

LILIANA DE LA PIEDRA CORRÊA

**“ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO
DE ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA VISANDO O CONTROLE
DE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE
UBERABA - MG”**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2003

LILIANA DE LA PIEDRA CORRÊA

**“ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO
DE ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA VISANDO O CONTROLE
DE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE
UBERABA - MG”**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção
do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 21 de julho de 2003.

Prof. Liovando Marciano da Costa
(Conselheiro)

Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques
(Conselheiro)

Prof^a. Maria do Carmo Calijuri

Prof^a. Izabel Christina d’Almeida
Duarte de Azevedo

Prof^a. Maria Lúcia Calijuri
(Orientadora)

À minha família:

Willy

Celina

Gustavo e Aline

Andrea e Gustavinho

Natalice e Leila

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Willy Gustavo, pela ajuda efetiva na reunião e coleta dos dados e pelo apoio em todos os momentos, em todos os sentidos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Maria Lúcia Calijuri, pela orientação, incentivo e amizade.

Ao Professor Liovando Marciano da Costa, exemplo de ser humano e de profissional, cujas sugestões tornaram possível a realização desse trabalho.

Ao Professor Eduardo Marques, pelas sugestões e aconselhamento.

Aos integrantes do Núcleo de Geoprocessamento da Universidade de Uberaba nas pessoas do Professor Márcio e do estudante Leonardo Assis.

À Juliana, Ligiane, Anderson, Pedro e demais integrantes do Núcleo Sigeo, pelas dúvidas esclarecidas e pelo auxílio técnico.

Ao amigo Carlos Divino Luiz Guimarães, pela ajuda inestimável.

Ao Engenheiro Osmar Ribeiro Moraes, pelos esclarecimentos e por ceder gentilmente grande parte do material utilizado neste trabalho.

À minha mãe, Celina, pelo amor, carinho e compreensão em todos os momentos.

A todos os meus amigos.

Ao Flávio, pelo carinho, paciência e compreensão.

Ao Magoo, companheiro de todas as horas.

Ao meu irmão Gustavo e à Andrea, pelo incentivo, carinho e apoio.

BIOGRAFIA

LILIANA DE LA PIEDRA, filha de Willy Gustavo De La Piedra Mesones e Celina Corrêa De La Piedra, nasceu em 10 de janeiro de 1977, na cidade de Volta Grande (MG).

Em março de 2001, graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG).

Em março de 2001, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG).

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
EXTRATO.....	viii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. Objetivos.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Desenvolvimento urbano.....	5
2.1.1. Surgimento das cidades.....	5
2.1.2. Planejamento urbano.....	6
2.1.3 Plano Diretor.....	6
2.2. Matas ciliares	9
2.3. Bacias hidrográficas.....	10
2.4. Inundações nas áreas urbanas	12
2.4.1. Escoamento superficial.....	13
2.4.2. Fatores que interferem no escoamento superficial.....	14
2.4.3. Causas e conseqüências das enchentes urbanas.....	14
2.5. Geoprocessamento e suporte à decisão.....	18
2.5.1. Análise Multi-Critério	20

2.5.2. Métodos multicritério de apoio à decisão.....	21
2.5.2.1. Utilidade multiatributo.....	22
2.5.2.2.AHP.....	22
2.5.3. Avaliação multi-critério em ambiente SIG.....	24
2.5.3.1.Análise booleana.....	25
2.5.3.2. Média Ponderada.....	25
2.5.3.3. A Lógica Fuzzy.....	28
2.6. Sensoriamento Remoto.....	29
2.6.1. Processamento de imagens digitais.....	30
2.6.2.Classificação de imagens.....	30
2.6.2.1. Classificação supervisionada.....	30
2.6.2.2. Classificação não-supervisionada.....	31
3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
3.1. Localização e extensão territorial.....	32
3.2. Aspectos fisiográficos.....	33
3.2.1. Clima.....	33
3.2.2. Relevo e geomorfologia.....	33
3.2.3.Classe de solos.....	34
3.2.4. Geologia.....	37
3.2.5. Hidrografia.....	40
3.2.6. Pluviosidade.....	44
3.2.7. Ventos.....	45
3.2.8.Vegetação.....	45
3.3. Aspectos urbanos.....	46
3.3.1. Evolução da ocupação urbana.....	46
3.3.2. Drenagem urbana.....	48
3.3.3. Histórico das inundações.....	49
3.3.4.Captação de águas.....	52
3.4. Uso do solo.....	54
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
4.1. Descrição dos materiais.....	56

4.1.1. Informações analógicas e digitais.....	56
4.1.2. Equipamentos.....	57
4.1.3. Softwares.....	57
4.2. Métodos.....	58
4.2.1. Coleta de dados.....	58
4.2.1.1. Coleta de dados de campo.....	58
4.2.1.2. Coleta de dados analógicos e digitais.....	59
4.3. Tratamento dos dados digitais.....	59
4.3.1 Georeferenciamento.....	59
4.3.2. Padronização dos dados digitais.....	61
4.3.3. Classificação da imagem orbital.....	61
4.3.4. Conversão de dados analógicos para o formato digital.....	64
4.4. Análises Espaciais.....	64
4.4.1. Restrições.....	65
4.4.2. Fatores.....	65
4.4.3. Processo de análise.....	66
4.4.4. Descrição dos fatores.....	67
4.4.5. Agregação dos fatores de 2º nível.....	75
4.4.6. Agregação dos fatores de 1º nível.....	80
4.4.7. Cenários finais.....	81
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
5.1. Ensaio de campo.....	85
5.2. Aspectos de uso e ocupação do solo.....	89
5.2.1. Posição relativa das ruas e taxa de impermeabilização.....	89
5.2.2. Aspectos agropecuários.....	91
5.2.2.1. Taxa de ocupação do rebanho bovino.....	91
5.2.2.2. Aspectos agrícolas.....	92
5.3. Principais problemas observados.....	93
5.4. Seleção de áreas.....	94
6. RESUMO E CONCLUSÕES.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas ...	12
Tabela 2 Escala fundamental de Saaty.....	24
Tabela 3 Coordenadas geográficas da área estudada.....	32
Tabela 4 Temperaturas médias do município de Uberaba no período de 1970 a 2000.....	33
Tabela 5 Formas de relevo e altitudes do município de Uberaba.....	34
Tabela 6 Cursos d'água que formam a bacia do Córrego das Lajes.....	43
Tabela 7 Índice Pluviométrico Médio no período entre 1990 e 2000.....	44
Tabela 8 Canalização fechada no centro urbano do município.....	49
Tabela 9 Características das inundações mais expressivas da última década do século XX.....	51
Tabela 10 Uso do solo.....	55
Tabela 11 Número de amostras de treinamento.....	62
Tabela 12 Fatores utilizados nas análises espaciais.....	66
Tabela 13 Classificação de critérios em níveis de análise.....	66
Tabela 14 Pontos de controle da função linear simétrica para declividade..	69

Tabela 15	Valores de adequabilidade para as formações geológicas.....	72
Tabela 16	Pontos de controle da função sigmoidal simétrica para o fator distância da água.....	73
Tabela 17	Valores de adequabilidade para os fatores sócio-econômicos.....	73
Tabela 18	Pontos de controle para a função J-shaped decrescente, que rege o fator distância das rodovias.....	74
Tabela 19	Adequabilidades atribuídas ao fator distância das ferrovias.....	75
Tabela 20	Pontos de controle para a função linear monotônica decrescente que rege a adequabilidade do fator distância das áreas urbanizadas.....	75
Tabela 21	Importância relativa entre os fatores técnico-ambientais.....	76
Tabela 22	Importância relativa entre os fatores operacionais.....	77
Tabela 23	Importância relativa entre os fatores de 1º nível.....	80
Tabela 24	Resumo dos cenários finais propostos.....	82
Tabela 25	Resistência à penetração ao longo do Ribeirão Lajeado.....	86
Tabela 26	Resistência à penetração ao longo do Rio Uberaba.....	87
Tabela 27	Resistência à penetração: valores médios.....	88
Tabela 28	Altitudes dos pontos amostrais.....	88
Tabela 29	Valor da u.a de acordo com a faixa etária do animal.....	91
Tabela 30	Número de animais e de unidades animais equivalente por faixa etária no município de Uberaba.....	92
Tabela 31	Taxa de mecanização agrícola das principais culturas no município de Uberaba e distribuição dessas culturas por área....	93
Tabela 32	Identificadores atribuídos a cada faixa de área.....	95

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Bacia hidrográfica.....	11
Figura 2 Ciclo hidrológico.....	13
Figura 3 Diagrama de Venn para a fronteira de um conjunto <i>Fuzzy</i> (A) e de um conjunto <i>Booleano</i> (B).....	25
Figura 4 Espaço estratégico de decisão (OWA).....	28
Figura 5 Funções de pertinência <i>Fuzzy</i>	29
Figura 6 Município de Uberaba.....	32
Figura 7 Classes de solos da área de estudo.....	36
Figura 8 Geologia da área de estudo.....	39
Figura 9 Características da Bacia do Córrego das Lajes.....	41
Figura 10 Hidrografia da Bacia do Córrego das Lajes.....	41
Figura 11 Localização geográfica da Bacia do Córrego das Lajes.....	42
Figura 12 Evolução da ocupação urbana no município de Uberaba.....	47
Figura 13 Sobreposição das manchas urbanas ao longo do tempo.....	48
Figura 14 Configuração dos canais.....	48
Figura 15 Bacia do Rio Uberaba.....	54
Figura 16 Malha urbana.....	60

Figura 17	Fluxograma de agregação de critérios.....	67
Figura 18	Funções do conjunto <i>Fuzzy</i>	68
Figura 19	Modelo Digital de Terreno (MDT).....	70
Figura 20	Classes de declividade.....	71
Figura 21	Fatores de agregação.....	79
Figura 22	Cenários finais.....	83
Figura 23	Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão.....	84
Figura 24	Modelo de sombreamento do terreno.....	90
Figura 25	Propostas de ocupação 1 e 2.....	96
Figura 26	Propostas de ocupação 3 e 4.....	97
Figura 27	Propostas de ocupação 5 e 6.....	98

EXTRATO

CORRÊA, Liliana De La Piedra , M. S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2003. **ANÁLISE ESTRATÉGICA DE DECISÃO APLICADA À SELEÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA VISANDO O CONTROLE DE INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE UBERABA.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Conselheiros: Eduardo Antônio Gomes Marques, Liovando Marciano da Costa.

O município de Uberaba se desenvolveu a partir de um núcleo central inicial às margens do Córrego das Lajes, afluente à margem esquerda do Rio Uberaba. O desenvolvimento do município ocorreu basicamente sobre a bacia do Córrego das Lajes, ocupando-a quase na sua totalidade. A consequência direta foi uma alta taxa de impermeabilização, causada principalmente pela degradação da mata ciliar nativa e sua substituição por ruas e edificações, além da canalização dos cursos d'água originais, gerando uma situação atípica de enchentes no centro urbano da cidade. Esse trabalho tem por finalidade propor áreas de expansão urbana que não agravem o problema das inundações recorrentes no centro da cidade. Para isso, foram coletados dados analógicos e digitais, executados ensaios de resistência à penetração em diferentes

substratos geológicos para estimar a compactação do solo. Os dados no formato analógico foram convertidos para o formato digital em mesa digitalizadora. As informações disponíveis foram analisadas e classificadas como fatores ou restrições para o processo de agregação denominado Análise Multi-critério, através da qual foram gerados os cenários finais para tomada de decisão. A partir dos cenários finais, foram feitas 6 propostas de ocupação, a partir de critérios de adequabilidade e áreas mínimas. A escolha da melhor alternativa entre as propostas, depende de informações complementares aos resultados obtidos.

ABSTRACT

CORRÊA, Liliana De La Piedra, M. S., Federal University of Viçosa, July of 2003. **STRATEGIC ANALYSIS OF APPLIED DECISION TO THE SELECTION OF AREAS FOR URBAN EXPANSION FOR THE CONTROL OF FLOODS IN THE URBAN AREA OF THE MUNICIPAL DISTRICT OF UBERABA.** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Committee members : Eduardo Antônio Gomes Marques, Liovando Marciano da Costa.

The municipal district of Uberaba has developed from an initial central nucleus at the margins of Córrego das Lages River, affluent at the left margin of Uberaba River. The development of the municipal district happened basically on the Córrego das Lages basin, occupying the basin in its totality. The direct consequence was a high impermeabilization tax, caused mainly by the degradation of the native ciliary forest and its substitution by streets and constructions, besides the canalization of the original courses of water, generating an atypical situation of inundations in the urban center of the city. This work proposes the obtention of urban expansion areas that don't aggravate the floods recurrences in the urban area of the city. For that, analogical and digital data were collected, executed resistance assays to the

penetration in different geological substrata to estimate the compacting of the soil. The data in the analogical format were converted for the digital format in digitizing tablet. The available information were analyzed and classified as factors or restrictions for the aggregation process denominated Multi-Criteria Evaluation, through which the final scenarios were generated for support of decision. Starting from the final scenarios, 6 proposals of occupation were made, starting from suitable criteria and minimum areas. The choice of the best alternative among the proposals, depends on additional information to the obtained results.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

O desenvolvimento urbano se processa de acordo com uma de duas diretrizes básicas: a partir de um núcleo central, definido segundo condicionantes físicas, ou a partir da expansão de outros núcleos, em áreas antes destinadas à agricultura ou outros fins.

No município de Uberaba, o desenvolvimento se deu a partir de um núcleo central inicial, à margem esquerda do Rio Uberaba e às margens do Córrego das Lajes, e daí para as áreas periféricas.

O município, fundado em 1898, teve sua economia baseada na pecuária até a primeira metade do século XX. Apenas em 1970 deu-se um impulso à industrialização, com a criação dos Distritos Industriais, e a primeira consequência direta foi o grande êxodo rural e a migração que elevou a população de 108.576 habitantes nesse ano para 199.203 em 1980 perfazendo um aumento populacional de 83,5% em apenas 10 anos.

Um crescimento populacional desse porte em um reduzido intervalo de tempo, leva a problemas de infra-estrutura e de uso inadequado do solo. De 1980 a 1991, houve um decréscimo na taxa de crescimento populacional, que

foi de apenas 6% , passando a 211.824 habitantes, reflexo da conjuntura econômica da década.

Com a retomada do crescimento observada nos últimos dez anos, essa taxa voltou a aumentar, chegando a 18%, segundo o censo de 2000, que constatou haver naquela data cerca de 252051 habitantes.

Como o desenvolvimento ocorreu basicamente sobre a bacia do Córrego das Lajes, ocupando-a quase na sua totalidade, a consequência direta foi uma alta taxa de impermeabilização, causada principalmente pela degradação da mata ciliar nativa e sua substituição por ruas e edificações, além da canalização dos cursos d'água originais, gerando uma situação atípica de enchentes no centro urbano da cidade.

A canalização fechada foi a solução conjunta encontrada nos anos 70 para os problemas de trânsito e de saneamento básico, possibilitando a criação das largas avenidas centrais. Entretanto, tais avenidas se encontram sobre antigos talvegues, dentro da zona de risco de enchentes. A própria forma da bacia do Córrego das Lajes favorece a concentração das águas nas junções intermediárias, aumentando o pico das águas pluviais em chuvas torrenciais de curta duração.

Não há registro de vítimas fatais, não obstante a preocupação da população das vias centrais, o que pode ser observado nas ações de efeito paliativo, como a implantação de barreiras na entrada de muitos estabelecimentos comerciais e outras medidas não-estruturais como esticar cabos de aço ao longo das avenidas a fim de reter veículos durante as inundações. Considerando os danos causados no passado, é natural essa reação. No entanto, o local continua sendo ocupado e os melhoramentos executados.

O planejamento do uso e ocupação do solo pode evitar o agravamento desse problema e, aliado a medidas mitigadoras pode contribuir na melhoria da qualidade de vida e tranquilidade da população em relação às inundações.

A municipalidade vem tentando solucioná-lo mediante construção e ampliação de galerias para escoamento das águas pluviais e mais

recentemente, no projeto de “piscinões”, que são coletores estrategicamente posicionados.

Os planos municipais de desenvolvimento necessitam incorporar planejamento para a área urbana e rural. Além de orientar investimentos locais, precisam adequar os processos de desenvolvimento do município a políticas de nível nacional e regional. Por estas razões, as autoridades locais são as principais responsáveis pelo desenvolvimento futuro de sua comunidade. Representam a principal fonte indutora de um comportamento orientado para a preservação ambiental, porque detêm a responsabilidade local, direta e indireta de intervenção.

A falta de monitoramento do crescimento do município é um dos grandes obstáculos à ação das prefeituras. Os cadastros desatualizados defasam a arrecadação de impostos, as áreas de preservação são ocupadas, e as cidades começam a apresentar uma ocupação desordenada. O crescimento urbano deveria ser constantemente monitorado e avaliado para viabilizar a interferência de forma preventiva.

A necessidade de conhecimento detalhado e atualizado sobre o ambiente cresce de forma quase geométrica, pois para isso contribuem não só o aumento da população e da conseqüente pressão de ocupação do solo, como também as decorrentes necessidades de investimentos em infra-estrutura, gestão ambiental e outras funções do setor público e privado. Ao mesmo tempo, investe-se muito pouco no sentido de se alcançar um registro de qualidade sobre as relações estabelecidas nesse ambiente (REZENDE, 1982).

Possuir um conjunto de dados e informações detalhando as características e potencialidades do território do município em seu contexto geográfico, econômico e social possibilita elaborar proposições objetivas de intervenção no sistema atual de uso da base dos recursos.

A utilização do computador permite o processamento e armazenamento de um grande volume de dados, permitindo o uso de maior quantidade de informações na tomada de decisões. Os Sistemas de Informação Geográfica aparecem então como uma ferramenta para implementar a integração das

diversas áreas de atuação. Esses sistemas permitem a distribuição e a atualização de informações geográficas, além de consultas, análise e cruzamento de dados, utilizando imagens *raster* e mapas vetoriais com associação a banco de dados (CÂMARA et al. 1996).

Utilizando rotinas de apoio à decisão em Sistemas de Informações Geográficas, é possível a execução de análises mais complexas, o que tem mostrado ser de grande auxílio em análises de viabilidade e aptidão como a que se pretende proceder.

1.2. Objetivos

Identificar áreas aptas à expansão urbana no município de Uberaba.

Espera-se com isso contribuir para minimizar a ocorrência de enchentes na área urbana do município.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Desenvolvimento urbano

2.1.1. Surgimento das cidades

BONET CORREA (1989) define cidade como sendo uma artificialização das condições naturais de um território. As cidades surgiram quando a evolução das técnicas agrícolas permitiu que os povos nômades abandonassem esse modo de vida.

Ao fixar-se em um determinado local, o homem luta contra as condições adversas da natureza, aproveitando o que ela oferece de positivo.

O crescimento de uma cidade se dá por razões de ordem econômica e social, podendo ser observado no tocante ao perímetro urbano, à densidade populacional e em alterações nas áreas já consolidadas. Esse crescimento pode se dar em linha reta, em direção a um pólo, ou na forma de uma mancha de óleo.

Em geral, a forma de uma cidade é determinada pelas condições naturais, podendo ser radioconcêntricas ou de planta ortogonal, que pode ser espontânea ou fruto de um planejamento.

2.1.2. Planejamento urbano

Entende-se como planejamento urbano o conjunto de ações visando atender as necessidades e a resolver os problemas de uma cidade com o objetivo de proporcionar uma melhor qualidade de vida para a sua população. Trata-se de um processo dinâmico que envolve os aspectos econômicos, sociais, físicos e ambientais.

Historicamente, a preocupação em relação ao planejamento urbano, estava centrada na dicotomia espaço urbano versus espaço rural e aos processos de industrialização.

Mais recentemente incorporou-se o enfoque ambiental, englobando temas como esgotamento sanitário, resíduos sólidos, qualidade da água e poluição como prioridades de ação da problemática urbana..

A análise da urbanização encontra-se estreitamente relacionada à problemática do desenvolvimento, o qual resulta de transformações estruturais que, por sua vez, são consequência de movimentos de recursos técnicos, materiais e humanos de uma sociedade. Nessa perspectiva, a paisagem urbana sofre uma evolução, em ritmos distintos, estabelecendo contornos e organizando a paisagem física.

BEZERRA (2002) afirma que a dimensão ambiental da análise urbana extrapolou o enfoque sanitário, outrora bastante utilizado.

Na perspectiva da abordagem urbano/ambiental, a requalificação, o controle e a manutenção dos espaços públicos são objetos da gestão ambiental do território urbano, de modo que os ativos naturais, como a praia, os rios e a cobertura vegetal, sejam encarados como um patrimônio da sociedade e, portanto, preservados para serem desfrutados pelas gerações atuais e futuras.

O planejamento urbano passa pela elaboração de um plano diretor municipal, partindo de um diagnóstico do meio físico, meio biótico e dos aspectos socioeconômicos da cidade.

2.1.3. Plano Diretor

Um Plano Diretor tem como objetivo coordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, sendo obrigatório em toda cidade com mais de 20.000 habitantes devendo ser elaborado pela municipalidade com discussão e participação da comunidade.

Um plano diretor é composto por leis básicas, versando sobre o disciplinamento dos usos do solo (zoneamento), parcelamento do solo urbano, sistema viário, código de obras e código de postura.

A distribuição dos usos do solo em uma cidade deve considerar: as características do meio físico, os aspectos geológico-geotécnicos, a qualidade ambiental existente, a capacidade do meio de dispersar e depurar poluentes, a posição das atividades poluidoras em relação aos usos mais sensíveis, a importância do meio, do ponto de vista ecológico, paisagístico ou histórico-cultural, a infra-estrutura sanitária existente ou projetada, além de aspectos sociais, econômicos, políticos e relacionamento das características ambientais.

As diretrizes que regem a expansão urbana devem considerar os aspectos geotécnicos e condições geológicas das áreas, de forma a minimizar os riscos, como processos de deslizamento de terra e inundações.

Ensaio geotécnicos de campo permitem visualizar “*in loco*” atributos que avaliam o comportamento geotécnico das litologias e a relação solo/rocha com as variáveis hidrológicas (GIUSTI & NADAL, 2000).

Para OLIVEIRA (1998), a adequabilidade para ocupação urbana de um terreno deve levar em consideração os seguintes atributos geotécnicos:

- (a) Susceptibilidade à erosão;
- (b) Susceptibilidade à inundações;
- (c) Movimentos de massa;
- (d) Queda de blocos;
- (e) Poluição de aquíferos;

- (f) Possibilidade de recalques em fundações;
- (g) Colapso e acomodação de camadas de solo;
- (h) Instabilidade de cortes, taludes e aterros.

Dentre os aspectos ambientais relativos ao zoneamento urbano em um Plano Diretor municipal, devem ser observados:

(a) Localização de distritos industriais de tal modo que a direção dos ventos predominantes não seja dos mesmos para a cidade.

(b) Definição, como áreas de preservação, para os terrenos situados às margens de recursos hídricos ou que tenham grande declividade.

(c) Definição de usos com baixa taxa de ocupação em áreas de recarga de aquíferos, em terrenos com declividade média, ou adjacentes às faixas de proteção dos recursos hídricos.

(d) Estabelecimento do uso do solo em função da infra-estrutura sanitária existente ou projetada.

(e) Nas áreas onde há infra-estrutura sanitária, as densidades populacionais devem ser definidas em função das capacidades dos sistemas de água e esgotos.

(f) Áreas de valor ecológico devem ser destinadas à preservação permanente.

(g) a localização de um aeroporto e de suas atividades de apoio deve considerar os impactos sobre usos sensíveis, tais como os residenciais, escolas, hospitais.

(h) Na definição de áreas livres, destinadas a parques e outros equipamentos de lazer, devem ser escolhidos locais onde a proteção das condições naturais é necessária.

(i) Os caminhos naturais das águas superficiais e as áreas de amortecimento de cheias não devem ser alterados.

(j) Devem ser previstas barreiras naturais (vegetação, elevações do terreno) ou artificiais (edificações) à propagação de poluente atmosféricos ou sonoros para áreas de usos sensíveis aos mesmos.

Uma série de fatores deve ser considerada na elaboração de um plano diretor municipal no que se refere ao parcelamento do solo a fim de que sejam atingidos os objetivos de sustentabilidade ecológica, cultural e política de uma comunidade.

As características naturais do terreno devem ser observadas, tais como a existência de áreas de risco geológico-geotécnico, a topografia e os caminhos naturais de drenagem das águas pluviais, devendo-se evitar grandes movimentos de terra nas vias públicas, o que pode ser obtido fazendo com que o traçado das vias acompanhe as curvas de nível.

A preservação dos reservatórios de água superficial, de áreas de amortecimento de cheias, de áreas verdes e das margens de recursos hídricos é de extrema importância para evitar enchentes na área urbana, assim como estabelecer limites para a impermeabilização dos terrenos, garantindo a infiltração de água através do estabelecimento de um coeficiente de permeabilidade correspondente ao percentual da área do lote que não pode ser impermeabilizado.

2.2. Matas ciliares

A expressão matas ciliares envolve todos os tipos de vegetação arbórea vinculada à beira dos rios. É um conceito que se confunde com o amplo sentido de matas beiradeiras ou matas de beira-rio. Fitoecologicamente trata-se da vegetação florestal às margens de cursos d'água, independentemente de sua área ou região de ocorrência e de sua composição florística (AB SÁBER, 2000).

Quando se mantém a área de mata ciliar, observa-se o acréscimo da capacidade de armazenamento de água na microbacia, contribuindo para um aumento de vazão na estação seca. A mata ciliar tem ainda, ação direta na manutenção da qualidade da água, pois isola o curso d'água nos terrenos mais elevados, desempenhando uma ação eficaz de filtragem superficial de sedimentos (ALBERT & PATRIC, 1974). O solo sem cobertura ciliar reduz

drasticamente a capacidade de retenção de água pluvial, contribuindo para o agravamento das consequências de enxurradas e enchentes .

De acordo com TUCCI (2001), para pequenos volumes precipitados sobre a mata, toda a água é retida. Para precipitações superiores a 1mm, a retenção pode ser de até 40%.

O Código Florestal, Lei federal 4.771, de 15 de setembro de 1965 define em seu artigo segundo, que as florestas e demais formas de vegetação natural serão consideradas de preservação permanente quando situadas ao longo dos rios, ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios de água, naturais ou artificiais. A faixa mínima de mata ciliar estipulada por lei é de 30 metros para cada margem.

