

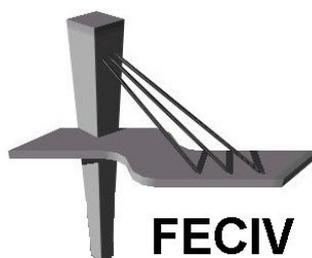
Dissertação DE MESTRADO

**ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
URBANAS: MAPEAMENTO, DIAGNÓSTICOS,
ÍNDICES DE QUALIDADE AMBIENTAL E
INFLUÊNCIA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

**Estudo de caso: Bacia do Córrego das Lajes,
Uberaba/MG**

JOYCE SILVESTRE DE SOUSA

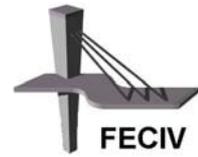
UBERLÂNDIA, 31 DE JULHO DE 2008.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil**



Joyce Silvestre de Sousa

**ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE URBANAS:
MAPEAMENTO, DIAGNÓSTICOS, ÍNDICES DE QUALIDADE
AMBIENTAL E INFLUÊNCIA NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

Estudo de caso: Bacia do Córrego das Lajes, Uberaba/MG

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Área de Concentração: Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

UBERLÂNDIA, 31 DE JULHO DE 2008.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S725a Sousa, Joyce Silvestre de, 1983-

Áreas de preservação permanente urbanas: mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial : estudo de caso : Bacia do Córrego das Lajes, Uberaba/MG / Joyce Silvestre de Sousa. - 2008. 160 f. : il.

Orientador: José Eduardo Alamy Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Planejamento urbano - Teses. 2. Meio ambiente (MG) - Teses. 3. Drenagem - Teses. 4. Engenharia hidráulica - Teses. I. Alamy Filho, José Eduardo. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 711.4



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 051/2008

CANDIDATA: Joyce Silvestre de Sousa

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

TÍTULO: "Áreas de preservação permanente urbanas: mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial. Estudo de caso: bacia do córrego das Lajes, Uberaba/MG"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infra-estrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 31 de julho de 2008

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 14:10 - 17:30

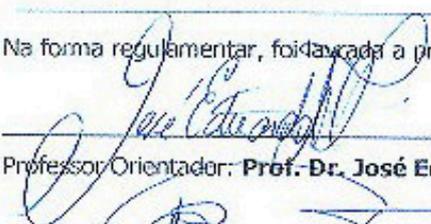
Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

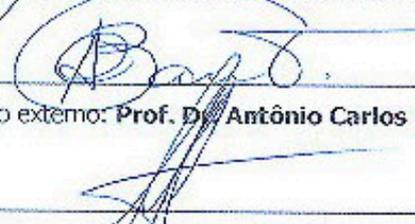
APROVADA

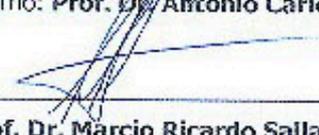
REPROVADA

OBS: Exemplar final deverá ser entregue 15 dias de trinta dias, seguindo as recomendações sugeridas pela banca.

Na forma regulamentar, foi lavada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:


Professor Orientador: **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU**


Membro externo: **Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto – CEFET – Uberaba/MG**


Membro: **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – FECIV/UFU**

Uberlândia, 31 de Julho de 2008.

*Aos meus pais, Edna e Josué, que sempre
abdicaram de seus sonhos para que eu pudesse
correr atrás dos meus.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre me trouxe conforto, segurança e paz. Pela vida, pela deslumbrante simplicidade complexa da natureza.

Aos meus pais, guerreiros; pelo apoio, força, segurança, educação, norte, enfim... por tudo. Ao meu pai pelo carinho e paciência. A minha mãe, pelas lições diárias de sustentabilidade ambiental. Ao meu irmão, fiel Felipe, amigo e suporte em assuntos computacionais.

Ao querido Tobias, pelo companheirismo e afinidade de ideais.

À vovó Carmelita e ao vovô Josué, pelo aconchego, pelas conversas e histórias, nos dias em que fiquei em sua casa. A Tia Regina pela divisão do quarto e pelas conversas no lugar da novela.

A todos os meus amigos e ajudantes de campo, entre eles: Magda e o netinho Artur, Gustavo Araújo, Dine, Fran. A Mariana só pelo fato de ser “A Gorda” e “A Cumprida” de todas as horas, e a toda a sua família, pelas incontáveis estadias em sua casa, pelo empréstimo do ouvido de sua mãe, Tia Vânia; pelo carinho sempre a mim remetido.

Ao Prof^o Dr^o Humberto Góis, e aos colegas MSc Aristóteles Neto, MSc Guilherme Melazo e Thiago Nogueira, pelo apoio na utilização do programa SPRING;

Aos amigos caminhoneiros, em especial Olavo Junior, pelas incontáveis caronas no trajeto Uberaba-Uberlândia, Uberlândia-Uberaba.

Ao CODAU e à Prefeitura Municipal de Uberaba, pelas informações e materiais fornecidos, em especial na pessoa de Osmar Moraes e Ricardo Caetano Lima.

À Universidade Federal de Uberlândia, em especial a Faculdade de Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do curso. Aos professores, em especial a Prof^a. Dr^a Maria Elisa e ao Prof^o. Dr^o. Luiz Nishiyama; aos funcionários (Sueli, Veloso); e aos amigos Ludimila, Anamaria, Marilda, Fábio, Marcelo, Jorge Junek e Douglas.

Ao meu jovem e competentíssimo orientador Profº Drº José Eduardo Alamy Filho, pelas idéias e nortes, pela disposição, pela compreensão e incentivo, pelo verdadeiro trabalho em equipe, por tudo.

A CAPES pela concessão da bolsa.

A todas as pessoas, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

"As pessoas que tentam transformar este mundo num lugar pior nunca tiram um dia de folga; porque eu deveria tirar?"

Bob Marley

"É melhor tentar e falhar, que preocupar-se em ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver."

(Martin Luther King)

*"Somos livres nos sonhos
Não se limite de sonhar
E quando algo novo descobrir
Esqueça que foi um sonho
E realize."*

*Somos livres nos sonhos
Banda Candongas*

Sousa, J. S. de. Áreas de Preservação Permanente Urbanas: mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial – Estudo de caso: Bacia do Córrego das Lajes, Uberaba/MG. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

RESUMO

Partindo-se da afirmação de que o verde é uma necessidade dentro das cidades e de que áreas verdes precisam estar ao alcance de todos os cidadãos, este trabalho buscou diagnosticar a situação do “verde” na bacia do córrego das Lajes, na cidade de Uberaba-MG. Nesse sentido, procurou-se identificar, classificar, mapear e quantificar os espaços livres, as áreas verdes e APP (Áreas de Preservação Permanente), qualificar espacialmente a cobertura arborea desses espaços, diagnosticar os fatores de degradação de três APP com possibilidade de transformação em AVDP (Áreas Verdes de Domínio Público) e verificar a influência destas na atenuação das vazões de pico e volumes de escoamento superficial. O Sistema de Informações Geográficas SPRING forneceu suporte necessário para a interpretação de fotografias aéreas que permitiram a sistematização de dados. Os espaços foram classificados de acordo com a metodologia de Cavalheiro et al (1999). Os resultados mostraram um IAV (Índice de Área Verde) de 1,9 m²/hab, IEL (Índice de Espaços Livres) 2,9 m²/hab e ICV (Índice de Cobertura Vegetal) de 0,9 m²/hab, com percentuais de: PAV (Percentual de Áreas Verdes) 0,97%, PEL (Percentual de Espaços Livres) 1,45% e PCV (Percentual de Cobertura Vegetal) 0,005%. As propostas de implantação de novas áreas verdes (ou espaços livres), avaliadas através de prognósticos, representaram uma melhora substancial em relação à atual situação. Nos diagnósticos, além da foto-interpretção, foram utilizadas visitas *in loco*. A vegetação nos locais de estudo encontra-se, em sua maioria, empobrecida em sua biodiversidade característica, estando em franco processo de sucessão secundária. As medidas de contenção dos processos erosivos devem ser aplicadas rapidamente, além da necessidade de recuperação da vegetação das áreas de estudo e da retirada dos outros fatores degradantes. Para a estimativa da chuva excedente, utilizou-se o Método do Número CN do *Soil Conservation Service* (SCS). Os hidrogramas de cheia para as bacias sem reservatório de detenção foram obtidos por meio da aplicação direta do Método Santa Bárbara, e na bacia com reservatório de detenção, além do Método Santa Bárbara foi utilizado o Método de Pulz e as equações de Saint-Venant. As áreas permeáveis contribuem para amortecimento de vazões e para redução dos volumes escoados, principalmente quando o solo está em condições de umidade antecedente normais ou seco. Nas condições de solo úmido, observou-se que essa eficiência foi bastante reduzida, o que acontece justamente nos meses mais chuvosos, onde são maiores os casos de enchente. Em relação à influência das APP na atenuação das vazões de pico e volumes, observou-se que apenas as APP com áreas maiores mostraram-se eficientes, o que destaca a importância da preservação de outras áreas permeáveis, através da limitação da taxa de impermeabilização nos lotes e implantação de novas áreas verdes, para o controle das cheias.

Palavras chave: áreas verdes urbanas, índices de qualidade ambiental, transformação chuva-vazão, diagnósticos

Sousa, J. S. de. Urban Areas of Permanent Preservation: mapping, diagnoses, ratio of environmental quality and influence of runoff - Study of case: Basin of the stream of Lajes, Uberaba – MG. 2008. 160 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2008.

ABSTRACT

Breaking itself on the affirmation that green is a necessity inside the cities and that green areas need to be to the reach of all citizens, this work has searched to diagnosis the situation of the “green” in the basin of the stream of Lajes, in the city of Uberaba – MG. In this direction, it was tried to identify, to classify, to map and to quantify the free spaces, green areas and APP (Areas of Permanent Preservation), to characterize the space of the tree covering in these spaces, to diagnosis the degradation factors of three APP with possibility of transformation in AVDP (Green Areas of Public Domain) and to verify the influence of these APP in the attenuation of the peak outflows and volumes of runoff. The Geographic Information System SPRING provided necessary support for the interpretation of aerial photographs that enabled the systematization of data. The spaces were classified according to the methodology of Cavalheiro et al (1999). The results showed a green area/population ratio from 1.9 m²/person, free spaces/population ratio 2.9 m²/person and crop insurance/population ratio of 0.9 m²/person, while the average was: percentage of green areas 0.97%, percentage of free spaces, 1.45% and percentage of crop insurance 0.005%. The proposals of implantation of new green areas (or free spaces), assessed through prognostics, represented a substantial improvement on the current situation. In the diagnoses, beyond the photo-interpretation, were used on-site visits. The vegetation in places of study, is in its majority, impoverished by its biodiversity feature, with a free process of secondary succession. The vegetation non-feature or the exposed soil are responsible for the instability of embankments on the water bodies boundaries. It was concluded that measures to contain the erosive processes must be implemented quickly, in addition to the need for restoration of the vegetation in the areas of study and the withdrawal of other degrading factors. For the estimate of exceeding rain, the Number Method CN of Soil Conservaciontion Service was used (SCS). The hidrogramas of flood for the basins without reservoir of detention had been gotten by means of the direct application of Saint Bárbara Method, and in the basin with reservoir of detention, beyond the Saint Bárbara Method, were used the Pulz Method and the equations of Saint-Venant.

The permeable areas contribute to damping of flow index and to reduce the volumes flowed off, especially when the soil is in normal conditions of humidity or dry. Under the conditions of wet soil, it was observed that this efficiency has been significantly reduced, exactly on the rainy months, when the instances of flooding are more frequent. Regarding the influence of APP in mitigation of peak flow rates and volumes, it was observed that only the APP with larger areas have showed efficiency, which highlights the importance of preserving other permeable areas, by limiting the rate of sealing in lots and deployment of new green areas, for the control of floods.

KEYWORDS: urban green areas, ratio of environmental quality, processing rain-flow, diagnoses

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

%	porcentagem
A	área total da sub-bacia [L^2];
A_i	área impermeável da sub-bacia [L^2];
cm	centímetro [L]
CN	coeficiente de deflúvio ou número da curva CN (adimensional)
C_n	número de Courant (adimensional)
CN_I	coeficiente de deflúvio ou número da curva CN para a área impermeável (adimensional)
CN_P	coeficiente de deflúvio ou número da curva CN para a área permeável (adimensional)
d	fração de área impermeável (adimensional)
g	aceleração da gravidade [LT^{-2}];
H	energia mecânica por unidade de peso de fluido [L].
H	diferença entre cotas [L]
ha	hectare [L^2]
i	intensidade da precipitação [LT^{-1}]
i_{im}^t	intensidade da chuva efetiva na área impermeabilizada [LT^{-1}]
i_{per}^t	intensidade da chuva efetiva na área permeável [LT^{-1}]
I	vazão de entrada no reservatório imaginário [L^3T^{-1}]
j	índice do nó de discretização espacial
k	coeficiente utilizado no cálculo da velocidade do escoamento superficial (adimensional)

Km	quilômetro [L]
Km ²	quilômetro quadrado [L ²]
k _r	coeficiente de retardo (adimensional);
L	comprimento do talvegue [L]
m	metro [L]
m/s	metro por segundo [L T ⁻¹]
m ²	metro quadrado [L ²]
m ² /hab	metro quadrado por habitante
m ³	metro cúbico [L ³]
m ³ /s	metro cúbico por segundo [L ³ T ⁻¹]
min	minuto [T]
mm	milímetro [L]
mm/mês	milímetro por mês [LT]
<i>n</i>	coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)
°	grau
'	minuto
''	segundo
°C	graus Celsius
<i>P</i>	precipitação total [L]
<i>P_{ac}</i>	precipitação acumulada [L]
<i>P_{fx}</i>	precipitação por faixa [L]
Q	vazão [L ³ T ⁻¹]
Q1A	vazão de entrada do 1º reservatório (sub-bacia Leopoldino 1A) [L ³ T ⁻¹]
Q1B	vazão da sub-bacia a jusante dos reservatórios (Leopoldino 1B) [L ³ T ⁻¹]
Q1C	vazão propagada no canal [L ³ T ⁻¹]

Q_{ac}	altura de escoamento superficial acumulada [L]
Q_{fx}	escoamento superficial por faixa [L]
QR2	vazão de saída dos reservatórios de retenção [L^3T^{-1}]
R	raio hidráulico [L]
S	potencial máximo de retenção do terreno [L];
S	declividade do trecho canalizado [$L L^{-1}$]
t	duração da precipitação [T]
t	índice de tempo atual, para efeito da simulação.
t	nível de tempo [T]
$t+\Delta t$	índice de tempo futuro, para efeito da simulação.
t_c	tempo de concentração da sub-bacia [T];
t_c	tempo de concentração [T]
Tr	tempo de recorrência [T]
V	velocidade do escoamento superficial [LT^{-1}]
y	altura da água ou profundidade do escoamento [L];
Z	cota do fundo do canal [L];
Δt	intervalo de tempo [T]
ϕ	variável genérica que serve para expressar vazão ou volume.
η	parâmetro que depende do intervalo de duração da precipitação (adimensional)

ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
AVDP	Áreas Verdes de Domínio Público.
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAL	Índice de Áreas Verdes
ICV	Índice de Cobertura Vegetal (Arbórea)
IEL	Índice de Espaços Livres Públicos
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAV	Percentual de Áreas Verdes
PCV	Percentual de Cobertura Vegetal (Arbórea)
PEL	Percentual de Espaços Livres Públicos
S	sul
SAD	<i>South American Datum</i>
Sist.Coord	Sistema de Coordenadas
UTM	Sistema Universal Transverso de Mercator
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
W	oeste

SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
Faema	Fundação Municipal do Meio Ambiente
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
HUSB	Hidrograma Urbano de Santa Bárbara
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
PMU	Prefeitura Municipal de Uberaba
SBAU	Sociedade Brasileira de Arborização Urbana
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SC	Santa Catarina
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CODAU	Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Características do balanço hídrico numa bacia urbana	10
Figura 2.2: Efeito da urbanização sobre o hidrograma pré-existente	11
Figura 3.1: Precipitações medias mensais (janeiro a dezembro) do período de 1991 a 1995	28
Figura 3.2: Precipitações medias mensais (janeiro a dezembro) do período de 1996 a 2000	28
Figura 3.3: Mapa geológico do Grupo Bauru no Triangulo Mineiro.....	30
Figura 3.4: Gradiente fitofisionomico do cerrado	32
Figura 3.5: Sobreposição dos limites de ocupação na bacia do Córrego das Lajes	33
Figura 3.6: Localização da Bacia	34
Figura 3.7: Características do Divisor da Bacia	34
Figura 3.8: Sub-bacias que constituem a bacia do córrego das Lajes. Os números indicam as áreas em hectares.....	35
Figura 3.9: Hidrografia.....	35
Figura 4.1: Organograma de Classificação do Verde Urbano com base em CAVALHEIRO et al. 1999	41
Figura 4.2: Mapa das Áreas Verdes e Áreas Institucionais da cidade de Uberaba, utilizado pela PMU.....	42
Figura 4.3: ____ Áreas selecionadas para o estudo, ____ Rede de Drenagem, ____ Limite da Bacia	45
Figura 4.4: Modelo tridimensional da superfície da cidade de Uberaba: destaque para os vetores de fluxo de escoamento superficial, córrego das Lajes e as três APP analisadas no presente trabalho.....	48
Figura 4.5: Distribuição temporal da precipitação a partir das curvas de 50% de probabilidade de ocorrência para os quatro quartis de Huff. Note-se que, na distribuição por faixa, é possível verificar os instantes de concentração dos picos da chuva.....	50

Figura 4.6: Esquema ilustrativo do Método Santa Bárbara. O método considera o armazenamento temporário na bacia (reservatório imaginário), com vazão de entrada I e vazão de saída Q_s	61
Figura 4.7: Esquema da sub-bacia Leopoldino, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara. Note-se que esta sub-bacia apresenta dois reservatórios de detenção em série.....	61
Figura 4.8:Esquema da sub-bacia Santos Dumont, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara	62
Figura 4.9: Esquema da sub-bacia que engloba o trecho final do Córrego das Lajes, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara	62
Figura 4.10: Programa para geração de hidrogramas de cheia a partir do Método Santa Bárbara.	65
Figura 4.11: ___ Limites das sub-bacias Leopoldino 1A e Leopoldino 1B.....	66
Figura 4.12: Reservatórios de detenção presentes na sub-bacia que engloba a Área 1 e suas respectivas curvas cota-volume e cota-descarga, retiradas de Nascimento et al (2005).	67
Figura 4.13: Obtenção do hidrograma resultante para a sub-bacia Leopoldino.....	69
Figura 4.14: Programa para geração de hidrogramas de cheia na sub-bacia Leopoldino	173
Figura 5.1: Distribuição dos espaços livres públicos na bacia do córrego das Lajes.....	75
Figura 5.2: Cobertura arbórea na bacia do córrego das Lajes	78
Figura 5.3: Localização das áreas possíveis de serem transformadas em áreas verdes de acordo com a proposta 1.....	82
Figura 5.4: Espaços Livres Públicos Atuais e Áreas passíveis de transformação em Áreas Verdes na bacia do córrego das Lajes, proposta 1.....	83
Figura 5.5: Distribuição da Cobertura Arbórea nos Espaços Livres Públicos futuros da bacia do córrego das Lajes, proposta 1.....	84
Figura 5.6: Lotes sem construção, Espaços Livres Públicos Atuais e Áreas passíveis de transformação em Áreas Verdes na bacia do córrego das Lajes, proposta 2.....	85
Figura 5.7: Localização da APP a montante do reservatório de retenção.	86
Figura 5.8: Solo encharcado depois de ação do fogo.	87
Figura 5.9: Vestígios de queimada na vegetação.	87
Figura 5.10: A/B Presença de PVs de esgoto na área analisada C- Destaque da tampa com a denominação Esgoto.....	88

Figura 5.11: A- Solo exposto e margem instável B- Trecho erodido do córrego, formando uma espécie de poço. Margens instáveis devido à falta de vegetação característica	89
Figura 5.12: Instabilidade das margens devido ao pisoteio do gado e vegetação não característica está causando o assoreamento do curso de água.	89
Figura 5.13: A seqüência de letras mostra o caminho percorrido pelas águas. A- ravina na área gramada; B- água empoçada em pequena voçoroca ainda na parte gramada; C- ravina em área de declive, perto do maciço arbóreo; D- ravina no começo do maciço arbóreo; E- ravina dentro do maciço arbóreo; F- pequenas voçorocas formadas dentro da mata ciliar.	91
Figura 5.14: A- Caminhão depositando entulho; B- Ponto de grande acumulação de entulho; C- Visão aproximada deste.....	92
Figura 5.15: Nascente brotando em meio ao entulho.	92
Figura 5.16: A- Galeria de águas pluviais não finalizada e depósito de entulho nas proximidades da nascente do córrego das Lajes B- Depósito de lixo na saída da galeria...	92
Figura 5.17: A- Margens pisoteadas por gado; B-Aves de rapina na área analisada; C- Lagarto; D- Cágados no poço apresentado na Figura 5.15.....	93
Figura 5.18: A/B- Indícios de retirada de vegetação arbórea por ações antrópicas; C- Taboa; D- Taioba; E- Embaúba.....	94
Figura 5.19: Predominância de gramíneas nas margens do Córrego das Lajes.	94
Figura 5.20: Mapa dos Tipos de Cobertura Vegetal da Área 1.	95
Figura 5.21: Localização da área verde diagnosticada.	96
Figura 5.22: A- Perfil do solo exposto em voçoroca. Latossolo e solo hidromórfico B- Transição de solos superficiais.	97
Figura 5.23: Risco de desmoronamento em barrancos atingidos por erosões.....	98
Figura 5.24: Corpo de água assoreado devido desmoronamento dos barrancos sem vegetação característica.	98
Figura 5.25: Vazios (fenômeno “piping”) no solo que margeia o corpo de água.	99
Figura 5.26: Erosão laminar devido às águas pluviais que não são inteiramente captadas pelo sistema de drenagem de águas pluviais.	99
Figura 5.27: Final da rede de drenagem e concentração das águas pluviais lançadas diretamente sobre o terreno.	100
Figura 5.28: Pontos de erosão, voçorocas e clareira.....	100
Figura 5.29: A- Erosão em sulcos dentro do maciço florestal B- Fissuras, demonstrando fragilidade do solo e formação do processo erosivo.....	101

Figura 5.30: Cratera sendo formada pela força das águas pluviais após sulco erosivo.....	101
Figura 5.31: A- Final da rede de drenagem; B- Canaleta que está sendo aberta, provavelmente para aumentar o sistema de drenagem.	102
Figura 5.32: A- Visão à distância da canaleta; B- Voçoroca sendo formada pela força das águas da canaleta.	102
Figura 5.33: Visão da Voçoroca 1	103
Figura 5.34: A- Final da rede de drenagem, B- Manilhas soltas dentro da voçoroca e água pluvial parada	103
Figura 5.35: A- Final da rede de drenagem e voçoroca formada da margem esquerda B- Água pluvial parada e lixo na voçoroca formada por rede de drenagem inacabada.	104
Figura 5.36: Voçoroca lado direito formada devido à falta de vegetação B- Água pluvial dentro da voçoroca	104
Figura 5.37: Mosaico mostrando lixo e entulho dentro das voçorocas.	105
Figura 5.38: Animais de criação dentro da área de APP	105
Figura 5.39: Tipos de vegetação da área.	106
Figura 5.40: Margens do corpo de água (vertente 3). Ausência de vegetação ciliar original.	107
Figura 5.41: Clareira na vegetação arbórea	107
Figura 5.42: Localização do Parque da Cidade.	108
Figura 5.43: Fotografia aérea da área verde localizada no final do Córrego das Lajes.....	108
Figura 5.44: Calha natural do córrego das Lajes em seu trecho final. Nota-se que a água escoava sobre uma calha de basalto, caracterizando afloramentos da formação Serra Geral.	109
Figura 5.45: Baixas vazões no período de estiagem, destacando o afloramento de basalto na calha do córrego.....	109
Figura 5.46: A- Turbidez nas águas do Córrego das Lajes; B- Espuma formada devido ao aporte de esgoto no córrego, depois de trecho com grande correnteza.	110
Figura 5.47: A - Algas verdes; B- algas ferruginosas.	110
Figura 5.48: A e B - Lançamento de esgoto na margem direita; C- Lançamento de esgoto na margem esquerda.	111
Figura 5.49: A- Talude instável com risco de desmoronamento na margem direita do Córrego das Lajes. Área sem mata ciliar; B- Banco de areia assoreando o Córrego das Lajes.	111

Figura 5.50: Bancos de areia e assoreamento.....	112
Figura 5.51: A- Voçoroca encontrada na área de estudo; B- Final de galeria de água pluvial e erosão em seu entorno.	112
Figura 5.52: Lixo no córrego das Lajes.....	113
Figura 5.53: Restos de construção civil depositados próximo às margens do córrego das Lajes.	113
Figura 5.54: Cavalos dentro do córrego.	114
Figura 5.55: A-Passarinho; B-Lagarto; C- Cágado, encontrado com outros em um poço; D- Marcas de patas de animais (provavelmente capivaras) no encontro do Córrego das Lajes com o Rio Uberaba.....	114
Figura 5.56: A- Começo da vegetação secundária nas áreas de maior adensamento florestal B- bambuzais que auxiliam na estabilidade das margens.	115
Figura 5.57: Solo exposto e gramíneas nas margens do Córrego das Lajes.....	115
Figura 5.58: Tipos de Cobertura vegetal encontrados na área.	116
Figura 5.59: Retirada de vegetação por criador.....	116
Figura 5.60: Margem do córrego e acima área de cultivo de hortaliças.....	117
Figura 5.61: Distribuição das áreas permeáveis na bacia do córrego das Lajes.....	123
Figura 5.62: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Santos Dumont para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.	127
Figura 5.63: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Santos Dumont para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.....	128
Figura 5.64: Volumes de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Santos Dumont para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.	128
Figura 5.65: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Restante para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.	132
Figura 5.66: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Restante para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.....	133

Figura 5.67: Volumes de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Restante, para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.	133
Figura 5.68: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 . Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente, uso atual do solo (cenário 1) e chuva com probabilidade de 50% no primeiro quartil.....	137
Figura 5.69: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.	138
Figura 5.70: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Leopoldino 1 para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.....	139
Figura 5.71: Volumes máximos de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 para período de retorno (Tr) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Comparação dos IAV, IEL, PAV, PEL, ICV, PCV atuais da bacia do Córrego das Lajes com os índices obtidos com a proposta 1 e 2 de ampliação das áreas verdes e espaços públicos.	80
Tabela 5.2: Levantamento das áreas permeáveis por sub-bacia.....	121
Tabela 5.3: Porcentagem equivalente das APP das sub-bacias.	121
Tabela 5.4: Porcentagem de área impermeável de cada cenário, para todas sub-bacias...	125
Tabela 5.5: CN composto das sub-bacias, nos diversos cenários simulados.	126
Tabela 5.6: Valores de tempos de concentração (t_c) simulados para cada sub-bacia simulada e valores correspondentes em Nascimento et al (2005).	126
Tabela 5.7: Acréscimos, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento na Sub-bacia Santos Dumont.....	129
Tabela 5.8: Eficiências da APP na sub-bacia Santos Dumont	131
Tabela 5.9: Valores e percentuais de acréscimo, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento superficial na sub-bacia Restante.	134

Tabela 5.10: Eficiências das APP na sub-bacia Restante.....	135
Tabela 5.11: Valores e percentuais de acréscimo, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento superficial na sub-bacia Leopoldino 1.....	140
Tabela 5.12: Eficiências das APP na sub-bacia Leopoldino 1.	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Funções da arborização urbana e suas implicações ecológicas e sociais	13
Quadro 3.1:Características climáticas da cidade de Uberaba.Modificado de:SARTIF[200-]	29
Quadro 3.2: Classes de solos e vegetação da região de Uberaba. EMBRAPA, 2000 apud SARTIF[200-].	31
Quadro 3.3: Relação dos cursos de água da Bacia do Córrego das Lajes. Modificado de Moraes, 2001.....	36
Quadro 4.1: Princípios utilizados na foto-interpretação e exemplos aplicáveis (adaptado de PAINE e Luba, 1980). Modificado de: Henke-Oliveira, 2001.....	40
Quadro 4.2: Classificação de solos segundo o SCS. Retirado de Tomaz (2002).....	52
Quadro 4.3: Número CN para bacias urbanas e suburbanas. Retirado de Tomaz (2002)...	53
Quadro 4.4: Condições de umidade antecedente do solo. Retirado de Tomaz (2002).....	54
Quadro 4.5: Ajuste do número CN em função das condições de umidade do solo. Retirado de Tomaz (2002).....	54
Quadro 4.6: Cenários de simulação.....	56
Quadro 4.7: Valores de “n”, raio hidráulico “R”(m) e de “k” para o método cinemático Fonte: Tomaz,(2002)	59
Quadro 4.8: Coeficientes “k” do método SCS (1975) Fonte: Tomaz (2002).....	60
Quadro 5.1: Fatores degradados e de degradação e sua descrição para classificação.....	119
Quadro 5.2: Matriz de Interações, fatores degradados e de degradação das áreas diagnósticadas.....	119
Quadro 5.3: Valores típicos de CNp e CNi adotados,segundo o tipo e o uso do solo	125

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO DO TRABALHO	1
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS	6
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 AS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS	9
2.1.1 Impactos da urbanização na dinâmica hidrológica	10
2.2 ÁREAS VERDES URBANAS	12
2.2.1 Benefícios da vegetação na área urbana	12
2.2.2 Qualidade ambiental e conceitos	13
2.2.3 Índices de qualidade ambiental	15
2.2.4 As Áreas de Preservação Permanente (APP) e sua transformação em Áreas Verdes de Domínio Público (AVDP)	18
2.3 OS DIAGNÓSTICOS AMBIENTAIS COMO FERRAMENTA DO PLANEJAMENTO AMBIENTAL	21
2.3.1 Geoprocessamento como ferramenta nos diagnósticos	22
2.4 MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO	23
2.4.1 O Método do Hidrograma Urbano de Santa Bárbara – HUSB	24
2.4.2 Modelos Hidráulicos - O Método de Pulz e as Equações de Saint Venant	24
CAPÍTULO 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
3.1 CLIMA	27
3.2 GEOLOGIA	29
3.3 SOLOS	30
3.4 VEGETAÇÃO	31
3.5 FAUNA	32
3.6 A BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES	32

