

ANÁLISE GEOAMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS SITUADAS EM ÁREAS DE TRANSIÇÃO URBANO-RURAL: UMA APLICAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO PÂNTANO, ALFENAS (MG)

Danilo Francisco Trovó GARÓFALO¹

Marta Felícia Marujo FERREIRA²

Resumo

A intensa eliminação das matas ciliares e fragmentação florestal têm contribuído para alterar a dinâmica hidrológica e geomorfológica dos sistemas ambientais. Estas modificações são mais perceptíveis quando se constata intensa redução da biodiversidade dos sistemas naturais, além da degradação de imensas áreas submetidas a ações antrópicas. Este trabalho tem como objetivo estudar a bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano, localizada no município de Alfenas (MG), afluente do reservatório de Furnas, caracterizada como exemplo de sistema onde se dá intenso conflito rural-urbano. Para desenvolver este estudo, a pesquisa se apoiou na análise da dinâmica hidrológica, geomorfológica e dos processos ambientais, que promoveram modificação recente na dinâmica desta bacia. Alfenas é um dos 34 municípios que compõem o circuito dos Lagos da Represa de Furnas, situado na borda sul do reservatório de Furnas, em Minas Gerais. Para o desenvolvimento da pesquisa foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: interpretação de fotografias aéreas, elaboração de mapas temáticos e dados de campo; análises morfométrica, morfodinâmica e mapeamento do uso e cobertura do solo. Através da análise geoambiental foi possível verificar a fragilidade dos atributos físicos que compõem a bacia, detectar impactos ambientais e propor medidas mitigadoras.

Palavras-chave: Dinâmica hidrológica e geomorfológica. Bacia hidrográfica. Borda sul do reservatório de Furnas.

Abstract

Geoenvironmental analysis of watersheds located in rural-urban transition areas: an application in Pântano river watershed, Alfenas (MG)

The intense removal of riparian forests and forest fragmentation has contributed to the hydrological and geomorphological environmental system changing. These changes are most perceptible when we note a great reduction of biodiversity in natural systems, in addition to degradation of vast areas subjected to human activities. This work aims to study the Pântano river watershed, located in Alfenas (MG), one tributary of Furnas hydro electrical power reservoir. To develop this study, the research focused on the analysis of geomorphological and hydrological dynamics of the watershed, as well as environmental processes that caused its modification. Alfenas is located at the southern edge of the Furnas reservoir, in Minas Gerais state, Brazil. To develop the research we used the following methodological procedures: aerial photo interpretation, field data gathering, morphometric and morphodynamics analysis and vegetation cover and land use mapping. After the geoenvironmental analysis, it was possible to check the watershed physical attributes fragility, to detect environmental impacts caused by urban fringe sprawl and to propose mitigation measures.

Key words: Hydrological and geomorphological dynamics. Catchments. Furnas reservoir. Alfenas. environmental fragility.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp-SP). Rua João Pandiá Calógeras, 51, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Distrito de Barão Geraldo - Campinas - SP, CEP 13083-870. E-mail: danilotrovo@yahoo.com.br.

² Professora Adjunto III do Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG). Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro - Alfenas - MG, CEP 37130-000, Tel. 35 - 3299-1419. E-mail: martafelicia@uol.com.br.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil foi palco de intensa eliminação das matas ciliares e conseqüente fragmentação florestal, causando um aumento significativo dos processos de erosão dos solos e alterações na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos sistemas ambientais.

A expressão *matas ciliares* inclui todos os tipos de vegetação arbórea localizada à beira de rios. As funções atribuídas a estas formações vegetais estão associadas ao refúgio e à disponibilidade de alimento para a fauna, à manutenção do microclima e qualidade da água, à contenção dos processos erosivos e à retenção das águas superficiais em épocas de cheias, contribuindo para o amortecimento das enchentes.

Guerra e Cunha (1996) ressaltam a dinâmica interativa existente entre as encostas e os vales fluviais, incluindo a calha do rio. Esta interação permite a ocorrência de constantes trocas de causa e efeito entre os elementos da bacia hidrográfica. Segundo esta abordagem, mudanças no uso do solo e nas encostas influenciam os processos erosivos, e, estes, contribuirão para a alteração da dinâmica fluvial.

A erosão hídrica consiste basicamente em uma série de transferências de energia e matéria, gerada pelo desequilíbrio do sistema água-solo-cobertura vegetal, que resulta na perda progressiva do solo (MAFRA, 1999). Em função de suas características naturais funcionais, a bacia hidrográfica tem se tornado a unidade espacial mais utilizada para o gerenciamento das atividades de uso e de conservação dos recursos naturais.

Esta pesquisa teve como finalidade compreender os processos e os problemas relativos à ocupação e os obstáculos apresentados pelo meio físico, apontando e avaliando a necessidade de interferir na realidade, com intuito de ampliar a eficácia dos freios e dos cuidados no uso da terra pelas sociedades humanas.

Por meio da análise ambiental - que tem como objetivo inventariar o meio físico e suas relações com a sociedade - é possível se recorrer a diferentes metodologias e abordagens em função das complexidades dos sistemas ambientais naturais. Dentre as possíveis abordagens existentes, este trabalho enfatiza a cartografia geomorfológica (morfodinâmica atual - processos erosivos e deposicionais), analisando a influência dos diferentes usos do solo na dinâmica da bacia estudada. Entende-se que esse enfoque exerce papel fundamental no planejamento ambiental regional. Segundo Ross (1996), os estudos geomorfológicos e ambientais, sejam eles detalhados ou em âmbito regional, atendem às necessidades políticas administrativas, e funcionam como instrumentos de apoio técnico a diversos interesses políticos e sociais.

Apoiando-se nestas premissas, este trabalho tomou como unidade de análise a bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano, seguindo a abordagem sistêmica, integrando diversos elementos e processos. A seleção desta bacia se justifica pelo fato dela possuir, em sua superfície, uma parte do perímetro urbano de Alfenas e por apresentar morfodinâmica que revela alterações na morfologia original dos canais fluviais, resultantes da expansão urbana e do uso intenso do solo em suas cabeceiras.

A GEOMORFOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: A INTER-RELAÇÃO DOS COMPONENTES FÍSICOS, BIÓTICOS E ANTRÓPICOS

As matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos, como ecológico e geomorfológico. Estas áreas são denominadas de *Zonas Ripárias* (MORING et al., 1985). As zonas ripárias apresentam destacada importância ecológica, por serem consideradas como corredores que promovem o movimento da fauna e a

dispersão de indivíduos florestais. Além da função ecológica, soma-se a isto, a função hidrológica, que contribuem conjuntamente à manutenção da integridade da bacia hidrográfica, sobretudo da qualidade e quantidade de água, e do próprio ecossistema aquático (LIMA et al., 2001).