2.3. Bacias hidrográficas

A Agência Nacional de Águas define bacia hidrográfica como a área total ou parcialmente drenada por um ou vários cursos d'água, como o exemplo mostrado na Figura 1.

De acordo com COSTA & LANÇA (2001), trata-se de uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água tal que toda a vazão afluente é descarregada através de uma simples saída.

A bacia é definida, em seu perímetro, por um divisor que separa as águas encaminhando-as para os diversos rios. O divisor segue por uma linha rígida em torno da bacia, unindo os pontos de máxima cota entre bacias, podendo existir no seu interior, picos isolados com cota superior, ou depressões com cota inferior. Podem existir dois divisores, um topográfico, e outro geológico ou freático, determinado pela estrutura geológica dos terrenos.



Figura 1 – Bacia hidrográfica (www.ana.gov.br)

Em geral, as bacias hidrográficas dos grandes rios apresentam a forma de leques ou pêras. As pequenas bacias apresentam vários formatos, que dependem da estrutura geológica da área.

A forma de uma bacia interfere diretamente no seu funcionamento. Bacias circulares têm tendência à enchentes acentuadas, assim como bacias estreitas e longas apresentam menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão. Além disso, a contribuição dos afluentes atinge o rio principal em vários pontos ao longo do mesmo, ao contrário da bacia circular em que a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num ponto só (COSTA & LANÇA, 2001).

Os impactos da urbanização de uma bacia hidrográfica foram descritos por PORTO et al.(2001), que verificaram que as conseqüências que mais interferem na drenagem urbana são as alterações do escoamento superficial.

A Tabela 1, apresentada por PRUSKI & SILVA (1997), relaciona as causas e efeitos decorrentes da urbanização em bacias hidrográficas.

Tabela 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores picos e vazões
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Lixo	Degradação da qualidade da água Entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes Inundação Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos Maiores picos Maiores custos de utilidades públicas

2.4. Inundações nas áreas urbanas

Ao alcançar um curso d'água, as águas das chuvas provocam um aumento de vazão por um determinado período de tempo, esse acréscimo é denominado cheia ou enchente.

Quando a magnitude da enchente ultrapassa a capacidade de descarga da calha do curso d'água e passa a ocupar áreas marginais não habituais, tem-se as chamadas inundações.

Segundo o IPT, nas áreas urbanas podem-se distinguir três principais cenários de risco de enchentes e inundações, a saber:

(a) Inundações em extensas áreas de baixadas densamente povoadas sujeitas à ocorrência de chuvas de alta intensidade;

(b) Enchentes com alta energia de escoamento em sub-bacias de ocupação ribeirinha. São enchentes de alto poder erosivo e ocorrem nas áreas

de topografia acidentada que permitem alta concentração e elevados valores de vazão;

(c) Enchentes com alta carga de material sólido em terrenos de relevo serrano. Devido à presença de muito material sólido nas regiões serranas, o fenômeno adquire alto poder destrutivo.

2.4.1. Escoamento superficial

O escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relativo ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo (PRUSKI & SILVA, 1997). A Figura 2 representa o ciclo hidrológico.

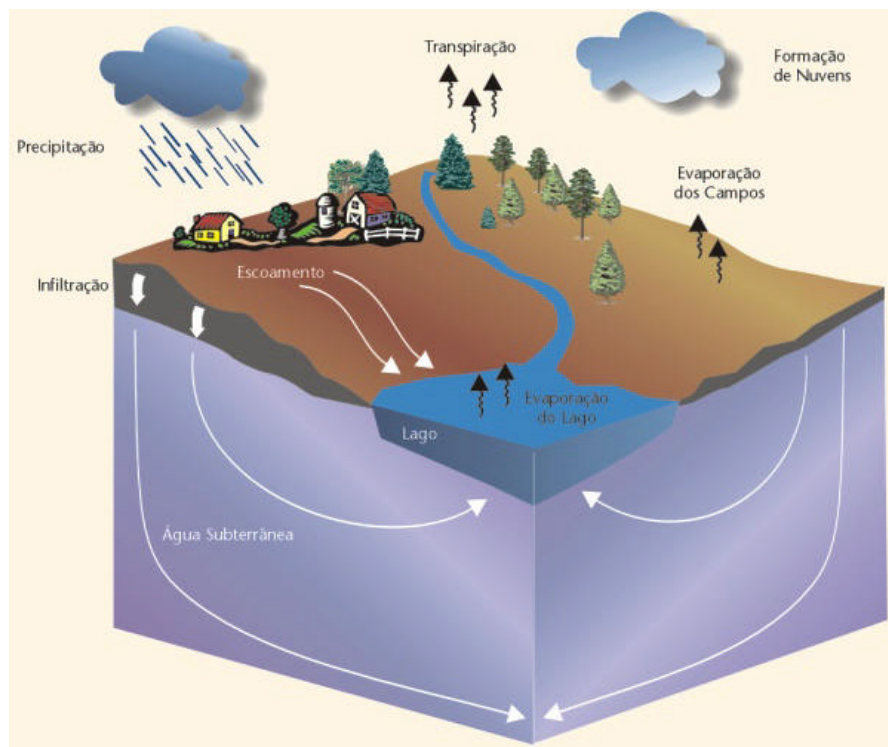


Figura 2 – Ciclo hidrológico(www.igm.pt).

Observa-se que uma parte da água é interceptada pela vegetação. Ao atingir o solo, uma parte é retida pelas depressões do terreno e uma parte infiltra-se no solo até que a capacidade de infiltração seja superada pela intensidade da precipitação, quando então se inicia o escoamento superficial ou deflúvio.

2.4.2. Fatores que interferem no escoamento superficial

Os principais fatores que interferem no escoamento superficial podem ser de três tipos: agroclimáticos, fisiográficos ou antrópicos. Entre os agroclimáticos, os principais são a quantidade, duração e intensidade de precipitação, cobertura e condições de uso do solo e a evapotranspiração. Os aspectos fisiográficos mais relevantes são a área da bacia hidrográfica, sua topografia, geologia, vegetação, capacidade de infiltração e o tipo de rede de drenagem existente.

A ação do homem exerce grande influência no deflúvio, seja pelo uso inadequado do solo, por exemplo o desmatamento, seja pela presença de obras hidráulicas para irrigação ou drenagem, como a canalização e retificação de cursos d'água ou barragens e diques.

De acordo com COSTA & LANÇA (2001), a vazão cresce de montante para jusante à medida que aumenta a área da bacia hidrográfica, entretanto, as vazões sofrem maiores variações quanto menores forem as áreas das bacias. Para bacias pequenas as precipitações geradoras de grandes vazões têm curta duração e grande intensidade, já para as grandes bacias, as precipitações devem ser de maior duração e intensidade menor.

2.4.3. Causas e conseqüências das enchentes urbanas

As chuvas que causam as enchentes são precipitações de grande volume de água em pequeno intervalo de tempo e áreas relativamente pequenas. A ocorrência das enchentes está diretamente relacionada à mudança do regime de chuvas, provocada pelo desmatamento indiscriminado, à poluição atmosférica pelos gases de combustão e também por fenômenos cíclicos como o *El Niño*.

Para OTTONI & OTTONI (2001), um fator cada vez mais relevante, que vem agravando o problema das enchentes é a antropização desordenada

das bacias hidrográficas, alterando os seus mecanismos energéticos e ecológicos de funcionamento, gerando distúrbios como as grandes enchentes que inundam as cidades e acarretam prejuízos diversos às populações como os deslizamentos de terra, erosão, assoreamentos, falta de água para fins de abastecimento e aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica.

Nas áreas urbanas, as principais causas das enchentes são a impermeabilização do solo, a erosão provocada pela retirada das matas ciliares, com conseqüente assoreamento das calhas dos rios e a disposição inadequada do lixo.

As enxurradas torrenciais e os alagamentos são fruto da elevada taxa de impermeabilização do solo urbano, impedindo a infiltração da água e sobrecarregando o sistema de captação. Além disso, a pouca arborização comum nas áreas urbanas concorre para a formação de zonas de baixa pressão, que funcionam como um “ralo” para as nuvens carregadas (PAULA e SILVA, 2001). Alguns hábitos da população também contribuem para a existência de enchentes e enxurradas, como jogar lixo nas ruas, provocando entupimento nos bueiros, e deixar restos de cimento de obras nas calçadas.

A relação entre a impermeabilização do solo e a ocorrência de inundações é bem conhecida, havendo leis sobre o assunto em vários municípios em todo o país, a maior parte versando sobre percentuais do terreno que devem possuir piso drenante para que haja maior infiltração da água da chuva resultando na redução do escoamento superficial, entretanto, essas legislações quase não são cumpridas.

A capital paulista constitui um bom exemplo. Seu Código de obras estipula em 15% a área de terreno que deve ficar permeável, percentual este que deve ser de 30% quando a área for igual ou superior a 500 m². No entanto, existem bairros, especialmente nas áreas centrais, em que a taxa de impermeabilização chega a 95%, o que ajuda a esclarecer a recorrência de enchentes nesse município, não se podendo esquecer que vários bairros são resultado da ocupação de várzeas, ou seja, áreas que já eram inundáveis mesmo antes da ocupação (CAMPANILI, 2002).

No ano de 2002, em Porto Alegre, outra cidade freqüentemente atingida por inundações, foi feita uma proposta de regulamentação para o controle da drenagem urbana tratando principalmente sobre a questão da impermeabilização do solo, cujo diferencial é a estipulação de uma vazão máxima de saída para a rede pública de águas pluviais (20,8 l/s.ha) e não um percentual de área permeável (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2002).

Além da questão da impermeabilização dos solos, outros aspectos estreitamente ligados às inundações são os processos de erosão e assoreamento.

No Brasil, os processos erosivos são predominantemente de origem pluvial, responsável pela desagregação das partículas das camadas de solo que recobrem as rochas e são carregadas pela enxurrada (IPT, 1989).

Ainda segundo o IPT, a erosão pode ser natural ou geológica, quando se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação dos solos; acelerada ou antrópica, quando a velocidade de sua formação/evolução é superior à do solo, não permitindo a recuperação natural.

No caso da erosão antrópica, pode-se ter erosão do tipo laminar, quando provocada por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo; ou linear, quando provocada pela concentração das linhas de fluxo das águas do escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno, caracterizadas pelos sulcos, calhas, ravinas e voçorocas.

O processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente relacionado aos processos erosivos, já que estes fornecem os materiais que, ao serem transportados e depositados, dão origem ao assoreamento.

De acordo com o IPT, o assoreamento em regiões continentais pode ser resultado de uma alta produção sedimentar em uma bacia hidrográfica devido à eficiência dos processos erosivos que se instalam em função da alta suscetibilidade de seus terrenos e/ou dos impactos das formas de uso do solo,

como a expansão urbana desordenada, a utilização agrícola inadequada, os desmatamentos e obras que provocam escoamento concentrado das águas pluviais.

O assoreamento causa inúmeros impactos ambientais, sendo os mais comuns a redução do volume e da vida útil dos reservatórios, enchentes em áreas urbanas, erosão das margens dos cursos d'água, aumento da eutrofização e perda da eficiência das obras hidráulicas e da drenagem urbana (IPT).

Na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro, o carreamento intenso de sedimentos provocou o assoreamento intenso dos córregos, rios e canais, originando inundações, que por ocorrerem anualmente já são crônicas na história da região. Nesse caso, o processo foi acelerado inicialmente pela retirada de madeiras nobres da Mata Atlântica e posteriormente, pela substituição da mata por lavouras e núcleos urbanos (MOREIRA, 1993).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os processos erosivos e suas conseqüências no violento assoreamento da rede de drenagem natural e construída são responsáveis diretas e crescentes por uma tipologia de enchentes relacionadas à redução drástica das capacidades de vazão de afluentes secundários e do sistema de drenagem construída (JONH, 2003).

Em época de chuvas fortes, são comuns também os deslizamentos de terra. Os fatores de risco para os deslizamentos são a ocupação de encostas íngremes e cortes no terreno feitos com altura e inclinação excessivas ou sobre fraturas ou descontinuidades e até mesmo em encostas naturais com alteração na consistência do solo e grande declividade, especialmente se a encosta foi submetida à remoção indiscriminada de vegetação, pois a falta de cobertura vegetal faz com que o impacto da chuva provoque deslocamentos superficiais no solo.

O geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta eficiente na prevenção e controle de inundações. Em maio de 2002, na China, foram lançados dois satélites com essa finalidade (INFOGEO, 2002).

No Brasil, a utilização de geotecnologias para esse fim podem ser encontradas em vários estados e municípios, como Itajubá, no sul de Minas Gerais, onde sensores remotos instalados nas estações fluviométricas e pluviométricas enviam em tempo real as informações coletadas para uma estação central, onde os dados são processados através de um modelo de simulação que obtém como resultado a previsão de vazões, identificando cenários de risco de enchentes que permitem a notificação à população com até 54 horas de antecedência.

Em Campinas, mapas de impermeabilização e uso do solo e imagens do satélite israelense Eros, com resolução de 1,80 m, subsidiam um plano de prevenção e alerta para a ocorrência de inundações. Graças às imagens de satélite e aos mapas temáticos, é possível estabelecer prioridades no atendimento e na recuperação de equipamentos urbanos danificados horas após a inundação (JONH, 2003).

O governo do Rio Grande do Sul possui todas as obras e estrutura hídrica do Estado no formato digital, para serem utilizados no auxílio de estudos para as obras de ampliação, construção de pontes e controle de inundações (INFOGEO, 2002).

2.5. Geoprocessamento e suporte à decisão

Entre as várias potencialidades de uso das geotecnologias, destaca-se a capacidade dos SIGs em produzir novas informações a partir de um banco de dados geográficos.

A habilidade de comparar e avaliar as diferentes possibilidades de forma a se obter uma melhor adequação a um determinado propósito se torna mais segura quando se dispõe de ferramentas de suporte à decisão, estabelecendo um modelo racional de combinação de dados.

O homem tenta há muitos anos abordar processos complexos de tomada de decisão utilizando abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos. Até a primeira metade do século XX, usava-se basicamente a esperança matemática

para a tomada de decisão em condições consideradas aleatórias, entretanto, verificava-se que em certas condições, as limitações e o risco associado a tal tratamento era inaceitável.

Na década de 50, deu-se ênfase à nascente Pesquisa Operacional, originada na abordagem de problemas logístico-militares da 2ª Guerra Mundial. Na década de 60, surgiram métodos probabilísticos voltados para a tomada de decisão. Já na década de 70, começam a surgir os primeiros métodos voltados para os problemas discretos de decisão no ambiente multicritério ou multiobjetivo, visando a representação multidimensional dos problemas e incorporando uma série de características bem definidas quanto à metodologia, como descrito a seguir:

- (a) A análise do processo de decisão tem o objetivo de identificar informações/regiões críticas;

- (b) A possibilidade de se ter diferentes formulações válidas para o problema;

- (c) Aceitar que em problemas complexos nem sempre as situações devem se encaixar dentro de um perfeito formalismo e, principalmente, que as estruturas que representam apenas parcialmente a comparabilidade entre as alternativas possam ser relevantes ao processo de auxílio à decisão;

- (d) O uso de representações explícitas de uma estrutura de preferências pode ser mais apropriado a um dado problema do que representações numéricas definidas artificialmente.

A tomada de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve múltiplos critérios, dados imprecisos ou incompletos e múltiplos agentes de decisão. Para servir de apoio aos processos de análise para a tomada de decisão, surgiu, há cerca de vinte anos, o campo da Pesquisa operacional denominado Apoio Multicritério à Decisão, associado à tecnologia para tratamento de informações (GOMES & MOREIRA, 1998).

De acordo com STEWART (1992), a abordagem do problema de decisão sob o enfoque multicritério, não visa apresentar uma solução como verdade absoluta, e sim, apoiar o processo decisório, através da recomendação

de ações ou cursos de ações ao decisor, sendo a qualidade da informação disponível tão importante quanto a forma de tratamento analítico dessa informação.

2.5.1. Análise Multicritério

A análise multicritério é uma ferramenta importante como suporte à tomada de decisão (CALIJURI *et al.*, 2001).

Segundo RAMOS & MENDES (2001), decisão pode ser definida como uma escolha entre alternativas suportada pela consideração de critérios, que representam condições possíveis de quantificar ou avaliar.

De forma geral, problemas cuja resolução implica em uma tomada de decisão complexa, possuem pelo menos algumas das características relacionadas a seguir:

(a) Os critérios da resolução do problema são em número de pelo menos dois e conflitam entre si;

(b) Tanto os critérios como as alternativas de solução não são claramente definidos e as conseqüências da escolha de uma dada alternativa com relação a pelo menos um critério não são claramente compreendidos;

(c) Os critérios e as alternativas podem estar interligados, de tal forma que um dado critério parece refletir parcialmente sobre um outro critério, ao passo que a eficácia de escolha de uma dada alternativa depende de uma outra alternativa ter sido ou não também escolhida, no caso em que as alternativas não são mutuamente exclusivas;

(d) A solução do problema depende de uma equipe interdisciplinar;

(e) As restrições do problema não são bem definidas, podendo mesmo haver dúvida a respeito do que é critério, do que é restrição;

(f) Alguns dos critérios são quantificáveis, ao passo que outros só o são através de julgamentos de valor efetuados sobre uma escala;

(g) A escala para um dado critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo dos dados disponíveis e da própria natureza dos critérios.

Os critérios em uma análise multi-critério podem ser do tipo restrição ou do tipo fator. As restrições são limitações absolutas enquanto os fatores são limitações relativas, ou seja, enquanto as restrições diferenciam as áreas entre “aptas” e “não-aptas” para um determinado fim, os fatores determinam um determinado grau de aptidão, geralmente medido em uma escala contínua para esse mesmo fim.

Em um processo de decisão envolvendo múltiplos critérios a avaliação de pesos, a normalização e a combinação dos critérios são aspectos críticos a serem considerados.

2.5.2. Métodos multicritério de apoio à decisão

Um dos primeiros métodos de suporte à decisão, o AHP, surgido na década de 70, é hoje mais extensivamente usado em todo o mundo. Criado pelo professor Thomas Saaty, o método propõe a decomposição do problema de decisão em níveis hierárquicos facilitando sua compreensão e avaliação.

Em contraste a esse método e à teoria da utilidade multiatributo, considerados os métodos multicritério mais representativos da chamada *escola americana*, uma outra série de métodos foi desenvolvida na Europa, por vezes denominada no seu conjunto, *escola francesa* do Apoio Multicritério à decisão (LOOTSMA, 1980).

Os métodos multicritério foram desenvolvidos para apoiar a avaliação e escolha das alternativas-solução em diferentes espaços, com objetividade. Pesos podem ser utilizados para agregar os valores da função objetivo em um único valor, determinando a utilidade da decisão alternativa. Existe uma relação entre a dimensão espaço-peso e o espaço da função objetiva, que depende do tipo de função utilidade usada para descrever as preferências dos decisores. Esta função pode ser linear, multilinear associada a pesos ou polinomial.

Dentre os métodos multicritério, os mais utilizados em ambiente SIG são os métodos discretos MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo) e o AHP

(Analytic Hierarchy Process), com destaque para este último, usado nos módulos de análise multicritério dos softwares Idrisi e Spring. Os métodos discretos são aqueles concebidos para trabalhar com um número finito de alternativas.

2.5.2.1. Utilidade multiatributo

A Teoria da Utilidade Multiatributo é empregada para determinar-se a importância atribuída a um critério em relação a outro e priorizar alternativas no contexto do problema, a partir da construção de uma função matemática. Assim, se um determinado critério for pouco importante diante de outros critérios, vai ter um peso atribuído menor em comparação aos pesos atribuídos aos demais critérios. Essa importância relativa de cada critério é representada pelo conceito de “taxa de substituição” (*Trade off*) (KEENEY & RAIFFA, 1976).

2.5.2.2. AHP

O método AHP baseia-se no modo como a mente ocidental trata geralmente os problemas complexos, ou seja, através de conceituação e estruturação: o conflito da existência de muitos elementos de decisão, controláveis ou não e sua agregação em grupos, através das propriedades específicas comuns (SAATY, 1994).

A complexidade do problema é dividida em fatores, que podem ser decompostos em novos fatores que são organizados em uma hierarquia de níveis descendentes. Os objetivos constituem o topo da hierarquia, seguidos pelos sub-objetivos, as forças limitadoras dos decisores e finalmente os cenários, que são os resultados possíveis.

De acordo com GOMES & MOREIRA (1998), os cenários determinam as possibilidades para se atingir os objetivos que influenciam os decisores e que direcionam as forças impactantes nos objetivos finais, ou seja, é como

decompor um complexo problema nas explicações de causa-efeito, formando uma cadeia não obrigatoriamente linear.

Ordenar hierarquicamente permite visualizar o problema globalmente, assim como as relações de complexidade, visto que o processo se reduz a uma seqüência de comparações par a par dos componentes identificados.

Os critérios são as medidas reais, as relações ou padrões que ditam as decisões. Eles têm três propriedades lógicas:

(a) Exaustividade: cada critério, com suas variáveis, completa cada uma das diferentes dimensões do problema;

(b) Não-redundância: deve garantir que haja independência entre os níveis hierárquicos;

(c) Homogeneidade: os critérios de cada nível devem ser comparáveis, isto é, possuir ordem de importância similar.

Segundo SAATY (1994), o julgamento ou avaliação das ações em termos relativos consiste em compará-las umas com as outras e obter informações sobre o valor relativo de cada ação comparada. O conjunto de valores das comparações aos pares entre as alternativas, para cada critério, gera uma medida do valor para cada alternativa no vetor de prioridade (autovetor).

A comparação par a par é feita usando uma escala própria definida por Saaty como escala fundamental, baseada no limite psicológico máximo do ser humano para comparar elementos e julgá-los corretamente, que é de (7+2) itens, implicando em nove pontos distintos de julgamento, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Escala fundamental de Saaty

Valor	Importância
1	Mesma importância de um item sobre outro
3	Importância levemente superior de um item sobre o outro
5	Importância grande, suficiente e essencial de um item sobre o outro
7	Importância muito grande de um item sobre o outro
9	Importância absoluta de um item sobre o outro
2,4,6,8	Qualidades intermediárias de julgamento, ou onde se consegue uma condição de compromisso entre os patamares

A formulação mais geral disponível para o método AHP é a ANP (Analytic Network Process), destinada aos problemas em que os critérios constituem uma rede e não uma hierarquia linear.

2.5.3. Avaliação multicritério em ambiente SIG

Em um SIG a análise ou avaliação multicritério (MCE–Multi-Criteria Evaluation) pode ser implementada como um procedimento de sobreposição booleana ou através da combinação de critérios contínuos normalizados segundo uma mesma escala e da aplicação de pesos para obtenção de médias ponderadas.

O método booleano gera dados em formato temático, sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (favorável e não favorável). Os outros métodos geram dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica; são estes os métodos de Média Ponderada (Combinação Linear Ponderada – WLC e Média Ponderada Ordenada – OWA), Fuzzy, Bayesiano e inferência por redes neurais (CÂMARA et. al., 2001).

2.5.3.1. Análise booleana

Na análise booleana as informações são tratadas como limitações absolutas já que utiliza declarações lógicas de aptidão classificados de forma binária (0 ou 1) e combinados pelos operadores lógicos de interseção (AND) e de união (OR) na agregação dos dados:

- AND: todos os critérios devem ser satisfeitos (análise conservadora, aversão ao risco).
- OR: pelo menos um dos critérios deve ser satisfeito (análise de alto risco).

De acordo com CALIJURI et al.(2001), uma limitação da aproximação Booleana simples é que todos os fatores têm igual importância no mapa de adequabilidade. Isso significa que na imagem final, o valor 1 será atribuído somente onde todos os critérios têm esse valor e o valor zero ocorrerá se apenas um dos critérios tem valor zero.

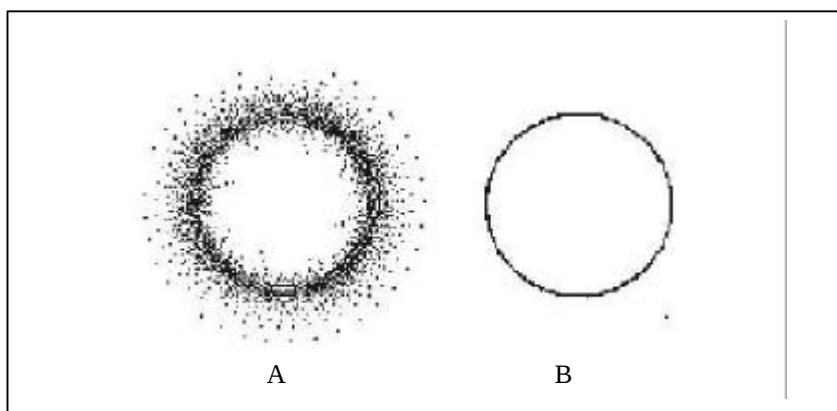


Figura 3 – Diagrama de Venn para a fronteira de um conjunto Fuzzy (A) e de um conjunto Booleano (B). Modificado de BORROUGH (1998).

2.5.3.2. Média Ponderada

EASTMAN et al. (1995) citam a média ponderada como a técnica mais utilizada em análise espacial. A técnica consiste em utilizar cada mapa de entrada como uma evidência que recebe um peso diferente de acordo com a

importância no caso analisado. O resultado obtido é um mapa com áreas que expressam um grau de importância relativa em valores numéricos de saída.

Os pesos são definidos empiricamente para as classes em cada plano de informação. A média ponderada permite maior flexibilidade na combinação de mapas do que o método booleano.

(a) Combinação Linear Ponderada (WLC)

De acordo com CALIJURI et al. (2001), a Combinação Linear Ponderada é um método de padronização em que os fatores não são reduzidos a simples critérios boolean, e sim, são padronizados a uma escala contínua de adequabilidade, que pode ser em bytes de zero (menos adequada) a 255 (mais adequada); ou real, de 0 (menos adequada) a 1 (mais adequada) .

O procedimento WLC combina os fatores através de uma média ponderada dada pela equação (VOOGED,1983):

$$S = \sum_i w_i x_i, \text{ onde } S \text{ é o valor final de adequabilidade, } W_i \text{ é o peso do}$$

fator i e x_i é o valor normalizado para o mesmo fator. O somatório dos pesos é a unidade, logo, o valor final é calculado na mesma escala dos valores normalizados dos fatores.