CAPÍTULO 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1 LEVANTAMENTO DAS ÁREAS PERMEÁVEIS, ÁREAS IMPERMEÁVEIS, ESPAÇOS LIVRES, ÁREAS VERDES, APP E COBERTURA VEGETAL	37
4.2 ÍNDICES DE QUALIDADE AMBIENTAL	42
4.3 DIAGNÓSTICOS DAS APP	44
4.3.1 Áreas selecionadas.....	44
4.3.2 Diagnóstico (Análise qualitativa) das APP	47
4.4 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	47
4.4.1 Precipitação	49
4.4.2 Escoamento superficial – transformação chuva-vazão.....	50
4.4.3 Tempo de concentração	57
4.4.4 O Método Santa Bárbara	60
4.4.5 Programas para os cálculos hidrológicos.....	65
4.4.5.1 Sub-bacias que englobam as Áreas 2 e 3.....	65
4.4.5.2 Sub-bacia que engloba a Área 1	66
4.4.5.2.1 Método de Pulz.....	66
4.4.5.2.2 Equações de Saint-Venant.....	68
4.4.5.2.3 O programa de cálculo.....	73
CAPÍTULO 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
5.1 MAPEAMENTO E ÍNDICES.....	74
5.1.1 Propostas de ampliação	79
5.2 DIAGNÓSTICOS DAS APP	86
5.2.1 Área 1	86
5.2.1.1 Solos	86
5.2.1.2 Esgotos	87
5.2.1.3 Instabilidade das encostas.....	88
5.2.1.4 Erosão	90
5.2.1.5 Lixo e entulho.....	91
5.2.1.6 Presença de animais.....	92
5.2.1.7 Vegetação	93
5.2.2 Área 2	96
5.2.2.1 Solos	96

5.2.2.2 Esgotos	97
5.2.2.3 Instabilidade das encostas.....	98
5.2.2.4 Erosão	99
5.2.2.5 Lixo e Entulho	104
5.2.2.6 Presença de animais.....	105
5.2.2.7 Vegetação	106
5.2.3 Área 3	107
5.2.3.1 Geologia e Solos.....	109
5.2.3.2 Esgotos	110
5.2.3.3 Instabilidade das encostas.....	111
5.2.3.4 Erosão	112
5.2.3.5 Lixo e entulho.....	113
5.2.3.6 Presença de animais.....	113
5.2.3.7 Vegetação	114
5.2.3.8 Conflitos de uso	117
5.2.4 Comparação entre as três áreas e proposição de medidas de recuperação.	117
5.3 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	120
5.3.1 Áreas Permeáveis	120
5.3.2 Levantamento de parâmetros das sub-bacias para transformação chuva-vazão	124
5.3.3 Simulações para a sub-bacia Santos Dumont.....	127
5.3.4 Simulações para a sub-bacia Restante.....	132
5.3.5 Simulações para a sub-bacia Leopoldino 1	136
5.3.6 Análises Gerais.....	142
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES	144
REFERÊNCIAS.....	147
ANEXOS.....	154

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O capítulo de introdução busca situar o leitor através da apresentação, primeiramente do contexto na qual esta pesquisa está inserida, seguida da justificativa, dos objetivos e a apresentação da estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTO DO TRABALHO

Desde a antiguidade, o progresso das civilizações fez com que ações humanas desrespeitassem e destruíssem paisagens que, mais tarde, fossem reconhecidas como essenciais para a manutenção da vida na Terra. Esse processo foi acelerado pela Revolução Industrial, no século XVIII. Apesar disso, novas visões foram introduzidas a partir das últimas décadas do século passado. A demanda por desenvolvimento econômico tornou-se, com o passar do tempo, paralela à necessidade de uma sustentabilidade ambiental. A mudança desse paradigma ocorreu devido ao reconhecimento da limitação dos recursos naturais e das verdadeiras catástrofes causadas pela falta, ou pela utilização inadequada destes.

No Brasil, os problemas ambientais começaram a ser discutidos após a Conferência de Estocolmo em 1972, com a criação, em 1973, da Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, 2003).

No cenário atual, em função da concentração populacional, além de atividades econômicas com potenciais impactantes, o meio urbano tem se apresentado como um local conflitante, onde os problemas ambientais de ordem econômica, ecológica e social são mais evidentes. A qualidade do meio ambiente no qual vivemos está intrinsecamente ligada à qualidade de vida. Entende-se por qualidade ambiental a soma dos padrões encontrados em uma série de

componentes que nos cercam e que influenciam diretamente nossa vida: qualidade da água, do ar, do solo entre outros.

No planejamento urbano, todas as necessidades humanas deveriam ser consideradas, porém "na sociedade burguesa, preocupações econômicas constituem o tema principal da investigação social; todas as outras considerações humanas são secundárias" (LEFEBVRE, 1969. Segundo afirmação de Marcus e Detwyler (1972): "(...) tradicionalmente, os fatores econômicos têm decidido o uso da terra sem levar em consideração os fatores ecológicos".

Apesar da importância do "verde urbano", este não se apresenta como uma necessidade óbvia na cena urbana, normalmente sendo negligenciado no planejamento do desenvolvimento das cidades. Entretanto, a importância das áreas verdes extrapola um valor meramente sentimental ou estético, desempenhando um papel de destaque nas áreas urbanizadas no que se refere à qualidade ambiental. A vegetação, principalmente quando constituída de espécies arbóreas, conduz a uma ampla gama de benefícios e funções ambientais; as áreas verdes urbanas influenciam no clima urbano, na hidrologia, freqüentemente acomodam grupos variados de pequenos animais e flora, fornecendo locais acessíveis, com elementos naturais ou não, para o lazer da população (ALVAREZ , 2004; JIM e CHEN, 2003).

Alguns autores, como Jesus e Braga (2005), defendem que é a partir da vegetação que muitos problemas ambientais das cidades serão amenizados ou resolvidos. Nesse contexto, a cobertura vegetal, tanto em termos qualitativos como quantitativos, além da sua distribuição espacial no ambiente urbano, devem ser cuidadosamente consideradas na avaliação da qualidade do meio ambiente. Apesar da sua importância, o verde é o elemento mais frágil nas cidades, sofrendo diretamente os efeitos da ação antrópica, representada pelas pressões da urbanização e do adensamento populacional (ALVAREZ, 2004). A substituição de áreas verdes por áreas impermeabilizadas, aspecto comum no processo de urbanização, contribui para o aumento do escoamento superficial. Assim, alterações das vazões que escoam nos talwegues durante eventos de chuva, são reflexos diretos da impermeabilização e da redução da interceptação pelas copas das árvores, condicionando enchentes que são problemas reais das cidades médias e grandes.

É justamente nesse contexto que a manutenção da integridade das Áreas de Preservação Permanente (APP) no meio urbano pode contribuir para a proteção ambiental,

minimizando os efeitos da urbanização, no que se refere à drenagem urbana (interceptando parte da água precipitada, facilitando a infiltração das águas das chuvas no subsolo e reduzindo o escoamento superficial “runoff”), no controle da erosão; na qualidade de vida das pessoas, contribuindo para a diminuição da poluição atmosférica, sonora e para a melhoria do clima.

A antiga legislação (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965) do Código Florestal Brasileiro estabelecia que as APP eram áreas intocáveis, protegidas pelo poder público em suas várias esferas. Num âmbito geral, em função da pouca ou má fiscalização, percebe-se que as APP são facilmente susceptíveis à descaracterização, gerando problemas relacionados com usos inadequados como: disposição incorreta de resíduos sólidos, invasão para moradia, além de problemas de segurança. A Resolução CONAMA 369, de 29 de março de 2006, veio incrementar a antiga legislação, integrando as APP no ambiente urbano, transformando-as em Áreas Verdes de Domínio Público (AVDP).

A transformação das APP em AVDP constitui, portanto, uma alternativa interessante para melhorar a qualidade ambiental do espaço urbano, significando a recuperação de uma área contextualizada à realidade da cidade, permitindo que seja assegurada a sua função na drenagem urbana, mesmo com as intervenções que possam vir a ocorrer nestas, uma vez que os percentuais de impermeabilização e alteração para ajardinamento, segundo a Resolução CONAMA 369, são limitados a, respectivamente, no máximo 5% e 15% da área total da APP inserida na AVDP.

No planejamento urbano é necessário realizar um bom diagnóstico da presença de vegetação, de modo a servir de subsídio para delinear um plano de ação para a implantação de espaços verdes e manejo da arborização existente. Para garantir um mínimo de bem estar à população, é importante quantificar os elementos presentes como verde nas urbes. Entretanto, o desafio que se apresenta é qualificá-los e relacioná-los entre si. Para prosperar nesta nova linha de atitudes também é necessário reconhecer a importância do diagnóstico da atual situação das áreas verdes, como ferramenta indispensável para se realizar um planejamento ambiental que permitirá não apenas o desenvolvimento do processo de regularização ambiental, mas também a construção de um sistema de gestão sustentável.

Partindo-se da afirmação de que o verde é uma necessidade dentro das cidades, este trabalho decidiu identificar, classificar, mapear e quantificar os espaços livres, as áreas verdes e APP, qualificando espacialmente a cobertura arbórea desses espaços. Esses procedimentos têm o propósito de verificar a situação do “verde” na bacia urbana do córrego das Lajes, situada na cidade de Uberaba, estado de Minas Gerais, diagnosticando os fatores de degradação de três APP que têm potencial de serem transformadas em AVDP. Numa terceira etapa, o presente trabalho verificou a influência dessas áreas verdes na transformação de chuva em escoamento superficial, aspecto importante em termos de macro-drenagem urbana.

Em suma, espera-se que este trabalho tenha uma finalidade importante para o contexto do planejamento urbano de Uberaba, pois, a quantificação do verde na bacia do córrego das Lajes pode posteriormente nortear medidas para melhorar a qualidade de vida dos moradores da cidade. A qualificação das APP também auxilia no estabelecimento de diretrizes para seu uso adequado e ambientalmente responsável, preservando funções ecológicas, sociais e econômicas, permitindo sua transformação em AVDP. Adicionalmente, a introdução da modelagem hidrológica permite uma previsão mais objetiva da influência das APP na redução da chuva excedente, além de possibilitar uma estimativa dos efeitos de diversos cenários de precipitação sobre a bacia e do escoamento superficial adicional gerado, se essas áreas forem suprimidas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento do escoamento superficial resulta da impermeabilização de áreas que anteriormente propiciavam a infiltração das águas das chuvas. Tornam-se comuns as afirmações de que a preservação das várzeas urbanas é de fundamental importância para o controle de enchentes, definindo-se normas que restrinjam a ocupação de tais áreas. Entretanto, as demais áreas verdes urbanas também podem exercer papel importante no amortecimento de ondas de cheia, fator que sugere a definição de usos adequados e compatíveis, com intuito de evitar usos irregulares ou conflitantes dessas regiões (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Lombardo (1985) apud Alvarez (2004), o estabelecimento de medidas decisivas para a preservação de áreas verdes urbanas é facilitado quando se dispõe de dados que determinam a sua exata localização e a sua real superfície, permitindo futuros estudos ecológicos urbanos.

Para que ocorra o manejo de unidades de conservação, entre elas as APP, são necessários estudos voltados para a integração da área protegida com as áreas urbanizadas, que quando não integralizadas ao meio urbano, tornam-se alvo de diversos tipos de usos irregulares e clandestinos, de difícil controle por parte do poder público e de impactos à biota, muitas vezes de dimensões imprevisíveis (MAZZEI, COLESANTI e SANTOS, 2007).

O processo de ocupação urbana do município de Uberaba começou nas margens do Córrego das Lajes, mostrando que, desde o início, as primeiras moradias estabeleceram-se no leito maior do canal. Essa tendência foi natural nas primeiras ocupações que visavam, quase sempre, facilidades na captação de águas para abastecimento e dessedentação animal. Essa ocupação, porém, foi responsável por problemas ambientais relacionados à drenagem urbana e a usos inadequados.

A bacia do Córrego das Lajes, escolhida para este estudo em função da disposição dessa na cidade de Uberaba; abrange 60% da área urbana, além de apresentar um agravante natural: o formato aproximadamente circular, as encostas íngremes e as áreas aproximadamente iguais das suas sub-bacias, todos os aspectos facilitadores da concentração do escoamento superficial. O córrego das Lajes drena a maior parte da chuva excedente, visto que sua bacia apresenta os mais elevados níveis de impermeabilização da cidade. Nota-se que a qualidade de vida de grande parte da população da cidade está relacionada ao comportamento da bacia em dias de chuvas intensas. Apesar do elevado grau de impermeabilização, existem áreas não urbanizadas na vizinhança do córrego das Lajes, as quais, de acordo com a legislação vigente, devem ser consideradas como de preservação permanente. Todavia, nessas regiões, ainda há extensões consideráveis de áreas verdes que sobrepujam os limites especificados pela legislação.

No contexto desta pesquisa, os diagnósticos se justificam porque o levantamento dos dados sobre a cobertura vegetal informa sobre fatores importantes para o planejamento e proteção das áreas. É conveniente comentar que, além da sua influência na drenagem urbana, áreas verdes urbanas, quando não fiscalizadas e manejadas de forma inadequada,

trazem problemas às cidades. Isto pode ser verificado, por exemplo, na sua utilização para disposição de resíduos sólidos, ocupação irregular e desordenada, etc., contribuindo para o agravamento dos problemas de segurança e limpeza pública, fatos estes verificados nas APP localizados na bacia em estudo. Uma das possibilidades de suprimir esses problemas é a transformação das APP em AVDP. No entanto, para que isto ocorra, é necessária uma avaliação qualitativa dessas regiões, identificando os fatores que interferem ou que conduzem à sua degradação.

Apesar da legislação estadual mineira (Lei nº 9.375, de 12 de dezembro de 1986), este estudo ainda mostra-se aplicável, pois o Art. 3 da mesma Lei traz:

Art. 3º - A supressão total ou parcial de áreas protegidas por efeito desta Lei somente será admitida com a prévia autorização do Poder Executivo, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

Ou seja, conclui-se que a transformação das APP urbanas em AVDP, é de total interesse social, sendo possível de ser realizado, de acordo com a legislação estadual (Lei nº 9.375, de 12 de dezembro de 1986) e federal (Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006).