A bacia hidrográfica é constituída pelo conjunto de superfícies que, por meio de canais e tributários, drenam água de chuva, sedimentos e substâncias dissolvidas, para um canal principal, cuja vazão ou deflúvio converge numa saída única (foz do canal principal num outro rio, lago ou mar). O comportamento hidrológico de uma bacia depende de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, entre outras.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976).

Para Christofolletti (1980), os estudos relacionados à drenagem fluvial sempre possuíram função relevante na geomorfologia. A análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre.

As características físicas e bióticas da bacia hidrográfica exercem importante papel no do ciclo hidrológico. Tonello et al. (2006) acreditam que o comportamento hidrológico de uma bacia também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio físico modificando o uso do solo e as características naturais da cobertura vegetal, a sociedade interfere indiretamente no ciclo hidrológico.

Neste contexto, as características morfométricas da drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita relação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARRA et al., 2004).

Os desequilíbrios que se registram nas encostas ocorrem, na maioria das vezes, em função da participação do clima e de alguns aspectos das características das encostas, que incluem a topografia, geologia, grau de intemperismo, solo e tipo de ocupação (GUERRA e CUNHA, 1996).

No que se refere à denudação das encostas, Mafra (1999) ressalta que a erosão do solo é mais efetiva onde a água de precipitação não pode ser infiltrada. A água realiza uma trajetória relativamente rápida, capaz de carregar materiais do solo por meio da força hidráulica de seu fluxo. Ainda segundo Mafra (*op.cit.*), a energia da chuva é aplicada à superfície, e, a partir de um limite de resistência ao cisalhamento, iniciam-se as transferências de matéria por processos de desestabilização dos agregados do solo, de movimentação, transporte e de sedimentação de partículas em zonas mais rebaixadas da topografia. Como consequência da atuação deste conjunto de ações, a camada superficial mais fértil do solo é removida e, posteriormente, também seus horizontes subsuperficiais.

Após a retirada da cobertura vegetal, o equilíbrio natural representado pelo trinômio *água-solo-planta* é alterado, e o horizonte superficial passa a receber menor aporte de matéria orgânica. A readaptação do solo às novas condições pode ser pouco favorável à manutenção da estrutura desses epípedons, o que pode contribuir para a maior vulnerabilidade à erosão e implicar em menor disponibilidade de água para o vegetal (CASANELLAS et al., 1994).

Para Nir (1983), a erosão e a produção de sedimentos nas áreas urbanas se dão durante o período de construção das habitações. Este autor considera que uma vez instalada a infra-estrutura, a erosão cai a níveis até menores do que aqueles observados no uso rural. Com relação às drenagens, uma vez atingida a consolidação urbana, as vazões são maiores do que no estágio anterior à urbanização, e menor a carga sólida transportada. Todavia, este autor leva em consideração áreas urbanas típicas de países desenvolvidos, dotadas de infra-estrutura.

Na maioria das cidades localizadas em países em desenvolvimento a situação é bem diferente, pois a urbanização nem sempre é acompanhada da instalação de sistemas adequados de drenagem das águas pluviais. Em geral, as águas são lançadas diretamente nas encostas e despejadas em canais fluviais de pequeno porte. Com relação à encosta, esta sofrerá uma erosão acelerada, dando origem a sulcos, ravinas e, nos casos mais graves, a voçorocas. Todo este material – a água de origem pluvial e os sedimentos - será transportado para o curso fluvial, cujos leitos não estão ajustados às vazões aumentadas, sem estruturas de proteção e dissipação de energia. Como consequência hidráulica mais significativa, poderá ocorrer o reentalhe dos canais fluviais, fenômeno que evolui para a formação de voçorocas nas cabeceiras de drenagem.

Toda ação de ordenação territorial deve incluir a análise das interrelações entre diferentes componentes da paisagem, incluindo-se o meio físico-biótico e a ocupação humana. Ao se realizar o ordenamento territorial sem o conhecimento prévio da dinâmica geomorfológica, a consequência mais evidente é o uso intensivo do sistema ambiental, além de sua capacidade de manter-se em equilíbrio.

Guerra e Marçal (2006) salientam que o conhecimento geomorfológico pode evitar a ocorrência de impactos ambientais negativos sobre o relevo e, também, propiciar o desenvolvimento mais duradouro e estável de qualquer área da superfície terrestre. Em outras palavras, a geomorfologia pode contribuir para o conhecimento da estabilidade e da resiliência dos processos que ocorrem nos sistemas ambientais.

Cunha et al. (2003) consideram que a geomorfologia tem na cartografia geomorfológica um dos mais importantes veículos de comunicação e análise dos resultados obtidos. Para Ross (1996), ao se elaborar a carta geomorfológica, deve-se fornecer elementos de descrição do relevo, identificar a natureza geomorfológica de todos os elementos do terreno e datar as formas. Este mesmo autor, utilizando-se das unidades taxonômicas apresentadas por Demek (1967), propõe seis táxons para a representação geomorfológica: o 1º, as unidades morfoestruturais; o 2º, as unidades morfoesculturais inseridas nas morfoestruturas; o 3º, as unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes; o 4º, os tipos de formas de relevo; o 5º, os tipos de vertentes e o 6º, as formas de processos atuais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia do ribeirão do Pântano integra a rede hidrográfica das bacias dos rios Verde e Sapucaí – formadores da bacia do rio Grande – que, nas imediações da área de estudo, se constituem atualmente em grandes canais alagados da represa de Furnas. A área de estudo compreende um polígono entre as coordenadas de 21°23' e 21°25' de latitude Sul e entre 45°56' e 46°00' de longitude Oeste, inserido no município de Alfenas (Figura 1). A área abrangida pela bacia é de 23 km² (aproximadamente 2.300 ha), sendo influenciada pelo nível de base do reservatório de Furnas.

No que se refere à ocupação, trata-se de uma bacia que exhibe usos urbano e rural. As áreas urbanizadas e industriais, localizadas principalmente à montante, somam 28,1% da bacia. Já as áreas ocupadas por pequenas propriedades rurais, 71,9% da bacia, estão situadas nas proximidades do reservatório de Furnas, à jusante.