Para RAMOS & MENDES (2001), a característica mais importante desse procedimento é a possibilidade de haver compensação entre critérios (*trade-off*).

(b) Média Ponderada Ordenada (OWA)

O procedimento OWA, além de utilizar os pesos de critérios utilizados no procedimento WLC, considera um outro conjunto de pesos que não estão relacionados a nenhum fator especificamente, mas são a eles aplicados por uma ordem que depende dos valores assumidos pelos fatores após a aplicação do primeiro conjunto de pesos.

Estes novos pesos denominam-se *order weights*, pois sua alicação depende de uma determinada ordenação dos fatores que agregam (EASTMAN et al., 1998).

O segundo conjunto de pesos permite controlar o nível total de compensação entre os fatores e o nível de risco na determinação da adequabilidade. O fator com menor adequabilidade recebe o primeiro *order weight*, o fator com o segundo menor valor recebe o segundo *order weight*, e assim sucessivamente, ou seja, os fatores são ponderados com base em sua ordem, do mínimo para o máximo.

Segundo RAMOS & MENDES (2001), fazendo variar esse segundo conjunto de pesos, o procedimento OWA permite a implementação de uma gama infinita de opções de agregação.

Para EASTMAN et al. (1998), em um processo de decisão envolvendo três fatores, se for aplicado todo o peso ao fator com menor adequabilidade, o resultado será uma solução conservadora, de aversão ao risco, semelhante ao operador lógico AND. Por outro lado, se todo o peso for atribuído ao fator com maior adequabilidade, a solução será de risco elevado, equivalente ao operador OR. Se for atribuído um conjunto de pesos iguais a todos os fatores, resultaria em uma solução de risco médio e compensação total análogo ao operador WLC, que nada mais é do que um caso particular de OWA.

A figura 4 explicita o espaço estratégico de decisão OWA, onde se percebe, que além dos casos particulares supracitados, qualquer combinação de pesos ordenados (*order weights*) é possível, desde que o somatório dos mesmos seja a unidade. O risco assumido e o grau de compensação podem ser calculados pelas expressões 1 e 2 a seguir:

$$Risco = \frac{1}{(n-1)} \sum (n-1)O_i \quad \text{Equação 1}$$

$$Compensação = 1 - \sqrt{\frac{n \sum \left(O_i - \frac{1}{n} \right)^2}{(n-1)}} \quad \text{Equação 2}$$

Fonte: EASTMAN et al., 1998.

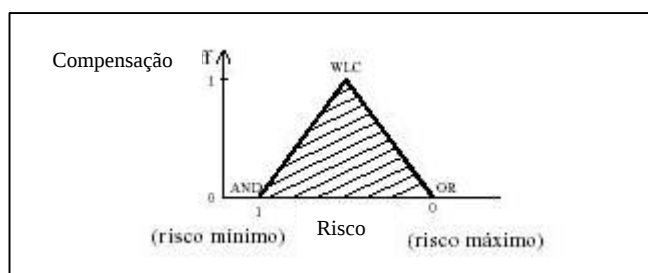


Figura 4 – Espaço estratégico de decisão (OWA). Modificado de RAMOS & MENDES (2001).

2.5.3.3. A Lógica Fuzzy

A teoria de conjunto *fuzzy* foi apresentada por Zadeh em 1965, como uma ampliação da teoria convencional de conjunto. Sua utilização é apropriada em sistemas que se caracterizam pela generalidade, ambigüidade e precisão. A lógica *fuzzy* admite a possibilidade de uma associação parcial, isto é, elementos que são parcialmente pertinentes a uma ou mais classes (FUKS, 1998).

A lógica *fuzzy* utiliza variáveis lingüísticas no lugar de variáveis numéricas, admitindo como valores apenas expressões lingüísticas como “muito grande”, “pouco frio”, que são representados pelos conjuntos fuzzy (MAIA, 2001).

O conjunto fuzzy é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não têm ou não podem definir limites rígidos entre as classes, com transição gradual entre elementos que pertencem e os que não pertencem ao conjunto (BURROUGH & MCDONNEL, 2000).

De acordo com CÂMARA et al. (2001), para caracterizar formalmente um conjunto, pode-se recorrer ao conceito de função de pertinência (F_p), que é uma função que determina se o elemento avaliado pertence ou não a um determinado conjunto em análise.

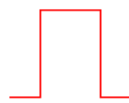
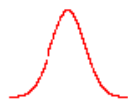
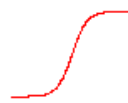
Triangular	Retangular	Trapezoidal	Gaussiana	Sigmóide
				

Figura 5 – Funções de pertinência Fuzzy. Fonte:TOURINO,2000

A questão mais importante na determinação dos conjuntos fuzzy é a escolha da função apropriada para determinada utilização. As funções mais utilizadas, também chamadas de funções fuzzy são: Sigmoidal, J-Shaped e Linear:

Ao escolher a função deve-se definir inicialmente se a curva é monotônica crescente, monotônica decrescente ou simétrica. As funções sigmoidal e J são definidas com apenas 2 pontos de controle, enquanto a simétrica necessita de 4 pontos de controle. É possível também a utilização de uma função definida pelo usuário.

2.6. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a ciência através da qual se obtém informações sobre um objeto através da análise de dados obtidos por um equipamento – sensor, que não se encontra em contato com este objeto. Trata-se de uma importante fonte de dados em SIGs.

O monitoramento da paisagem de uma região é fator primordial no planejamento racional de utilização. Os produtos de sensoriamento orbital têm sido importantes na aquisição primária de informações e também no inventário e gerenciamento da paisagem (VENTURIERI & SANTOS, 1998).

2.6.1. Processamento de imagens digitais

De maneira geral, os dados obtidos por satélites não se encontram georreferenciados e podem conter erros que necessitam ser corrigidos antes de serem usados para análise.

O tratamento de imagens digitais pode ser entendido como a rotulação ou identificação automática de todos os pixels contidos numa determinada cena, em classes temáticas, segundo a ocupação do solo (MOREIRA, 2001).

Segundo MASCARENHAS & VALASCO (1984), a finalidade do tratamento de imagens é identificar e extrair informações sobre fenômenos ou objetos do mundo real e transformar as imagens de modo que as informações radiométricas nela contidas sejam mais facilmente identificáveis pelo analista.

2.6.2. Classificação de imagens

Segundo VENTURIERI & SANTOS (1998), a classificação de imagens consiste em um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe. Assim, a cada pixel da imagem é associado um rótulo ou tema, transformando uma imagem numérica em uma imagem temática com o número de categorias definido pelo analista.

Os métodos de classificação podem ser supervisionados, quando existe conhecimento prévio de algumas áreas, permitindo a seleção de amostras de treinamento confiáveis; ou não-supervisionados, requerendo uma quantidade mínima de informações de entrada pelo analista.

2.6.2.1. Classificação supervisionada

Existem várias etapas envolvidas na classificação supervisionada, a saber: seleção e coleta das amostras de treinamento, extração e manipulação das estatísticas das amostras e a classificação da imagem propriamente dita.

De acordo com LILLESAND & KIEFER (1987), os métodos iterativos de classificação mais comumente utilizados são o algoritmo do paralelepípedo, o da distância mínima até a média e o da máxima verossimilhança.

O algoritmo do paralelepípedo utiliza a média e o desvio padrão ou os valores máximos e mínimos das amostras. O algoritmo da distância mínima até a média utiliza a média das amostras para relacionar um pixel desconhecido a uma determinada classe. Já o algoritmo da máxima verossimilhança utiliza a média e covariância das amostras, computando a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe.

2.6.2.2. Classificação não-supervisionada

O algoritmo da classificação não-supervisionada baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificados clusters formados por pixels com características espectrais semelhantes (RICHARDS, 1986).

Existem vários algoritmos desse tipo. Inicialmente o analista especifica o número de classes (n); o algoritmo seleciona arbitrariamente n pixels na imagem, que funcionam inicialmente como a média de cada classe. Então, todos os pixels são relacionados a uma dessas n classes de acordo com o critério da distância mínima até a média; o algoritmo então recalcula novas médias para as n classes e o processo é reiniciado iterativamente até que não haja diferenças significativas entre duas iterações subseqüentes. As classes são então identificadas pelo analista.

3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e extensão territorial

A área de estudo compreende parte do município de Uberaba, situado na microrregião do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais, cujas coordenadas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Coordenadas geográficas da área estudada

Descrição	Valor	Unidade
Latitude (sul) - distrito sede do município	– 19°45’27’’	Graus
Longitude (oeste) - distrito sede do município	– 47°55’36’’	Graus

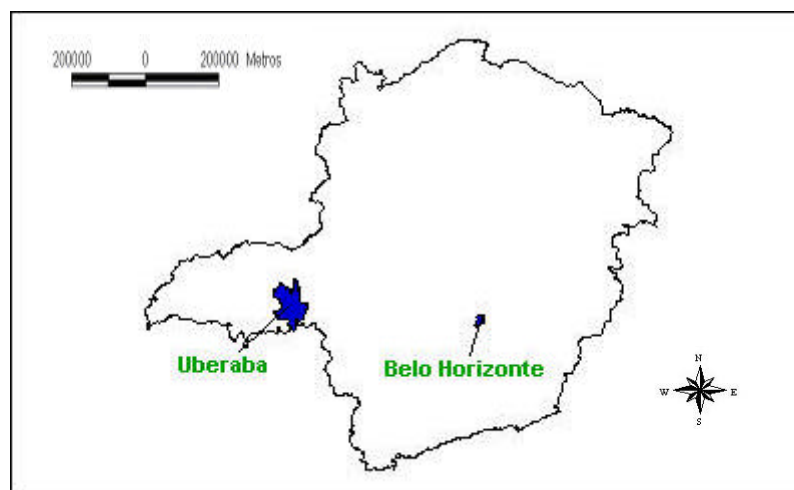


Figura 6 – Município de Uberaba

Uberaba ocupa uma área física total de 4424,40 km², dos quais 256 km² são ocupados pelo perímetro urbano. A área de estudo compreende todo o perímetro urbano e uma parte do entorno, especialmente a montante, totalizando uma área de 1063,8 km², correspondendo a 24,04% do município.

3.2. Aspectos fisiográficos

3.2.1. Clima

O clima de Uberaba segundo a classificação de Köppen é Aw, isto é, tropical quente e úmido com inverno frio e seco. As temperaturas médias encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Temperaturas médias do município de Uberaba no período de 1970 a 2000

Temperatura média °C		
Máxima	Média	Mínima
29,9	22,6	17,5

Fonte: EMATER – MG (2001)

3.2.2. Relevo e geomorfologia

A área ocupada pelo município faz parte da grande unidade de relevo do Planalto Arenítico-Basáltico da Bacia do Paraná, com topografia caracterizada por superfícies planas ou ligeiramente onduladas. Trata-se de um relevo que varia do plano ao ondulado, perfazendo uma paisagem monótona. As formas de relevo e altitude são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Formas de relevo e altitudes do município de Uberaba

Relevo (%)			Altitude (m)		
Plano	Ondulado	Montanhoso	Máxima	Mínima	Sede
40	60	0	1031	522	764

Fonte: EMATER – MG (2001)

A sede municipal encontra-se em área de relevo medianamente dissecado (750 – 900m), havendo presença de áreas de relevo intensamente dissecado (750 – 950m) (Baccaro, 1991 citado por BOGNIOTTI,1999).

De acordo com Baccaro (1996), citado por BOGNIOTTI (1999), as áreas com relevo medianamente dissecado são representadas predominantemente pela Formação Adamantina do Grupo Bauru, com topos nivelados entre 750 e 900 metros. Já as áreas com relevo intensamente dissecado relacionam-se ao basalto e a rochas do Grupo Araxá, predominantemente, com topos entre 700 e 800 metros. Subordinadamente, podem ser relacionadas aos arenitos do Grupo Bauru e sedimentos cenozóicos.

A Formação Uberaba do Grupo Bauru apresenta-se topograficamente com suaves ondulações (ALVES, 1993).

3.2.3. Classes de solos

Na área de estudo predominam os latossolos vermelhos de textura média, com as seguintes variações:

- Latossolo Vermelho Amarelo álico ou distrófico epiálico A de textura média (LVa3);
- Latossolo Vermelho Escuro álico A moderado de textura média (LEa3), o mais abundante;
- Associação de Latossolo Vermelho Escuro álico A moderado com Podzólico Vermelho Amarelo A moderado e Cambissolo álico Podzólico A moderado de textura média cascalhenta , com substrato arenito (LEa5).

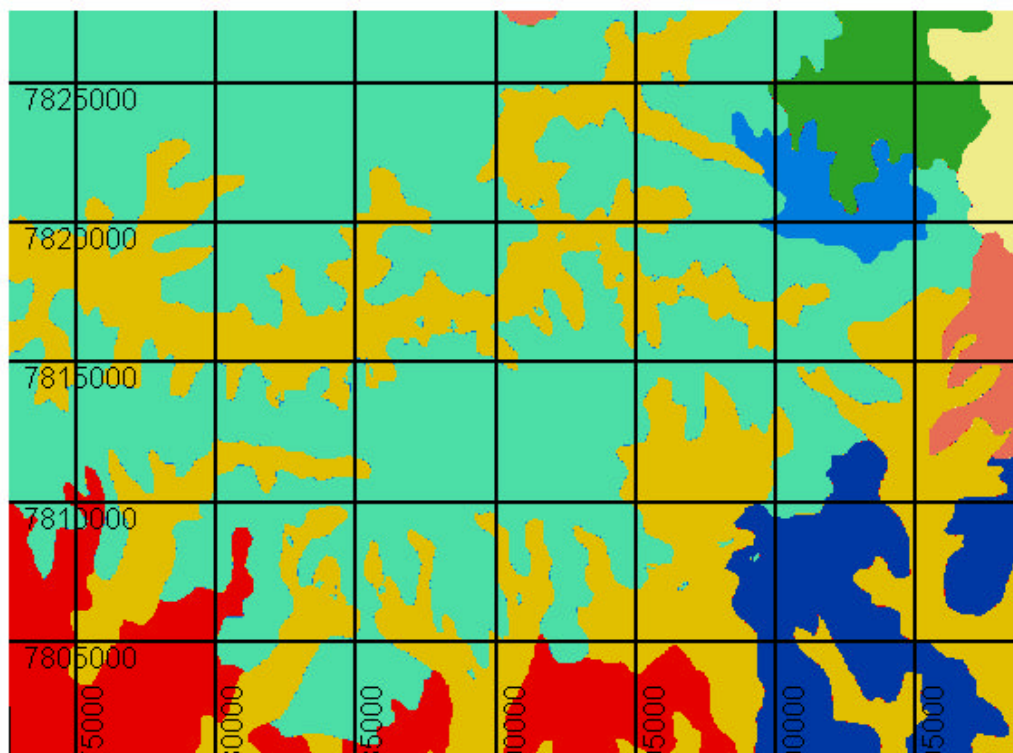
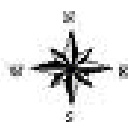
Aparecem também os latossolos roxos, pronunciadamente ao longo dos cursos d'água:

- a) Latossolo Roxo distrófico ou álico A moderado, de textura muito argilosa (LRd2);
- b) Latossolo Roxo distrófico ou distrófico epiálico A moderado, textura muito argilosa (LRd3);
- c) Associação de Latossolo Roxo distrófico ou álico A moderado de textura muito argilosa associado com Cambissolo eutrófico A de textura argilosa, com substrato basalto (LRd4), encontrado pronunciadamente ao longo do Rio Uberaba.

Também pode-se perceber, embora em menor quantidade a presença dos solos Podzólicos Vermelho-Amarelos e suas associações:

- a) Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico Tb A chernozêmico de textura média cascalhenta, fase floresta tropical caducifólia;
- b) Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado ou chernozêmico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave e ondulado + Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado, ambos de textura média + Cambissolo álico Tb Podzólico A moderado de textura argilosa cascalhenta, fase cerrado tropical subcaducifólio e relevo suave ondulado e ondulado.

A Figura 7 apresenta a pedologia da área de estudo.



Legenda:



Metros
4000.00

Tema: Classes de solos

Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação de mestrado:
Análise estratégica de decisão aplicada à seleção de
áreas para expansão urbana visando o controle de
inundações na área urbana do município de Uberaba –
MG

Figura 7 –Classes de solos da área de estudo

Geologia

Formado por rochas sedimentares, basicamente arenito, do período cretáceo da Formação Bauru.

Segundo a folha geológica de Uberaba, do Projeto Chaminés (1970), na escala 1:250000, no perímetro urbano predomina a Formação Bauru, do Cretáceo Superior, enquanto o Rio Uberaba e seus afluentes correm predominantemente sobre o Grupo São Bento do Cretáceo Inferior.

O Grupo Bauru, no município de Uberaba, é representado pelos Membros Serra da Galga, Ponte Alta e Formação Uberaba (BARCELOS & SUGUIO, 1987).

A Formação Uberaba é composta por uma seqüência de arenitos com granulometria variando de areia muito grossa à fina (FERREIRA JR & GUERRA, 1993).

A porção basal é composta por um conglomerado constituído por seixos de basalto e quartzo com diâmetros variando de 0,5 a 8 cm e matriz arenosa grosseira. Em direção ao topo, observam-se ciclos de grano-decrescência com granulometria variando de areia grossa à fina e a presença de níveis argilosos intercalados (BOGNIOTTI, 1999). Ainda segundo o autor, a Formação Uberaba não apresenta conteúdo fossilífero significativo.

O Membro Ponte Alta constitui-se de um conjunto de arenitos calcíferos, claros e calcários conglomeráticos que ocorrem acima dos tufitos (BARBOSA et al., 1970).

SUGUIO (1973) relata a presença de seixos de granulometria variando de milimétrica a centimétrica, compostos de quartzo e quartzito associados vertical e lateralmente a calcretes e silcretes.

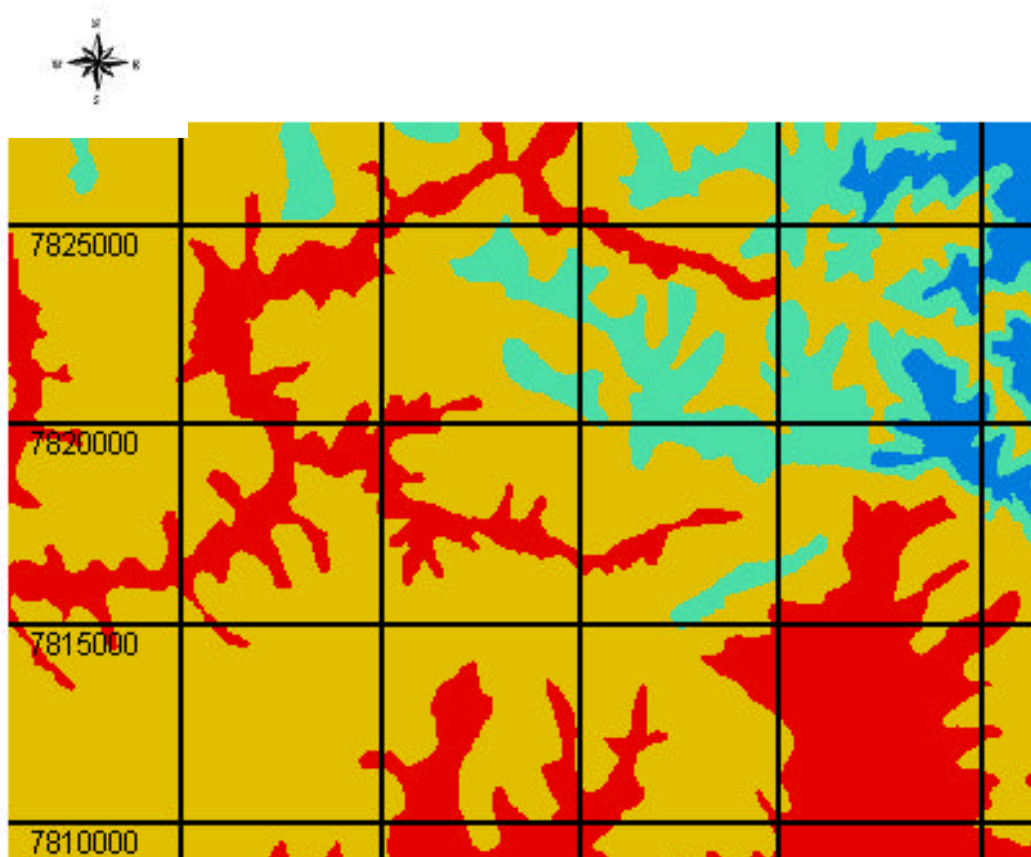
A Formação Bauru, na região de Uberaba, apresenta conteúdo fossilífero em toda parte inferior e média, ou seja, nos sedimentos tufáceos e calcíferos. Nos primeiros, tem sido encontrados apenas pequenos fragmentos de ossos dos grandes animais (dinossauros, crocodilídeos e quelôneos). As

grandes ossadas, com ossos completos , têm sido encontrados no arenito calcífero, imediatamente acima do nível de calcário (BARBOSA et al., 1970).

O Grupo São Bento compreende o conjunto de rochas do derrame basáltico do trape do Paraná, aliado às intercalações das camadas do deserto Botucatu.

Os principais recursos minerais explorados economicamente são o calcário, a areia e a argila.

A Figura 8 apresenta a geologia da área de estudo.



Legenda:



Metros
2500.00

Tema: Geologia

Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação de mestrado:
Análise estratégica de decisão aplicada à seleção de
áreas para expansão urbana visando o controle de
inundações na área urbana do município de
Ibama - MG

Figura 8: Geologia da área de estudo

Hidrografia

A metade meridional do Município pertence à Bacia do rio Grande, sendo drenada principalmente pelo rio Uberaba. A outra metade pertence à Bacia do rio Paranaíba, destacando-se nela o rio Tijuco. Possui mais de 200 pequenos riachos e córregos (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA, 2000).

Os recursos hídricos presentes no município são o Rio Grande, Rio Araguari, Rio Claro, Rio Estiva, Rio Tijuco, Rio Uberabinha, e o principal, o Rio Uberaba, pertencente à Bacia do Rio Grande (EMATER, 2001).

De acordo com MORAIS (2001), pode-se afirmar que a cidade de Uberaba está localizada dentro da bacia do Córrego das Lages, pequeno afluente da margem esquerda do rio Uberaba, ocupando-a quase na totalidade. Observa-se que mais de 60% da zona urbana da cidade pertence à essa bacia.

A micro-bacia do Córrego das Lages possui 2638 hectares e tem seu início a 60 km abaixo da nascente do Rio Uberaba.

MORAIS (2001) afirma que a bacia do Córrego das Lages tem a forma plana aproximada de alça de Lemniscata achatada e deformada, tendo seu ponto mais alto na altitude 836,70 m, situada em um loteamento residencial dentro no perímetro urbano e seu ponto mais baixo na foz com o rio Uberaba, na altitude 694,60 m, distantes estes pontos entre si de 6774,9 metros. A bacia possui declividade máxima de 26,5% situada no córrego das Bicas. Próximo à foz, o divisor de águas possui uma declividade máxima de 26%. As demais declividades do divisor de águas variam em torno de 1%

A forma da bacia favorece a concentração das águas nas junções intermediárias, aumentando o pico das águas pluviais nas chuvas torrenciais de curta duração.

As Figuras 9, 10 e 11 mostram a localização, características e hidrografia da bacia do Córrego das Lages, que é composta da vertente principal, o Córrego das Lages, com 8174 metros de comprimento e de outros 19 pequenos córregos como mostrado na Figura 10.