No contexto abordado acima, este trabalho justifica-se, pois está relacionado com a avaliação do efetivo desempenho das APP e áreas verdes na redução do escoamento superficial, disponibilizando dados que determinam à exata localização e a real superfície dessas áreas, para que estas possam ser futuramente, integralizadas ao meio urbano, evitando os problemas que as assolam a partir dos usos irregulares e conflitantes.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência das APP da Bacia do Córrego das Lajes na redução do escoamento superficial, por meio da simulação de vários cenários de impermeabilização na referida bacia. Isto possibilitará a estimativa dos benefícios da manutenção das APP na região. Também assume destaque o diagnóstico ambiental, cujo objetivo é possibilitar a visualização do atual estado de conservação das áreas selecionadas. Essas informações permitirão a construção de um banco de dados que pode orientar o planejamento das políticas públicas associadas à gestão local.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Mapeamento (identificação e delimitação) dos espaços livres públicos, presentes na bacia do córrego das Lajes;
- Realização de um diagnóstico ambiental das APP selecionadas, o qual consiste de:
 - 1- Avaliação da distribuição da cobertura vegetal, considerando os espaços onde há predomínio de gramíneas, vegetação arbórea e herbácea (mapeamento da cobertura vegetal);
 - 2- Caracterização das áreas selecionadas no que diz respeito a seu estado de conservação geral, identificando possíveis fatores de degradação tais como lixo, entulhos ou danos à vegetação;
- Análise dos atuais índices de qualidade ambiental na referida bacia e propostas de aumento destes através da transformação de APP em AVDP, e inserção de outras áreas selecionadas neste trabalho;
- Quantificação da porcentagem de áreas impermeabilizadas na bacia do córrego das Lajes;
- Simulação da chuva excedente gerada nessas áreas, permitindo estimar os acréscimos nas vazões de pico e volumes escoados, pela retirada dessas áreas permeáveis verdes;

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho é constituído de seis capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1 (Introdução): apresenta as considerações iniciais, situando os temas abordados; justificativa e objetivos do estudo;
- Capítulo 2: apresenta revisão bibliográfica sobre os temas abordados;
- Capítulo 3: caracteriza a área de estudo;

- Capítulo 4: detalha a metodologia utilizada para cada fase do estudo;
- Capítulo 5: apresenta os resultados obtidos; mostrando os mapas, tabelas, gráficos e quadros elaborados, além de exibir fotografias dos estados de conservação das APP selecionadas para diagnóstico;
- Capítulo 6: apresenta as conclusões do estudo.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são introduzidas as bases teóricas acerca da pesquisa, como definições básicas, destacando a importância das áreas verdes no ambiente urbano, os impactos da urbanização sobre essas áreas, comentando ainda acerca de modelos que permitirão a almejada relação entre essas áreas verdes e o escoamento superficial gerado das cidades.

2.1 AS ALTERAÇÕES AMBIENTAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Segundo Alvarez (2004), as cidades são ambientes alterados que possuem vegetação remanescente de áreas naturais ou que estão em áreas implantadas, apresentando-se de diferentes formas, tanto em áreas públicas (parques, jardins e praças), como em torno de córregos e rios e em áreas privadas (residências e indústrias).

O sistema viário e os automóveis, apesar de facilitarem a locomoção, são considerados os maiores geradores e estocadores de poluentes na área urbana. Além disso, a expansão das cidades é responsável pela alteração da estrutura do solo, da sua biota e de parâmetros físico-químicos, além de contribuir significativamente para a perda de solos, sendo a erosão, segundo Odum (1985), a maior fonte de poluentes em escala mundial, embora não seja facilmente notado por apresentar forma menos tóxica. A urbanização interfere em diferentes variáveis climáticas, além de atuar sobre diversos parâmetros da fauna e flora nativas, como tamanho, estrutura, sucessão e taxas de crescimento. O regime hídrico nas cidades também é afetado, o que é verificado principalmente no aumento do escoamento superficial e diminuição da interceptação da chuva. Esses dois fatores amplificam, em casos extremos, as enchentes urbanas.

2.1.1 Impactos da urbanização na dinâmica hidrológica

De acordo com Tucci *et al.* (1995), o balanço hídrico na bacia urbana é alterado com o aumento do volume do escoamento superficial e com as reduções da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração. Essas tendências são ilustradas pela Figura 2.1. A urbanização produz alterações no hidrograma de cheia. A impermeabilização do solo reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, o qual ocorre principalmente pelas sarjetas e galerias. É conveniente comentar que o escoamento superficial chega mais rápido às calhas dos cursos de água da zona urbana, provocando maiores vazões que as naturais. Este aspecto é verificado em função da elevada capacidade de escoamento nas sarjetas e galerias, além da baixa capacidade de retenção de água por parte desses elementos.

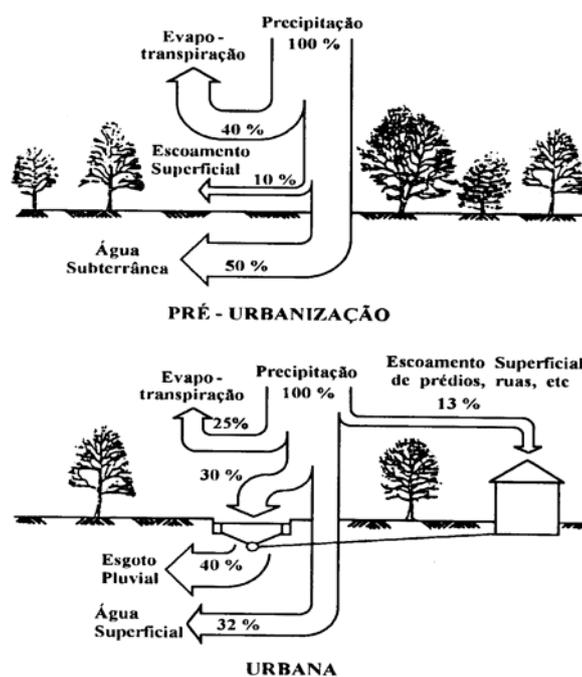


Figura 2.1: Características do balanço hídrico numa bacia urbana

Fonte: OECD (1986) apud Tucci et al (1995)

Assim, pode-se concluir que a urbanização, acompanhada da retirada da mata ciliar, da remoção da vegetação e da impermeabilização dos solos, altera o escoamento natural das águas pluviais com a redução substancial no tempo de concentração das bacias hidrográficas. Essa alteração no tempo de concentração é decorrente dos sistemas de drenagem urbana (micro e macrodrenagem), cujas funções são coletar e escoar o mais rapidamente possível as águas para jusante, acrescentando consideravelmente os volumes dos

rios e potencializando as enchentes. Nessas circunstâncias, o tempo de pico dos hidrogramas também é antecipado, conforme ilustra a Figura 2.2. Vale destacar que o tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial numa determinada seção, normalmente tomada como o exutório da bacia (TOMAZ, 2002).

Segundo Tucci e Marques (2001) apud Nakazone (2005), um habitante produz cerca de 49 m^2 de área impermeável e que para cada 10% de aumento de área impermeável ocorre cerca de 100% de aumento no volume de escoamento superficial comparado com a condição rural. Essas estimativas fornecem uma noção do efeito do aumento das áreas impermeáveis na magnitude do escoamento superficial gerado.

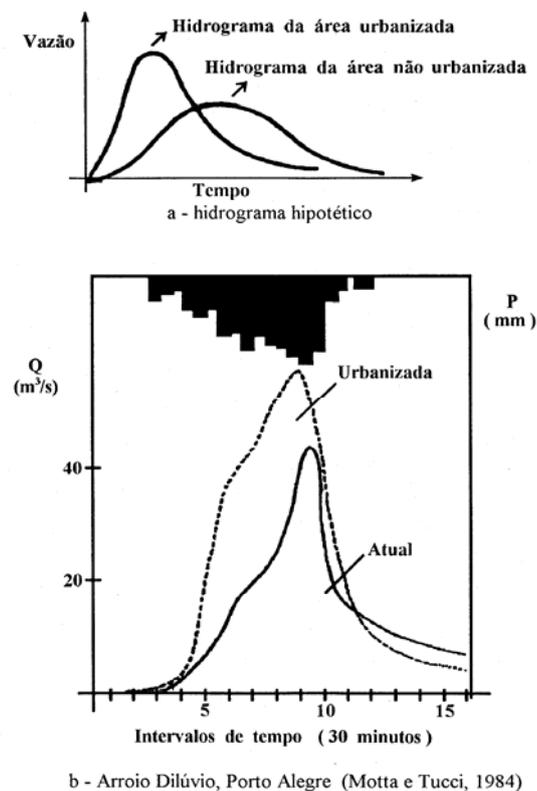


Figura 2.2: Efeito da urbanização sobre o hidrograma pré-existente

Fonte: Motta e Tucci (1984) apud Tucci *et al* (1995)

Para contornar o problema, criado com a urbanização das bacias sobre o comportamento das cheias, diversas medidas estruturais e não estruturais podem ser adotadas. Medidas estruturais correspondem a alterações físicas na bacia, como obras de drenagem, bacias de retenção, entre outras. Medidas não estruturais correspondem a regulamentos que têm o objetivo de proporcionar uma melhor convivência da população com as cheias, como, por

exemplo, a construção de áreas de lazer próximas às nascentes. De acordo com Tucci, (1997) apud Nakazone (2005), ainda há que se levar em consideração que não existem medidas de controle, tanto isoladas como conjuntas, que eliminem totalmente os problemas de cheias.

2.2 ÁREAS VERDES URBANAS

2.2.1 Benefícios da vegetação na área urbana

A presença de vegetação nas cidades tem sido considerada um sinônimo de qualidade de vida (ALVAREZ, 2004). Segundo Henke-Oliveira (1996), a manutenção do verde é mais bem justificada pelo seu potencial em realçar aspectos associados à qualidade ambiental e pela interferência benéfica na qualidade de vida, no que diz respeito à manutenção das funções ambientais, sociais e estéticas que venham a mitigar ou amenizar as inúmeras propriedades negativas da urbanização.

As florestas urbanas (definidas como qualquer vegetação arbórea existente nas imediações de locais habitados, de pequenos povoados a grandes cidades) contribuem para a melhoria da qualidade de vida nas cidades de diversas maneiras. Uma relação dessas contribuições está listada na Quadro 2.1.

Em termos de drenagem urbana, as áreas vegetadas além de interceptar parte da precipitação, facilitam a infiltração das águas da chuva no subsolo, reduzindo o escoamento superficial (“runoff”) que é o principal agente condicionante das enchentes. Daí a importância da manutenção de áreas verdes no perímetro urbano.

De uma maneira geral, o crescimento desordenado das cidades vem causando uma grande redução da cobertura arbórea, afetando consideravelmente a qualidade de vida da população. A associação da escassez de áreas verdes com instabilidades climáticas, além das poluições atmosférica, hídrica, sonora e visual, afeta consideravelmente a qualidade de vida das pessoas, provocando até mesmo distúrbios biológicos, segundo afirma Silva (2000).

Funções	Implicações ecológicas	Implicações sociais
<ul style="list-style-type: none"> • Interceptação, absorção e reflexão de radiação luminosa • Fotossíntese, Produção Primária Líquida • Fluxo de energia 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos • Manutenção das altas taxas de evapotranspiração • Manutenção do micro clima • Manutenção da fauna 	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto térmico • Conforto lúmnico • Conforto sonoro • Manutenção da biomassa com possibilidade de integração da comunidade local
<ul style="list-style-type: none"> • Biofiltração 	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminação de materiais tóxicos particulados e gasosos e sua incorporação nos ciclos biogeoquímicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria na qualidade do ar, da água de escoamento superficial
<ul style="list-style-type: none"> • Contenção do processo erosivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Economia de nutrientes e solos • Favorecimento do processo sucessional 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção de deslizamentos, voçorocas, ravinamento e perda de solos • Preservação dos recursos hídricos para abastecimento e recreação
<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração de água pluvial 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do escoamento superficial • Recarga de aquífero • Diminuição na amplitude das hidrógrafas 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção de inundações
<ul style="list-style-type: none"> • Movimentos de massas de ar 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção do clima 	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto térmico e difusão de gases tóxicos e material particulado do ar
<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo de organismos entre fragmentos rurais e o meio urbano 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção da diversidade genética 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento na riqueza da flora e da fauna • Realce na biofilia
<ul style="list-style-type: none"> • Atenuação sonora 	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos etológicos da fauna 	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto acústico

Quadro 2.1: Funções da arborização urbana e suas implicações ecológicas e sociais

Fonte: HENKE-OLIVEIRA, 1996

Os benefícios advindos da arborização urbana, também se estendem ao mercado imobiliário. Segundo estudo realizado por Kielbaso (1994), imóveis próximos às áreas verdes têm um valor agregado de 5 a 15% superior àquelas em áreas desprovidas de arborização. Esses benefícios dependem, entre outros aspectos, do estudo dos espaços livres urbanos e da avaliação do seu potencial para serem utilizados na composição da floresta urbana (SABADIN *et al*, 2003).

2.2.2 Qualidade ambiental e conceitos

A vegetação é considerada um indicador de qualidade ambiental, atuando, associada com outros indicadores (qualidade do ar, da água, solos, fauna e clima), como elemento indispensável ao equilíbrio, seja na manutenção de algumas condições vigentes desejáveis, seja nas ações que visam à melhoria da qualidade de vida em áreas mais comprometidas.

Sendo assim, a importância das áreas verdes como indicador de qualidade ambiental reflete-se nas funções que estas desempenham no ambiente urbano (JESUS e BRAGA, 2005).

É necessária, sobretudo, uma melhor definição de área verde, para que não haja confusão com o termo espaço livre.

O conceito de espaço livre está relacionado com as áreas isentas de edificações, destinadas a todo tipo de utilização tais como caminhadas, descanso, passeios, práticas de esportes e, em geral, a recreação e entretenimento em horas de ócio (HENKE-OLIVEIRA, 1996). Os espaços livres podem ser privados, potencialmente coletivos ou públicos e podem desempenhar, principalmente, funções estética, de lazer e ecológico-ambiental, entre outras (BUCCHERI FILHO e NUCCI, 2006). Segundo Alvarez (2004), a maioria da literatura considera que a função primordial dos espaços livres nas cidades é a recreação, porém, vários autores ressaltam a importância ecológica desses espaços, principalmente quando inseridos no contexto das áreas verdes.

A expressão “área verde” vem sendo aplicada como um caso particular de espaço livre urbano, onde o elemento fundamental de composição é a vegetação (CAVALHEIRO *et al.*, 1999). Essas áreas correspondem ao que se conhece, em geral, como parques, jardins ou praças (HARDER, RIBEIRO e TAVARES, 2006). De acordo com Lima *et al.* (1994) apud Alvarez (2004), área verde é a região onde há o predomínio de vegetação arbórea. Essa definição engloba as praças, os jardins públicos, os parques urbanos, áreas de preservação permanente – faixa em torno de rios, riachos e lagoas. Os canteiros centrais e trevos e rotatórias, que exercem função estética e ecológica, também são conceituados como área verde. Entretanto a arborização viária, não é considerada como tal por estar em local impermeabilizado. Contradizendo essa afirmativa, Cavalheiro *et al.* (1999) afirmam que canteiros, pequenos jardins de ornamentação, rotatórias e arborização não podem ser considerados áreas verdes, mas sim "verde de acompanhamento viário", que com as calçadas (sem separação total em relação aos veículos) pertencem à categoria de espaços construídos ou espaços de integração urbana.

Ainda para a maioria dos autores, as áreas verdes devem satisfazer a três objetivos principais: ecológico-ambiental, estético e de lazer. Para ser considerada área verde, a vegetação e zonas de solo permeável (sem laje) devem ocupar pelo menos 70% da área.