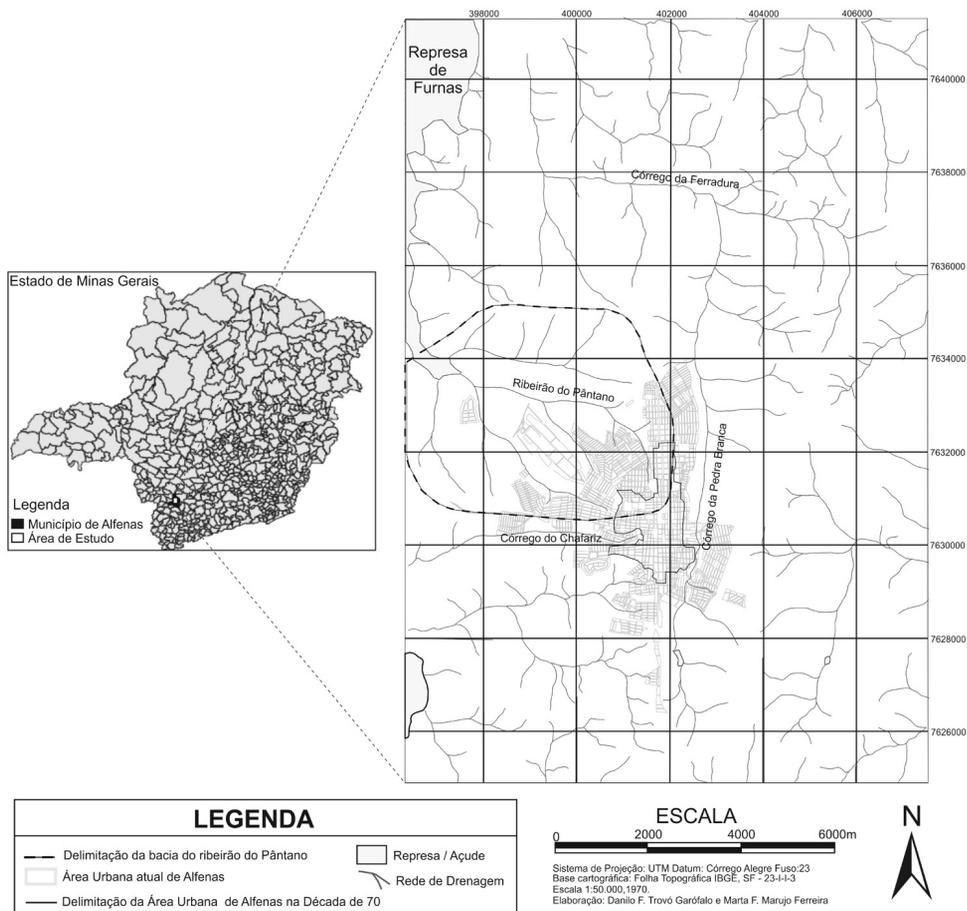


Figura 1 – Localização da Área de Estudo - bacia do ribeirão do Pântano – Alfenas – MG

Os materiais cartográficos e produtos de sensoriamento remoto utilizados na pesquisa são listados a seguir:

- a) carta topográfica Folha Alfenas (SF-23-I-I-3), escala 1:50.000, IBGE (1970);
- b) carta geológica Folha Varginha (SF-23-Y-B), escala 1:250.000, Projeto Sapucaí CPRM (1979);
- c) fotografias aéreas, escala 1:6.000, BASE (2006);
- d) Plano Cadastral da Área Urbana de Alfenas, escala 1:6.000, Prefeitura Municipal de Alfenas (2006).

Além destes documentos, foram utilizados também instrumentos para suporte técnico do Laboratório de Geomorfologia e Solos da Unifal-MG, tais como, estereoscópio de espelho, utilizado para fotointerpretação das feições geomorfológicas e, curvímetro, para calcular o comprimento da rede hidrográfica na carta topográfica. Além disso, utilizou-se os

sistemas de informação geográfica ILWIS 3.6 (WICE, 2009); ArcGIS 10 (ESRI, 2009), R2V (R2V Services, 2008), do Laboratório de Geoprocessamento da Unifal-MG.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A construção dos mapas hipsométrico, clinográfico e do modelo em perspectiva tridimensional, iniciou-se com a importação, para o SIG ILWIS 3.6, dos arquivos referentes às curvas de nível, à rede de drenagem e à malha urbana, que formam o arquivo digital no formato *dxf*, da Folha Topográfica de Alfenas, escala 1:50.000 (IBGE, 1970).

Posteriormente foi realizado o arranjo dos domínios de representação, para que os objetos importados pudessem ser visualizados. Através da ferramenta *propriedades* dos arquivos, foi possível se criar o sistema de coordenadas da área de estudo, acertando o *datum*. Nesta etapa foi utilizado o sistema de projeção UTM, a partir do datum Córrego Alegre, zona 23 sul.

O mapa hipsométrico foi gerado utilizando a ferramenta *Interpolate contours*; o mapa clinográfico foi produzido por meio do comando *Slicing*, utilizando-se os intervalos altimétricos propostos na metodologia de Ross (1994). Combinando-se hipsometria e clinografia, foi possível criar o modelo tridimensional do terreno utilizando a ferramenta *Apply 3d*.

No processo de fotointerpretação foram marcados os pontos centrais (áreas com menor distorção) de cada fotografia aérea, fixando, em seguida, os pontos homólogos dos pares estereoscópicos. Após estes procedimentos, delimitaram-se as áreas com menor distorção das fotografias aéreas, sendo estas áreas consideradas no mapeamento. Através da análise dos pares estereoscópicos foi mapeado o uso do solo e os processos morfodinâmicos observados na bacia.

No *software* AutoCad 2009, importou-se as fotografias aéreas no formato *tiff*, o arquivo de curvas de nível da carta topográfica de Alfenas em formato *dxf* e o arquivo do plano cadastral da área urbana de Alfenas em formato *dxf*, onde foram georreferenciados. O georreferenciamento foi realizado a partir do comando *align*, e o sistema de coordenadas foi definido por meio da função *Assing Global Coordinate System*. Foi utilizado o comando *line* para a digitalização de objetos lineares (hidrografia, estradas, entre outros) e o comando *polyline* para a digitalização de objetos de área (quadras, classes de uso, entre outros).