Características da Bacia

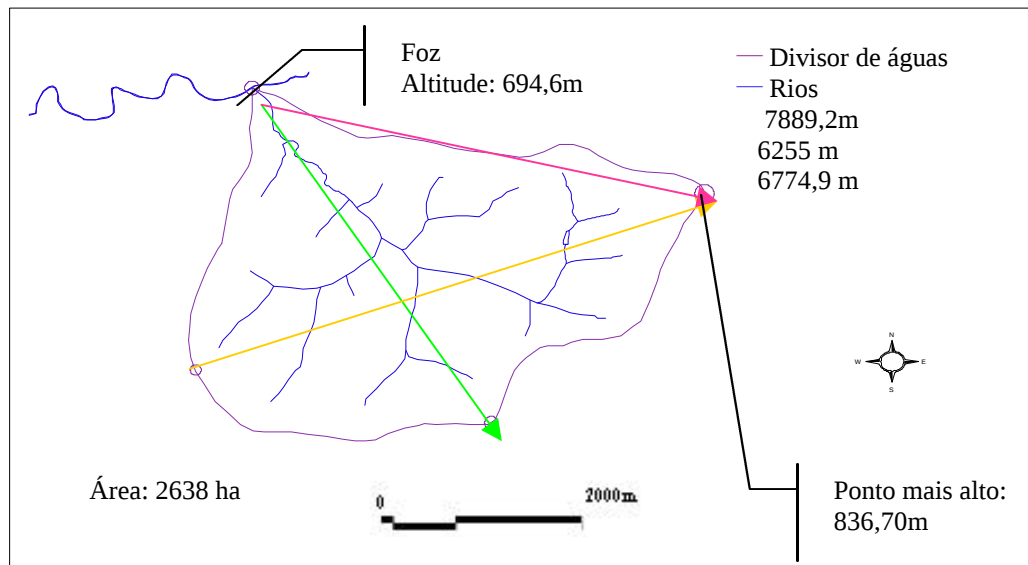


Figura 9 – Características da Bacia do Córrego das Lages

Hidrografia Bacia do Córrego das Lages

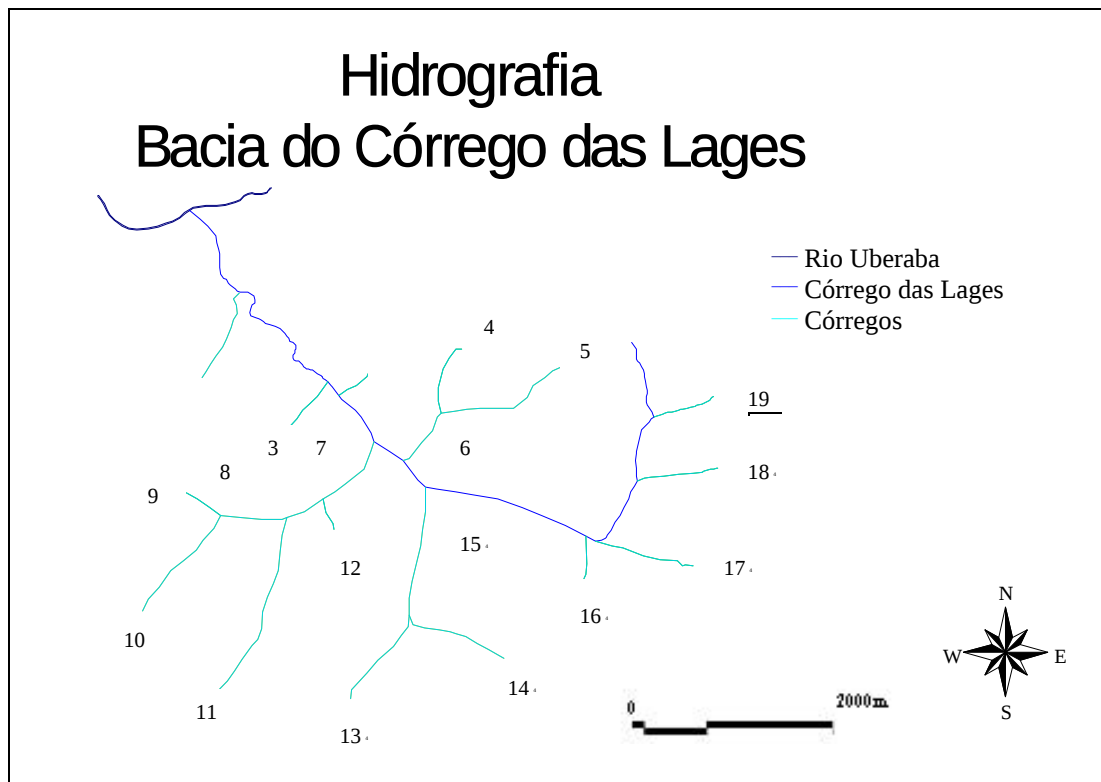


Figura 10 – Hidrografia da Bacia do Córrego das Lages

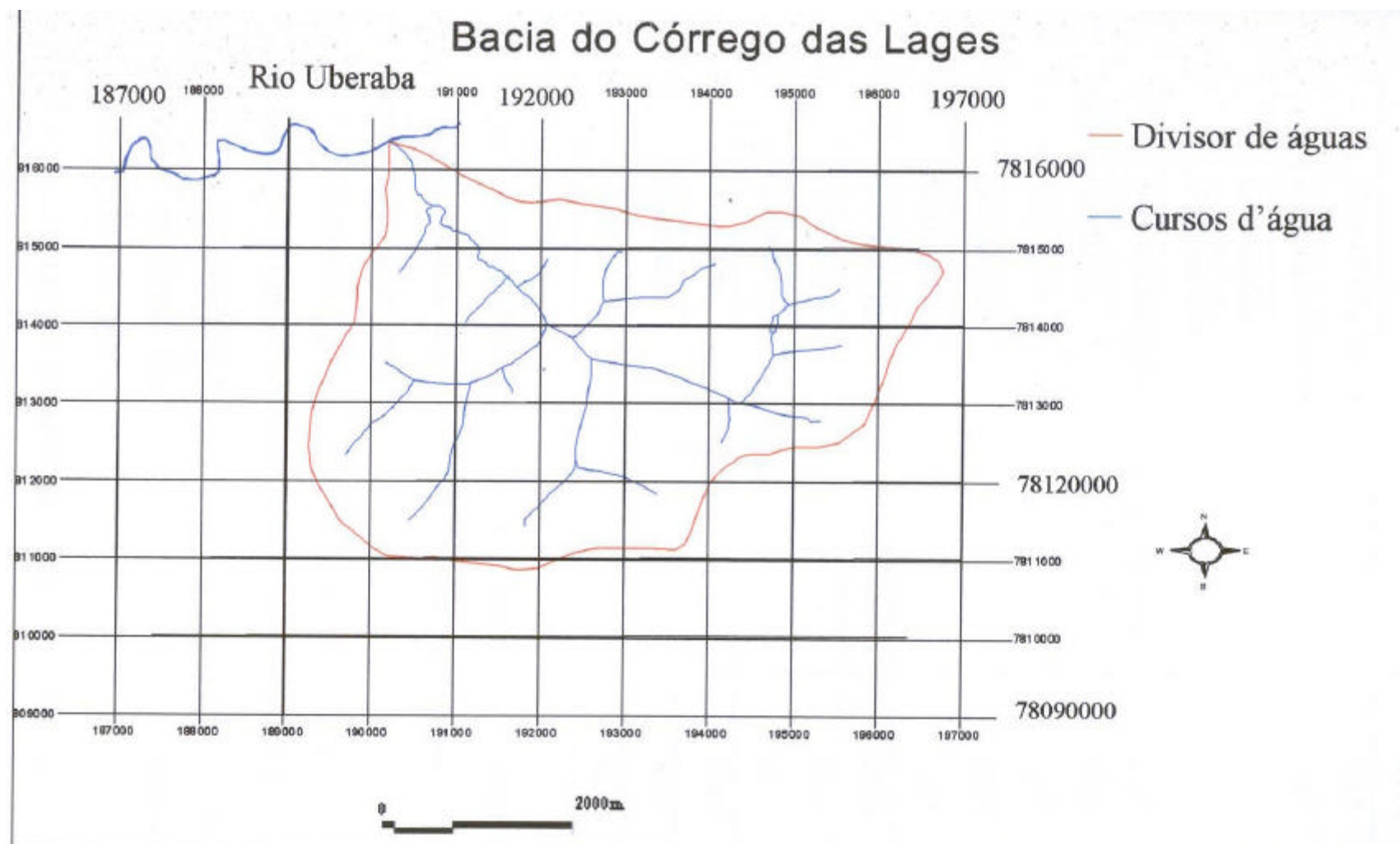


Figura 11 – Localização geográfica da Bacia do córrego das Lages

A Tabela 6 descreve os cursos d'água que constituem essa bacia.

Tabela 6 – Cursos d'água que constituem a bacia do Córrego das Lajes

Nº	Córrego	Comprimento (m)	Canalizado (m)
	Das Lajes	8175	3556
1	Da Fazenda Modelo	985	0
2	Do Parque Jacarandá	547	0
3	Das Mercês	767	560
4	Do Pontilhão	748	748
5,6	Do Comércio/Quinta da Boa Esperança	2108	2108
7,8,11	Das Bicas	3189	3189
9	Vertente 3	413	0
10	Da Manteiga	1953	1002
12	Maria Helena	337	337
13,15	Capão da Igreja	2380	2000
14	Barro Preto	1104	1104
16	Olhos D'água	431	100
17	Santa Rita	1042	1042
18	Vertente 2	832	0
19	Vertente 1	650	0

Trata-se de uma bacia com densidade de drenagem de $0,97 \text{ km/km}^2$, de padrão dendrítico, que denota resistência relativamente uniforme à erosão e encostas sem orientação dominante.

Observa-se que dos 25,661 km de cursos d'água, 61,4% estão canalizados, o que representa 15,746 km de canais na bacia do Córrego das Lajes. O processo de canalização fechada foi a solução encontrada pela prefeitura na década de 70 para os problemas do trânsito e de saneamento básico (MORAIS, 2001).

A canalização possibilitou a criação de largas avenidas, com alta capacidade de circulação, providas de duas faixas por sentido com acostamento nos dois sentidos, criando nova zona de especulação imobiliária

sobre antigos talvegues , dentro da zona de risco de enchentes. É importante observar que o processo de ocupação dos talvegues foi iniciado nos anos 50.

3.2.6. Pluviosidade

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Uberaba, a precipitação anual média é de 1474 mm, com cerca de 120 dias de chuva por ano, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, meses nos quais o excedente hídrico atinge a média de 181,4 mm. A Tabela 7 mostra os índices pluviométricos médios registrados entre os anos de 1990 e 2000.

Tabela 7 – Índice Pluviométrico Médio (IPM) no período entre 1990 e 2000

Mês	IPM (mm/mês)	Mês	IPM (mm/mês)
Janeiro	273,4	Julho	0,0
Fevereiro	275,8	Agosto	67,3
Março	118,7	Setembro	18,6
Abril	125,8	Outubro	240,3
Maio	66,5	Novembro	143,7
Junho	0,0	Dezembro	301,3
Total anual	1631,4 (mm/ano)		

Fonte: EMATER – MG,2001

De acordo com relatórios da EPAMIG, citados por MORAIS (2001),as chuvas no município não apresentam variações estatísticas que permitam conclusões quanto a reduções ou aumentos ao longo dos anos (dados de 1914 a 1990). São distribuídas aleatoriamente de setembro a abril. O autor ressalta que as coletas de dados dizem respeito a precipitações diárias, o que contribui pouco para o estudo das chuvas de interesse no caso de inundações, que são as de grande intensidade e curta duração que, de acordo com observações históricas, ocorrem no período entre as 14 e as 20 horas.

A quantidade máxima de chuva registrada em um dia foi em 23 de fevereiro de 1998, totalizando 63,6 mm e a intensidade máxima foi de 60 mm/hora, verificada no dia 11 de janeiro de 1997.

3.2.7. Ventos

A direção predominante dos ventos no município é a 45° NE.

3.2.8. Vegetação

No que diz respeito à vegetação, toda a área do Triângulo Mineiro está incluída no chamado “Complexo do Brasil Central ou do cerrado”, com todas as suas gradações e inclusões, como a floresta mesófila estacional (caducifólia e subcaducifólia), a floresta tropical (perenifólia, subperenifólia e higrófila de várzea), o campo limpo e de comunidades hidrófilas (veredas e campos de várzea), além de formações sucessórias como capoeiras e campos antrópicos.

A cobertura vegetal na região engloba a mata úmida, a mata seca, o cerradão, o cerrado e o cerradinho ou campo sujo em diversos estádios de regeneração.

A flora é típica do cerrado, um ecossistema brasileiro que lembra as "savanas africanas" e ocorre em regiões tropicais. Esse tipo de formação abrange aproximadamente 23% da superfície do território nacional.

Caracterizado por uma incidência grande de gramíneas e árvores esparsas, o cerrado possui também áreas de grotões e veredas com vegetação mais desenvolvida.

A vegetação do cerrado tem aparência que se costuma atribuir àquela que cresce em ambientes onde a água é escassa. As árvores e arbustos possuem galhos tortuosos, tem casca grossa, folhas coriáceas de superfícies brilhantes ou revestidas por uma espessa camada de pólos.

3.3. Aspectos urbanos

3.3.1. Evolução da ocupação urbana

A cidade de Uberaba se desenvolveu na bacia do córrego das Lages, tendo atualmente cerca de 60% da malha urbana nesta bacia.

De 1822 a 1922, foram ocupadas as partes altas da bacia e as partes planas em seu interior. As primeiras famílias se estabeleceram nas encostas da região e não havia receio de inundações, já que as encostas forneciam segurança e os pioneiros se situavam à distância dos talvegues (SAMPAIO,1971).

Entre 1922 e 1959, as partes altas e planas disponíveis na região mediana da bacia do córrego das Lages foram povoadas e teve início a ocupação de áreas fora da bacia, com a construção de algumas casas no bairro hoje chamado de Alto da Boa Vista .

De 1959 a 1970, já era intensa a ocupação das partes lindeiras aos talvegues e fora da bacia, tornaram-se comuns os loteamentos (PONTES,1978).

MORAIS (2001), de posse de levantamentos aerofotogramétricos da Prefeitura Municipal de Uberaba, observa que de 1970 a 1995, há uma concentração e valorização dos imóveis limítrofes aos talvegues devido à presença das avenidas baixas canalizadas e extrapolação da malha urbana e infra-estrutura aos bairros fora da bacia.A partir de 1995, mais de 70% da bacia do córrego das Lages está ocupada, restando apenas a área baixa próxima ao rio Uberaba. Os loteamentos novos são exclusivamente fora da bacia.

A partir de levantamentos aerofotogramétricos dos anos de 1959, 1975 e 1984 e com base nos trabalhos de PONTES (1978), SAMPAIO (1971) e REZENDE (1991); MORAIS (2001) determinou os perímetros urbanos do município nos anos de 1900, 1922, 1959,1975 e 2000, que podem ser observados na Figura 12, na qual é possível observar que o desenvolvimento

da cidade se deu inicialmente sobre a bacia do córrego das Lajes ocupando-a quase na totalidade.

A Figura 13 faz uma sobreposição das manchas urbanas ao longo do tempo , mostrando a tendência de ocupação do município a partir do ano de 1900 até o ano 2000.

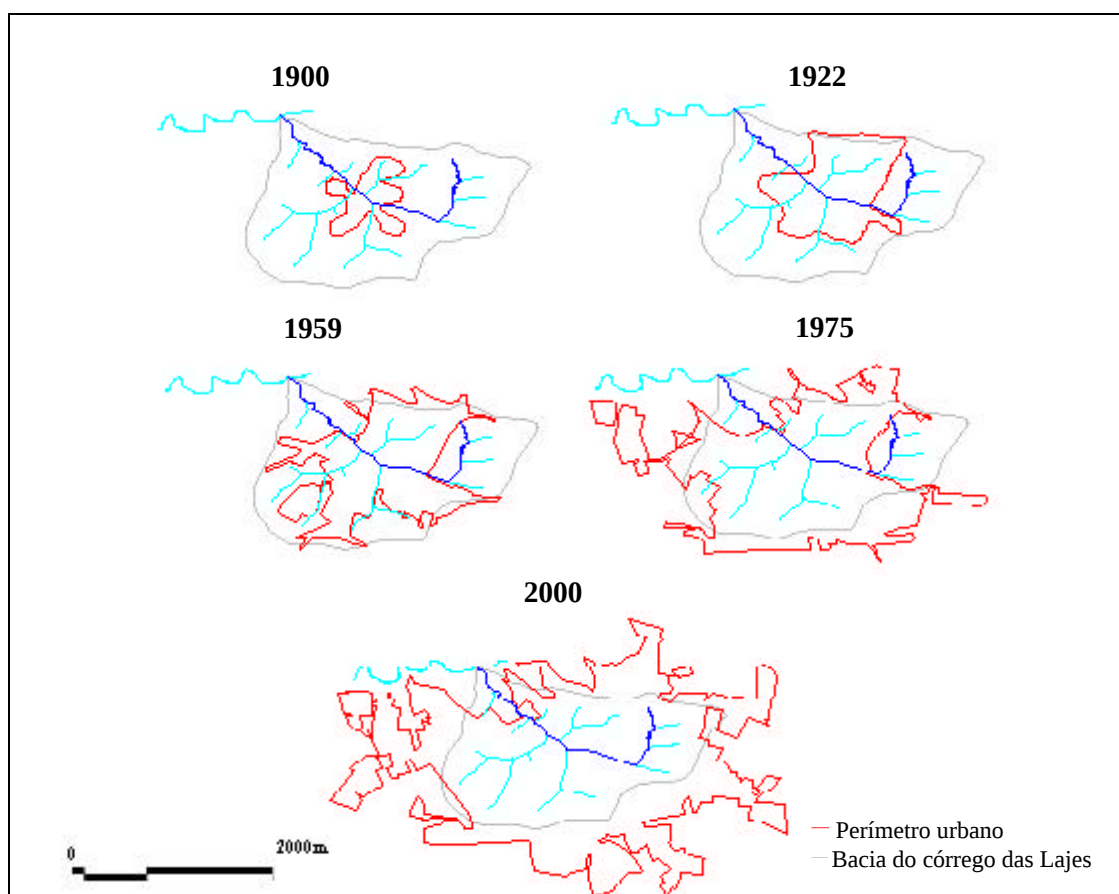


Figura 12 – Evolução da ocupação urbana no município de Uberaba

Adaptado de MORAIS (2001)

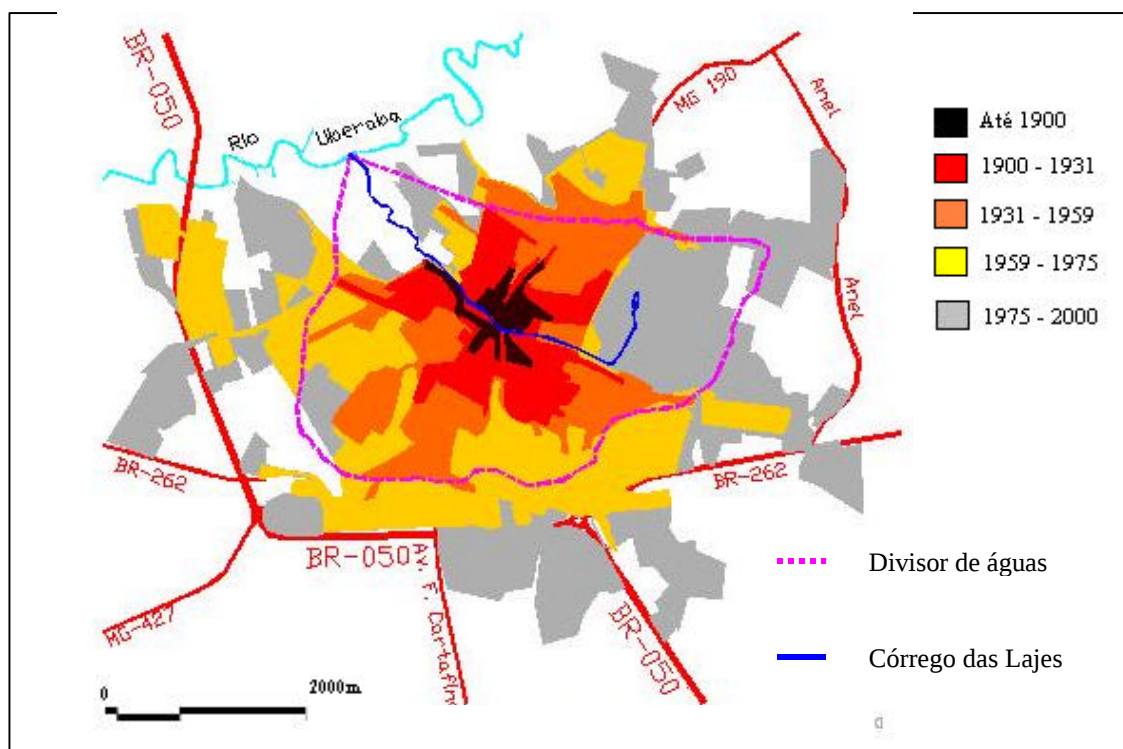


Figura 13 – Sobreposição das manchas urbanas ao longo do tempo

Adaptado de Moraes (2001)

3.3.2. Drenagem urbana

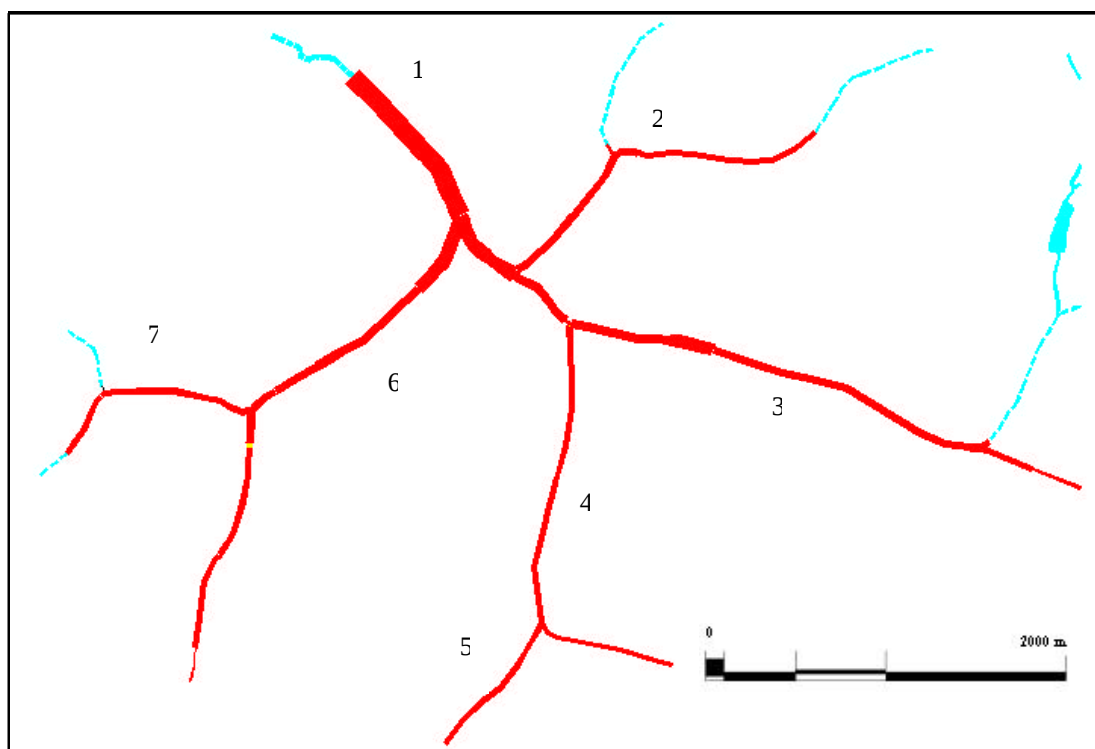


Figura 14 – Configuração dos canais

Fonte: SEPLAN (2001)

O processo de canalização fechada no município foi lento e envolveu varias administrações municipais além de contar com a participação financeira dos governos Federal e Estadual. O dimensionamento dos canais foi baseado no método racional e sua configuração atual pode ser observada na Figura 14. As avenidas correspondentes aos canais estão relacionadas na Tabela 8 .

Tabela 8 – Canalização fechada no centro urbano do município

Canal	Logradouro
1	Avenida Fidélis Reis
2	Avenida Odilon Fernandes
3	Avenida Leopoldino de Oliveira
4	Avenida Guilherme Ferreira
5	Avenida Nelson Freire
6	Avenida Santa Beatriz/ Avenida Santos Dumont
7	Avenida Pedro Salomão

Segundo dados da Prefeitura Municipal (2000), 99% da população tem acesso à rede de água e 98% à rede de esgoto, havendo grande disponibilidade de água, já que os Rios Grande, Uberaba, Araguari e Claro possuem alta vazão mesmo nos períodos de estiagem.

3.3.3. Histórico das inundações

Em 1934, o córrego das Lajes já estava sem vegetação ciliar, com o talude bem definido. Nos anos 50, a avenida Leopoldino de Oliveira já apresentava grandes enxurradas.

Existem registros de inundações nos anos 60, na Praça dos Correios e principais avenidas centrais.

MORAIS (2001) ressalta que foi o receio em relação às enchentes o grande responsável pelas atuais vias de circulação que a cidade possui, com avenidas de largura média de 30 metros. Essas avenidas são resultado da

construção, antes da década de 30, de casas com grande afastamento em relação ao eixo do córrego, o que permitiu usar esses espaços na construção das atuais avenidas centrais.

Na década de 70 é que iniciaram-se as canalizações fechadas, ou seja, as inundações sempre ocorreram independente das galerias para escoamento das águas pluviais serem abertas ou fechadas.

Existem relatos de inundações no início da década de 60, em que as águas extrapolavam o limite do canal aberto e corriam sobre o pavimento da avenida Leopoldino de Oliveira.

Atualmente, nos picos das inundações, é comum a ejeção das tampas dos Poços de Visita (PVs)

Na década de 90, foram verificadas inundações na região central de Uberaba em fevereiro de 1991, fevereiro e abril de 1992, fevereiro de 1993, novembro de 1997 e março de 2000. As características das inundações mais expressivas desse período estão descritas na Tabela 9.

Nos picos das inundações, é comum a ejeção das tampas dos Poços de Visita (PVs).

Tabela 9 – Características das inundações mais expressivas da última década do século XX

Data	Horário da chuva	Duração da inundação (min)	Altura da água (m)	Consequências
24/02/1992	16:00 às 17:30	15	Média: 0,75	• Paralisação do trânsito por 30 minutos • Pavimentos danificados • Veículos leves e alguns automóveis arrastados • Canteiros danificados • Bueiros, árvores e placas arrancados • Garagens de edifícios inundadas
18/11/1996	16:00 às 18:00	19	Média: 0,70 Pico: 1,10	• Carros arrastados por mais de 400 m e empilhados • Equipamentos urbanos carregados e danificados • Lojas inundadas e parcialmente destruídas • Muros derrubados • Trânsito interrompido por mais de 3 horas • Decretado estado de <i>Calamidade Pública</i>
08/03/2000	14:30 às 16:30	17	Média: 0,70 Pico: 1,00	• Pavimentos danificados • Muros quebrados • Carros empilhados e destruídos • Decretado <i>Estado de Emergência</i>

Até a inundação de novembro de 1996, as enchentes no centro da cidade eram tratadas como fato corriqueiro e sem grandes consequências. Em virtude do volume de prejuízos e dos riscos observados nessa ocasião, o problema passou a ser tratado com seriedade pelo Poder Municipal. A partir daí foram adotadas soluções mitigadoras e iniciados estudos a fim de reduzir o problema através de medidas administrativas e estruturais. Nessa inundação, a vazão foi medida na Avenida Leopoldino de Oliveira, atingindo $75 \text{ m}^3/\text{s}$ na superfície e $66 \text{ m}^3/\text{s}$ no canal retangular de $3,50 \times 3,00$ metros, segundo a Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente.

As inundações típicas em Uberaba, ocorrem entre as 14 e as 21 horas, em geral próximas às 17 horas, com as chuvas durando de 1 a 2 horas e intensidade média de precipitação igual ou maior a 50 mm/h .

3.3.4. Captação de águas

O único manancial que abastece o município é o rio Uberaba, cuja bacia possui 2374 Km^2 . O trecho acima da captação tem extensão de $57,53 \text{ Km}$ e área de $529,39 \text{ Km}^2$ correspondente a 22% da bacia e 12% do município, sendo retirado a uma vazão de $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (CRUZ et al., 2002).

O leito do rio corre sobre basalto em quase todo o percurso, formando rápidas e pequenas cachoeiras. Ao adentrar a área de captação, a margem esquerda é ocupada por chácaras de recreio. Após a captação, percorre 4 km recebendo lançamento de esgotos até as coordenadas $19^\circ 43' 23.5'' \text{ S}$ e $47^\circ 57' 06.7'' \text{ W}$, na altitude 697 m (figura 15). A partir desse ponto, o rio atravessa o perímetro urbano, recebendo outras descargas de efluentes, elevando a demanda química de oxigênio, quando então segue, sempre rumo a noroeste mais 40 Km , até receber o rio Santa Gertrudes, o afluente de maior volume de água, aumentando a vazão e melhorando a capacidade de auto-depuração e oxigenação.

