiental (IQA), são descritas a seguir.

- **Importância Relativa das Variáveis (Pesos)**

A determinação dos Pesos leva à decisão sobre as variáveis a serem incluídas na análise. Esse coeficiente é obtido pela comparação de pares de variáveis em cada tema. Adota-se o valor 1 (um), para a variável mais importante, e 0 (zero) para a menos importante. Caso sejam igualmente importantes, adota-se o valor 0,5 (meio) para cada uma. É incluída uma variável “dummy” que, por definição, tem importância zero, para evitar que o somatório das variáveis selecionadas tenha o valor 0 (zero). Os valores de cada variável são somados, efetuando-se posteriormente uma padronização, para que o total de pontos seja igual a 1 (um).

- **Escalonamento dos Impactos - Índice de Qualidade Ambiental (IQA)**

Pode ser feito pelas técnicas de ordenação ponderada, do uso de curvas funcionais e de escalas lineares. No caso, adotou-se o uso de curvas funcionais, que associam um índice de qualidade ambiental no eixo das ordenadas, a diferentes medidas da variável (de densidade de erosão e das classes de uso da terra) no eixo das abscissas.

Erosão acelerada e áreas degradadas por mineração

Foram encontradas na área formas de erosão do tipo laminar, sulco e voçorocas.

A erosão laminar ou em lençol, forma-se pelo escoamento superficial que remove a camada superior do solo após a retirada da cobertura vegetal. A erosão em sulcos é o resultado da ação do escoamento pluvial concentrado que origina micro canais ou pequenos sulcos.

A erosão em voçorocas é a forma mais avançada da erosão em sulcos, podendo atingir grandes dimensões. São fendas profundas, abertas pela passagem de águas concentradas e em grande velocidade. Uma vez estabelecida a erosão em voçorocas, o processo continua por sucessivos desbarrancamentos se não forem adotadas práticas conservacionistas. Em pouco tempo as voçorocas provocam um grande deslocamento de terra e perda de solos. As voçorocas se desenvolvem na área, principalmente, a partir de estradas mal conservadas, de trilhas ou caminhos de gado, de antigas minerações e de desmatamentos.

Para o diagnóstico das áreas degradadas foi efetuado um levantamento detalhado das formas de erosão e das áreas mineradas. Com os dados obtidos, foi elaborado um mapa de formas de erosão, originalmente na escala 1:50.000, que permitiu uma análise da sua distribuição espacial e a identificação das sub-bacias mais afetadas. Os trabalhos desenvolvidos obedeceram as etapas descritas a seguir.

- **Diagnóstico da erosão acelerada**

Primeiramente efetuou-se, através da fotointerpretação de fotografias aéreas na escala

1:30.000, com controle de campo, a identificação de todos os pontos de erosão compatíveis com a escala da foto, os quais foram classificados quanto ao tipo, forma e estágio de evolução (erosão ativa, estabilizada ou mista). Esses pontos foram transferidos para mapas topográficos na escala 1:50.000, sendo gerado um mapa de Formas de Erosão Acelerada na escala 1:100.000.

- **Quantificação e ponderação das formas de erosão**

Após a classificação das formas de erosão, estas foram contadas e tabuladas. As voçorocas, por apresentarem formas e dimensões variáveis, foram medidas e receberam, no mapa, simbologias de tamanho diferentes. Mediu-se o perímetro das voçorocas em uma amostragem feita aleatoriamente na área, e as mesmas foram classificadas quanto aos seus diferentes tamanhos e agrupadas nas seguintes classes: voçorocas com perímetro inferior a 500m; de 500 a 999m; de 1000 a 1999; e maiores de 2000m. Após a identificação das formas de erosão incidentes na área, e uma vez eliminadas as pouco significativas, procedeu-se à atribuição de pesos.

- **Levantamento da atividade minerária**

Efetuuou-se, através da fotointerpretação na escala de 1:30.000, a identificação da atividade minerária, bem como de todas pedreiras e áreas de empréstimo para compactação de estradas ou de bota-foras. Em uma segunda etapa, procedeu-se, através de campanhas de campo, o reconhecimento das minerações e pedreiras.