As feições geomorfológicas mapeadas na bacia do ribeirão do Pântano correspondem ao quarto, quinto e sexto taxons conforme Ross (1992). As feições mapeadas são: perfis de vertentes e formas de interflúvios, formas denudativas - rupturas de declive delimitando unidades menores das vertentes e processos erosivos, formas de acumulação - leques, aluviais, planícies e depósitos coluvionares e tipos de vales. Para o mapeamento das feições identificadas utilizou-se a legenda cartográfica proposta por Verstappen e Zuidam (1975). Na análise morfométrica da bacia utilizou-se variáveis morfométricas da rede de drenagem e do relevo, com base em informações da carta topográfica de Alfenas, na escala 1:50.000 e em fotografias aéreas na escala de 1:6.000. A síntese dos procedimentos metodológicos adotados em toda a pesquisa é apresentada no fluxograma da figura 2.

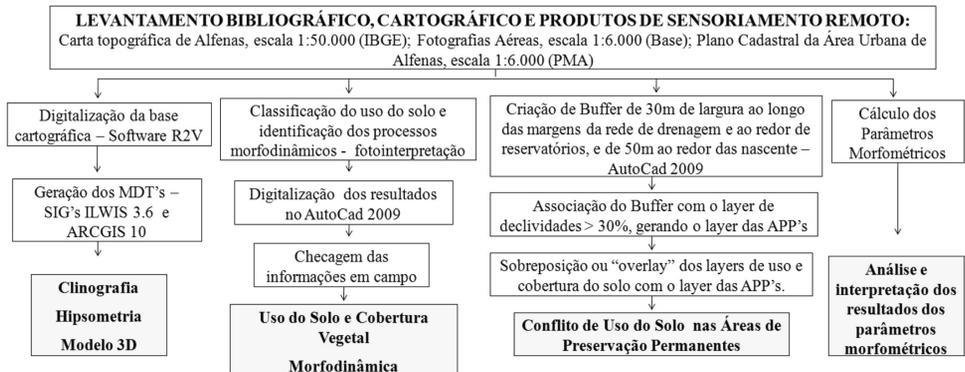


Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos seguidos na análise da bacia do ribeirão do Pântano

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No que se refere às características da rede de drenagem, a bacia é classificada como de 3ª ordem, com base em Strahler (1957). Possui tributários de 1ª ordem no setor à montante – já descaracterizados pela malha urbana, e tributários de 1ª e 2ª ordens no setor médio – onde a bacia já apresenta áreas de agradação (acumulação), depósitos coluvionares interdigitados por depósitos aluvionares, conforme apresentado no mapa morfodinâmico (Figura 3). O rio principal e seus tributários que formam um sistema de drenagem com deflúvios perenes e efêmeros, escoam no eixo leste-oeste, desaguardo na represa de Furnas.

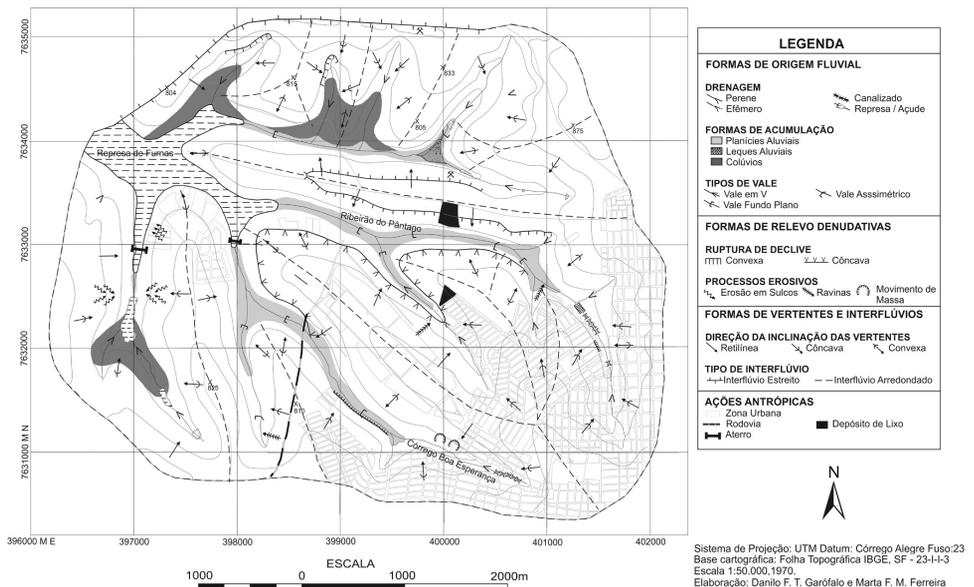


Figura 3 - Mapa morfodinâmico da bacia do ribeirão do Pântano

Os parâmetros morfométricos aplicados na bacia mostram que o índice de circularidade (I_c) atinge 0,9 - com predomínio do formato circular. Este valor indica que o perímetro da bacia aproxima-se do perímetro de um círculo, fator que favorece a ocorrência de processos de inundação gerados por enchentes rápidas. Em períodos de ocorrência de elevados índices de precipitação, como no verão, as águas escoadas concentram-se em toda extensão do canal principal da bacia, ampliando rapidamente o volume de suas águas.

Os resultados obtidos por esta pesquisa corroboram com a Leitura Comunitária do Plano Diretor de Alfenas (2006), que destaca a inundação como um dos graves problemas na região do bairro Recreio Vale do Sol. O mapa morfodinâmico (Figura 3), aponta trechos de planícies fluviais largas, com permanente acúmulo de água. Esta situação é agravada pelas moradias presentes nestas planícies.

Após a implantação da Usina Hidroelétrica de Furnas, os canais de drenagem formadores das bacias do Rio Verde e Sapucaí tiveram seu nível de base alterado, ocorrendo, a montante da barragem, depósitos de acumulação que elevaram o nível de base na região. É o caso da bacia do ribeirão do Pântano (Figura 3), que apresenta agradação em alguns trechos das planícies fluviais, especialmente nos setores à jusante. Desta forma, áreas que seriam mais propícias a inundações já se encontram alagadas.

A maior ocorrência de canais sinuosos é determinada pela carga de sedimentos, compartimentação morfológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais. O índice de sinuosidade obtido ($I_s = 1,15 \text{ m/m}$) sugere que grande parte dos tributários e do rio principal, apresenta o predomínio de trechos retilíneos e poucos trechos meandrantés, induzindo maior transporte de sedimentos.

Trabalhos de campo comprovam que o ribeirão do Pântano escoar suas águas em leito constituído por materiais inconsolidados formados, em grande parte, por material areno-argiloso. Em função destes materiais constituintes, a maior porosidade favorece intenso processo de infiltração.