O rio percorre ainda a cidade de Veríssimo, onde recebe esgoto *in natura*, o município de campo Florido, o perímetro urbano de Conceição das Alagoas e o município de Planura, onde deságua no Rio Grande.

De acordo com levantamento preliminar feito por CRUZ et al.(2001), a qualidade da água na região da nascente até o reservatório da CODAU (área 1), no reservatório da CODAU (área 2) e na região urbana e industrial de Uberaba (área3), as concentrações de fósforo total, ortofosfato, amônio e nitrogênio orgânico total foram maiores na região urbana e industrial de Uberaba, área que apresentou também percentual nulo para saturação de oxigênio dissolvido. Para nitrito e nitrato, a tendência de aumento na concentração foi observada da área 1 para a área 3, em alguns trechos esses níveis estavam acima dos toleráveis; ou seja, o rio Uberaba apresenta perdas na qualidade da água a partir do município de Uberaba devido ao aporte de esgotos domésticos e industriais. Nesse estudo, as análises da água mostraram ainda presença de coliformes fecais em todos os trechos. A Figura 15 mostra a bacia do Rio Uberaba.

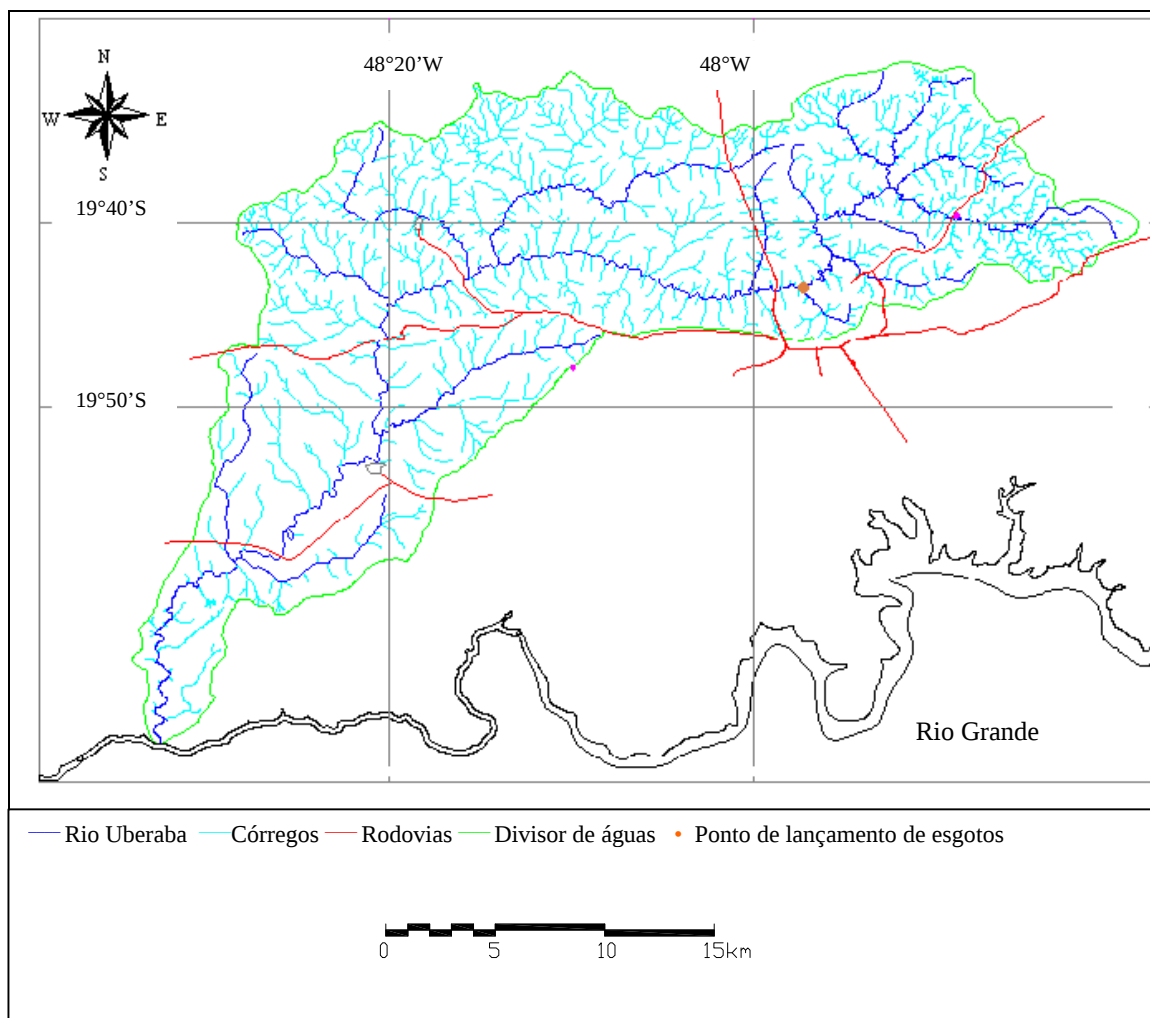


Figura 12 – Bacia do Rio Uberaba

3.4. Uso do solo

De acordo com dados da EMATER – MG, em 2001, a ocupação do solo do município estava distribuída de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 – Uso do solo

Uso do solo	Área (ha)	% da área do município
Lavouras permanentes	3800	0,86
Lavouras temporárias	85000	19,21
Lavouras temporárias em descanso	132	0,03
Pastagens naturais	68000	15,36
Pastagens formadas	200000	45,20
Matas naturais	30833	6,97
Matas plantadas	20000	4,52
Terras produtivas não utilizadas	1852	0,42
Reserva florestal	0	0

Fonte: EMATER,2001

Do ponto de vista das inundações, as pastagens e as matas constituem fatores importantes a serem avaliados, visto que as primeiras são áreas passíveis de impermeabilização do solo devido à movimentação dos animais, aumentando a compactação, e à própria estrutura da vegetação. As matas auxiliam na redução do escoamento superficial, através do aumento na capacidade de infiltração da água no solo e redução da velocidade da água por interceptação.

Em Uberaba, as pastagens correspondem a cerca de 60% da área total do município, enquanto as matas apenas 12%.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição dos materiais

4.1.1. Informações analógicas e digitais

Os materiais utilizados na realização deste trabalho estão descritos abaixo:

- Carta do Brasil, folha de Uberaba (1979), na escala 1:100000, produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cedida pela Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Uberaba (SEPLAN).
- Mapa da cidade de Uberaba (2001), na escala 1:20000, obtida junto à SEPLAN, em formato analógico.
- Mapa Geológico, produzido pelo Projeto Chaminés (1970), na escala 1:250000, em formato analógico, folha de Uberaba, obtida na Biblioteca da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

- Imagem orbital obtida pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat-5, sintética, tomada em julho de 1999. Resolução de 30m. Formato digital. Cedida pelo LabGeo (Laboratório de Geoprocessamento da Universidade de Uberaba).
- Mapa da bacia do rio Uberaba, divisão política e características físicas (2001), na escala 1:25000, parte do projeto “Redescobrimo o Rio Uberaba”, desenvolvido pela SEPLAN e cedido em CD-ROM .
- Mapa da bacia do Córrego das Lajes e da evolução urbana do município de 1900 a 2000, cedidas no formato digital pelo Engenheiro Osmar Ribeiro de Moraes.
- Levantamento plani-altimétrico, com curvas de nível principais de 50 em 50 metros e secundárias de 10 em 10 metros, malha urbana, hidrografia, pedologia, ferrovias e rodovias, na escala 1:25000, cedidas pelo LabGeo.

4.1.2. Equipamentos

Na aquisição e processamento dos dados foram utilizados computadores, mesa digitalizadora, impressoras, *scanner* de mesa e *plotter* . Na aquisição de dados de campo foram utilizados Penetrômetro de Solos da marca Solotest, referência S-210 e GPS modelo II Plus, marca Garmin.

4.1.3. Softwares

Foram utilizados *softwares* de geração e processamento de dados, especialmente os relacionados à geoprocessamento, a seguir listados:

- ArcView 32, © Environmental Systens Research Institute, Inc (1992-2000);
- AutoCAD 2000, © Autodesk, Inc (1982-1999);
- Cartalinx 1.2, © The Clark Labs (1998-1999);

- Idrisi32, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University (2001).
- Spring 3.6, © Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2001).
- ArcInfo 8.0.2, © Environmental Systems Research Institute, Inc (1992-2000).

4.2. Métodos

A metodologia na qual foi desenvolvido esse trabalho, constou de coleta de dados, tratamento das imagens digitais, análise da imagem orbital, análise espaciais com critérios múltiplos concorrentes e/ou conflitantes e apresentação dos cenários-solução resultantes.

4.2.1. Coleta de dados

4.2.1.1. Coleta de dados de campo

Os dados de campo foram coletados ao longo do Rio Uberaba, em propriedades rurais abaixo da nascente e de um afluente, o Ribeirão Lajeado no perímetro urbano, de acordo com o substrato presente, a saber: basalto, arenito e contato arenito-basalto.

A coleta foi realizada em pontos colhidos aleatoriamente nas duas margens de cada curso d'água, desde que pertencentes à faixa de 30 metros em cada margem, que, de acordo com a legislação federal deveria estar revestida por mata ciliar. Os pontos de coleta foram georeferenciados através do GPS. Foram executadas pelo menos 15 repetições em cada ponto e utilizados os valores médios dessas repetições.

4.2.1.2. Coleta de dados analógicos e digitais

Os dados nos formatos analógico e digital foram obtidos através de órgãos públicos municipais (SEPLAN) e estaduais (EMATER-MG) no município de Uberaba, do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade de Uberaba (LabGeo) e da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) em Belo Horizonte, e do acervo pessoal do Engenheiro Osmar Ribeiro Moraes.

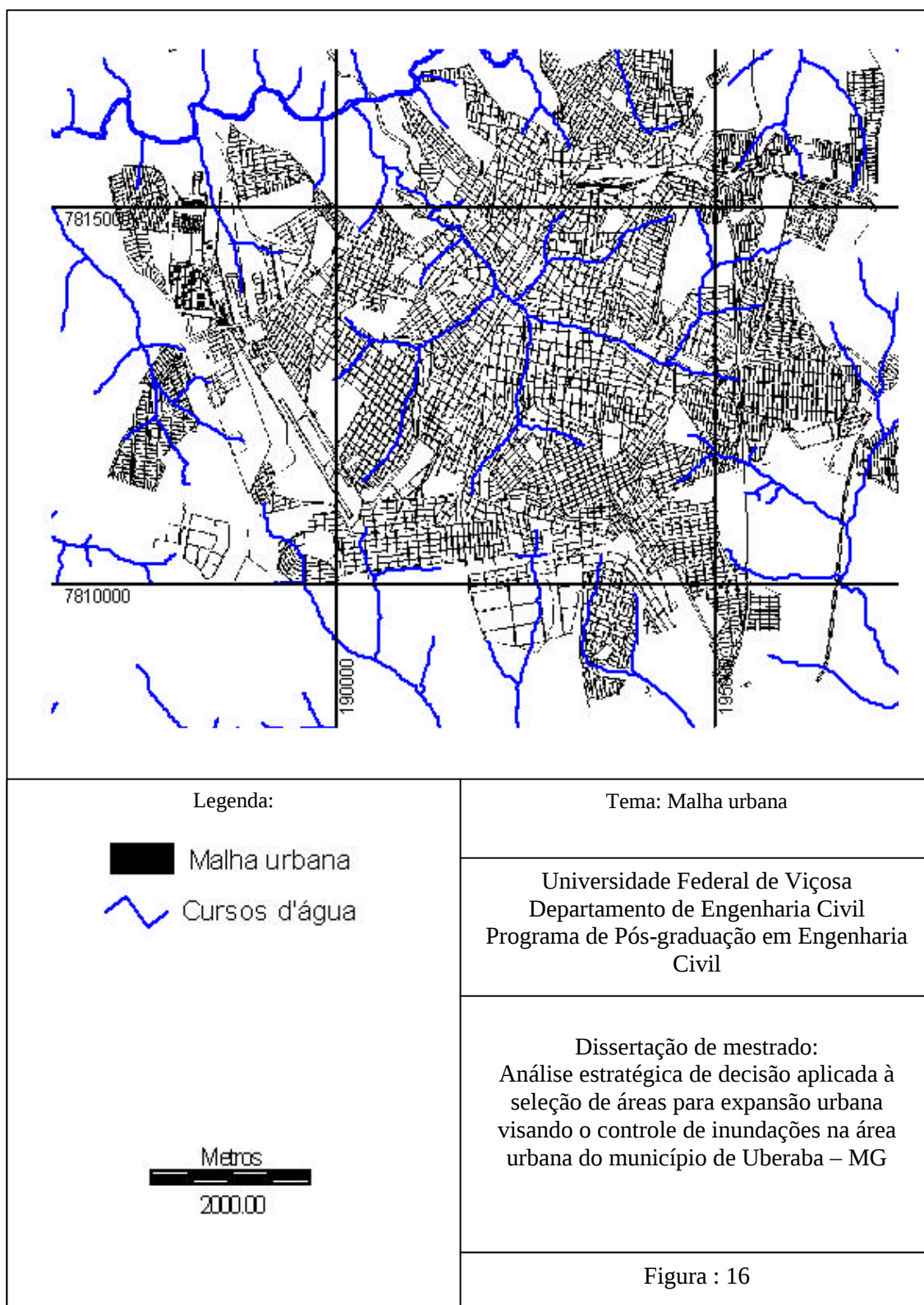
4.3. Tratamento dos dados digitais

4.3.1 Georeferenciamento

A carta de pedologia e a da malha urbana da área de estudo não se encontravam referenciadas a nenhum sistema de coordenadas terrestres, o que não permitiria a utilização desses dados nas análises. Procedeu-se então, à correção geográfica através do modo *Resample* do SIG Idrisi 32, enquadrando as imagens ao Sistema UTM (Universal Transversa de Mercator).

No caso da carta de solos, foram utilizados 4 arquivos de pontos de controle, variando de 16 a 28 pontos de controle, os quais foram coletados do mapa digital de hidrografia. O melhor resultado foi obtido com 19 pontos de controle, que apresentou RMS (erro quadrático médio) de 0,03 pixel. A função utilizada foi quadrática e o método de interpolação de intensidade foi o do vizinho mais próximo, que utiliza o valor do pixel de entrada mais próximo para assinalá-lo ao pixel da imagem corrigida, alterando pouco o valor numérico do pixel original.

O georeferenciamento da malha urbana apresentou melhor resultado com 14 pontos de controle, coletados nos mapas digitais de hidrografia, rodovias e ferrovias. Apresentou RMS de 0.07 utilizando função linear. A Figura 16 apresenta a malha urbana georeferenciada.



4.3.2. Padronização dos dados digitais

Os dados no formato digital foram padronizados a um mesmo sistema de referência através do módulo *Project* do software Idrisi 32, que transforma um sistema de coordenadas conhecido em outro também conhecido. A reamostragem foi executada através do algoritmo do vizinho mais próximo.

A padronização do número de linhas e colunas de cada imagem, necessária para a realização de operações matemáticas teve como base a imagem de uso do solo.

4.3.3. Classificação da imagem orbital

A imagem orbital disponível era uma imagem sintética, em níveis de cinza, o que dificultava a classificação baseada apenas na análise visual da imagem. Optou-se por realizar classificação supervisionada com utilização de amostras de treinamento coletadas em campo e informações obtidas junto à Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do município de Uberaba e à Emater-MG .

As classes consideradas para a classificação foram:

- Pastagens;
- Lavouras;
- Matas e cerrado;
- Núcleo urbano.

Essas classes foram escolhidas por representarem 98% da ocupação do solo do município, segundo levantamento dos órgãos supracitados.

A imagem orbital já se encontrava georeferenciada, e teve como tratamento o realce de contraste não-linear através da equalização de histograma, com o objetivo de facilitar a digitalização das amostras de treinamento sobre a imagem.

A Tabela 11 mostra o número de polígonos utilizados como amostras de treinamento para cada classe.

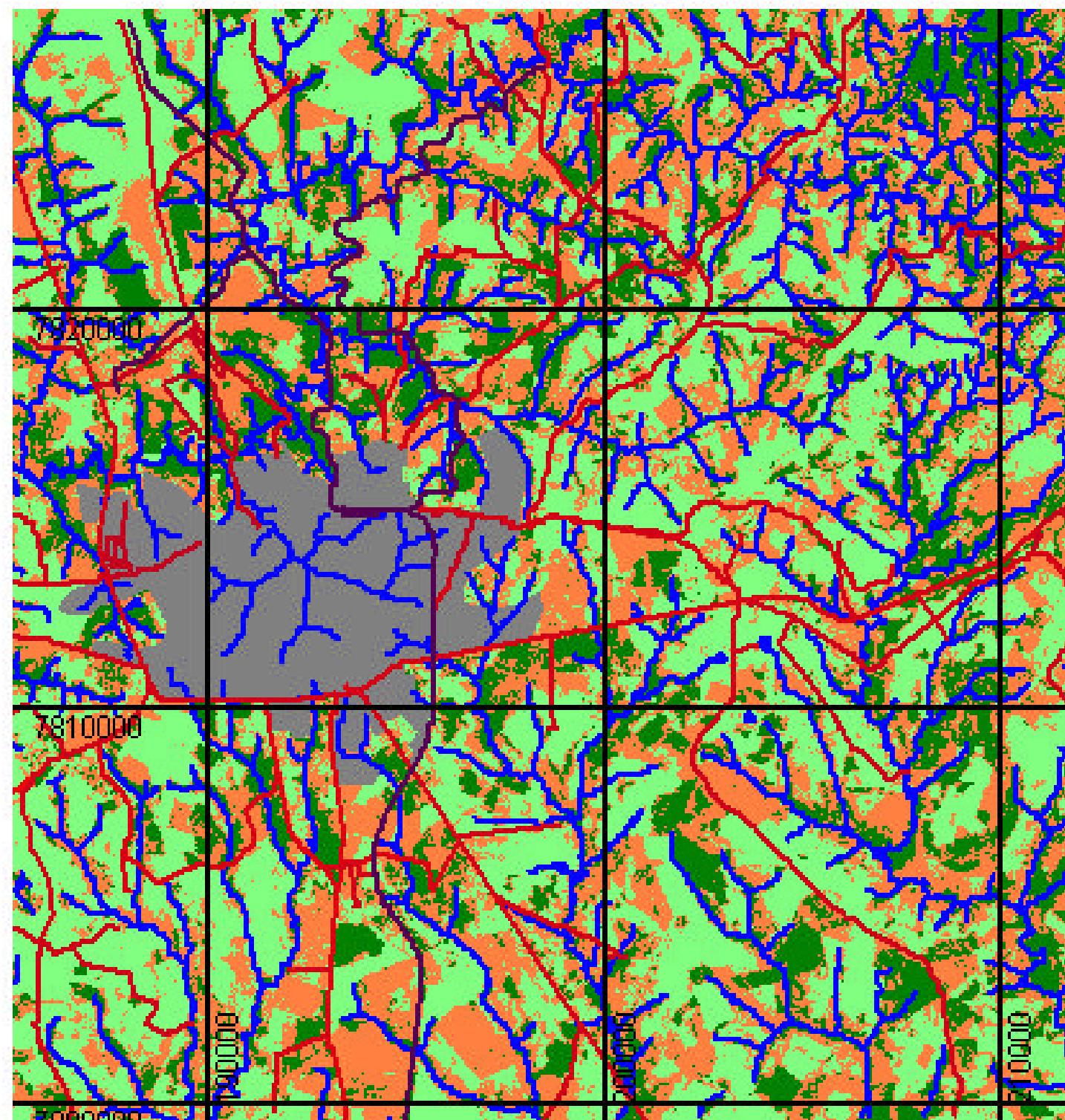
Tabela 11 – Número de amostras de treinamento

ID	Classe	Número de polígonos
1	Pastagens	72
2	Áreas agrícolas	63
3	Mata/cerrado	47
4	Núcleo urbano	38

De posse das amostras de treinamento, as estatísticas foram analisadas através do histograma e manipuladas através da seleção das melhores amostras para que as amostras de treinamento fossem o mais homogêneas possíveis de forma a propiciar uma classificação mais precisa.

O algoritmo utilizado na classificação foi o da máxima verossimilhança, que utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento, permitindo computar a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma determinada classe. No processo de decisão, foram atribuídos pesos a cada classe de acordo com a sua possibilidade a priori, já que se possuía essa informação, que foi apresentada na tabela 10 do capítulo 3.

A figura 17 apresenta a imagem temática resultante da classificação supervisionada, com os cursos d'água, rodovias e ferrovias incorporados .



Tema: Uso do solo
Legenda: Pastagens Áreas agrícolas Mata/cerrado Núcleo urbano Ferrovias Cursos d'água Rodovias 10000.00
Universidade Federal de Viçosa Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Dissertação de mestrado “Análise estratégica de decisão aplicada à seleção de áreas para expansão urbana visando o controle de inundações na área urbana do município de Uberaba – MG”
Figura 17

As restrições neste trabalho foram baseadas na Lei Federal 6766 de dezembro de 1979 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e no plano diretor de Uberaba, Lei do Parcelamento do solo urbano, de junho de 1991, que definem áreas não edificantes, a saber:

4.3.4. Conversão de dados analógicos para o formato digital

A carta geológica, na escala 1:250000 foi digitalizada através do software ArcInfo 8.0.2 e editada através do software Cartalinx. O erro posicional apresentado foi de 0.001 nos dois eixos, em coordenadas Latlong.

No software Idrisi 32, através do módulo Project, a carta pedológica digitalizada foi convertida para o sistema de projeção UTM.

Os arquivos de pontos obtidos com GPS foram salvos com extensão dbf4 (arquivo de banco de dados), a partir do qual foram apresentados como imagem georeferenciada no software ArcView, com coordenadas geográficas em LatLong, que foram convertidas para UTM no módulo *Project* do Idrisi32.

4.4. Análises Espaciais

O módulo MCE do Idrisi32 foi utilizado como sistema de apoio à tomada de decisão usando critérios múltiplos para selecionar as áreas mais adequadas para expansão urbana na área de estudo a montante do município de Uberaba, de forma a não agravar as enchentes recorrentes no município. O módulo MCE foi utilizado para avaliar e agregar os critérios oriundos de informações existentes ou geradas.

Os critérios podem ser fatores ou restrições. Os fatores são limitações relativas, que definem algum grau de aptidão para as regiões geográficas, enquanto as restrições são limitações absolutas que limitam o espaço de análise.

4.4.1. Restrições

- Classes de declividade acima de 30% (R1)
- Faixas marginais aos cursos d'água na largura de 50 metros , medidos a partir da cota máxima das cheias (R2)
- Faixas marginais às rodovias e ferrovias na largura de 15 metros medidas a partir das respectivas faixas de domínio (R3)
- Matas ciliares (R4)

4.4.2. Fatores

Os fatores utilizados nas análises espaciais foram classificados em 3 categorias:

- Técnico-ambientais (TA);
- Sócio-econômicos (S);
- Operacionais (O).

Como fatores técnico-ambientais foram consideradas as classes de declividade, as formações geológicas, os cursos d'água e as matas.

Alguns tipos de uso atual do solo, as áreas de pastagem e as áreas agrícolas, foram avaliados como fatores sócio-econômicos, relacionados ao custo da expansão urbana onde existam esses tipos de uso.

Como fatores operacionais, foram relacionados a distância às rodovias, ferrovias e ao atual perímetro urbano.

Na Tabela 12, estão relacionados os fatores utilizados nas análises espaciais.

Tabela 12 – Fatores utilizados nas análises espaciais

Código	Descrição
TA	Fatores técnico-ambientais
TA1	Classes de declividade
TA2	Geologia
TA3	Matas
TA4	Distância dos cursos d'água
S	Fatores sócio-econômicos
S1	Uso do solo
O	Fatores operacionais
O1	Distância de rodovias
O2	Distância de ferrovias
O3	Distância de áreas já urbanizadas

4.4.3. Processo de análise

O processo de análise multicritério pode ser melhor compreendido classificando os critérios em níveis de análise de acordo com a Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação de critérios em níveis de análise

1º Nível	TA				S	O		
	R1		R2			R3		
2º Nível	TA1	TA2	TA3	TA4	S1	O1	O2	O3

Os fatores de segundo nível foram agregados através da combinação linear ponderada (WLC), considerando seus respectivos pesos. Os fatores de primeiro nível, juntamente com as restrições foram agregados através do procedimento de análise multi-critério por combinação de média ponderada ordenada (OWA), que considera dois conjuntos de pesos, permitindo controlar o nível de compensação entre os fatores e o nível de

risco na determinação da adequabilidade. A Figura 17 apresenta o fluxograma da agregação de critérios utilizadas na análise.