Além disso, esses espaços devem servir à população, propiciando condições para recreação. Para Mazzei, Colesanti e Santos (2007) as áreas verdes não são necessariamente voltadas para a recreação e o lazer, contudo devem ser dotadas de infra-estrutura e equipamentos para oferecer opções de lazer e recreação às diferentes faixas etárias e a pequenas distâncias da moradia. Para a Prefeitura de São Paulo, por exemplo, as “áreas verdes” são de propriedade pública ou particular, delimitadas pela prefeitura com o objetivo de implantar ou preservar arborização e ajardinamento, visando manter a ecologia e resguardar as condições ambientais e paisagísticas (SÃO PAULO, 1974 apud HENKE-OLIVEIRA, 1996).

2.2.3 Índices de qualidade ambiental

De uma maneira geral, os índices de qualidade ambiental retratam as condições do ambiente, estabelecendo metas desejáveis de serem alcançadas, avaliando variações temporais a partir de um valor inicial. Embora a análise puramente quantitativa tenha suas limitações, esta pode ser bastante conveniente quando conjugada com aspectos qualitativos e de distribuição espacial e temporal.

De acordo com Dias (2002) apud Buccheri Filho e Nucci (2006) é importante buscar indicadores que ajudem a evidenciar, aos habitantes, o grau de saúde de sua sociedade e os êxitos ou fracassos das políticas governamentais adotadas. Além disso, é importante o levantamento regular dos indicadores, como modelos que simplificam um tema complexo a números (índices), que possam ser facilmente tomados e entendidos por quem elabora políticas e pelo público em geral. Isto permite, por exemplo, o estabelecimento de comparações entre cidades e entre bairros do próprio município.

Segundo Buccheri Filho e Nucci (2006), a cobertura vegetal como indicador já é considerada pelo Programa de Indicadores Ambientais para Blumenau, desenvolvido pela Fundação Municipal do Meio Ambiente (Faema), lançado em 1997. Ela faz parte da composição de Índices de Sustentabilidade de Blumenau (SC), configurados em um “sustentômetro” que é uma expressão gráfica que permite visualizar facilmente a condição ambiental local.

A adequação da quantidade de espaços livres para a população que usufrui destes é traduzida por meio de índices de área verde; porém não existe consenso na utilização de diversos índices (CAVALHEIRO e NUCCI, 1998 apud ALVAREZ, 2004).

Diversos estudos relacionam as áreas verdes e a vegetação urbana aos aspectos populacionais (HENKE-OLIVEIRA, 2001). Segundo Henke-Oliveira (1996), a quantificação da arborização urbana tem sido realizada mediante indicadores dependentes e independentes da demografia, expressos em termos de superfície de área verde/habitante (IAV= Índice de Áreas Verdes) ou percentual do solo ocupado pela arborização (PAV= Percentual de Áreas Verdes). Segundo Nucci (2001) outros índices, como o de cobertura vegetal, em que são consideradas todas as manchas de vegetação, devem ser calculados.

O principal indicador da arborização urbana tem sido o Índice de Áreas Verdes (IAV) (HENKE-OLIVEIRA, 2001). O IAV expressa a relação entre a área dos espaços verdes de uso público, em Km² ou m², e a quantidade de habitantes de uma determinada cidade (JESUS e BRAGA, 2005). Esse índice está intimamente ligado à função de lazer que desempenham ou que podem desempenhar. Henke-Oliveira (2001) afirma que o IAV tem sido calculado para diversas cidades brasileiras seguindo metodologias distintas, como as utilizadas pelos autores Bianchi e Graziano (1992); Farhat e Maróstica (1994); Goya (1990); Lima *et al.* (1990); Menegat *et al.* (1998); Milano (1990); Henke-Oliveira (1996) e Sousa *et al.* (1992).

A dificuldade de comparar os índices de áreas verdes reflete a falta de clareza nas terminologias, bem como as diferentes classificações de termos e métodos empregados. Justamente por essa diversidade de metodologias, uma das dificuldades de se considerar o “verde urbano” no planejamento é a existência de uma enorme confusão na conceituação de termos utilizados por várias prefeituras do país que consideram, por exemplo, como áreas verdes, todo espaço não construído (locais onde não existe sequer uma única árvore), áreas verdes particulares, a vegetação viária; consideram a projeção das copas das árvores sobre as calçadas, não consideram a acessibilidade da população às áreas verdes, sendo, em alguns casos, contabilizadas unidades de conservação situadas fora da área urbana, usualmente de acesso público controlado ou vedado, isso no intuito de aumentarem seus índices (HENKE-OLIVEIRA 2001; JESUS e BRAGA 2005; LIMA *et al.*, 1994 apud

BUCCHERI FILHO e NUCCI 2006; CAVALHEIRO e NUCCI, 1998 apud HARDER, RIBEIRO e TAVARES, 2006).

De acordo com Henke-Oliveira (2001) na metodologia utilizada por Henke-Oliveira *et al.* (1999) e Henke-Oliveira e Santos (2000), o IAV deve ser calculado a partir das áreas verdes públicas de acesso coletivo (praças, jardins e bosques urbanos, excluídos os canteiros centrais de ruas e avenidas). Segundo NUCCI (2001), devem ser consideradas somente as áreas verdes públicas localizadas na zona urbana e ligadas ao uso direto da população residente nessa área. Na metodologia de Cavalheiro *et al.* (1999), utilizada por Buccheri Filho e Nucci (2006), a área verde deve atender positivamente a cinco questões: a vegetação é o elemento fundamental da composição? Cumpre funções ecológica, estética e de lazer? Área com 70% de cobertura vegetal em solo permeável (sem laje)? Serve à população? Propicia condições para recreação?

Sendo assim, antes de se pensar em quantificar o “verde urbano” na busca de índices, deve-se refletir sobre o conceito daquilo que se está quantificando, além dos métodos e técnicas para essa quantificação. Isto evitará que a comparação de índices entre cidades seja um equívoco, pois o índice desacompanhado da definição dos termos, da escala espacial e do método de coleta dos dados, não estabelece parâmetros de comparação (BUCCHERI FILHO e NUCCI, 2006).

Diversos trabalhos mencionam diferentes valores propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), como a proporção mínima ideal de áreas verdes por habitante. Entretanto, não mencionam em quais documentos a ONU, ou a Food and Agriculture Organization (FAO), ou a Organização Mundial da Saúde (OMS) explicitam a recomendação de 8 m², 9 m², 12 m² ou 16 m² por habitante. O valor de 12 m², considerado ideal e atribuído à ONU, OMS e FAO, também foi discutido por Cavalheiro e Del Picchia (1992), que afirmam que esse índice não é conhecido por aquelas instituições. Mazzei, Colesanti e Santos (2007) afirmam que inclusive em obras de referência como Troppmair (1987) e Lombardo (1985) esses valores foram contestados pelos autores que, em contatos escritos com as organizações citadas, não obtiveram confirmação da recomendação. Muito pelo contrário, “foi constatado que esse índice não é conhecido, como não o é entre as faculdades de paisagismo da República Federal da Alemanha”. Além disso, o estabelecimento desse valor deveria considerar o uso do solo urbano e o clima particular de

cada país ou região (BRUCK *et al.*, 1982 apud JESUS e BRAGA 2005). A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana – SBAU (1996) sugeriu como índice mínimo, o valor de 15 m²/habitante.

2.2.4 As Áreas de Preservação Permanente (APP) e sua transformação em Áreas Verdes de Domínio Público (AVDP)

De acordo com a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, a APP consiste de uma região protegida nos termos dos seus artigos 2º e 3º, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Em alguns municípios brasileiros, a legislação de uso e ocupação do solo e de ordenamento territorial evoluiu para restringir a ocupação urbana das áreas consideradas como planícies fluviais ou planícies de inundação, destinando-as para usos compatíveis, em especial para a formação de áreas verdes. Entretanto, a função desempenhada pelas planícies fluviais naturais, no amortecimento de ondas de cheia em áreas urbanizadas, carece de estudos que permitam avaliar seu melhor aproveitamento no controle de inundações, de erosão e de assoreamento nas bacias hidrográficas, tendo em vista a necessidade da proposição de formas de usos sustentáveis para tais áreas e que possam consolidar-se em tais situações (OLIVEIRA, 2004).

O Código Florestal (Lei Federal nº 4.771 de 15/setembro/1965, alterado pelas Leis nº 7.803 de 18/julho/1989 e nº 7.875 de 13/novembro/1989) considera as beiras de rios e lagoas como áreas de preservação permanente, estipulando as faixas marginais a serem respeitadas, de acordo com a largura dos rios. Consideram-se, de acordo com esta legislação, de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação situadas:

“ a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será: *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; *(Número acrescentado pela Lei nº 7.511, de 7.7.1986 e alterado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; *(Número acrescentado pela Lei nº 7.511, de 7.7.1986 e alterado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação. *(Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

i) nas áreas metropolitanas definidas em lei. *(Alínea acrescentada pela Lei nº 6.535, de 15.6.1978)*

Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo. *(Parágrafo acrescentado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)*

A Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002 dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de APP de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Já Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites das APP.

Destaca-se que a legislação estadual mineira (Lei nº 9.375, de 12 de dezembro de 1986), é mais rigorosa que a legislação federal, indicando em seu Art.1, extensões maiores para as APP:

“ § 2º - São consideradas como reservas ecológicas as áreas de veredas, estabelecidos os seguintes limites:

I - nas veredas de encosta - toda a sua extensão e até 50 (cinquenta) metros além da ocorrência de espécies herbáceas, buritis ou solos hidromórficos;

II - nas veredas de superfície aplainada - toda a sua extensão e até 80 (oitenta) metros além do limite da ocorrência de espécies herbáceas, buritis ou solos hidromórficos;

III - nas veredas-várzea - toda a sua extensão e até 80 (oitenta) metros além do limite da ocorrência de espécies herbáceas, buritis ou solos hidromórficos.” (MINAS GERAIS, 1986)

A transformação das APP em AVDP constitui uma alternativa interessante para melhorar a qualidade ambiental no espaço urbano, significando a recuperação de uma área contextualizada à realidade da cidade.

A importância das AVDP é descrita na definição da Resolução 369/2006 do CONAMA que determina:

“Considera-se área verde de domínio público, para efeito desta Resolução, o espaço de domínio público que desempenhe função ecológica, paisagística e recreativa, propiciando a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, sendo dotado de vegetação e espaços livres de impermeabilização” (BRASIL, 2006).

Essa Resolução dispõe os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP, tornando possível a integralização das APP no contexto urbano, por meio da transformação destas em AVDP. Essa transformação constitui uma alternativa interessante, uma vez que as APP urbanas, protegidas contra quaisquer intervenções ou infra-estruturas, são utilizadas de forma incorreta (disposição de resíduos sólidos, ocupação irregular e desordenada, etc.), contribuindo para o agravamento dos problemas de segurança e limpeza pública.

Na Seção III da Resolução CONAMA 369/2006, intitulada “Da Implantação de Área Verde de Domínio Público em Área Urbana”, são apresentadas os requisitos e as condições necessárias para realizar a integralização das APP urbanas. Dentre estas estão a localização do empreendimento somente em APP, aprovação do projeto pelo órgão ambiental competente, estabelecendo um programa que priorize a restauração e/ou manutenção das características do ecossistema local, contemplando medidas para:

- Recuperação das áreas degradadas da APP inseridas na AVDP;
- Recomposição da vegetação com espécies nativas;
- Mínima impermeabilização da superfície;
- Contenção de encostas e controle da erosão;
- Adequado escoamento das águas pluviais;
- Proteção das áreas de recarga de aquíferos; e
- Proteção das margens dos corpos de água.

Todavia, é necessário que a implementação das AVDP seja sustentada por instrumentos de gestão ambiental: as Políticas Ambientais, o Planejamento e o Gerenciamento Ambiental. A gestão ambiental é uma proposta que se preocupa com um manejo participativo e que atenderia às reivindicações de qualidade ambiental. Em termos operacionais, pode ser entendida como:

“[...] realização do diagnóstico ambiental da área, da avaliação qualitativa desse diagnóstico e do enquadramento dos componentes ambientais identificados nas categorias de preservação, conservação e uso. A partir daí elabora-se um plano de manejo, que servirá como subsídio ao desenvolvimento de ações específicas nessa área. (LOPES, 2000).”

2.3 OS DIAGNÓSTICOS AMBIENTAIS COMO FERRAMENTA DO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Segundo Alvarez (2004), uma pesquisa qualitativa pode parametrizar os principais aspectos da paisagem. Na relação homem/natureza é necessário que sejam realizadas ações de modo que a sociedade possa usufruir as potencialidades do meio para o seu progresso, porém deve existir a preocupação de respeitar os limites impostos para a preservação do meio e a renovação dos recursos naturais. Para que isto ocorra, é imprescindível o conhecimento e diagnóstico de determinadas áreas com vistas a um planejamento e uso racional dos ecossistemas (SILVA e ROSA, 2007).

Os diagnósticos físico-conservacionistas, sócio-econômicos e o ambiental são os mais importantes porque estes interagem entre si, permitindo um levantamento das deteriorações

que ocorrem na área analisada, evidenciando o grau de deterioração ambiental das variáveis analisadas (ROCHA, 1997; ROCHA e KURTS, 2001 apud CUNHA *et al*, 2007).

Nos tempos atuais é raro encontrar uma área que não tenha sua vegetação original modificada ou até mesmo devastada. Essa situação é ainda mais evidente no ambiente urbano. Segundo Henke-Oliveira (1996) deve-se considerar que áreas como as APP urbanas não estão livres do impacto antrópico ao mesmo tempo em que retêm funções ecológicas por absorver impactos decorrentes da perda de função de outras áreas. A poluição urbana, por mais controlada que seja, causa um efeito nas áreas ribeirinhas, encostas e nascentes. Com muita frequência essas áreas são trilhadas pela população local, sendo utilizadas como fonte de recursos ou área de deposição de rejeitos.

Assim, o levantamento dos dados sobre a cobertura vegetal, em geral, acompanhada pela informação sobre o uso atual da terra, já que ambos estão estreitamente relacionados, informa sobre o nível de proteção do solo, dentre outros fatores importantes para o planejamento e proteção das bacias hidrográficas.

2.3.1 Geoprocessamento como ferramenta nos diagnósticos

Técnicas do Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são de grande importância para a aquisição e manipulação das fontes de dados espaciais disponíveis, como fotografias aéreas e imagens de satélite. Essas técnicas permitem grande variedade de aplicações e maior facilidade nas etapas de análise e processamento dos dados para análise ambiental (SILVA e ROSA, 2007), fator que as caracteriza como ferramentas imprescindíveis nos diagnósticos do meio ambiente.

De acordo com Rosa (2003), as técnicas de sensoriamento remoto têm grande utilidade para a obtenção das informações a respeito das características naturais, do uso da terra e da distribuição da cobertura vegetal natural que reveste o solo, fazendo-o de uma forma global, confiável, rápida e repetitiva. Novo (1998) destaca que os dados de sensoriamento remoto têm grande aplicação na descrição quantitativa de bacias e redes de drenagem.

O SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), programa utilizado nesta pesquisa, constitui um sistema de geoprocessamento, melhor detalhado como Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG pode ser definido como um conjunto de ferramentas destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, além da

geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais permitindo que dados sejam armazenados, processados e espacializados para sua posterior aplicação no diagnóstico, análise e planejamento de determinadas áreas. O SIG processa dados gráficos e numéricos com ênfase nas análises espaciais e modelagens de superfícies. O geoprocessamento é um conceito mais abrangente que este, e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2004).