O valor do índice de Relação de Relevô (R_r) de 0,018 mostra que a bacia possui gradiente suave, com baixa declividade. O mapa clinográfico (Figura 4) corrobora este resultado apresentando, nas planícies e nos topos, o predomínio de declividades de 0 a 6% e de 6 a 12%. A expansão urbana de Alfenas na bacia teve início em áreas de topos arredondados, com declividades até 6%. Posteriormente, esta se estendeu para os fundos de vale, no sentido norte e noroeste, com declividades até 30% nas vertentes e declividades menores que 12%, nos fundos de vale.

As declividades situadas entre 20 a 30% ocorrem de maneira pontual em vertentes situadas nos setores centrais, sudoeste e sudeste da bacia; enquanto que as superiores a 30%, são observadas nos setores norte e nordeste da bacia, em vertentes com cabeceiras de drenagem em faces abruptas.

Relevos com inclinação superior a 30% devem ser considerados como áreas de preservação permanente, havendo a necessidade de manter a cobertura vegetal original destas áreas.

Os tipos de relevo predominantes da bacia são as colinas convexo-côncavas, com amplitudes entre 30 e 100m, altitudes entre 760 e 860m, com fundo de vales associados a planícies - conforme mostra o mapa hipsométrico e o modelo tridimensional da bacia (Figuras 5 e 6).

Estas formas apresentam rampas contínuas com sopés côncavos, sendo observados, em algumas áreas, depósitos coluvionares interdigitados por aluvionares. Observa-se a ocorrência de depósito de material grosseiro na base de uma das vertentes no setor nordeste da bacia, resultante do escoamento concentrado, dando origem a um leque aluvionar, conforme mostra o mapa morfodinâmico (Figura 3).