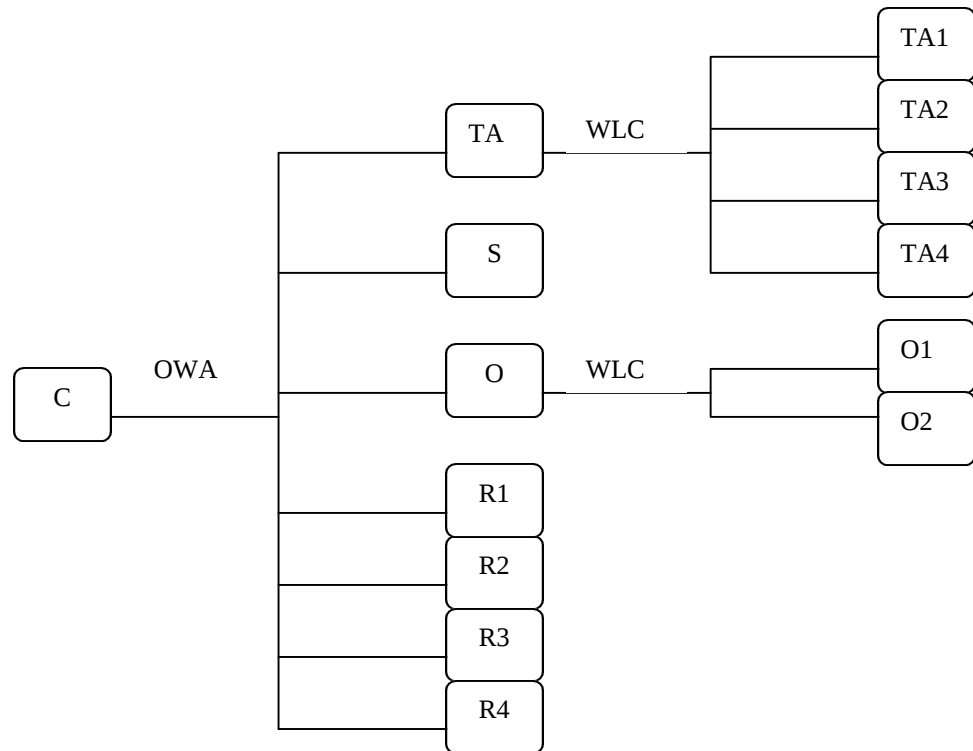


Figura 17 – Fluxograma de agregação de critérios

4.4.4. Descrição dos fatores

Para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala contínua de adequabilidade, foram utilizadas as funções dos conjuntos *fuzzy*, em *bytes*, variando de zero (áreas menos adequadas) a 255 (áreas mais adequadas). Em alguns casos, os fatores foram reescalados para valores categóricos de adequabilidade. A Figura 18 mostra as funções membros do conjunto *fuzzy* que foram utilizadas nesse trabalho.

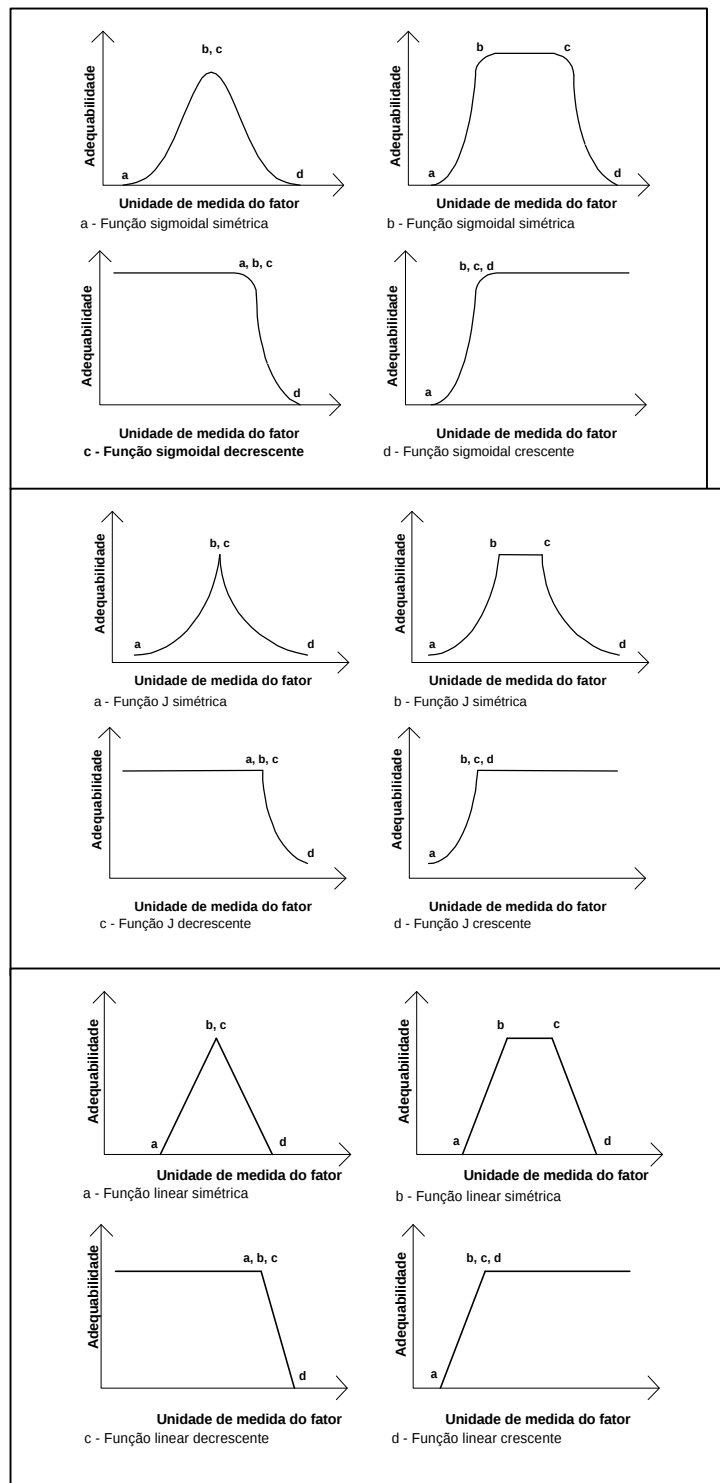


Figura 18 – Funções do conjunto *fuzzy* (adaptado de Melo,2001)

a) Fatores técnico-ambientais

a.1) Classes de declividade (TA1)

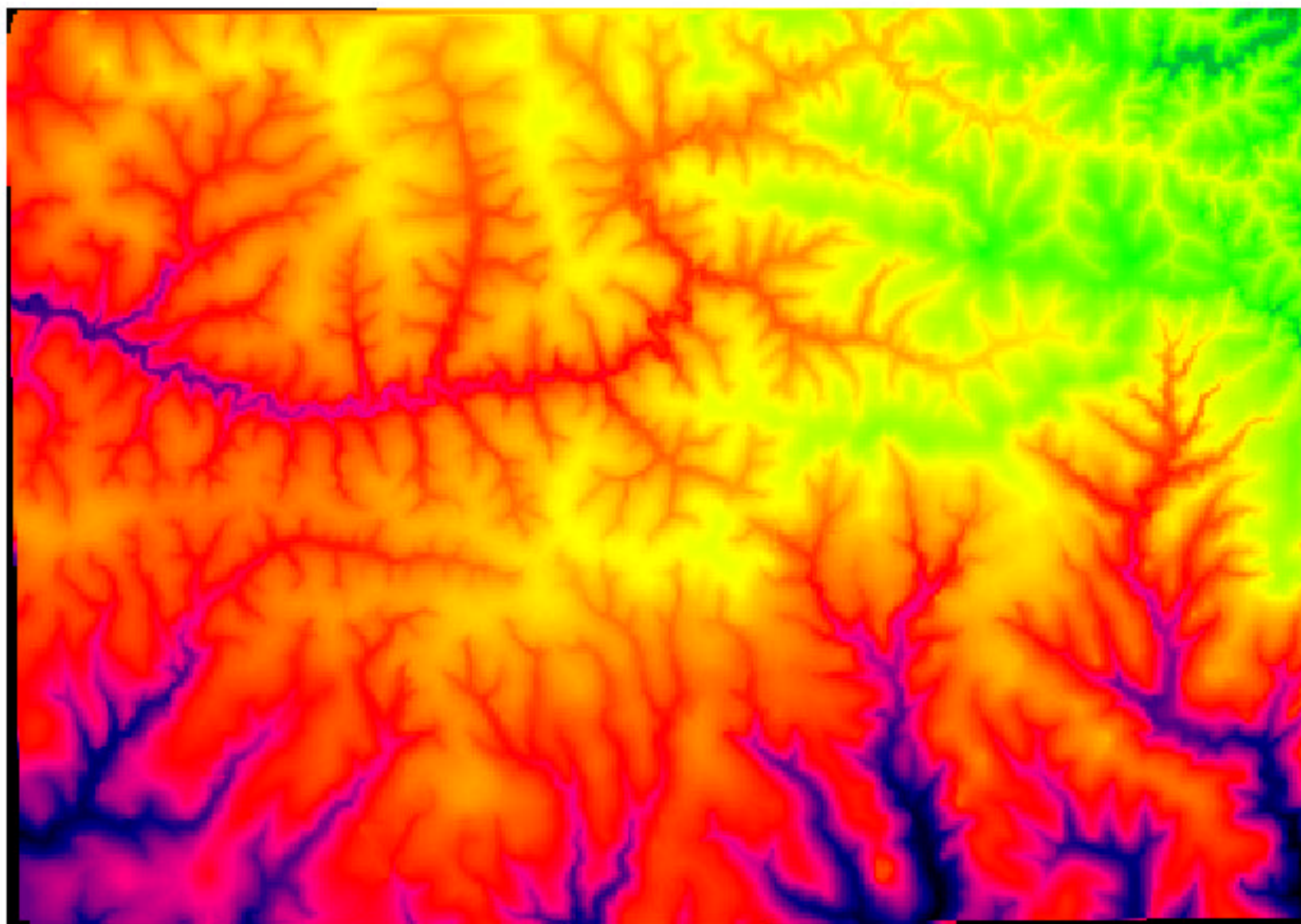
As classes de declividade foram padronizadas através da função *fuzzy* linear simétrica, com pontos de controle mostrados na Tabela 14

Tabela 14 – Pontos de controle da função linear simétrica para declividade

Ponto de controle	Declividade (%)
a	0
b	5
c	25
d	30

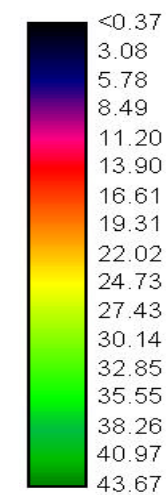
A adequabilidade inicialmente é crescente, variando de 0 a 5%, onde atinge o valor máximo de adequabilidade que se mantém até declividades de 25%, quando começa a decrescer até atingir adequabilidade nula em 30%, a máxima permitida por lei . Esses valores foram escolhidos com base na carta de declividades, que mostra que as declividades de 0 a 10% correspondem a 85% da área; e tendo como objetivo evitar as inundações, as áreas de declividade muito baixa devem ter menor adequabilidade, pois são mais passíveis de alagamentos.

A carta de declividades foi gerada a partir da imagem vetorial da altimetria da área de estudo, com curvas mestras de 50 em 50 metros e curvas secundárias de 10 em 10 metros através do módulo *Tin* do Idrisi32, que gera um modelo numérico do terreno por triangulação (MDT), que pode ser observado na Figura 19, a partir do qual, através do módulo *Slope*, extraem se os valores de declividade em uma escala contínua, que foi reescalada usando *Edit/Assign* , para visualização das classes de interesse, como pode ser verificado através da Figura 20.



Tema:
Modelo Digital de terreno

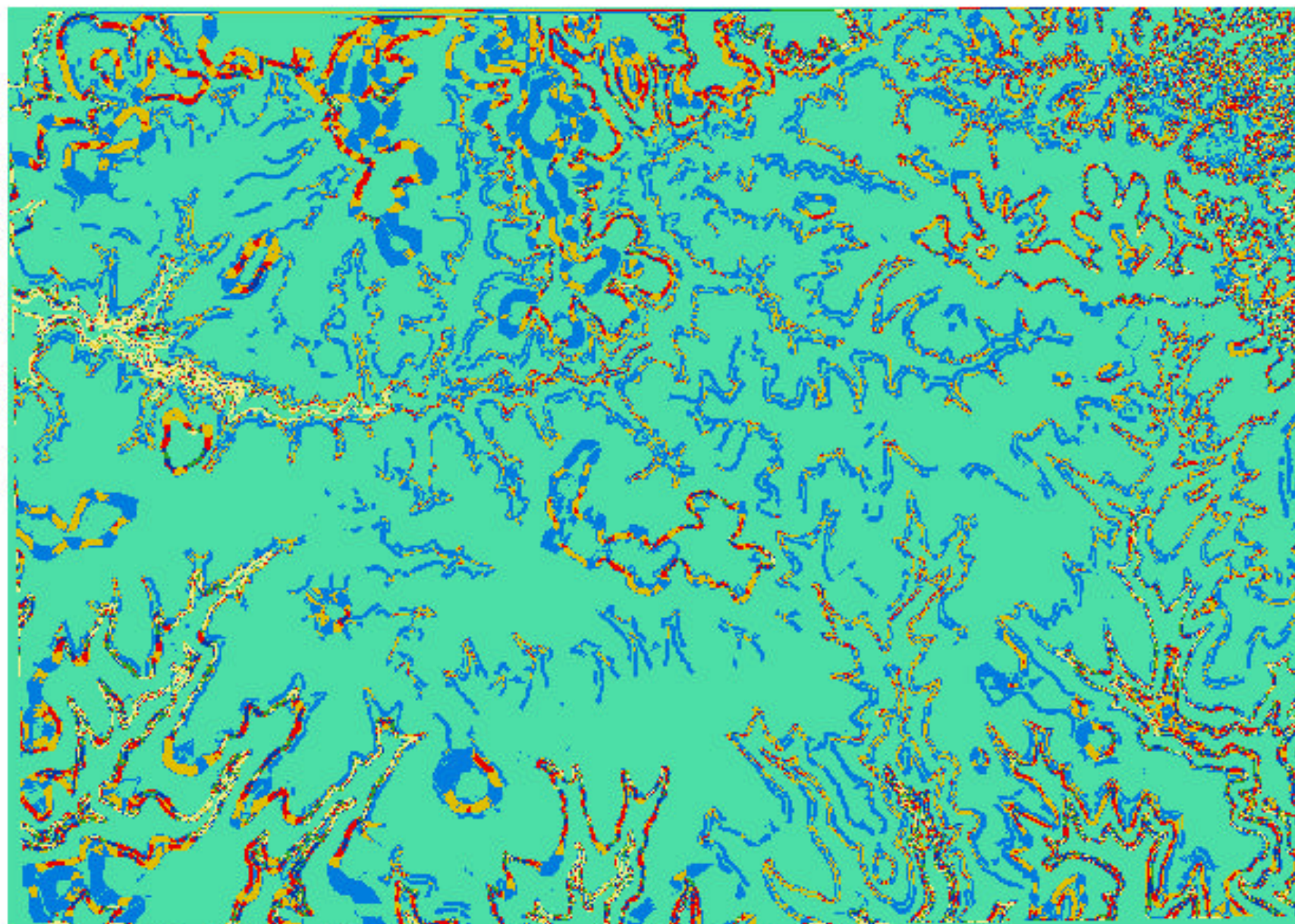
Legenda:



Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado:
“Análise estratégica de decisão aplicada
à seleção de áreas para expansão urbana
visando o controle de inundações na área
urbana do município de Uberaba – MG”

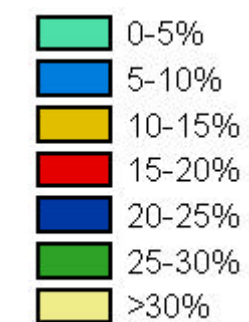
Figura 19



Tema:
Classes de declividades

Legenda:

Declividades



Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado:

“Análise estratégica de decisão aplicada
à seleção de áreas para expansão urbana
visando o controle de inundações na área
urbana do município de Uberaba – MG”

Figura 20

c3) Distância de áreas já urbanizadas (O3)

Como o objetivo é a alocação de áreas adequadas para a expansão urbana, é importante que essas áreas estejam próximas ao núcleo **a2)**

Geologia (TA2)

As formações geológicas foram reescaladas a valores categóricos de adequabilidade. A região apresenta formações geológicas de duas origens, arenito ou basalto. A Tabela 15 apresenta os valores de adequabilidade atribuídos a cada formação

Tabela 15 – Valores de adequabilidade para as formações geológicas

Substrato	Formação	Adequabilidade
Basalto	Kab	255
Arenito	Kbc, Kbar, Kbtbf	150

Os valores foram atribuídos de acordo com as características de permeabilidade típicas dos solos oriundos desses substratos, visto que o objetivo é a redução das inundações. Desse modo, o impacto sobre o escoamento superficial de uma ocupação urbana em substrato basáltico é menor, o que o torna mais adequado .

a3) Matas (TA3)

Às áreas de matas, foi atribuído o valor de adequabilidade 100, o menor valor atribuído, já que as matas funcionam como barreiras para as águas das chuvas, reduzindo o escoamento superficial e aumentando a capacidade de infiltração.

a4) Distância dos cursos d'água (TA4)

O fator distância da água foi padronizado através da função *fuzzy* sigmoidal simétrica, com pontos de controle apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Pontos de controle da função sigmoidal simétrica para o fator distância da água

Ponto de controle	Distância (m)
a	100
b	600
c	1586
d	2186

O valor final (2186) foi obtido após aplicar o módulo *Distance* na imagem de recursos hídricos, que produz uma superfície contínua de valores de distância Euclidiana. A adequabilidade é crescente, até atingir uma faixa de estabilização e decrescer, pois uma distância excessiva da água pode significar maiores custos em infra-estrutura.

b) Fatores sócio-econômicos (S)

Às áreas de solo utilizadas como pastagem e agricultura foram atribuídos os valores de adequabilidade mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores de adequabilidade pra os fatores sócio-econômicos

Classe de uso do solo	Adequabilidade
Pastagens	230
Áreas agrícolas	120

As pastagens representam 65 % do uso do solo no município e, o impacto de ocupação dessas áreas por expansão urbana residencial sobre o escoamento superficial é reduzido por se tratar de áreas com impermeabilização elevada, em especial onde há livre acesso aos animais.

A expansão em áreas agrícolas representa ônus social, pois significa a retirada do homem do campo, além de ter que se levar em consideração que se trata de região de grande produtividade, o que aumenta o valor dessas áreas.

c) Fatores operacionais (O)

c1) Distância de rodovias (O1)

Para o fator distância das rodovias, foi usada a função J-shaped decrescente cujos pontos de controle estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Pontos de controle para a função j-shaped decrescente que rege o fator distância das rodovias

Ponto de controle	Distância (m)
c	50
d	5325

O valor 5325m foi o maior valor encontrado na imagem *Distance* das rodovias. A adequabilidade decresce com a distância. Áreas mais próximas às rodovias são mais adequadas por questões de operacionalidade, facilitando a ligação com as novas vias.

c2) Distância de ferrovias (O2)

A distância de ferrovias foi padronizada por valores categóricos motivados pelo desconforto causado pelo tráfego de trens muito próximo à áreas residenciais.

Os valores de adequabilidade de acordo com a distância estão relacionados na Tabela 19.

Tabela 19 – Adequabilidades atribuídas ao fator distância das ferrovias

Adequabilidade	Distância (m)
150	50 – 350
255	> 350

urbano existente, devido às questões operacionais e de infra-estrutura. Então, para a padronização das distâncias do núcleo urbano a uma escala contínua de adequabilidade, foi utilizada a função linear monotônica decrescente, com os pontos de controle apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Pontos de controle para a função linear monotônica decrescente que rege a adequabilidade do fator distâncias das áreas urbanizadas

Pontos de controle	Distância (m)
c	0
d	18618

4.4.5. Agregação dos fatores de 2º nível

Os fatores do segundo nível foram agregados usando o procedimento de Combinação Linear Ponderada (WLC) através do qual cada fator padronizado é multiplicado pelo seu peso correspondente, são somados e a soma dividida pelo número de fatores. A combinação ponderada é calculada para *pixel* na imagem e permite a compensação entre os fatores. A análise se posiciona exatamente entre o risco extremo (OR) e o risco mínimo (AND).

O valor de compensação ou ponderação, indica a importância relativa dos fatores e regula a compensação entre eles. No Idrisi32, o módulo *Weight* compara pares de fatores em termos de sua importância relativa, e depois de todas as combinações possíveis, calcula um conjunto de pesos cuja somatória é 1, e uma razão de consistência.

a) Agregação dos fatores técnico-ambientais

Os fatores técnico-ambientais foram agregados por combinação Linear Ponderada (MCE), após a atribuição das importâncias relativas, cálculo dos pesos ponderados e verificação da razão de consistência. A Tabela 21 explicita a distribuição das importâncias relativas objetivando a expansão urbana com redução do risco de inundações.

Tabela 21 – Importâncias relativas entre os fatores técnico-ambientais

Fator	TA1	TA2	TA3	TA4
TA1	1			
TA2	1	1		
TA3	3	3	1	
TA4	4	3	3	1

Descrição das importâncias relativas atribuídas:

- **TA2 – TA1:1** As declividades e o substrato geológico foram considerados igualmente importantes , por sua influência nas inundações não estar calcada em estudos detalhados e sim em estimativas.
- **TA3 – TA1:3** As matas foram consideradas moderadamente mais importantes que as declividades do ponto de vista das inundações, pois funcionam como barreiras naturais, reduzem a velocidade do escoamento e aumentam a capacidade de infiltração.
- **TA3 – TA2:3** As matas foram consideradas moderadamente mais importantes que as formações geológicas.
- **TA4 – TA1:4, TA4 – TA2:4** A distância dos cursos d'água foi considerada fortemente mais importante que as declividades e do que as formações geológicas, porque se constituem no fator mais importante do ponto de vista das inundações no caso em questão.

- **TA4 – TA3:2** A distância dos cursos d'água foi considerada entre igualmente e moderadamente mais importante que as matas.

O resultado do cálculo dos pesos ponderados mostra a relação entre os fatores técnico-ambientais visando a expansão urbana com redução no risco de enchentes. Os pesos ponderados calculados pelo módulo *Weight* foram:

- T1: 0.1090
- T2: 0.1090
- T3: 0.2968
- T4: 0.4852

A razão de consistência encontrada foi de 0.01, indicando que a matriz de categorias foi gerada adequadamente (Razões de consistência maiores que 0.10 não são aceitáveis e precisam ser reavaliadas).

b) Agregação dos fatores operacionais

Os fatores operacionais também foram agregados por WLC e a distribuição dos valores relativos atribuídos está apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 – Importância relativa entre os fatores operacionais

Fator	O1	O2	O3
O1	1		
O2	1/4	1	
O3	3	5	1

Descrição das importâncias relativas atribuídas:

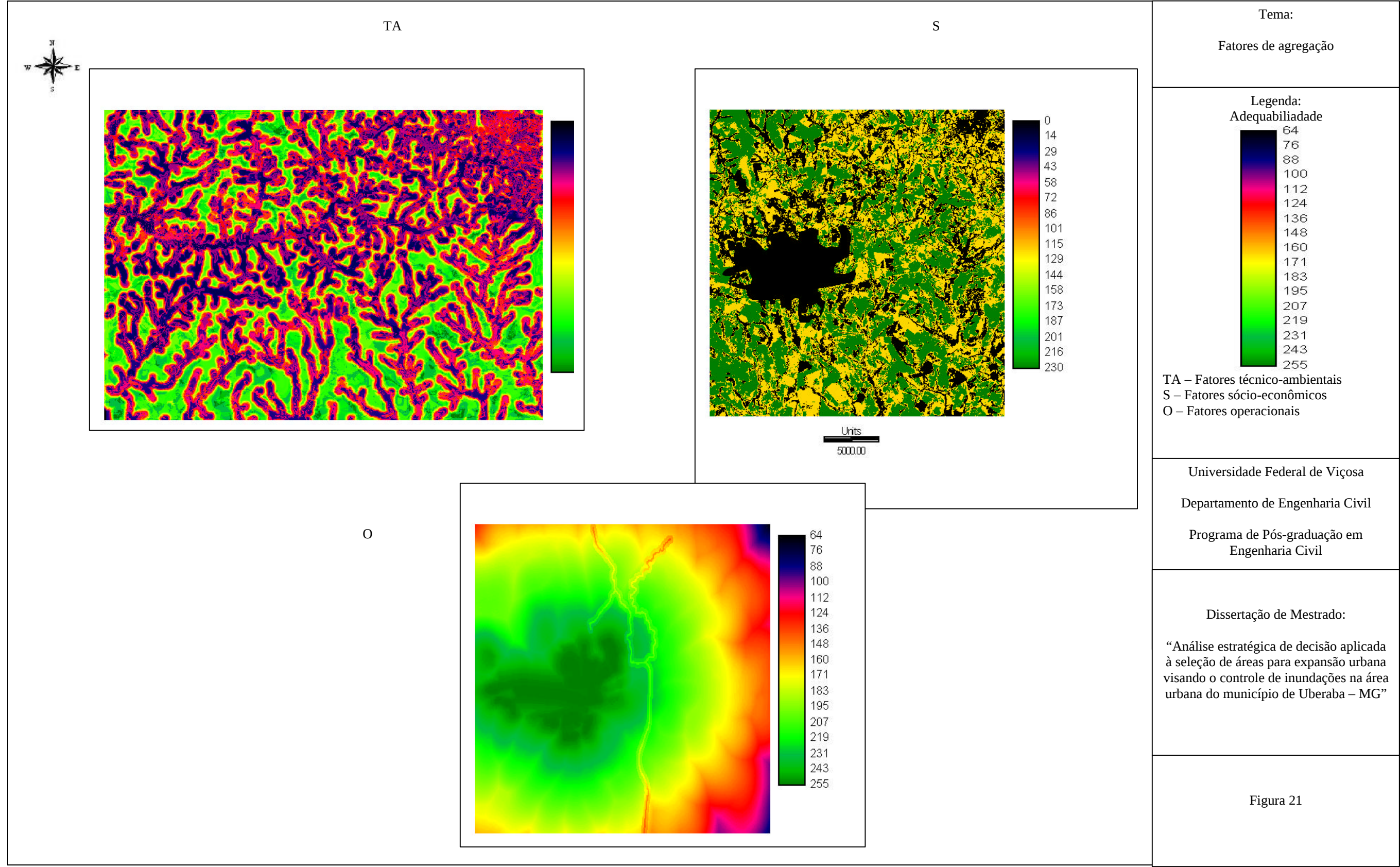
- **O2 – O1 : 1/4** A distância das ferrovias é entre moderadamente e fortemente menos importante do que a distância das rodovias.
- **O3 – O1: 3** A distância do núcleo urbano é moderadamente mais importante que a distância das rodovias.
- **O3 – O2 : 5** A distância do núcleo urbano é fortemente mais importante do que a distâncias das ferrovias.

Os pesos calculados foram:

- O1: 0.2797
- O2: 0.0936
- O3 : 0.6267

A razão de consistência calculada foi de 0.07, não precisando de reavaliação.

Os fatores de 2º nível após agregação MCE, estão apresentados na Figura 21, juntamente com o fator operacional.



4.4.6. Agregação dos fatores de 1º nível

Os fatores de 1º nível e as restrições foram agregados pelo processo da Média ponderada Ordenada (OWA), no qual são aplicados aos fatores um segundo conjunto de pesos, permitindo controlar o nível total de compensação entre os fatores e também o nível de risco na determinação da adequabilidade. As restrições permanecem como máscaras *boolean*.