2.4 MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO

Um modelo é a representação de um fenômeno na linguagem matemática, construído após sua observação na natureza, abstração e interpretação das variáveis físicas relevantes na sua descrição. A simulação é o processo de utilização do modelo. Na simulação existem, em geral, três fases que são classificadas como estimativa ou ajuste, verificação e previsão. A vantagem de se utilizar modelos é que, via simulação, podem-se diagnosticar determinadas situações, ou prever diferentes cenários.

Na aplicação de modelos hidrológicos, a precipitação atua como um dado inicial dos mais relevantes. É a partir da quantificação da chuva e das características da área analisada, como tipo de solo e nível de impermeabilização, que ocorre a chamada transformação chuva-vazão. Em outras palavras, isto significa prever a quantidade de chuva que será transformada em escoamento superficial, agente primordial das enchentes urbanas.

O estudo de chuvas intensas visa determinar a intensidade e altura da precipitação de projeto, para qualquer tempo de recorrência, a partir dos parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência válida para a região (OLIVEIRA, 2004). A análise de chuvas intensas em um dado posto pluviométrico revela que a intensidade de um evento de precipitação varia inversamente com sua duração. Equações de chuvas são construídas a partir de uma série de dados de chuvas suficientemente longas e representativas do local de interesse (TUCCI *et al.*, 1995).

2.4.1 O Método do Hidrograma Urbano de Santa Bárbara – HUSB

De acordo com Zuffo e Leme (2005) a falta de medições de vazões em rios urbanos, fato que permitiria a adoção de métodos probabilísticos ou a calibração dos parâmetros dos métodos determinísticos, mais realistas para nossas bacias urbanas, dificulta uma melhor previsão das vazões de projeto, uma vez que não se conhece a frequência e a magnitude dessas vazões. O considerável desenvolvimento da hidrologia, nessas últimas décadas, colocou à disposição dos projetistas uma série de métodos para a estimativa das descargas máximas em bacias hidrográficas. Ainda, segundo os autores, os métodos baseados nos hidrogramas unitários sintéticos são muito utilizados em locais com falta de dados de vazões, como é o caso das bacias urbanas, porém utilizando-se das informações pluviométricas que são geralmente mais disponíveis. Um exemplo desses métodos é o método determinístico do Hidrograma Urbano de Santa Bárbara (HUSB). Esse método foi desenvolvido pelo engenheiro James M. Stubchaer do Flood Control and Water Conservation District, do município de Santa Bárbara, na Califórnia, Estados Unidos da América - EUA e publicado em julho de 1975, no Simpósio Nacional (EUA) de Hidrologia Urbana e Controle de sedimentos, realizado em Lexington, Kentucky.

Uma vantagem do método HUSB é que suas equações básicas são simples, havendo a necessidade de se calcular a precipitação excedente (escoamento superficial) para cada intervalo de tempo. Uma outra vantagem apresentada pelo método HUSB é não ter a tendência de superestimar o pico do hidrograma de escoamento, como é o caso do método triangular do Soil Conservation Service (SCS), que apresenta valores da ordem de 20% superiores aos estimados pelo HUSB (ZUFFO e LEME, 2005).

2.4.2 Modelos Hidráulicos - O Método de Pulz e as Equações de Saint Venant

Reservatórios utilizam métodos do tipo de armazenamento para descrever seu escoamento. Dentre esses métodos, o mais conhecido para a simulação da propagação em reservatórios é o método de Pulz. Destaca-se os estudos de Cruz, Tucci e Silveira (1998); Moura (2005) e Viseu *et al.* (1999), onde a propagação do escoamento em reservatórios foi simulada por este método.

No estudo de Viseu *et al.* (1999) os autores ainda utilizaram para a propagação da onda de inundação um modelo computacional baseado no esquema numérico de Mc Cormack aplicado às equações de Saint-Venant. As equações de Saint-Venant; também utilizadas por Santos e Hipólito (2005); constituem a formulação matemática dos princípios fundamentais da Hidráulica. Estas equações representam modelos simples de fenômenos extremamente complexos, incorporando apenas os fatores cuja influência no escoamento é mais importante e desprezando aqueles que de acordo com os objetivos da modelação se consideram de importância secundária. As equações de Saint-Venant são utilizadas para propagação das ondas de cheia em canais, onde características como: geometria da seção transversal, declividade do trecho e comprimento do trecho; vão influenciar no amortecimento das vazões de pico finais.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Uberaba é um município de clima tropical típico, com uma estação de chuvas e outra de escassez, com maior ocorrência de chuvas em dezembro e janeiro, sendo uma das poucas cidades brasileiras que possuem, dentro da própria área, nascentes hídricas capazes de assegurar abastecimento de água a uma população aproximada de 300 mil habitantes (MORAIS, 2001; OLIVEIRA, 2005). Convém ressaltar que, nessa afirmação, ainda não foi contabilizada a quantidade de água subterrânea armazenada nos aquíferos sotopostos ao município. Apesar do sistema de abastecimento utilizar, na sua maioria, águas superficiais do rio Uberaba, existem poços que reforçam esse sistema, captando águas dos basaltos fraturados da formação Serra Geral e do aquífero Guarani. O histórico de urbanização de Uberaba evidencia a ocupação inadequada das principais redes de drenagem urbana.

No seu processo histórico de crescimento urbano, a cidade de Uberaba utilizou, em diversos momentos e com diversas finalidades, as águas do Córrego das Lajes e dos seus afluentes (CARVALHO, 1998). Nesse contexto histórico, as primeiras moradias se instalaram próximas desse curso natural, fato que ocorreu em função de um abastecimento de água facilitado. Essa ocupação incipiente foi observada ao longo do canal, abrangendo, inclusive, áreas do leito maior do córrego das Lajes. Como uma característica comum a outras cidades de países emergentes, a infra-estrutura física de Uberaba não se desenvolveu no mesmo compasso do seu crescimento populacional, de forma que a preocupação com a preservação de seus recursos naturais foi ínfima, ou praticamente inexistente, segundo afirma Oliveira (2005).

A maior parte da cidade se encontra nas vertentes de colinas, formando uma paisagem urbana com topografia irregular, exceto pelas grandes avenidas planas, construídas sobre a canalização de alguns afluentes do Rio Uberaba (OLIVEIRA, 2005).

3.1 CLIMA

Uberaba possui um regime térmico caracterizado por uma temperatura média anual entre 20 e 24°C. Os meses mais quentes do ano são outubro e fevereiro, com temperaturas variando entre 21 e 25° C, sendo que o mês mais frio, julho, apresenta temperaturas variáveis entre 16 e 22° C (CRUZ, 2003).

O Quadro 3.1 mostra um resumo fornecido pela Estação Climatológica de Uberaba.

A partir dos histogramas de precipitação mensal na Estação Climatológica de Uberaba, cujos dados foram coletados entre os anos de 1914 e 2000, verificou-se que a precipitação mensal se comporta de forma diferenciada entre os meses do ano, definindo claramente um período seco, com precipitação abaixo de 150 mm/mês e um período chuvoso, com precipitação acima desse valor. De acordo com Cruz (2003), a precipitação média anual varia entre 1300 e 1700 mm. A Figura 3.1 e Figura 3.2 apresentam os dados pluviométricos no período de 10 anos, obtidos na Estação Climatológica Principal de Uberaba INMET/EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), e demonstram que o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro é o mais chuvoso, com precipitação entre 600 e 900 mm. Esse trimestre é responsável por cerca de 50% da precipitação total anual. O período mais seco está entre os meses de junho e agosto, com precipitações variáveis de 20 a 50 mm.

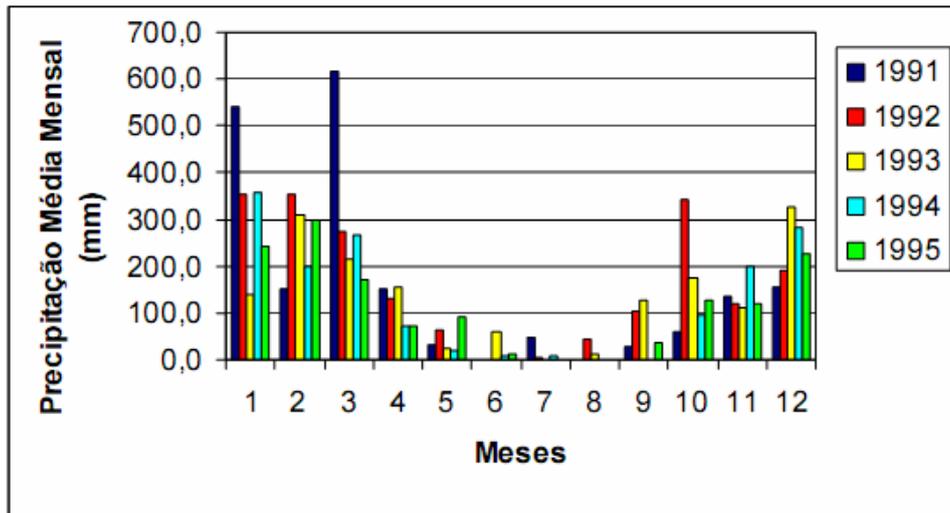


Figura 3.1: Precipitações medias mensais (janeiro a dezembro) do período de 1991 a 1995

Fonte: Cruz (2003)

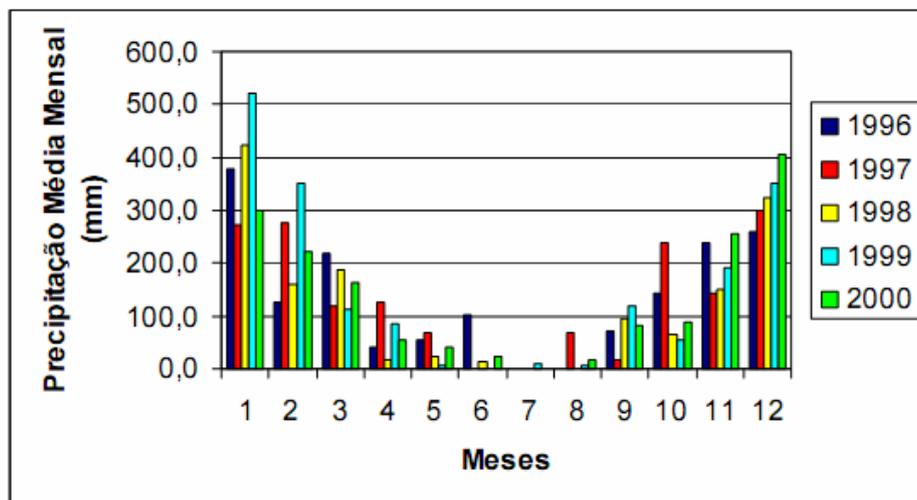


Figura 3.2: Precipitações medias mensais (janeiro a dezembro) do período de 1996 a 2000

Fonte: Cruz (2003)

Temperatura média anual	22,6 °C
Temperatura média das máximas	29,9 °C
Temperatura média das máximas absolutas	33,3 °C
Temperatura máxima absoluta	36,0 °C (15 e 19/09/98)
Temperatura média das mínimas	17,5 °C
Temperatura média das mínimas absolutas	14,3 °C
Temperatura mínima absoluta	7,4 °C (em 26/06/98)
Umidade relativa do ar média	68%
Umidade relativa do ar mínima	19% (julho)
Precipitação pluvial anual	1.474,0 mm
Nº de dias de chuva	120
Meses com mais chuvas	Janeiro e Fevereiro
Quantidade máxima de chuva em um dia	63,6 mm em (23/02/98)
Intensidade máxima de chuva no dia	60 mm/h (11/01/97)
Tempo anual de brilho solar	2.725,5 horas
Deficiência hídrica	602,7 mm Nos meses de: Abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e novembro.
Excedente hídrico	3.691,4 horas 181,4 mm Nos meses de janeiro e fevereiro.

Quadro 3.1:Características climáticas da cidade de Uberaba.Modificado de:SARTIF[200-]

3.2 GEOLOGIA

O Município de Uberaba está inserido na unidade geotectônica Serra Geral, dividido em dois grupos; São Bento e Bauru. O grupo São Bento se divide nas formações Botucatu e Serra Geral - que são as camadas mais basais – e, o grupo Bauru, por sua vez, se divide em formação Adamantina, Marília e Uberaba (com ocorrência apenas na cidade de Uberaba), conforme apresentado na Figura 3.3 (GEOPAC, 2006) .

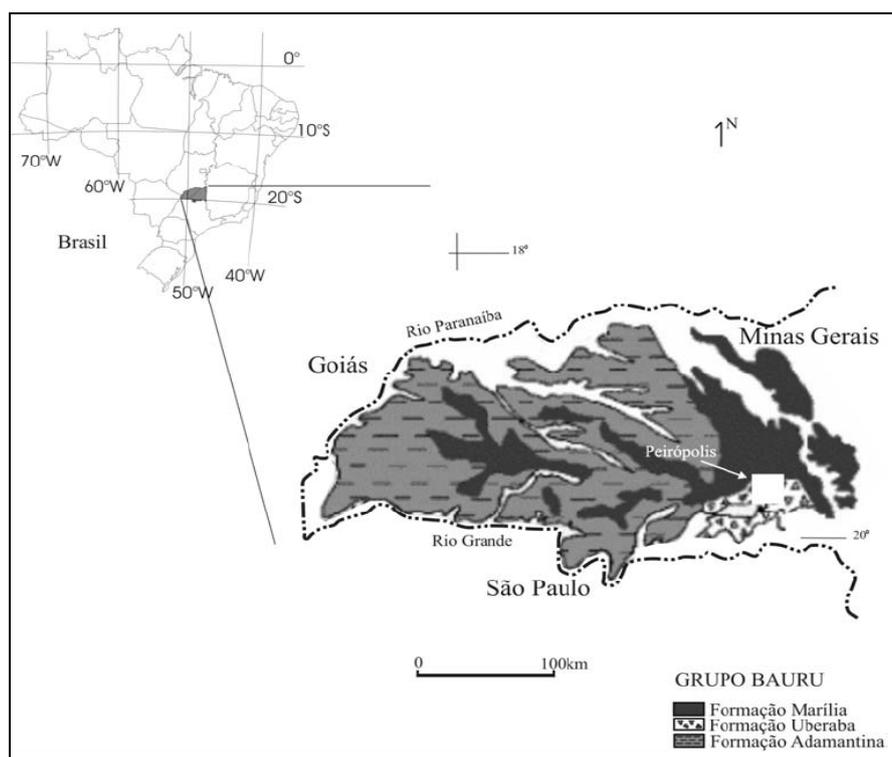


Figura 3.3: Mapa geológico do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro.

Fonte: Fernandes e Coimbra, 1996

3.3 SOLOS

O clima, relevo, material de origem, tempo e organismos, são fatores que contribuem para a formação dos solos. A ação conjunta desses fatores de formação é responsável pela grande diversidade de solos na paisagem. No Quadro 3.2 são apresentadas as classes de solo da região de Uberaba, associadas às respectivas tipologias de vegetação natural (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2000 apud SARTIF [200-]).