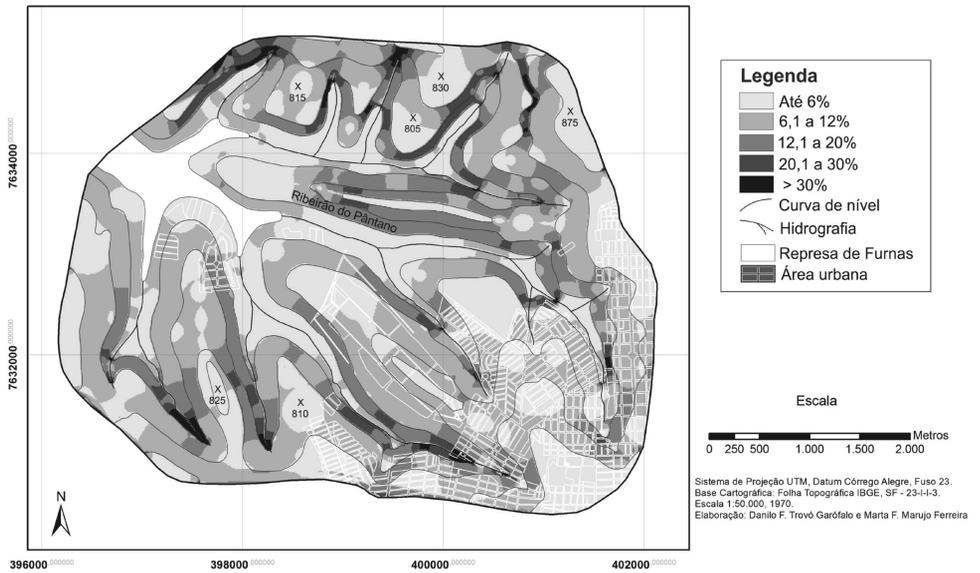


Figura 4 - Mapa clinográfico da bacia do ribeirão do Pântano

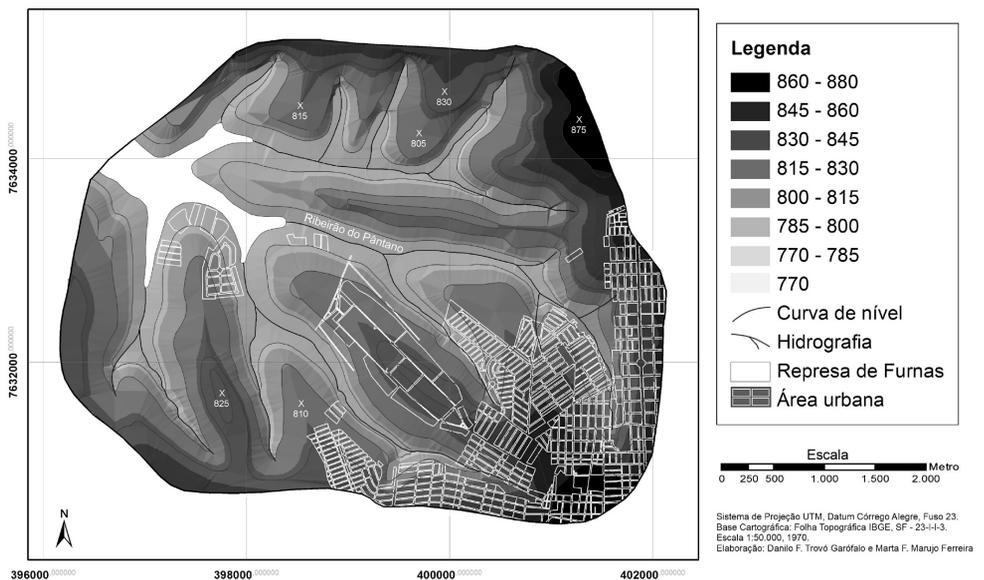


Figura 5 - Mapa Hipsométrico da bacia do ribeirão do Pântano

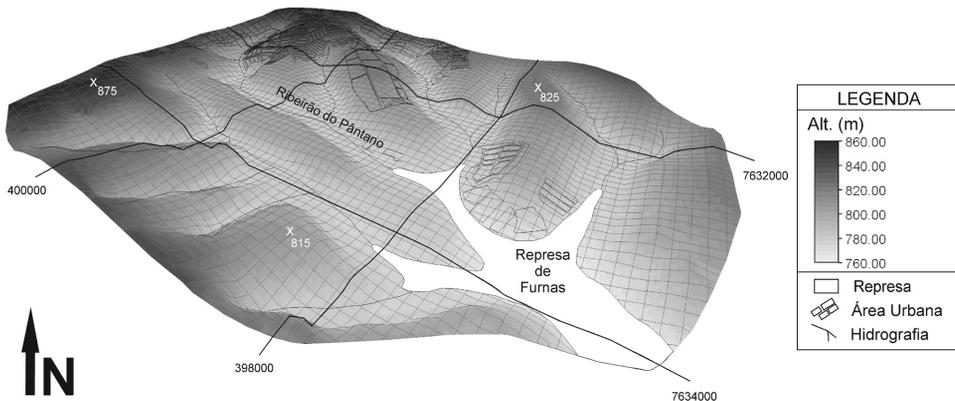


Figura 6 – Modelo tridimensional do relevo da bacia do ribeirão do Pântano

Em geral, nas cabeceiras de drenagem, os vales são bem encaixados (tipo em “V”), predominando a erosão fluvial do canal. Mais a jusante os vales passam a apresentar uma forma assimétrica e plana, associados a áreas de planícies fluviais com maior deposição de sedimentos. A maioria dos cursos fluviais apresenta entalhamento suave de suas margens, e poucos trechos com entalhamento abrupto (Figura 3). O ribeirão do Pântano passou por processo de retificação e alargamento no seu médio curso, a fim de evitar o retrabalhamento fluvial do curso, pois suas margens estavam sendo erodidas por processos fluviais naturais intensificados pela ação antrópica (maior volume do escoamento superficial e retirada da mata ciliar).

No que concerne ao uso e ocupação, a bacia do ribeirão do Pântano apresenta as seguintes categorias: *ocupação urbana* – para fins comerciais e residenciais (classificadas de uso urbano 1 e 2); *uso industrial* no médio curso, na porção centro sudeste; *áreas de expansão urbana* (uso urbano 3) e o restante, por parcelas de *uso rural* (figuras 7A e 8). Durante as visitas a campo, notou-se que muitas destas parcelas já estavam em processo de desmembramento para implantação de loteamentos urbanos. Os diagramas da figura 7A mostram as proporções, em área, dos tipos de uso do solo na bacia. Na figura 7B estão qualificadas e quantificadas as classes de usos presentes nas Áreas de Preservação Permanentes (APP’s).

A categoria *Urbano 1* ocupa área de 219,4 ha, correspondendo a 9,53% da área total da bacia, prevalecendo uso misto (residencial e comercial) em áreas de topos arredondados e vertentes côncavas na sua maioria (Figuras 7A e 8). Por ter uma ocupação consolidada, a maior parte do solo foi impermeabilizada, gerando uma morfologia antrópica que favoreceu o escoamento superficial, em detrimento da infiltração da água nestas áreas. Toda água de escoamento pluvial é lançada diretamente no ribeirão do Pântano e seus afluentes, aumentando significativamente suas vazões em épocas de chuva, favorecendo a erosão de algumas encostas desprovidas de estruturas adequadas e erosão das margens dos cursos d’água e assoreamento destes.

A área de preservação permanente referente à nascente do rio principal é ocupada, em parte, pela Rua Pio XII e pelas instalações da Universidade Federal de Alfenas – MG (Figura 8). Esta categoria ocupa 0,33% da área de APP (Figura 7B).

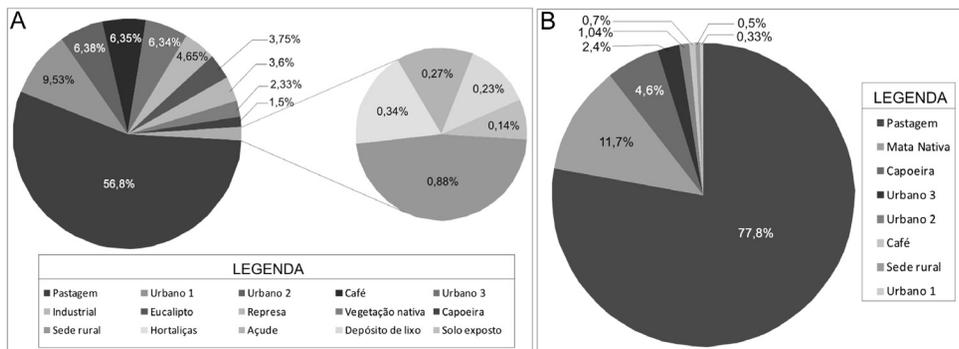


Figura 7 - Porcentagem de ocupação de cada classe de uso na bacia do ribeirão do Pântano (A); Porcentagem de ocupação de cada classe de uso nas APP's da bacia do ribeirão do Pântano (B). OBS: Na Figura 7A a porcentagem de ocupação de cada classe de uso é apresentada no sentido horário a partir da primeira classe de uso da legenda (Pastagem), seguida pela classe de uso *Urbano 1* e assim sucessivamente. Na Figura 7B a porcentagem de ocupação de cada classe de uso é apresentada no sentido horário a partir da primeira classe de uso da legenda (Pastagem), seguida pela classe de uso *Mata Nativa* e assim sucessivamente

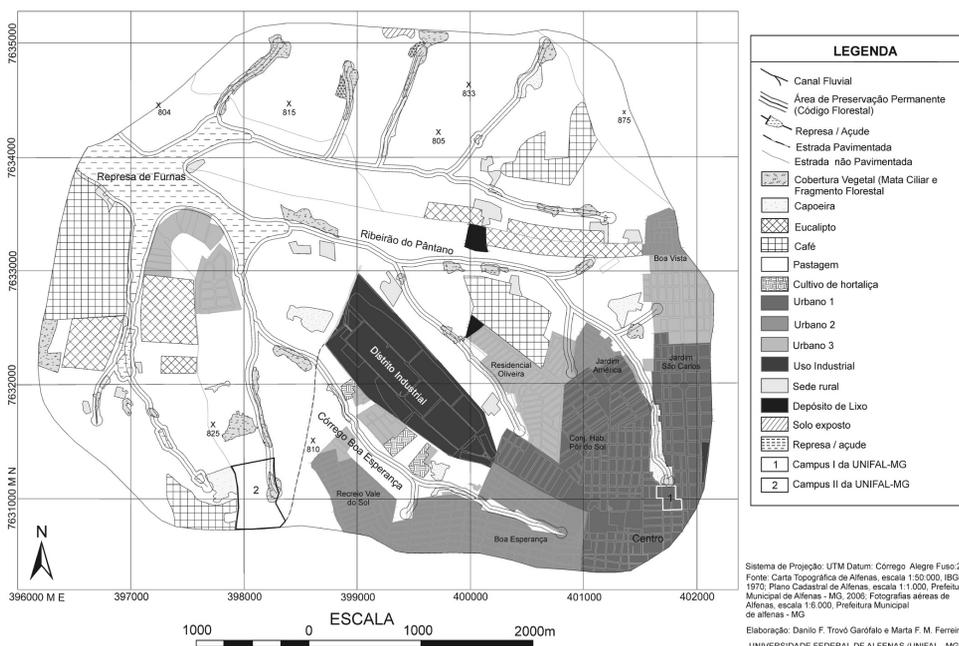


Figura 8 - Mapa de uso do solo da bacia do ribeirão do Pântano, Alfenas - MG, em 2010

A categoria de uso *Urbano 2*, formada pelo uso residencial de classe média a baixa, abrange área de 146,8 ha, ou 6,38% da bacia (Figura 7A). Ocupa todo perfil da vertente esquerda do córrego Boa Esperança nas imediações do bairro de mesmo nome, e estendendo-se, em alguns pontos, até os fundos de vales.