Para o cálculo dos pesos ponderados, foi utilizado o módulo *Weight*, para o qual foram atribuídos os valores de importância relativa entre os fatores observados na Tabela 23.

Tabela 23 – Importância relativa entre os fatores de 1º nível

Fator	O	S	TA
O	1		
S	1/3	1	
TA	4	5	1

Descrição das importâncias relativas:

- **S – O: 1/3** Os fatores sócio-econômicos foram considerados moderadamente menos importantes que os fatores operacionais tendo em vista os objetivos do estudo.
- **TA – O:4** Os fatores técnico-ambientais foram considerados entre moderadamente e fortemente mais importantes que os fatores operacionais, do ponto de vista da redução das inundações.
- **TA – S:5** Os fatores técnico-ambientais são fortemente mais importantes que os fatores sócio-econômicos no caso em questão.

Os pesos calculados de acordo com a matriz de atribuição foram:

- O: 0.2684
- S: 0.1172
- TA: 0.6144

A razão de consistência calculada foi de 0.06, não precisando ser reavaliada.

O grau de compensação entre os fatores e a atitude de risco assumida foram medidas pelas variáveis de risco e compensação, dadas pelas equações 1 e 2 do Capítulo 2.

Na análise de risco, o número de áreas adequadas obtidas com o processo de agregação será tanto menor quanto menor for o risco assumido. O contrário também é verdadeiro, ou seja, quanto maior o risco, maior o número de áreas adequadas. O raciocínio também é válido para o grau de compensação. Assim, quanto menor a compensação entre os fatores, menor o número de áreas adequadas ao fim do processo de agregação.

4.4.7. Cenários finais

As restrições booleanas e os fatores foram agregados pelo procedimento OWA, variando os níveis de risco e compensação gerando cenários finais de adequabilidade. Dentre as infinitas possibilidades de variação de níveis de risco e grau de compensação, as que representam risco extremo (análise otimista e ausência de compensação) e aversão ao risco (análise pessimista ou conservadora), não foram consideradas, pois não se coadunam com os objetivos propostos.

Os cenários finais propostos a partir da variação de níveis de risco e grau de compensação estão resumidos na tabela 24 e apresentados na Figura 22.

Tabela 24 – Resumo dos cenários finais propostos

Cenários	Posição e valor dos pesos ordenados			Risco	Compensação
	1º	2º	3º		
C1	0.5	0.4	0.1	0.70	0.64
C2	0.4	0.35	0.25	0.58	0.87
C3	0.33333	0.33333	0.33333	0.5	1
C4	0.2	0.5	0.3	0.45	0.93
C5	0.1	0.2	0.7	0.2	0.7
C6	0.2	0.6	0.2	0.5	0.43

A figura 23 mostra os cenários finais no espaço estratégico de decisão. Para o risco, o valor zero refere-se ao risco máximo e o valor 1 ao risco mínimo.

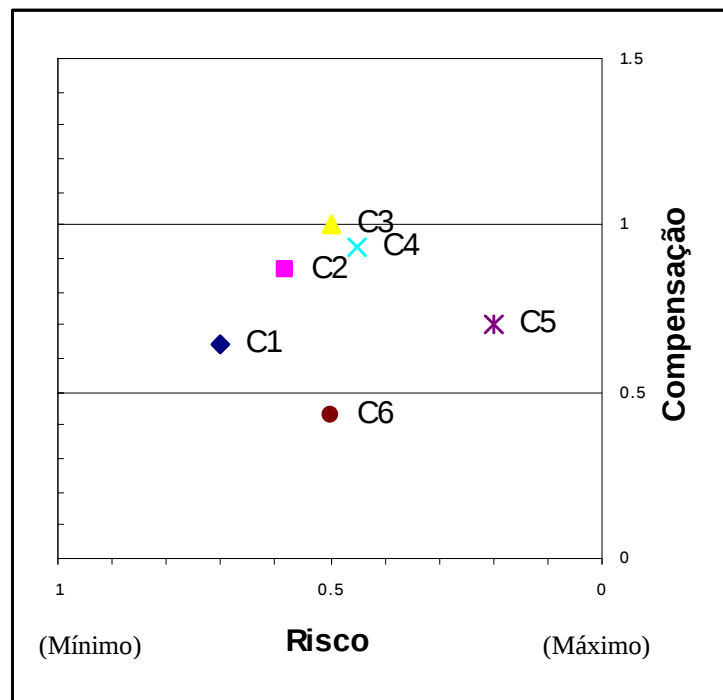


Figura 23 – Posição dos cenários finais no espaço estratégico de decisão

Os níveis de risco e graus de compensação assumidos para os cenários finais são descritos a seguir:

- C1: Risco inferior ao médio e compensação parcial;
- C2: Risco inferior ao médio e alta compensação;
- C3: Risco médio e compensação total;
- C4: Risco superior ao médio e alta compensação;
- C5: Alto risco e alta compensação;
- C6: Risco médio e baixa compensação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Ensaio de campo

A resistência à penetração para solo com substrato basáltico, mostrou-se cerca de 15% maior em relação à solo com substrato arenítico, independente do tipo de cobertura vegetal, como pode ser observado nas Tabelas 25 e 26.

Ao longo do Ribeirão Lajeado, os pontos ensaiados em pastagem apresentaram resistência à penetração 59% mais alta do que nos pontos onde havia mata ciliar. No Rio Uberaba, essa relação foi de 66% para a cobertura com pastagem em que a presença de gado era esporádica, contra 109% para as áreas onde a presença de gado é constante. Nos pontos ensaiados ao longo do Lajeado a presença de animais é eventual. No Rio Uberaba, os pontos 28, 29 e 30, pertencentes a uma propriedade onde há criação extensiva de gado foram observadas as maiores resistências à penetração em substrato arenítico.

A Tabela 27 apresenta os valores médios de resistência à penetração de acordo com a cobertura vegetal atual e as relações entre elas.

Tabela 25 – Resistência à penetração ao longo do Ribeirão Lajeado

Ribeirão Lajeado					
Ponto	Coordenadas	Atividade atual	Substrato	Solo associado	Resistência à penetração (Kgf/cm ²)
1	S 19°41'58,3''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3**	14,0
	W 47°54'37,4''				
2	S 19°41'57,8''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	12,0
	W47°54'37,3''				
3	S 19°41'56,4''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	13,0
	W47°54'36,8''				
4	S 19°41'56''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	13,0
	W47°54'37,7''				
5	S 19°41'55,1''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	11,0
	W47°54'38,3''				
6	S 19°41'58,8''	Pastagem* Pedreira	Basalto	LEa3	14,0
	W47°54'39,1''				
7	S 19°41'59,3''	Pastagem Pedreira	Basalto	LEa3	16,0
	W47°54'40'3''				
8	S 19°41'59,8''	Pastagem Pedreira	Basalto	LEa3	13,0
	W47°54'41,1''				
9	S 19°41'59''	Pastagem Pedreira	Basalto	LEa3	14,0
	W47°54'43,9''				
10	S 19°42'00''	Mata ciliar Pedreira	Basalto	LEa3	8,5
	W47°54'39,2''				
11	S 19°42'00,1''	Mata ciliar Pedreira	Basalto	LEa3	8,6
	W47°54'39,5''				
12	S 19°42'01,2''	Mata ciliar Pedreira	Basalto	LEa3	7,4
	W47°54'40,7''				
13	S 19°42'00,2''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	13,4
	W47°54'38,7''				
14	S 19°41'59,3''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	12,0
	W47°54'36,9''				
15	S 19°41'59,3''	Pastagem Fazenda	Basalto	LEa3	11,0
	W47°54'36,9''				

*Refere-se à área pertencente a uma pedreira, que explora basalto para a fabricação de pedra britada. A *Brachiaria sp* é a cobertura vegetal predominante e há livre acesso do gado de propriedades vizinhas. Em alguns pontos observam-se resquícios de mata ciliar.

** Latossolo vermelho escuro álico A moderado com textura média.

Tabela 26 – Resistência à penetração ao longo do Rio Uberaba

Rio Uberaba					
Ponto	Coordenadas	Atividade atual	Substrato	Solo associado	Resistência à penetração (Kgf/cm ²)
16	S19°39'45,8''	Mata ciliar	Basalto/Arenito*	LEa5**	6,6
	W47°48'19,4''				
17	S 19°39'46''	Pastagem (Brachiaria)	Basalto/Arenito	LEa5	10,0
	W47°48'17,8''				
18	S 19°39'52,7''	Mata ciliar	Basalto/Arenito	LEa5	6,2
	W47°48'09,6''				
19	S 19°39'58,2''	Pastagem (Gramma seda)	Arenito	LEa5	12,1
	W47°48'04,7''				
20	S 19°39'58,5''	Pastagem (Gramma seda)	Arenito	LEa5	10,0
	W47°48'01,8''				
21	S 19°39'56,4''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	12,0
	W47°48'00,5''				
22	S 19°39'53,7''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	10,0
	W47°48'00,1''				
23	S 19°39'49,8''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	13,5
	W47°47'57,4''				
24	S 19°39'48,5''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	14,0
	W47°47'51,9''				
25	S 19°39'46,9''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	12,0
	W47°47'49,1''				
26	S 19°39'47,7''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	14,0
	W47°47'46,6''				
27	S 19°39'48,8''	Mata ciliar	Arenito	LEa5	8,8
	W47°47'44,4''				
28	S 19°39'51,9''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	15,5
	W47°47'45,5''				
29	S 19°39'53,6''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	14
	W47°47'46,5''				
30	S 19°39'52,2''	Pastagem (Brachiaria)	Arenito	LEa5	15,6
	W47°47'45''				

*Pontos próximos ao contato geológico entre basalto e arenito.

** Associação de Latossolo vermelho escuro álico A com podzólico vermelho-amarelo A moderado e cambissolo podzólico A moderado de textura média cascalhenta com substrato arenito

Tabela 27 – Resistência à penetração:valores médios

	Ribeirão Lajeado	Rio Uberaba	Lajeado/Uberaba (%)
Cobertura	(Kgf/cm²)	(Kgf/cm²)	(Kgf/cm²)
Mata ciliar	8,2	7,2	14%
Pastagem	13,3	11,96	11%
Pastagem com rebanhos	————	15,03	————
Relações			
Pastagem/Mata	59%	66%	
Past. com rebanho/Mata	————	109%	
Pastagem/Past. com rebanho	————	26%	

Os pontos amostrais em mata ciliar foram utilizados como referência , já que se encontravam em locais preservados aos quais o gado não tinha acesso.

Dos resultados obtidos, verifica-se que o substrato basáltico apresenta maior compactação do que o arenito e que a presença de animais representa alto ganho de compactação. Extrapolando os resultados para estimativa de permeabilidade, pode-se supor que os solos ensaiados com substrato arenito, em seu estado natural, apresentam maior permeabilidade do que os solos com substrato basáltico. Desse modo, presume-se que o impacto da ocupação urbana sobre o escoamento superficial seja maior no arenito do que no basalto.

A Tabela 28 apresenta as altitudes dos pontos ensaiados

Tabela 28 – Altitudes dos pontos amostrais

Ponto	Altitude (m)	Ponto	Altitude (m)
1	743	16	812
2	738	17	817
3	741	18	817
4	741	19	837
5	740	20	824
6	738	21	824
7	740	22	822
8	740	23	821
9	740	24	821
10	746	25	821
11	743	26	821
12	743	27	819
13	740	28	820
14	737	29	824
15	736	30	824

As altitudes ao longo do Ribeirão Lajeado são menores, já que o derrame basáltico que deu origem ao Grupo São Bento, presente nessa área, é do Cretáceo Inferior, ou seja, mais antigo que a camada de arenito da área ensaiada ao longo do Rio Uberaba, que é do Cretáceo Superior.

5.2. Aspectos de uso e ocupação do solo

5.2.1. Posição relativa das ruas e taxa de impermeabilização

A ocorrência crítica de inundações na área urbana do município está concentrada na área central representada pelas avenidas sob as quais se encontram cursos d'água canalizados, conforme mostrado na Figura 11 do Capítulo 3. A drenagem das ruas, paralela à direção dos cursos d'água, faz com que o escoamento superficial alcance grande velocidade. Os canais convergem para a Avenida Leopoldino de Oliveira, por onde se iniciam as inundações. Essa convergência pode ser observada no modelo de sombreamento do terreno obtido com o módulo *aspect* do Idrisi32, apresentado na Figura 24.

Segundo a Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Uberaba, a taxa de impermeabilização da área central é superior a 80%, enquanto nos bairros residenciais, a média é de 50%. Os principais responsáveis pela elevada taxa de impermeabilização na área central são as ruas e avenidas largas, a canalização dos córregos e a elevada taxa de ocupação dos lotes (área construída/área do lote) que em alguns casos chega a 100%, contribuindo para o aumento da vazão e da velocidade do escoamento superficial.

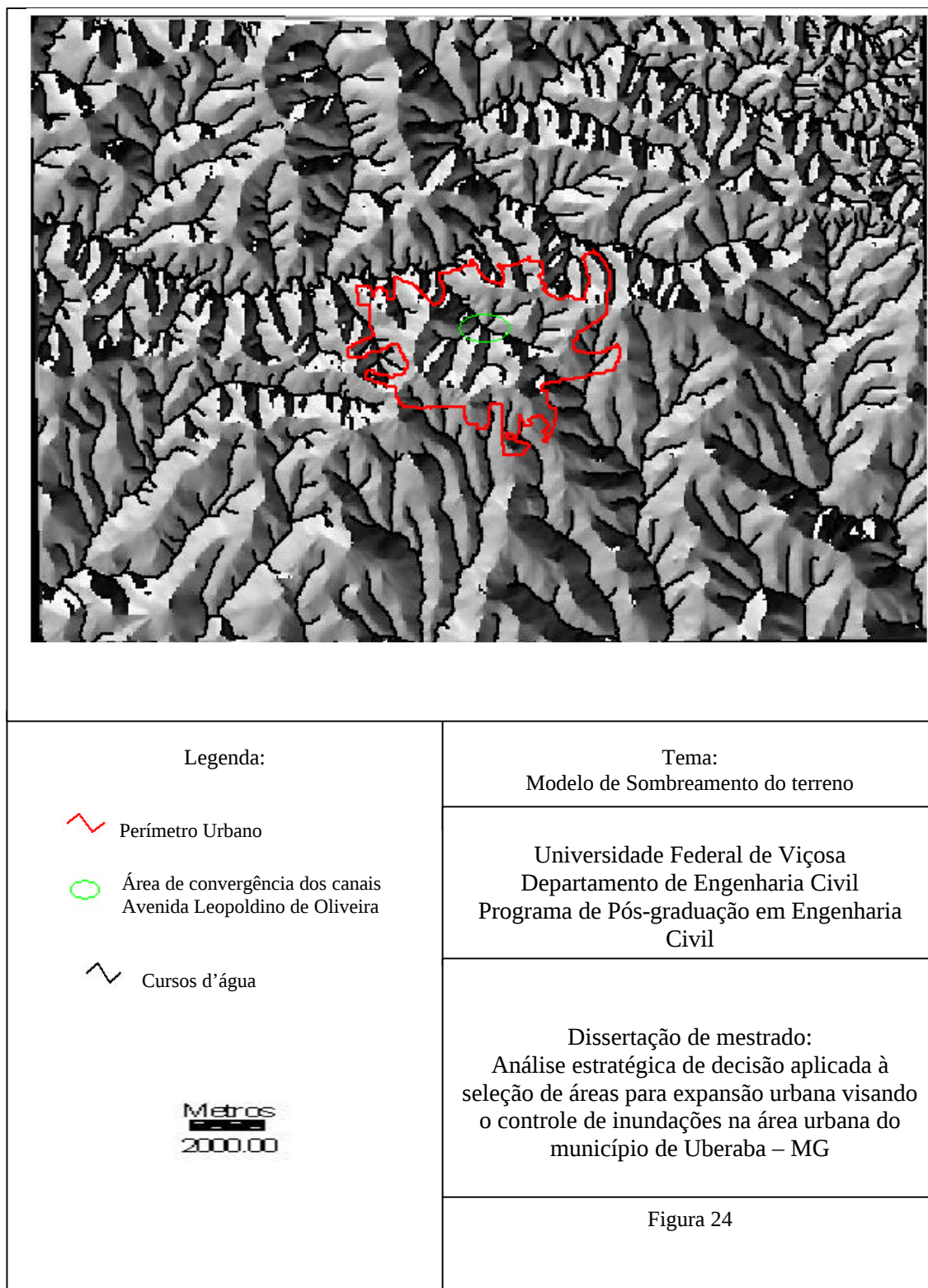


Figura 24 – Modelo de sombreamento do terreno

5.2.2. Aspectos agropecuários

5.2.2.1. Taxa de ocupação do rebanho bovino

O pisoteio do gado é um fator importante a ser considerado, pois promove alto grau de compactação, maior do que o provocado pela passagem de máquinas agrícolas, como um trator por exemplo. Devido ao peso elevado dos animais (cerca de 50 arrobas para um animal adulto), sobre as patas, que possuem área reduzida em relação ao corpo, a passagem de um animal gera grande pressão sobre o solo.

A taxa de ocupação ideal de animais por hectare, depende da qualidade da pastagem, podendo variar de 0,2 a 2,0 unidades animais (u.a) por hectare. Em Uberaba, a EMATER utiliza como critério de projeto uma taxa de ocupação de 1,2 a 1,4 u.a por hectare, para pastagens de baixa qualidade e de boa qualidade, respectivamente. O valor da u.a depende da faixa etária, como mostrado na Tabela 29.

Tabela 29 – Valor da u.a de acordo com a faixa etária do animal

Faixa etária	Número de u.a equivalente
Bezerros	0,25
Novilhos	0,50
Vacas	1,00
Touros	1,25

Fonte: EMATER – MG, 2003a

A Tabela 30 apresenta o número de animais e o número de unidades animais equivalente no município de Uberaba.

Tabela 30 – Número de animais e de unidades animais equivalente por faixa etária no município de Uberaba

Faixa etária	Nº de animais	Nº de u.a equivalente
Bezerros	454376	11344
Novilhos	109054	54527
Vacas	78234	78234
Touros	2695	3369

Fonte: EMATER – MG, 2003a

Foram desconsiderados os animais criados em sistema de confinamento, assim como os animais criados em pastagens rotativas, por representarem uma quantidade pouco significativa.

Assim, considerando a área de pastagem do município (268000 ha), obtém-se a relação de 0,6 u.a/ha, que é inferior à de projeto utilizada pela EMATER. Entretanto, é preciso observar, que nem toda a área de pastagem do município está efetivamente envolvida na criação de gado. Para uma análise mais acurada, seria necessário saber a taxa de ocupação animal em cada propriedade e associá-la à sua posição geográfica em relação ao núcleo urbano para se estimar com uma confiabilidade maior o impacto dessa ocupação sobre o escoamento superficial dentro do perímetro urbano.

5.2.2.2. Aspectos agrícolas

A taxa de mecanização agrícola é outro importante fator a ser considerado, devido à intensa compactação do solo provocada pela passagem das máquinas.

Em Uberaba, 92% das áreas agrícolas são ocupadas por lavouras de soja, milho e cana-de-açúcar, todas intensamente mecanizadas, como mostra a Tabela 31.

As áreas e a taxa de mecanização foram calculadas de acordo com dados da safra prevista para 2003 pela EMATER – MG (2003b).

Tabela 31 – Taxa de mecanização agrícola das principais culturas no município de Uberaba e distribuição dessas culturas por área

Cultura	Área (%)	Taxa de Mecanização (%)
Soja	50	100
Milho	28	> 80
Cana-de-açúcar	14	> 80

Um aspecto positivo observado, foi a utilização de práticas de conservação do solo pelos produtores rurais, como o plantio direto, amplamente utilizado na cultura da soja no município, que protege o solo contra o impacto das gotas de chuva e faz diminuir o escoamento superficial, incorporando matéria orgânica ao solo e aumentando a resistência contra a erosão (BERTONI & NETO, 1990).

5.3. Principais problemas observados

Ao longo do Rio Uberaba foram observados diversos problemas que podem ser diretamente relacionados à ocorrência de inundações, como descrito a seguir:

- Impermeabilização do terreno;
- Desmatamento;
- Poucas áreas de preservação;
- Ausência ou rarefação de mata ciliar e de topo;
- Focos de erosão;
- Assoreamento do leito do rio;
- Disposição inadequada de resíduos sólidos;
- Lançamento direto de esgotos domésticos e industriais;
- Ocupação inadequada de áreas em contraposição à legislação vigente.

De acordo com dados da EMATER-MG (2001), esses problemas ambientais são comuns à grande maioria de corpos d'água da região, acrescidos de outros, tais como a ausência de proteção das nascentes, destino inadequado de embalagens de agrotóxicos e drenagem inadequada das estradas.

Como ponto positivo, foi observado em diversas propriedades às margens do Rio Uberaba a preocupação com a preservação e reposição da mata ciliar através do incentivo da Prefeitura e órgãos Federais e Estaduais, com doação de mudas de espécies nativas e programas de educação ambiental.

5.4. Seleção de áreas

As aproximações WLC e OWA resultam em imagens contínuas de adequabilidade, que tornam a seleção de *sites*, específica para um determinado fim, problemática (CALIJURI et al., 2001).

De posse dos cenários finais, com áreas classificadas em níveis contínuos de adequabilidade, foram aplicados dois novos critérios a fim de obter áreas contíguas individualizadas que possam ser utilizadas para expansão urbana. Os critérios utilizados foram:

- Adequabilidade mínima de 190;
- Área superior a 25 hectares.

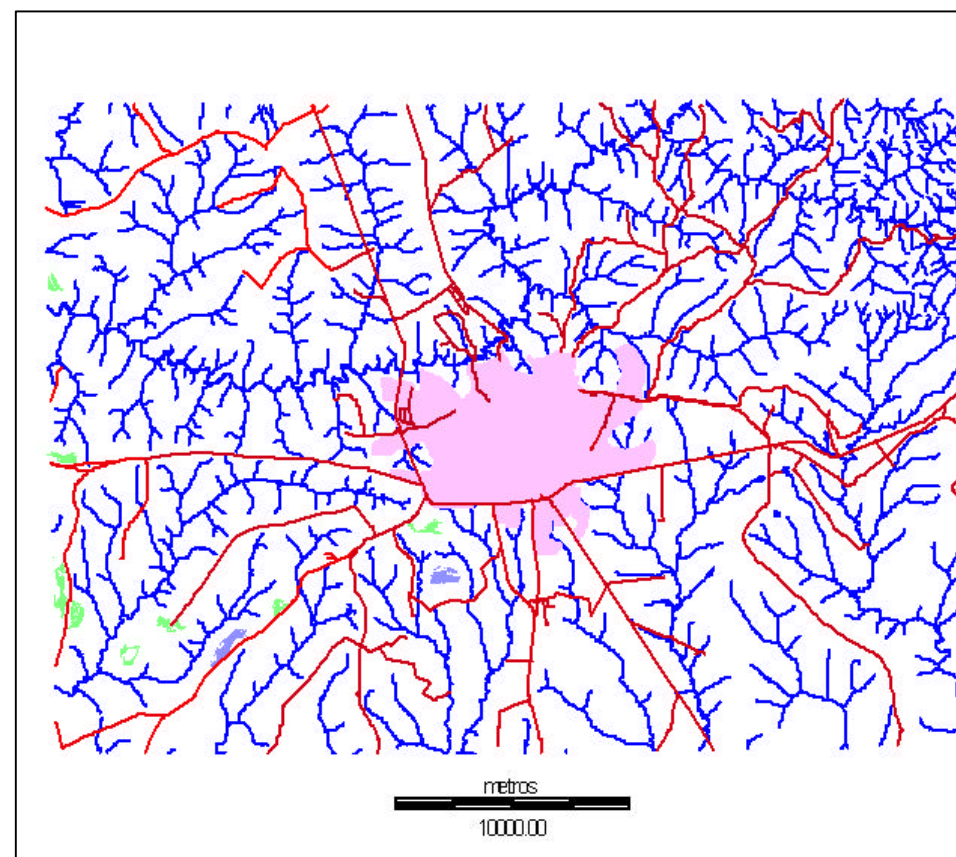
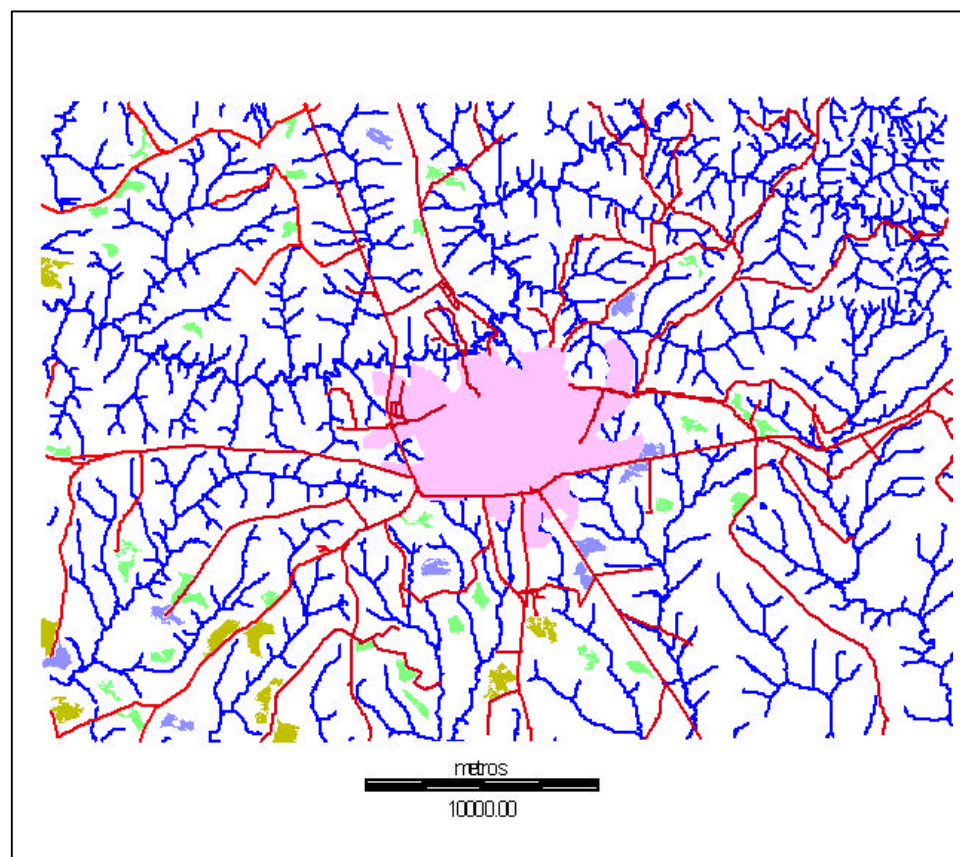
Para obtenção das áreas adequadas, as imagens C1, C2, C3, C4, C5 e C6, foram reclassificadas através do módulo *reclass* do Idrisi32. O resultado foram imagens booleanas, nas quais o valor zero representa áreas com adequabilidade menor do que 190 e o valor 1, áreas com adequabilidade igual ou superior a 190. As áreas resultantes foram individualizadas através do módulo *group* e suas áreas calculadas em hectares com o módulo *area*. Procedeu-se então a uma nova operação de reclassificação, em que às áreas menores que 25 hectares foi atribuído o valor zero. Às demais áreas foram

atribuídos valores de 1 a 10 de acordo com a faixa em que se encontravam, como descrito na Tabela 32.