Os solos predominantes na região do Triângulo Mineiro são os Latossolos Vermelho-Escuros (66,79% da área total), e os Latossolos Roxos (17,71%) (EMBRAPA, 1982). De acordo com Cruz (2003), os solos da bacia do rio Uberaba, na qual está inserida a bacia do Córrego das Lajes, são de características variadas. A maioria apresenta textura média, variando de arenoso a argiloso, sendo que, de forma geral, são classificados como Latossolos de diferentes graus de fertilidade. Há predominância de Latossolo Vermelho-Escuro e distrófico e do Latossolo Roxo distrófico, o que está refletido no adensamento maior ou menor da vegetação natural.

Classes de solo	Vegetação Natural Predominante
Latossolos	Cerradão/ Mata Seca Semidecidual
Argissolos	Cerrado Sensu Stricto/ Mata Seca Semidecidual
Cambissolos e Neossolos Litólicos	Cerrado Sensu Stricto/Campo Sujo
Plintossolos	Campo Sujo Úmido/Murundundum/Mata Ciliar
Gleissolos	Vereda/Cerrado Sensu Stricto/Mata de Galeria/Mata Ciliar

Quadro 3.2: Classes de solos e vegetação da região de Uberaba. EMBRAPA, 2000 apud SARTIF[200-].

3.4 VEGETAÇÃO

A região do Triângulo Mineiro está coberta pela formação vegetal do Cerrado. O Cerrado é rico em biodiversidade, solos e água, apresentando grande importância ambiental. Mesmo assim é considerado como um dos ambientes mais ameaçados do mundo. Apesar de ser considerada uma das 25 áreas do mundo prioritárias para a preservação, apenas 3% de sua área original é protegida em parques e reservas estaduais e federais (SILVA e ROSA, 2007).

A cobertura vegetal do cerrado não é uniforme, sendo composta por vários tipos de fisionomias formando um complexo vegetacional. A distribuição da flora é condicionada pela latitude e varia marcadamente em função dos traços morfológicos e pedológicos, em decorrência da frequência de queimadas, profundidade do lençol freático e inúmeros fatores antrópicos. As diferentes formas de vegetação deste bioma podem ser explicadas pelo gradiente de fertilidade do solo, por variações na densidade e profundidade do solo e por ação antrópica, em conjunto com o relevo, material de origem e o tempo (VIADANA, 2005). Ainda segundo o autor, o cerrado exibe cinco categorias de agrupamentos vegetais, observados na Figura 3.4.

Segundo Silva e Rosa (2007), dependendo de sua concentração e das condições de vida do lugar, o Cerrado pode apresentar tipologias fisionômicas diferenciadas denominadas: Cerradão, Cerrado típico, Campo Sujo, Campo Limpo, Campo Cerrado, Campo Rupestre, Mata Seca ou Mata Mesofítica, Mata de Galeria e Vereda.

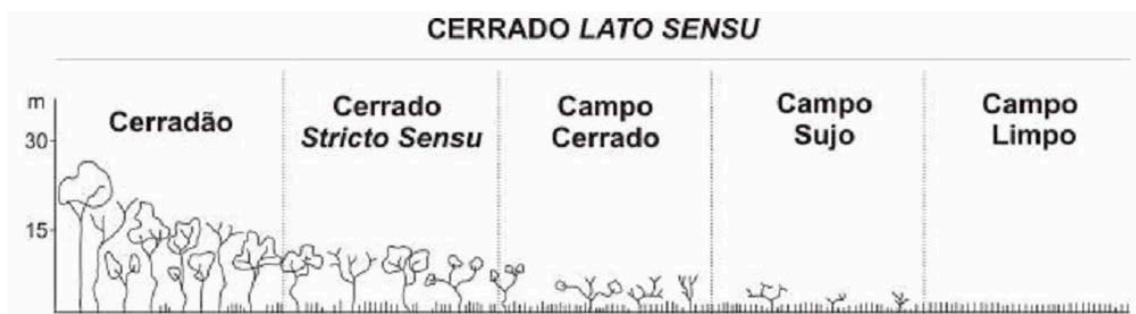


Figura 3.4: Gradiente fitofisionômico do cerrado

Modificado de: VIADANA, 2005

3.5 FAUNA

Segundo Viadana (2005) tem-se por representantes da fauna do cerrado: o lobo-guará, tamanduá, tamanduá-mirim, várias espécies de tatu, cachorro-do-mato, onça-pintada, jaguatirica, araras, tucanos, papagaios, maritacas, seriemas e gaviões.

3.6 A BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES

A cidade de Uberaba está situada às margens do córrego das Lajes, um dos afluentes do rio Uberaba. A despeito disto, a mancha urbana ultrapassou os limites dessa micro-bacia nas últimas décadas do século XX. O mapa, ilustrado na Figura 3.5 destaca a evolução dos perímetros máximos das ocupações urbanas nos diversos anos, a partir de 1900 até 2000. Por uma breve análise desse mapa é possível perceber a crescente urbanização da bacia do córrego das Lajes no decorrer dos anos.

A canalização do Córrego das Lajes iniciou-se na década de 1930, modificando toda a paisagem urbana e alterando o escoamento das águas. Depois disto, o referido córrego protagonizou, já canalizado sob a Avenida Leopoldino de Oliveira, via central da cidade de Uberaba, inúmeros episódios de enchentes e destruições (CARVALHO, 1998). O início do trecho canalizado do córrego das Lajes está localizado a pouco menos de dois quilômetros a jusante da sua nascente. A partir desse ponto, o córrego passa a receber grande parte do esgoto urbano da região central da cidade, juntamente com as vazões de outros córregos que compõem micro-bacias contribuintes (OLIVEIRA, 2005).

O processo de urbanização, realizado às margens dos córregos em geral, tem efeitos ambientais sérios relacionados à drenagem urbana. De acordo com Morais (2001), mais de 60% da malha urbana de Uberaba está inserida na bacia do córrego das Lajes. Nota-se, pois, que a bacia do córrego das Lajes é urbana, não se isentando, com isto, de problemas relacionados com enchentes sazonais.

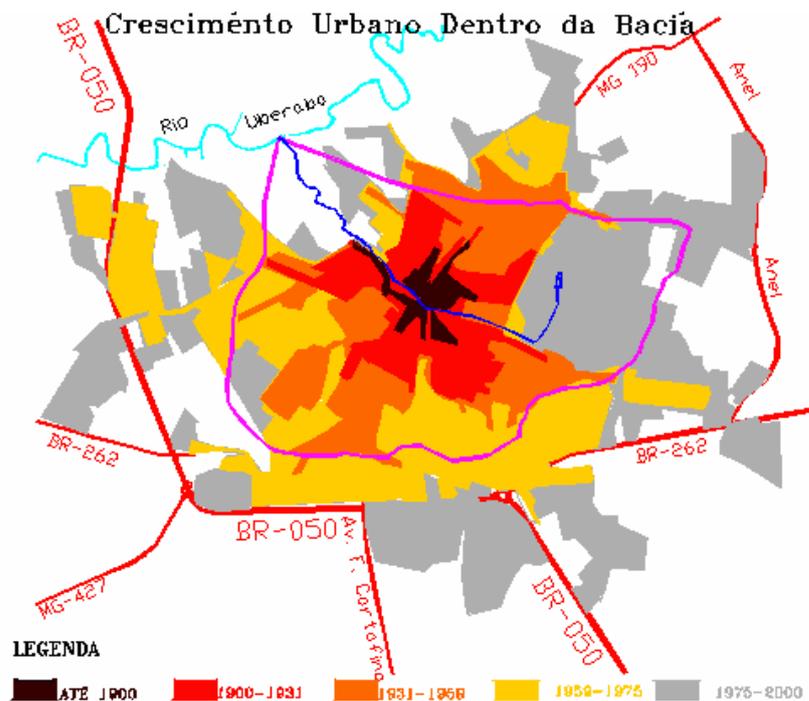


Figura 3.5: Sobreposição dos limites de ocupação na bacia do Córrego das Lajes

Fonte: Adaptado de Morais (2001)

O córrego das Lajes é afluente esquerdo do rio Uberaba, de forma que a sua contribuição ocorre 60 Km a jusante da nascente do referido rio. Sua bacia tem uma área de 2638 ha (26,38km²), com ponto mais alto na altitude 836,70 m, situado no atual loteamento Elza Amuir (19°44'23,67"S, 47°53'35,58"W). O ponto mais baixo da bacia, o qual naturalmente corresponde à sua foz, situa-se na altitude 694,60 m. Nota-se, pois, que esses pontos estão distantes de 6774,90 m, apresentando um desnível de 142,10 m. A foz do córrego das Lajes está na latitude 19°43'26,17"S e na longitude 47°57'20,12"W, localizada 300 m abaixo da travessia da Avenida Leopoldino de Oliveira sobre o rio Uberaba. A declividade máxima da bacia é de 26,5%. A bacia tem uma largura máxima de 7889,2 m e comprimento de 6255 m, conforme ilustram a Figura 3.6 e Figura 3.7 (MORAIS, 2001).

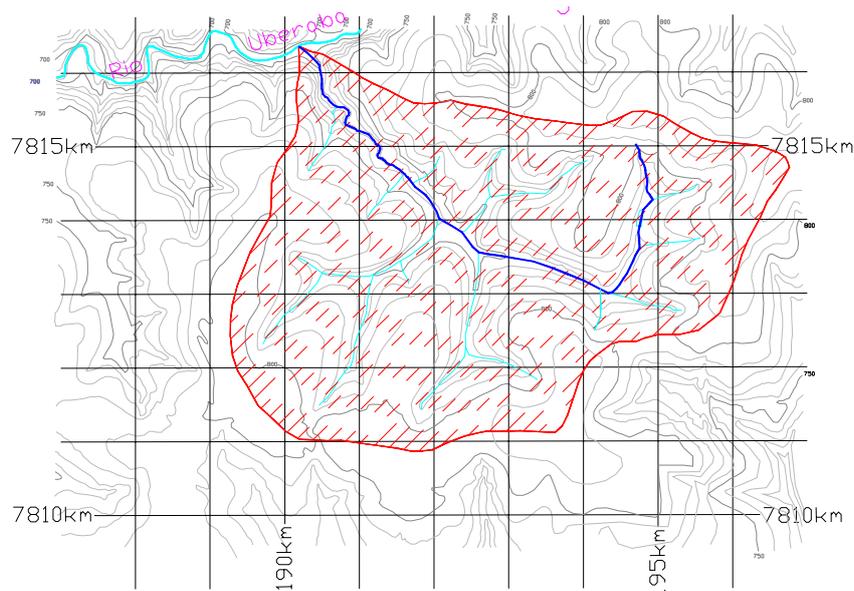


Figura 3.6: Localização da Bacia

Fonte: Adaptado Moraes (2001)

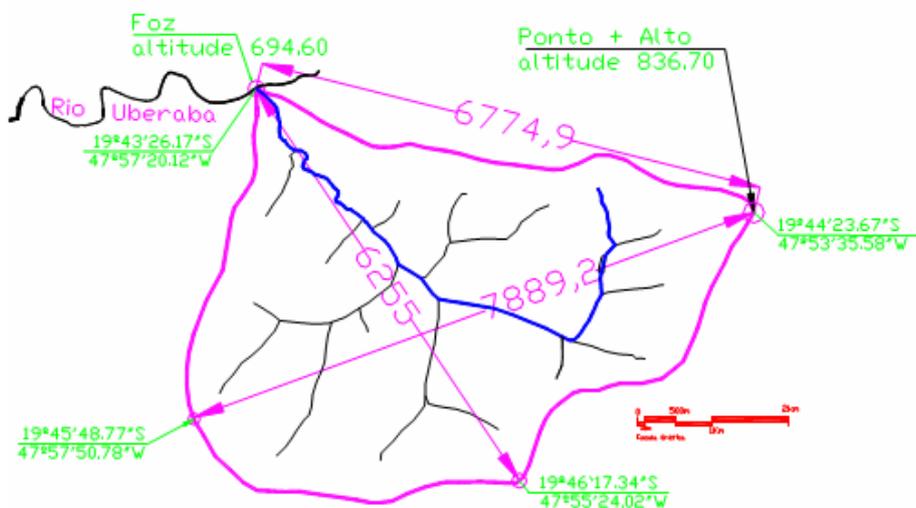


Figura 3.7: Características do Divisor da Bacia

Fonte: Adaptado Moraes (2001)

A Figura 3.8 ilustra a subdivisão da bacia do córrego das Lajes. Note-se que existem quatro sub-bacias, nomeadas de acordo com a avenida principal construída sobre afluentes do Córrego das Lajes, além da região central e a região restante (a partir do final da Av. Leopoldino de Oliveira). A Figura 3.9 ilustra a rede hidrográfica local, de forma que os cursos de água contribuintes estão arrolados no Quadro 3.3.

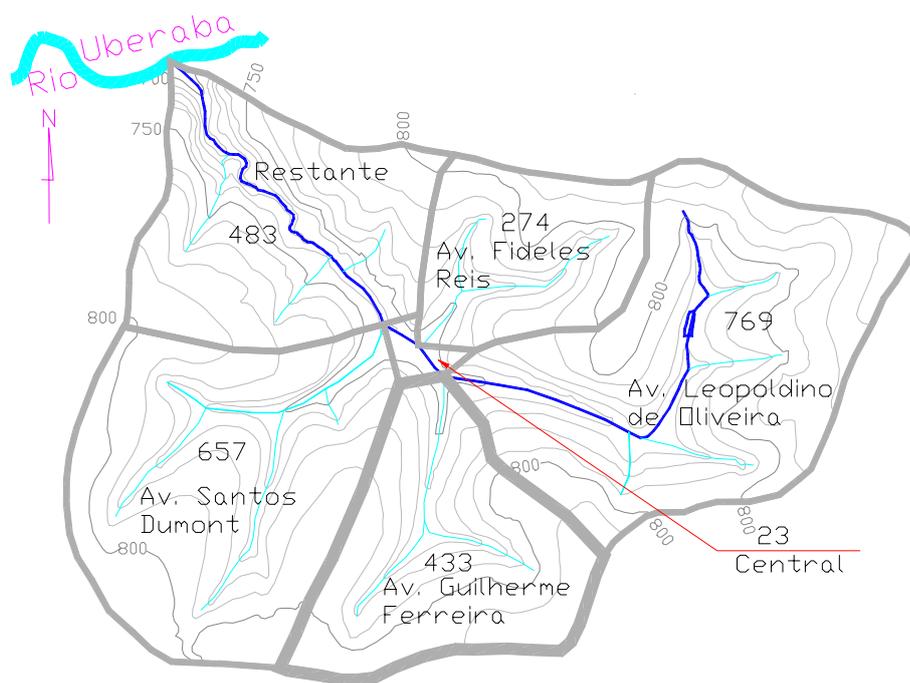


Figura 3.8: Sub-bacias que constituem a bacia do córrego das Lajes. Os números indicam as áreas em hectares

Fonte: Adaptado Moraes (2001)