Mapeamento do Uso da terra

O levantamento foi efetuado através da interpretação visual da imagem TM do Satélite Landsat-5, composição colorida das bandas 3, 4 e 5. Foram identificadas e mapeadas as seguintes classes de uso da terra, com suas respectivas simbologias: Mata secundária - M (remanescentes da “Floresta Estacional Semidecidual”); Campo associado a Pastagem - Ca+P; Pastagem associada a Campo - P+Ca; Pastagem associada a Área cultivada - P+Ac e Área urbanizada - Au. Tais associações se devem a certas limitações na interpretação da imagem, como escala, sombreamento e tamanho reduzido ou descontínuo de algumas manchas.¹

- **Ponderação das classes de uso da terra.**

A ponderação das variáveis de uso da terra foi efetuada em função do grau de proteção que as mesmas exercem sobre o solo, tendo em vista o porte da vegetação, o percentual de ocorrência e a distribuição de cada classe de uso. Considerou-se como variável mais importante, a classe de maior potencial de proteção do solo - Mata Secundária - à qual foi

¹ Na associação de duas classes unidas pelo sinal de adição (+), a primeira participa com 65% de ocorrência, e a segunda com 35%; sendo a primeira classe sublinhada, esta participa com 80% de ocorrência, e a segunda com 20%.

atribuído o valor 1 (um). Em seguida à foram obtidos os seguintes pesos: Mata Secundária 0,333; Campo + Pasto 0,267; Pasto - Campo 0,2; Pasto - Área Cultivada 0,133 e Área Urbanizada 0,067.

Hierarquização das sub-bacias

Com os valores obtidos, após a ponderação dos tipos de erosão acelerada e de uso da terra, calculou-se a densidade e os índices de qualidade ambiental para toda a bacia, com relação à erosão e ao uso da terra. Posteriormente foram elaboradas matrizes de coeficientes finais, apresentando o produto entre os Pesos e os Índices de Qualidade Ambiental (IQA) referente a cada tipo de erosão e cada classe de uso da terra, para todas as sub-bacias.

A soma dos valores individuais (por sub-bacia), levou à obtenção dos coeficientes finais que possibilitaram comparação e ordenação das sub-bacias, em função da sua qualidade ambiental.

Elaboração dos mapas finais

Foram elaborados os mapas de Hierarquização das Sub-bacias pelos Índices de Qualidade Ambiental das Variáveis de Erosão e Uso da Terra, na escala 1:250.000 e um mapa síntese, que reúne as informações sobre o uso da terra, as formas de erosão acelerada e os pontos de extração de areia e minerações, na escala 1:100 000.

Esses mapas foram gerados pelo software AUTOCAD, versão 12, em formato de intercâmbio de dados vetoriais DXF, visando, futuramente, a sua conversão para os padrões de um Sistema de Informações Geográficas.

Análise dos Resultados

• Erosão acelerada

A análise do Mapa de Erosão Acelerada e Uso da Terra mostra uma distribuição de focos erosivos por praticamente toda a área, com algumas concentrações expressivas na parte central, a sudoeste de Entre Rios de Minas, na bacia do rio Faleiros. Outras concentrações são observadas na bacia do rio Grande, um dos formadores do rio Camapuã, e na região de São Brás do Suaçuí, na bacia do ribeirão Cantagalo, afluente pela margem direita do rio Camapuã.

Observa-se a predominância de voçorocas, seguida pela erosão laminar e em sulco. A voçoroca é o tipo de erosão preponderante em quatro sub-bacias: 1, 3, 5 e 6, com uma incidência mais acentuada na sub-bacia 1. A erosão laminar vem a seguir, apresentando, também, maior concentração nessa sub-bacia.

A unidade 5 (sub-bacia do rio Faleiros) é a que apresenta o mais baixo índice de qualidade ambiental. Entretanto, considerando que a ponderação é uma atribuição de valor relativo, não significa que as demais sub-bacias que possuem IQA elevados apresentem uma boa situação ambiental, no que diz respeito à erosão, mas sim, que as variáveis nelas encontradas são menos

impactantes em relação àquelas encontradas na unidade 5.