Nesta categoria é observada também, grande quantidade de lotes vazios, sendo estes, em muitos casos, utilizados para a deposição de materiais úrbicos (detritos de construção civil) e gárbicos (material detrítico com lixo orgânico, de origem humana). O alto curso do córrego Boa Esperança (tributário do ribeirão do Pântano) foi canalizado, incluindo a nascente, não apresentando APP preservada (Figura 8). Observam-se duas áreas com ocorrência de movimentos de massa do tipo rotacional, na margem direita deste mesmo ribeirão (Figura 3). Embora haja um grande número de lotes vazios, a área impermeabilizada reduz a recarga dos reservatórios subterrâneos e gera maior quantidade de escoamento superficial, aumentando o volume de água nos córregos durante as chuvas.

A categoria de uso *Urbano 3*, composta por áreas de expansão urbana com grandes vazios, ocupa área de 145,8 ha, ou 6,35% da bacia (Figura 8). Estão incluídos nesta categoria os seguintes bairros: sul do Boa Vista, norte do Jardim São Carlos, Residencial Oliveira, norte do Recreio Vale do Sol, lotes próximos ao distrito industrial. Em alguns pontos esta categoria de uso urbano ocupa, de forma inadequada, o leito maior dos córregos – locais que, além do risco de enchente, apresentam características geotécnicas impróprias a edificações.

As áreas edificadas da zona rural foram classificadas como *sede rural*, categoria que ocupa área pouco significativa (20,1 ha ou 0,88% da área da bacia). De acordo com a delimitação das áreas de preservação permanente da bacia do ribeirão do Pântano (Figura 8), observam-se no setor oeste, algumas áreas de APP ocupadas por sedes rurais, tanto às margens do reservatório da UHE de Furnas, quanto às margens dos córregos.

O distrito industrial de Alfenas está localizado na porção central desta bacia (Figura 8) instalado sobre relevo de colinas, em áreas de topos suavizados. A área do distrito industrial foi classificada como *Uso Industrial*. Esta categoria ocupa 107,1 ha. (4,65% da área da bacia). É uma forma de ocupação potencialmente poluidora e de alto impacto ambiental, pois nem todas as indústrias aí instaladas possuem políticas e práticas ambientalmente corretas, além de lançarem seus efluentes diretamente nos córregos. Por apresentar estrutura de escoamento pluvial deficiente, a região do distrito industrial apresenta ravina em estágio avançado, em lote com solo exposto, onde a água escoava diretamente para o ribeirão do Pântano, acarretando no assoreamento do mesmo (Figura 3).

A categoria *depósitos de lixo* ocupa apenas 5,4 ha ou 0,23% da bacia. Esta categoria de uso é representada por duas áreas utilizadas para deposição de materiais úrbicos e gárbicos: uma já desativada próxima ao bairro Residencial Oliveira, e outra, ainda em uso, no setor norte da bacia (Figuras 3 e 8). Nesta área é depositada grande parte do lixo urbano. Todavia, este depósito de lixo não conta com obras de engenharia convencionais para estes casos, tais como, corte de talude, impermeabilização do solo com lona, compactação após cada camada de lixo, e canaletas coletoras de chorume e escape de gases. O solo da área onde está o depósito é o latossolo vermelho-amarelo arenoso, de granulometria média, o que favorece a infiltração do chorume e a conseqüente poluição do lençol freático. Observações realizadas em campo comprovam que, quando o solo está saturado pela água, o chorume escoava juntamente com as águas pluviais e atinge o ribeirão do Pântano.

Os cultivos mais importantes desenvolvidos na área rural da bacia são: pastagem, café, silvicultura de eucalipto e horticulturas. A *pastagem* ocupa área de 1.308,6 ha ou 56,8% da bacia. Ocorre desde o topo das colinas e se estende até as planícies, onde ocupa 77,76% das áreas de preservação permanente (Figura 8). Os solos são espessos e apresentam grau de alteração profundo, sendo frequente a presença de terracetes ao longo das vertentes das colinas, onde foram identificados processos de rastejo.

Outro processo morfodinâmico encontrado nas áreas de pastagem é a ravina em estágio avançado, principalmente nas proximidades do Campus II da Unifal-MG (Figuras 3 e 8). Esta se iniciou após a construção de uma estrada vicinal interligando o Distrito Industrial de Alfenas com a BR-491. Esta estrada foi instalada na média encosta da colina, perpendicular à inclinação desta. Para conter a água escoada do topo da colina para a BR-491, foi feita uma galeria sob esta, na qual toda água escoada se concentrou em um só ponto, sendo lançada vertente abaixo sem nenhuma estrutura pluvial. Isto acarretou um escoamento concentrado, originando a ravina, além de assorear um dos afluentes do ribeirão do Pântano.

O cultivo de *café* totaliza 146 ha, equivalendo a 6,35% da área da bacia, e se distribui nas áreas de topo e média encosta (Figuras 7A e 8). Este tipo de cultivo deixa grande parte do solo exposto, propiciando tanto a ocorrência de escoamento superficial difuso quanto o escoamento concentrado, podendo acarretar erosões em lençol e/ou concentrada. Algumas propriedades já estão adotando práticas de conservação do solo de caráter vegetativo (cobertura morta e cobertura vegetal, com o objetivo de evitar o impacto das gotas da chuva), edáfico (calagem e adubação mineral, com o objetivo de manter ou melhorar as condições de fertilidade do solo) e mecânico (terraceamento, plantio em contorno e canais escoadouros).