Tabela 32 – Identificadores atribuídos a cada faixa de área

ID	Faixa (hectares)
1	25 – 50
2	50 – 75
3	75 – 100
4	100 – 150
5	150 – 200
6	200 – 250
7	250 – 300
8	300 – 350
9	350 – 400
10	400 - 450

As áreas adequadas à expansão urbana segundo os diferentes graus de compensação e risco estão apresentadas nas figura 25, 26 e 27. .



Tema:
Propostas de ocupação 1 e 2

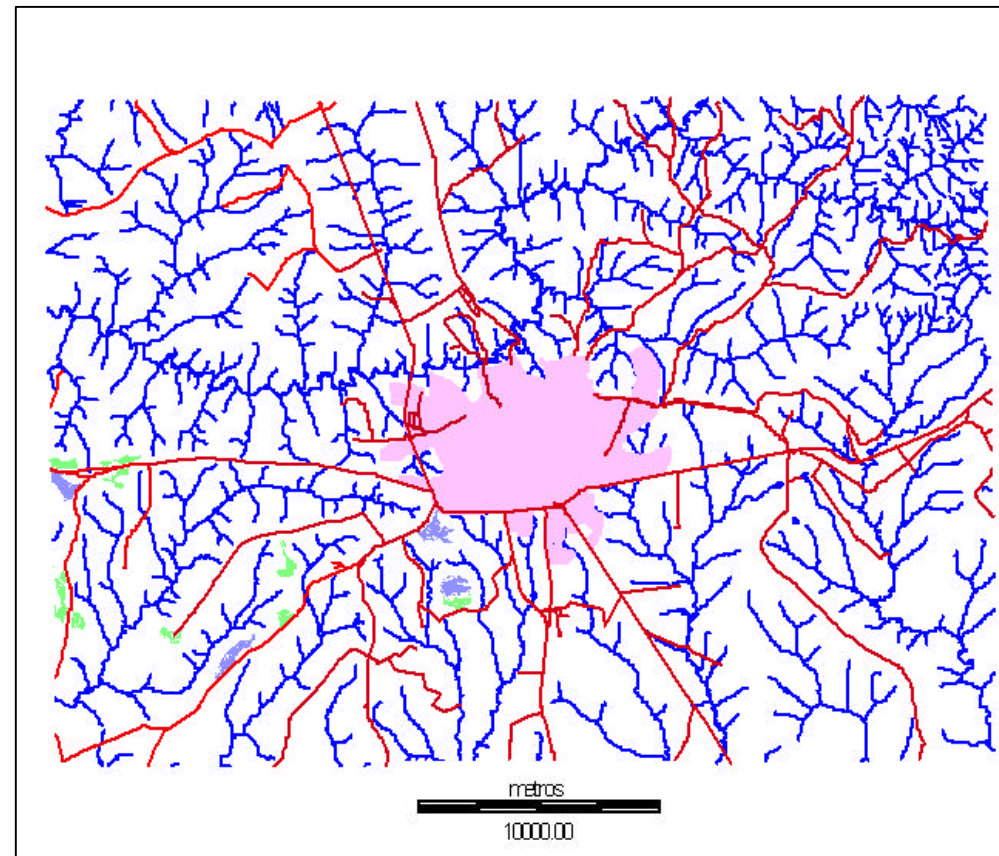
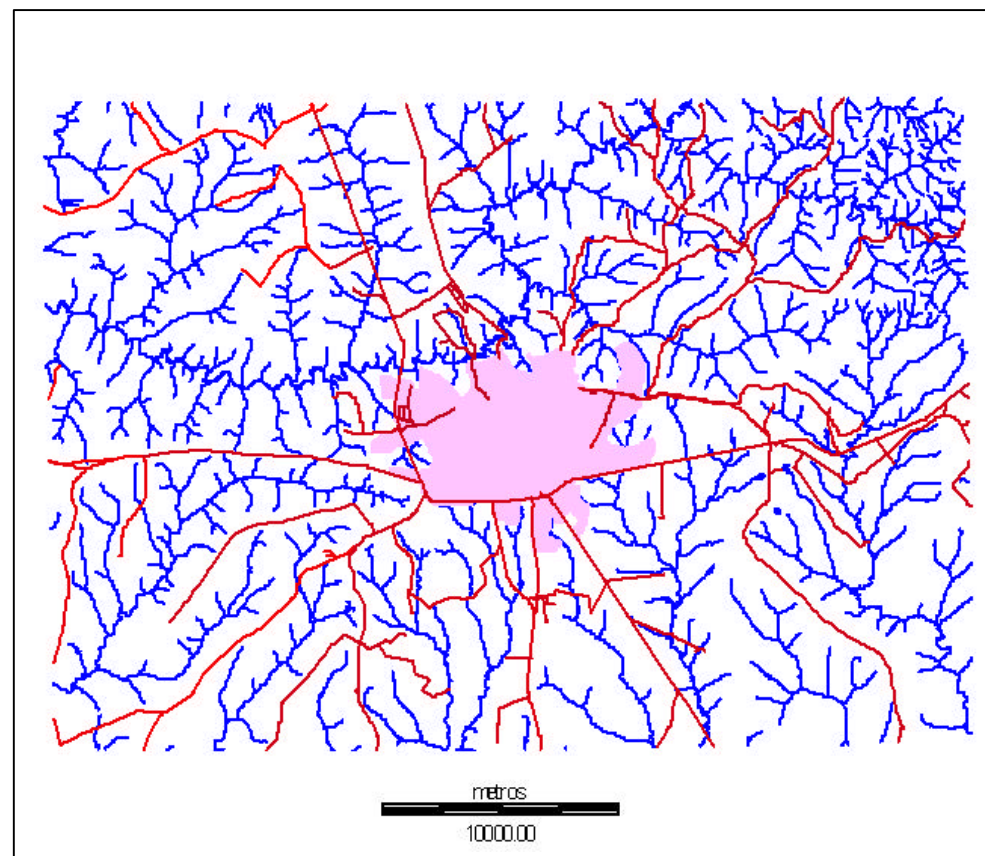
Legenda:



Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado:
Análise estratégica de decisão aplicada à
seleção de áreas para expansão urbana
visando o controle de inundações na área
urbana do município de Uberaba – MG

Figura 25



Tema:
Propostas de ocupação 3 e 4

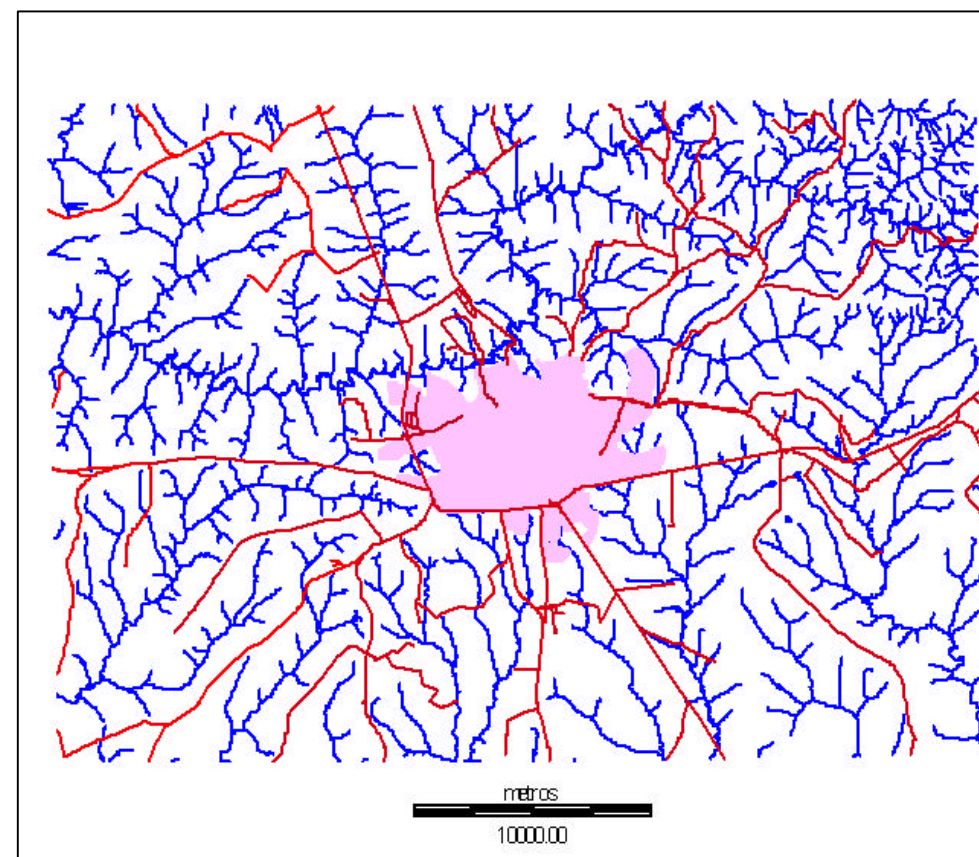
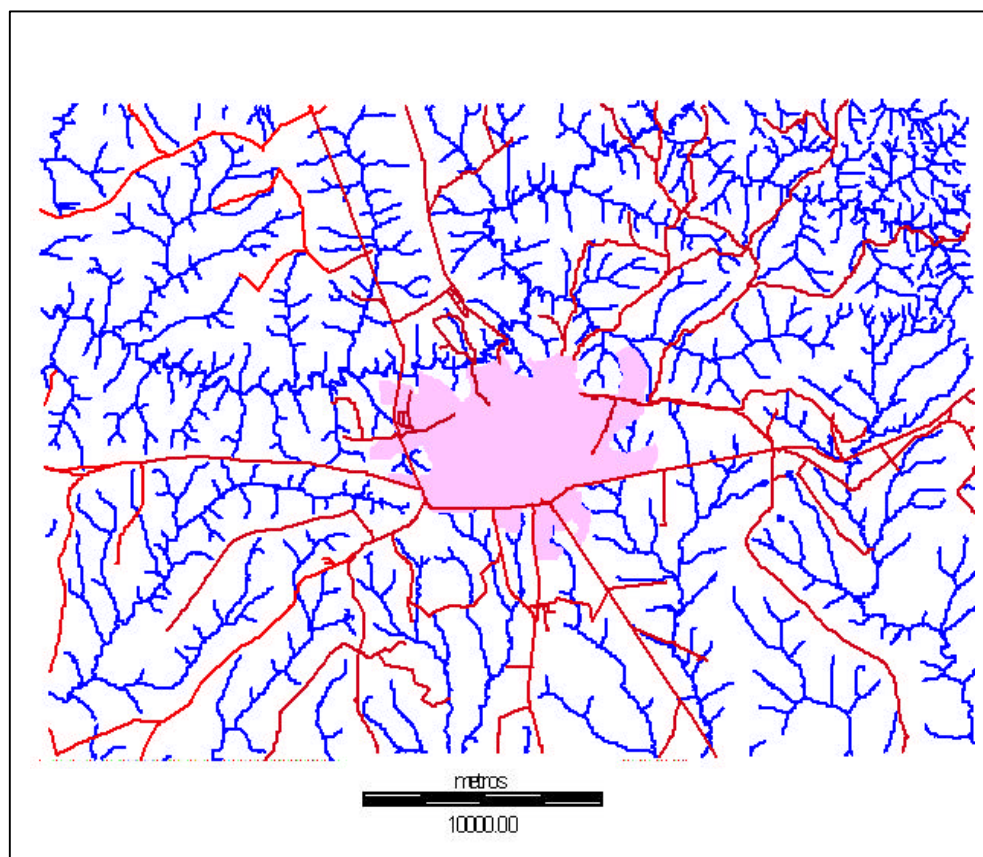
Legenda:



Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado:
Análise estratégica de decisão aplicada à
seleção de áreas para expansão urbana
visando o controle de inundações na área
urbana do município de Uberaba – MG

Figura 26



Tema:
Propostas de ocupação 5 e 6

Legenda:

Áreas

- 25-50 ha
- 50-75 ha
- 75-100 ha
- 100-150 ha
- 150-200 ha
- 200-250 ha
- 250-300 ha
- 300-350 ha
- 350-400 ha
- 400-450 ha

Núcleo urbano atual

Cursos d'água

Rodovias

Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado:
Análise estratégica de decisão aplicada à
seleção de áreas para expansão urbana
visando o controle de inundações na área
urbana do município de Uberaba – MG

Figura 27

As áreas resultantes para cada cenário forma chamadas de propostas, assim sendo:

- P1: Proposta 1 (resultante do cenário C1);
- P2: Proposta2 (resultante do cenário C2)
- P3: Proposta 3 (resultante do cenário C3)
- P4: Proposta 4 (resultante do cenário C4);
- P5: Proposta 5 (resultante do cenário C5);
- P6: Proposta 6.(resultante do cenário C6).

Como era de se esperar, a proposta P5, resultante do cenário com alto grau de risco e alta compensação entre os fatores apresentou maior número de áreas adequadas.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

Em Uberaba, a ocorrência de inundações no centro urbano é consequência direta do modelo de ocupação da cidade, em que áreas de várzea abrigam grandes avenidas, aliado ao desmatamento, substituição da cobertura vegetal natural por lavouras nas quais muitas vezes não se utilizam práticas de conservação do solo, grandes áreas destinadas a pastagens com criação extensiva de gado e elevada taxa de impermeabilização.

Resolver o problema das inundações envolve a tomada de medidas estruturais, como as galerias subterrâneas sob as principais avenidas, ou, mais recentemente , o projeto de reservatórios de amortecimento , cuja função é reter parte do volume de enchente a montante do centro da cidade, objetivando reduzir a vazão e manter o rio a um nível inferior ao que provoca extravasamento do leito. O primeiro reservatório está em construção.

As medidas estruturais são necessárias, entretanto, além de muito dispendiosas, não são uma solução eficaz e sustentável quando não estão aliadas à medidas não estruturais.

Questões complexas em áreas urbanas, como as inundações devem ser analisadas a partir de uma visão integrada entre o ambiente urbano e as relações desse ambiente com os demais sistemas, ou seja, deixa de ser um problema limitado ao campo da Engenharia, devendo ser adotado esse ponto de vista multidisciplinar na busca de soluções.

Em áreas ainda não urbanizadas, existem medidas de controle que podem ser usadas antes da ocupação. Essas medidas podem evitar a necessidade de, no futuro, serem necessárias as medidas estruturais, que muitas vezes provocam aceleração no escoamento e apenas deslocam o problema mais para jusante da bacia.

O disciplinamento urbano deve ser planejado de forma que a densidade de ocupação seja compatível com os riscos de inundação, preservando as áreas de várzea, controlando a impermeabilização das ruas, passeios e dos lotes, mantendo áreas verdes no perímetro urbano e pequenos reservatórios em parques, protegendo os mananciais, os cursos d'água, utilizando práticas conservacionistas na agricultura e na pecuária.

Nesse trabalho, buscou-se estabelecer as causas das inundações no centro urbano do município de Uberaba, a fim de selecionar áreas adequadas para a expansão urbana que não agravem esse problema, através do uso de rotinas de apoio à decisão em SIG. A abrangência do trabalho foi limitada aos dados disponíveis, o que restringe a precisão dos resultados, uma vez que se tratam de duas questões complexas e multifatoriais: as inundações e a expansão urbana.

De acordo com a análise efetuada, as propostas P5, P6 e P1, nesta ordem, são as mais adequadas para a expansão urbana, podendo ser utilizadas na abordagem inicial para estudos mais aprofundados com esse objetivo.

Para melhor compreensão das inundações, seriam necessárias séries históricas de dados de vazão e dados pluviográficos espacializados, que não existem no município, porque não há sistematização da coleta de dados de vazão e a presença de uma rede de pluviógrafos no município é recente.

Uma imagem orbital de melhor resolução auxiliaria a geração da carta temática do uso do solo, ou a utilização da carta de uso do solo do Instituto Estadual de Florestas na escala 1:100000 a que este trabalho não teve acesso, aumentaria a confiabilidade dos resultados.

Para uma melhor avaliação das áreas adequadas para expansão urbana, seria preciso um mapeamento geotécnico, que permitiria a avaliação de áreas

suscetíveis à erosão, movimentos de massa, queda de blocos e poluição de aquíferos. Estudos sobre adequabilidade dos embasamentos geológicos para fundações e de colapso e acomodação de camadas de solo enriqueceriam o trabalho, acrescentando fatores ao processo de agregação para tomada de decisão que resultariam em áreas que atenderiam com mais exatidão aos objetivos de controle das inundações e expansão urbana. Esses ensaios não foram realizados devido à inviabilidade operacional, econômica e à disponibilidade de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A.N. O suporte geológico das florestas beiradeiras in: RODRIGUES,R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares:conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Fapesp. Vários colaboradores, 2000. p.69-87
- ALVES, J.M.P. **Petrologia e diagênese do Menbro Ponte Alta, Formação Marília, Cretáceo da Bacia do Paraná, na região do triângulo Mineiro**. 1993. 102p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- ANA – AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Site oficial. Disponível em <www.ana.gov.br>. Acesso em 16 nov.2001.
- AUBERTIN, G.M; PATRIC, J.H. Water quality after clear-cutting a small watershed in West Virginia. **Journal of Environmental Quality**,v 3,n.3; p.243-249.1974.
- BARBOSA, O., et al. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim 136, Rio de Janeiro. 1970. 140p.
- BARCELOS,J.H.; SUGUIO, K. Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, definidas em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA,6. Rio Claro. 1987. **Atas...**, v.1,p. 313-321.
- BERTONI, J.; NETO, F.L. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone.1990.355p.
- BEZERRA,,M.L..Desenvolvimento urbano sustentável: realidade ou utopia. **Trabalhos para discussão** n.140, Instituto de Pesquisas Sociais da Fundação Joaquim Nabuco. 2002. 14p.
- BOGNIOTTI, L.D. **Estudo de impacto ambiental nas cabeceiras do Ribeirão dos Guaribas e do Rio Uberabinha – Platô de Uberaba (MG): poluição das águas e solos devido às atividades agrícolas e de mineração**. 1999. 195p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- BONET CORRÊA,A. **Las claves del urbanismo**. Barcelona:Ariel. 1989. 271 p.

- BURROUGH, P.A. & McDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press Inc. New York, USA. 2000.
- CALIJURI, M.L.; MEIRA, A.D.; LORENTZ, L.F; BHERING, E.M. **Análise Multicritério**. Apostila. 2001.
- CÂMARA, G.; DAVIS,C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. Disponível em :<www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>.
- CÂMARA, G.; FREITAS, U.M.; SOUZA, R.C.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, v.15, n.6, 1996
- CAMPANILLI, M. Cidades x Enchentes: uma guerra pelo uso do solo. **Jornal O Estado de São Paulo**. Disponível em : < [www. estadoa.com.br](http://www.estadao.com.br)>. Acesso em março, 2002.
- COSTA,T; LANÇA,R. **Hidrologia de Superfície**: Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, Faro.2001.76p.
- CRUZ, et al. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. Salvador, 2002. **Diagnóstico ambiental do Rio Uberaba**. Uberaba: Prefeitura municipal de Uberaba, 2002. CD-ROM.
- EASTMAN, J.R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. **Multi-Criteria and Multi-Objective decision Making for Land Allocation Using GIS**. In Beint, E.; Nijkamp, P. (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251. 1995.
- EMATER-MG. Dados de realidade municipal:município de Uberaba. Uberaba, 2001.
- EMATER-MG. Dados safra agrícola Uberaba 2003. Uberaba, 2003a.
- EMATER-MG. População bovina na região do triângulo Mineiro. Superintendência regional de Uberaba. Uberaba, 2003b.
- FERREIRA JÚNIOR, P.D; GUERRA,W.J. Estudo preliminar sobre o ambiente deposicional da Formação Uberaba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7 e SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4. SBG. Belo horizonte, 1993. **Anais...** p. 17-21.

FUKS, S.D. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos.
In : **Sistemas de Informações Geográficas, Aplicações na agricultura**.
Embrapa, 1998. p.373-410.

GIUSTI, D.A; NADAL, C.A. Proposição de expansão urbana na região metropolitana de Curitiba, com base em levantamentos e cadastramentos geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1. Florianópolis-15 a 19 de outubro de 2000.

GOMES, L.F.A.M., MOREIRA, A.M.M. Da Informação à tomada de decisão: agregando valor através de métodos multicritério. **RECITEC-Revista de Ciência e Tecnologia**, Recife, v.2, n.2, p.117-139, 1998.

INFOGEO. Geoinformação auxilia prefeitura na prevenção a enchentes. **Revista Infogeo**. Disponível em : <www.infogeo.com.br>. Acesso em 12 de março de 2003

INFOGEO. Infra-estrutura hídrica do rio Grande do Sul disponível em mapas digitais. **Revista Infogeo**. Disponível em <www.infogeo.com.br>. Acesso em 09 de setembro de 2002.

IPT. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para o planejamento urbano e regional, orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: IPT, 1989. 123 p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Site oficial. Disponível em <www.ipt.br>

JOHN, L. Campinas usa satélites para emergências e diagnósticos. **O Estado de São Paulo**. Disponível em : <www.estadao.com.br>. Acesso em 09 de março de 2003

KEENEY, R.L., RAIFFA, H. (1976). **Decisions with multiple objectives: Preferences and Value trade-off**, New York : Wiley. 275 p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 1987, 612p.

LOOTSMA, F.A. The french and american school in multi criteria decision analysis, **Recherche Operationelle/Operations Research**, v.24, p.263-285, 1980.

MAIA, R.M. **Lógica Fuzzy**. Disponível em <www.wac.com.br/rodrigo/Fuzzy.htm> Acesso em agosto, 2001

- MASCARENHAS, N.D.A; VELASCO, F.R.D. **Processamento de imagens**. São José dos campos: INPE, 1984. 315p.
- MELO, A.L.O. **Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério: Uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim-ES**. 2001. 167p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MORAIS, O.R. **Enchentes em Uberaba**. 2001. 140p. Monografia (Pós-graduação). Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba, Uberaba.
- MOREIRA, A.C. O controle do uso do solo para proteção de mananciais. **Revista do programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, n.3, p.27-36, junho, 1993.
- MOREIRA, M.A.; **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. ed 1., São José dos campos, SP: Instituto nacional de Pesquisas espaciais (INPE) 2001. 250p.
- OLIVEIRA, L.M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba: Mineropar, 1998, 52p.
- OTTONI, A.B., OTTONI, T.B. Enchentes em bacias hidrográficas. Disponível em: < [www.crea-rj.org.br/ Publicações/Revistas](http://www.crea-rj.org.br/Publicações/Revistas)> Acesso em jun. 2001.
- PAULA E SILVA, G.H. Prevenção contra enchentes. Desenvolvimento urbano. N.24. Disponível em: <www.polis.org>. Acessado em junho, 2001.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Proposta de regulamentação da drenagem urbana. Porto alegre, 2002.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. Uberaba em dados. 32p. Uberaba, 2000.
- PONTES, H. **História de Uberaba e a civilização no Brasil central**. Uberaba: Academia de Letras do triângulo Mineiro, 1978. 186p.
- PORTO, R., ZAHTEL F.K., TUCCI, C.E.M., BIDONE, F. Drenagem urbana. In **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Organizado por Carlos E. M. Tucci, vários colaboradores. Editora da Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001 p.805-847.

- PRUSKI, F.F., SILVA, D.D. Escoamento superficial. **Série caderno didático. n.26.** 1997. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Imprensa universitária. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 33p.
- RAMOS, R.A.R. & MENDES, J.F.G. Avaliação da Aptidão do Solo para Localização Industrial: O Caso de Valença. **Revista Engenharia Civil**, v.10,n.10, p.7-29. 2001.
- REZENDE, E.M.M. **Uberaba, uma trajetória sócio-econômica: de 1811 a 1910.** Uberaba: Arquivo público de Uberaba, 1991. 120p.
- REZENDE, V. **Planejamento urbano e ideologia.** Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1982. 107p.
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital images analysis: an introduction.** Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281p.
- SAATY, T.L. Fundamentals of decision make and priority theory with the Analytic Hierarchy Process, **RWS Publications** .v . VI, Pittsburgh. 1994.
- SAMPAIO, A.B. **Uberaba: histórias, fatos e homens.** Uberaba: Academia de Letras do Triângulo Mineiro, 1971. 87p.
- STEWART, T.J. A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice. **Omega**, Vol 20, N 5/6. 1992. p 569-586.
- SUGUIO, K. **Formação Bauru: Calcários e sedimentos detríticos associados.** Tese (Livre docência) .v.1. 236p. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TOURINO, S.R.G. **Guiagem do robô móvel xr4000 para inspeção via Internet de tubulações industriais soldadas.** 2001. 177 p. Relatório de projeto de graduação Universidade de Brasília, Brasília.
- TUCCI, C.E.M. Interceptação In **Hidrologia: Ciência e aplicação.** Organizado por Carlos E. M. Tucci, vários colaboradores. Editora da Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001 p. 243-252.
- VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. Técnicas de classificação de imagens para cobertura vegetal In: **Sistema de Informações Geográficas: Aplicação na agricultura.** Embrapa, 1998. p351-371.
- VOOGED, H., (1983). Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion Ltd. London, UK; (in RAMOS & MENDES, 2001)