Observa-se uma grande incidência de voçorocas estabilizadas (revestidas pela vegetação) na unidade 4 (sub-bacia do rio Caiuaba de Cima), e, secundariamente, nas sub-bacias 1 e 2 (dos rios Camapuã e Brumado). Embora as voçorocas estabilizadas ou inativas apresentem números elevados, apenas as formas ativas foram consideradas para efeito de ponderação. Deve-se ressaltar, contudo, que as voçorocas inativas são áreas de instabilidade, podendo ser reativadas caso a vegetação que as reveste seja retirada.

Considerando a grande extensão da área drenada (259,07 km²), a sub-bacia do rio Brumado, é a menos afetada. A sub-bacia do rio Caiuaba de Cima, entretanto, é a que apresenta melhor qualidade ambiental, com um índice de 0,923, apesar da grande ocorrência de erosão em números absolutos. A explicação para este fato pode ser atribuída à predominância de voçorocas estabilizadas ou inativas, seguida pela erosão laminar.

• Atividade minerária

Através da análise das áreas protocolizadas até dezembro de 1994 e da listagem do sistema de informações sobre a produção mineral, por município, verificou-se que a maior parte da área é requerida para a exploração de manganês e, secundariamente, para estanho, areia, zinco e quartzo. A grande maioria dessas áreas protocolizadas encontra-se em fase de licenciamento, requerimento, e alvará de pesquisa.

Em fase de funcionamento identificou-se, apenas, o manifesto de minas nº 56/000.433 da CSN - Companhia Siderúrgica Nacional, no município de Entre Rios de Minas (sub-bacia 1). Nessa área é explotado, a céu aberto, o manganês, que apresenta uma reserva inferida de 48.479 toneladas e produção bruta de 15.892 toneladas/ano. Hoje, essa mineração encontra-se legalizada pelo órgão ambiental do Estado (FEAM/COPAM) e está se adequando à legislação, implantando sistemas de controle ambiental.

Constatou-se, nos levantamentos de campo, a presença de 13 portos (pontos) de extração de areia (9 na sub-bacia 1 e 4 na sub-bacia 2), em aluviões quaternários, que produzem cerca de 165.000 toneladas/ano. A produção arenífera destina-se à construção civil, sendo sua comercialização efetuada localmente e/ou em Conselheiro Lafaiete e Congonhas.

Verificou-se que é difícil o controle sobre as formas de extração e quantificação da produção de areia, pois, não há por parte do poder municipal, uma fiscalização adequada. Essa responsabilidade de licenciamento e fiscalização pelas Prefeituras é determinada na Deliberação Normativa nº 03/91 do COPAM, segundo a qual, portos com produção inferior a 2.000m³/mês devem submeter-se à apreciação da municipalidade.

• Uso da Terra

Na bacia do rio Camapuã, os remanescentes da "Floresta Estacional Semidecidual" (in: Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal- IBGE/1991 e Mapa de Vegetação do Brasil - IBGE/1993), são representados pela formação vegetacional montana - situada na faixa altimétrica acima de 500 metros.

Os maciços vegetais possuem indivíduos com alturas variadas, podendo alcançar até 20 metros, e o percentual das árvores caducifólias no conjunto vegetal - e não nas espécies que perdem as folhas individualmente - situa-se entre 20% e 50% na época desfavorável. Sua ocorrência é restrita a pequenos capões que se concentram nas encostas e as espécies mais encontradas são: embaúba, jacarandá, carne-de-vaca, jatobá, sucupira, ipê e quaresmeira. A "Floresta Ciliar", formação que ocorre ao longo dos cursos d'água e nas nascentes são raras e esparsas.

Os campos aparecem nas áreas mais elevadas, sobre solos Litólicos e Cambissolos. Apresentam cobertura graminóide-herbácea, com ausência de árvores e, juntamente com as pastagens, dominam a paisagem. A vocação da região é a pecuária leiteira e o capim *Brachiaria Spp* é o mais semeado.