A *silvicultura de eucalipto* é um cultivo recente nesta região, mas já ocupa área de 86,2 ha, o equivalente a 3,75% da área da bacia (Figuras 7A e 8). Observa-se a ocorrência de sulcos nas áreas de plantio de eucalipto no setor oeste da bacia. Por deixar o solo desprotegido enquanto o cultivo é recente, intensifica-se o escoamento superficial concentrado, dando origem a sulcos erosivos (Figura 3).

O cultivo de *hortaliças* pode ser observado no setor centro-sul da bacia (Figura 8), sendo desenvolvido na média encosta e próximo às margens do córrego da Boa Esperança. A horticultura ocupa uma área de 7,8 ha (0,34% da área da bacia). O maior problema deste cultivo é o uso da água do ribeirão para irrigação, – que recebe esgoto das áreas à montante – haja vista que as hortaliças aí produzidas são comercializadas nas feiras livres de Alfenas.

Apenas 2,33% (56,6 ha) da área da bacia são ocupadas por *fragmentos florestais* e alguns trechos de *matas ciliares* (Figuras 7A e 8). As *capoeiras* ocupam área de 34,71 ha (1,5%). Estas áreas ainda preservadas estão relacionadas, em muitos casos, à exigência de preservação das APP's e área de Reserva Legal (20% da área das propriedades rurais).

Outro tipo de uso mapeado na bacia é o *solo exposto*, observado no setor norte da bacia, em área de topo (Figura 8). Esta área, que ocupa 3,3 ha, foi utilizada anteriormente para retirada de cascalho e hoje se encontra abandonada e degradada.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho corroboram com estudos realizados por Balatka e Sladek (1967), quando afirmam que “o mapeamento morfodinâmico tanto resolve uma série de problemas geomorfológicos práticos como evita a ocorrência destes, principalmente através da indicação de áreas favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento das atividades humanas”.

O maior problema na bacia do Ribeirão do Pântano está na rede de água pluvial, no destino final do esgoto e do lixo e na falta de conservação das matas ciliares ao longo dos cursos fluviais. Os depósitos tecnogênicos, representados pelos materiais úrbicos e gárbicos, são encontrados em trechos pontuais dos tributários e do ribeirão do Pântano. Comumente

estes materiais acham-se sobre as planícies fluviais, contribuindo com as inundações. O esgoto é lançado sem tratamento no ribeirão do Pântano e o lixo coletado, incluindo aquele proveniente do restante da cidade, é despejado em um aterro localizado na encosta norte da bacia do Pântano.

A drenagem urbana não é adequada, principalmente na área central, que não possui a rede pluvial em todas as vias, acarretando problemas nos períodos de chuva intensa. Por não haver uma mata ciliar conservada, toda água pluvial escoar diretamente para os corpos d'água, ocasionando uma erosão acelerada de suas margens e assoreamento dos mesmos.

Após análise dos diversos mapas elaborados para a bacia do ribeirão do Pântano, são feitas as seguintes recomendações:

- O reflorestamento é indicado na maioria das áreas marginais aos cursos d'água, como forma de recuperação da mata ciliar e contenção do processo erosivo. A vegetação promove maior infiltração das águas da chuva e protege a camada superficial do solo da ocorrência do escoamento concentrado;
- Construção de galerias pluviais em áreas com ocorrências de ravinas. A água pluvial escoar acompanhando a declividade do terreno, e nesse trajeto, abre sulcos, que rapidamente se transformam em ravinas, que podem evoluir para voçorocas. A construção de galerias pluviais em áreas sujeita a processos erosivos é prioritária, para disciplinar o caminho das águas;
- Nas áreas rurais ou periurbanas, a construção de curvas de nível é imprescindível como forma de se evitar o fluxo concentrado da água superficial, evitando possíveis processos erosivos;
- Construção de aterro sanitário em área adequada e recuperação ambiental dos atuais depósitos de lixo;
- Recuperação das obras de retificação e retilinização do ribeirão do Pântano;
- Tratamento do esgoto lançado nos córregos e rios.

REFERÊNCIAS

ALAGO. **Plano Diretor de Alfenas**. Leitura Técnica e Leitura Comunitária. Alfenas: ALAGO, 2006.

BALATKA, B.; SLADEK, J. Problem of the conception of the detailed geomorphological map. In: DEMEK, J. (Ed.). **Proceedings of the meeting of the IGU-comission on applied geomorphology, sub-comission on geomorphology mapping**. Progress made in geomorphological mapping. Breno and Bratislava, 1967, p.63 – 72.

CASANELLAS, P. J.; REGUERÍN, L. A. M.; ROQUERO, L. C. **Edafología**: para La agricultura y El médio ambiente. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CUNHA, C. M. L., MENDES, I. A., e SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 1, p. 1-9, 2003.

DEMEK, J. Generalization of Geomorphological Maps. In: **Proceedings of the meeting of the IGU-comission on applied geomorphology, sub-comission on geomorphology mapping**. Progress made in geomorphological mapping. Breno and Bratislava, p. 63 – 72, 1967.

ESRI INSTITUTE – **ArcGIS 10**. San Diego: ESRI, 2009.

- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL. M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006, 192p.
- LEGISLAÇÃO AMBIENTAL FEDERAL. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/federal01.htm>>
- LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.
- LIMA, W. P.; ZAKIA, M.J.B. **Hidrologia de Matas Ciliares**. Piracicaba, IPEF: 2001.
- MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.) **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1999.
- MORING, J.R.; GARMAN, G.C.; MULLEN, D.M. The value of riparian zones for protecting aquatic systems: general concerns and recent studies. in Maine. Riparian Ecosystem and their Management. **USDA Forest Service, Gen. Tech. Report RM-120**, p. 315-319, 1985.
- NIR, D. **Man, a geomorphological agent**. Jerusalem: Keter Publishing House, 1983.
- PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 28, p. 297-305, 2004.
- R2V SERVICES – **R2V**: advanced raster to vector conversion software. Oklahoma City: R2V LLC, 2008.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da toxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo. n. 6, p. 17-29, 1992.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.
- ROSS, J.L.S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da. (Org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p.291-334.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc. Am.**, n. 63, p.111-1141, 1952.
- TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- VERSTAPPEN, H. Th.; VAN ZUIDAN, R.A. - **ITC System of Geomorphological Survey**. Dutchland. Enschede Textbook ITC, 49p., 1975.
- WICE – World Institute for Conservation and Environment - **ILWIS 3.6**. www.52north.org, 2009.

Recebido em abril de 2012

Revisado em julho de 2012

Aceito em agosto de 2012