Embora a agricultura seja predominantemente de subsistência (milho, arroz, feijão e mandioca), a maior produção de milho está localizada nos municípios de Entre Rios de Minas (7.800 ha) e Lagoa Dourada (3.300 ha). A horticultura acha-se distribuída pela região, sendo mais representativa nas áreas aplainadas dos vales. O cultivo da batata - com a utilização de técnicas de irrigação nas áreas mais extensas - é praticado nos seguintes municípios: Casa Grande (66 ha), Entre Rios de Minas (60 ha), Desterro de Entre Rios (38 ha), Jeceaba (32 ha) e Lagoa Dourada (4 ha) - dados da Produção Agrícola Municipal - IBGE/1993.

Os resultados demonstram que a sub-bacia do Ribeirão dos Paulos (unidade 6), possui a melhor qualidade ambiental, com o índice da ordem de 0,599 e a sub-bacia do Rio Faleiros (unidade 5), possui o pior IQA - 0,255. Os valores dos índices estão muito próximos entre si e distantes de 1(um), variando de 0,255 a 0,599, devido a baixa ocorrência da cobertura vegetal arbórea. Esse fato indica que todas as sub-bacias apresentam um quadro desfavorável de qualidade ambiental, sendo suscetíveis aos processos erosivos.

Conclusões

A análise dos resultados confirma que o uso da terra influi nos processos erosivos, uma vez que a cobertura vegetal condiciona o escoamento pluvial, que é fator determinante da erosão. Entretanto, para um estudo aprofundado da erosão, um elenco de outros fatores, tais como o clima, solos (tipo, uso e manejo), formas de relevo, declividade, etc devem ser analisados. Deve-se ressaltar, contudo, que não era esse o objetivo do presente trabalho. O que se pretendeu foi testar a aplicabilidade da metodologia de SOLOMON numa área amostral, utilizando variáveis de natureza

qualitativa (formas de erosão e classes de uso da terra), visando a sua aplicação futura em uma bacia mais ampla em que se dispõe de um número maior de variáveis, tanto qualitativas como quantitativas. Obteve-se, assim, a ordenação das sub-bacias, em função da qualidade ambiental, em relação à distribuição da erosão acelerada e do uso da terra que está relacionado ao grau de proteção ou de exposição dos solos aos agentes erosivos.

A metodologia testada atendeu plenamente aos objetivos propostos, conduzindo à quantificação das variáveis e à hierarquização das sub-bacias e eliminando a subjetividade encontrada nos métodos usualmente utilizados em estudos integrados. Obteve-se, dessa maneira, uma visualização eficiente das variáveis mais impactantes e das sub-bacias impactadas, que pôde ser expressa graficamente, permitindo uma transposição para a forma cartográfica.

Referências Bibliográficas

- BERTIN, Jacques. Sèmiologie Graphique - Les Diagrammes - Les Réseaux. Les Cartes. Mouton - La Haye, Paris, 1973.
- SOLOMON, R. C. et alii. Water resources assesment methodology (WRAM) - impact assesment and alternative evaluation. U.S Army engineer Waterways. Experimenter Station. Vicksburg, Mississipi, 1977.
- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - IGA. Mapeamento das formas de Erosão Acelerada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, cabeceiras dos rios das Velhas e Paraopeba. Belo Horizonte, 1977.
- FUNDAÇÃO CETEC. Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1983
- FUNDAÇÃO CETEC. Estudos Integrados de Recursos Naturais - bacia do Alto São Francisco e parte central da área mineira da SUDENE. 1984
- CARDOSO, Jaime Antônio. Construção de Gráficos e Linguagem Visual. Curitiba, 1984.
- FUNDAÇÃO IBGE. Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro, 1991.
- FUNDAÇÃO IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro, 1992.
- FUNDAÇÃO IBGE. Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro, 1993.
- FUNDAÇÃO IBGE. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, 1993.
- PUC/Universidade de Bolonha. Sistema Informativo Aplicado à Análise de Áreas Urbanas Marginais. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, 1993.
- MOURA, A. C. M. Estudos Metodológicos de Aplicação da Cartografia Temática às Análises Urbanas. IGC-UFMG, Belo Horizonte, 1993.