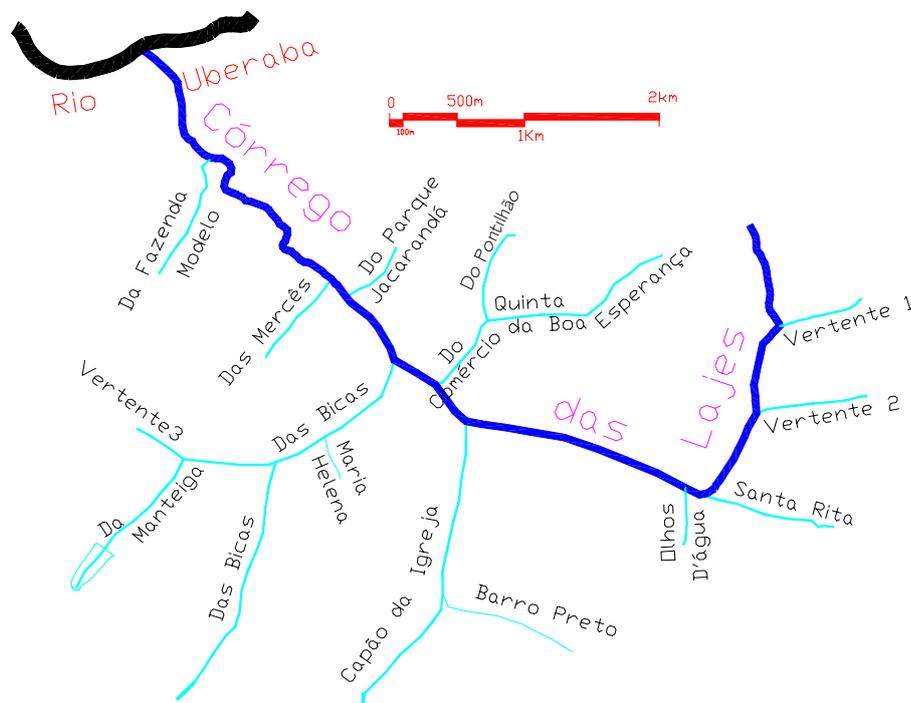


Figura 3.9: Hidrografia

Fonte: Adaptado Moraes (2001)

Curso de água	Via ou situação do talvegue de baixo para cima	Comprimento (m)	Trecho canalizado/fechado (m)
Das Lajes	Céu Aberto/Av.Leopoldino de Oliveira/Céu Aberto	8175	3556
Das Bicas	Av.Santos Dumont/Av.Santa Beatriz	3189	3189
Capão da Igreja	Av.Guilherme Ferreira/Céu Aberto	2380	2000
Do Comércio/Quinta da Boa Esperança	Av.Fidélis Reis/Av.Odilon Fernandes	2108	2108
Da Manteiga	Av.Pedro Salomão/Céu-aberto	1953	1002
Barro Preto	Av.Nelson Fereire	1104	1104
Santa Rita	Av.Leopoldino de Oliveira	1042	1042
Da Fazenda Modelo	Céu-Aberto	985	-
Vertente 02	Céu-Aberto	832	-
Das Mercês	R. Salvador Bruno/Fundo de lotes/Céu-aberto	767	560
Do Pontilhão	Av. Santos Guido	748	748
Vertente 01	Céu-Aberto	650	-
Do Parque Jacarandá	Céu-Aberto	547	-
Olhos d'água	Meio de lotes/Céu-aberto	431	100
Vertente 03	Céu-aberto	413	-
Maria Helena	R. Terezinha Campos Wacks	337	337
Totais		25,661	15,746

Quadro 3.3: Relação dos cursos de água da Bacia do Córrego das Lajes. Modificado de Morais, 2001.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LEVANTAMENTO DAS ÁREAS PERMEÁVEIS, ÁREAS IMPERMEÁVEIS, ESPAÇOS LIVRES, ÁREAS VERDES, APP E COBERTURA VEGETAL

De acordo com Henke-Oliveira (2001), as fotografias aéreas compreendem o material mais adequado para o estudo detalhado do ambiente urbano. Nesse sentido, utilizou-se, para a realização deste trabalho, o fotomosaico existente da cidade de Uberaba, composto por fotografias em escala 1:15.000, realizadas em levantamento aerofotográfico montado no programa Adobe Photoshop. O referido levantamento foi realizado em julho de 2003 pela empresa Aerosat - Arquitetura Engenharia e Aerolevanteamento Ltda de Curitiba – PR. A montagem dos fotomosaicos em programas específicos de geoprocessamento, como o SPRING, por exemplo, é mais desejável, uma vez que produz menores distorções nas fotografias. Apesar disso, já se dispunha de um fotomosaico montado no Adobe Photoshop, o qual foi aproveitado como base para o SPRING.

A área exata de estudo foi definida pelo recorte do fotomosaico, por meio do programa SPRING. Esse mosaico foi georeferenciado a partir de uma série de rotinas computacionais, com a utilização do programa de geoprocessamento SPRING (versão 4.3.3) e de vinte pontos levantados, distribuídos de maneira heterogênea pela malha urbana da cidade de Uberaba. O levantamento desses pontos ocorreu mediante trabalho de campo, com a utilização de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) de navegação, da marca Garmin *etrex 12 channel*, admitindo-se uma precisão que variou de 7 a 13m de erro. Nesse levantamento, utilizou-se para correção o Datum SAD – 69 (*South American Datum*) fazendo o uso de coordenadas UTM (Universal Transverso de Mercator). Os pontos foram escolhidos em função da facilidade de visualização nas

fotografias aéreas (por exemplo, campos de futebol, rotatórias, pontes, igrejas etc.) e com distribuição nos diferentes bairros da cidade. Nessa etapa foi utilizado um mapa geral da cidade, com a separação dos bairros e nomes das ruas. Esse levantamento de campo foi necessário, pois a cidade não possui uma base cartográfica georeferenciada, para que esta pudesse ser utilizada no georeferenciamento das fotografias.

Após georeferenciamento do fotomosaico, procedeu-se à digitalização no programa SPRING 4.3.3, das áreas permeáveis, espaços livres públicos, áreas verdes e APP. A digitalização é um processo que permite converter dados espaciais do meio analógico para o digital. Na forma digital, esses dados são estruturados permitindo a realização das operações típicas de análise espacial (INPE, 2004). Essa fase foi necessária ao trabalho, porque ela permitiu marcar a localização e extensão de cada item que se desejava mapear.

A digitalização foi feita por meio da confecção manual de linhas fechadas, com a ajuda de princípios de foto-interpretação (Quadro 4.1), nos quais podem-se distinguir as diferentes categorias de áreas. Depois de todas as linhas ajustadas, criou-se a topologia, efetuando a etapa de poligonização, na qual é criada ou atualizada a relação topológica entre os polígonos.

A mensuração das superfícies das áreas permeáveis, espaços livres, áreas verdes, APP e cobertura vegetal foi realizada a partir do comando MEDIDAS DE CLASSE do programa SPRING 4.3.3. Esse comando mede a área de todos os polígonos de mesma categoria. As estimativas de áreas foram feitas sobre superfície projetada.

A digitalização das áreas, realizadas nesta pesquisa, utilizou os seguintes critérios:

- **áreas permeáveis** – lotes particulares ou públicos, sem construção ou qualquer tipo de impermeabilização, maiores que aproximadamente 50 m². As áreas particulares menores (como os quintais) não foram contabilizadas por considerar que esses locais podem ser impermeabilizados a qualquer momento, ou seja, dependendo da vontade do proprietário. Os lotes menores, canteiros, rotatórias e calçadas verdes não foram considerados, uma vez que a sua influência é pequena na infiltração e na retenção da água da chuva. Também foram consideradas como áreas permeáveis as áreas verdes, APP e áreas públicas, melhor detalhadas abaixo;
- **espaços livres públicos** – praças onde a cobertura vegetal não é predominante;

- **áreas verdes** – praças, jardins, cemitérios, parques, bosques públicos, com cobertura vegetal predominante, que apresentem funções potenciais associadas ao bem-estar da comunidade (como o lazer), com significado ecológico, função estética, acessíveis ou potencialmente acessíveis à população, em termos de estrutura física; áreas com, no mínimo, 70% da área isenta de impermeabilização.
- **APP** – As APP consideradas situam-se:
 - a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso de água, desde o seu nível mais alto em faixa marginal;
 - b) ao redor de represas e reservatórios, naturais ou artificiais;
 - c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; afloramento de lençol (definida pelo artigo 2º, alínea "a", número 1 da Lei Federal nº4771/65). Corpos de água, represas, nascentes entre outros mapeadas em Morais (2001).

Destaca-se que não foram utilizadas as dimensões da legislação mineira (Lei nº 9.375, de 12 de dezembro de 1986), por diversos fatores, entre eles a descoberta desta legislação após o término desta etapa da pesquisa. Ressalta-se que a área das APP dignósticadas foram às mesmas estabelecidas no projeto Anel Florestal da Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba (2007), sendo que, em algumas APP, os limites já estão previamente definidos pela vizinhança (construções, ou terraceamento para loteamentos), dentro da área que daria limite à APP. Destaca-se também, que o estudo não abordou análises de solo, para definir exatamente o limite entre os solos hidromórficos, e assim traçar com exatidão, os 80 metros além do limite da ocorrência destes como definido na legislação mineira.

- **áreas impermeáveis** – todo o restante da área de estudo, ou seja, asfalto, casas, rotatórias, canteiros centrais etc. Essas áreas foram levantadas quantitativamente de forma indireta, descontando da área total da bacia as demais áreas tomadas como permeáveis.

Para o desenvolvimento dessa fase de levantamentos foram consultadas, preliminarmente, as seguintes fontes:

- relação das praças públicas mantidas pela Secretaria Municipal de Infra-Estrutura;
- mapa de áreas verdes e áreas institucionais da Secretaria Municipal de Infra-Estrutura de Uberaba (Figura 4.2:). Vale ressaltar que de acordo com o sugerido por Cavalheiro et al. (1999), as áreas verdes consideradas neste mapa, são na verdade espaços livres. Mediante isto, cada espaço livre identificado e mapeado foi analisado e classificado como área verde (ou simplesmente espaço livre), de acordo com conceitos sugeridos por Cavalheiro et al. (1999), levando em consideração principalmente a predominância de cobertura vegetal. Os critérios utilizados nessa classificação estão listados na Figura 4.1: . Destaca-se também que, de acordo com a metodologia utilizada, algumas áreas deste mapa que estavam selecionadas como áreas verdes, não puderam ser classificadas nem como espaço livres públicos, pois não atendiam a função primordial de recreação e lazer, não passando de terrenos vagos. Essas áreas foram denominadas de **Áreas Públicas**.

PRINCÍPIOS DE FOTO-INTERPRETAÇÃO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
Cor/tonalidade	Vegetação tem coloração verde, diferindo de piscinas (azuis) e do asfalto (cinza-escuro).
Forma	A forma dos muros é linear, diferindo do aspecto globoso dos jardins e copas de árvores.
Tamanho (relativo ou absoluto)	Sabendo-se a escala de uma fotografia podemos saber o tamanho absoluto dos objetos e inferir sobre sua origem e categorização. O tamanho relativo pode ser usado para distinguir um caminhão de um veículo de passeio.
Associação	Pátios com grande quantidade de carros provavelmente representam áreas de estacionamento ou manutenção de veículos.
Textura	Áreas de gramados e passagens diferem em textura daquelas ocupadas por vegetação arbórea e/ou arbustiva, com textura tipicamente rugosa.
Padrão	Padrões de distribuição homogênea das árvores devem estar associados com presença de pomares comerciais ou arborização de rua. Vegetação de áreas verdes públicas e particulares tem padrão de distribuição agregada ou irregular.
Profundidade/ Altura	O uso de estereoscópio permite perceber diferença na altura e profundidade dos elementos.
Sombra	Superfícies como calçadas não apresentam sombra própria ou projetada, diferindo de objetos tridimensionais, como árvores, muros e casas.

Quadro 4.1: Princípios utilizados na foto-interpretação e exemplos aplicáveis (adaptado de PAINE e Luba, 1980). Modificado de: Henke-Oliveira, 2001

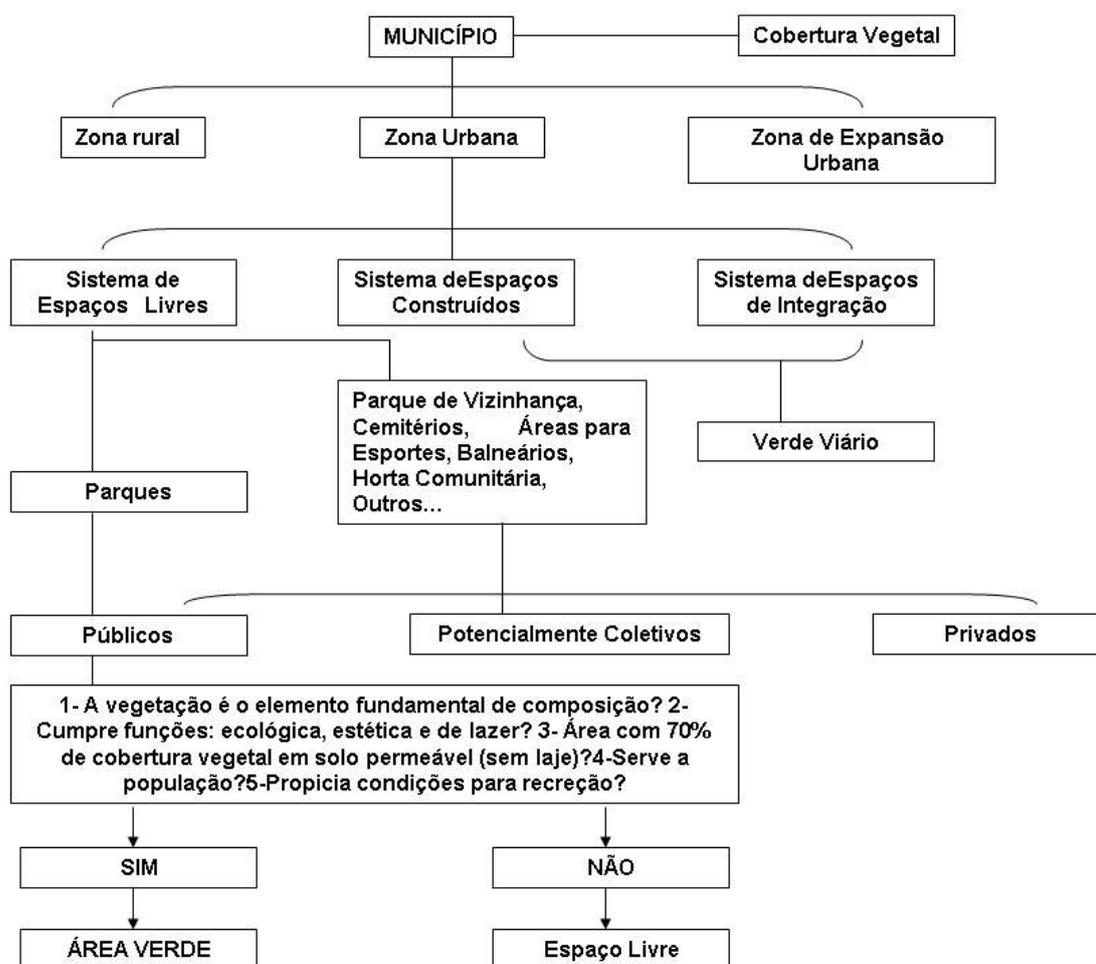


Figura 4.1: Organograma de Classificação do Verde Urbano com base em CAVALHEIRO et al. 1999

Modificado de: Buccheri Filho e Nucci 2006.

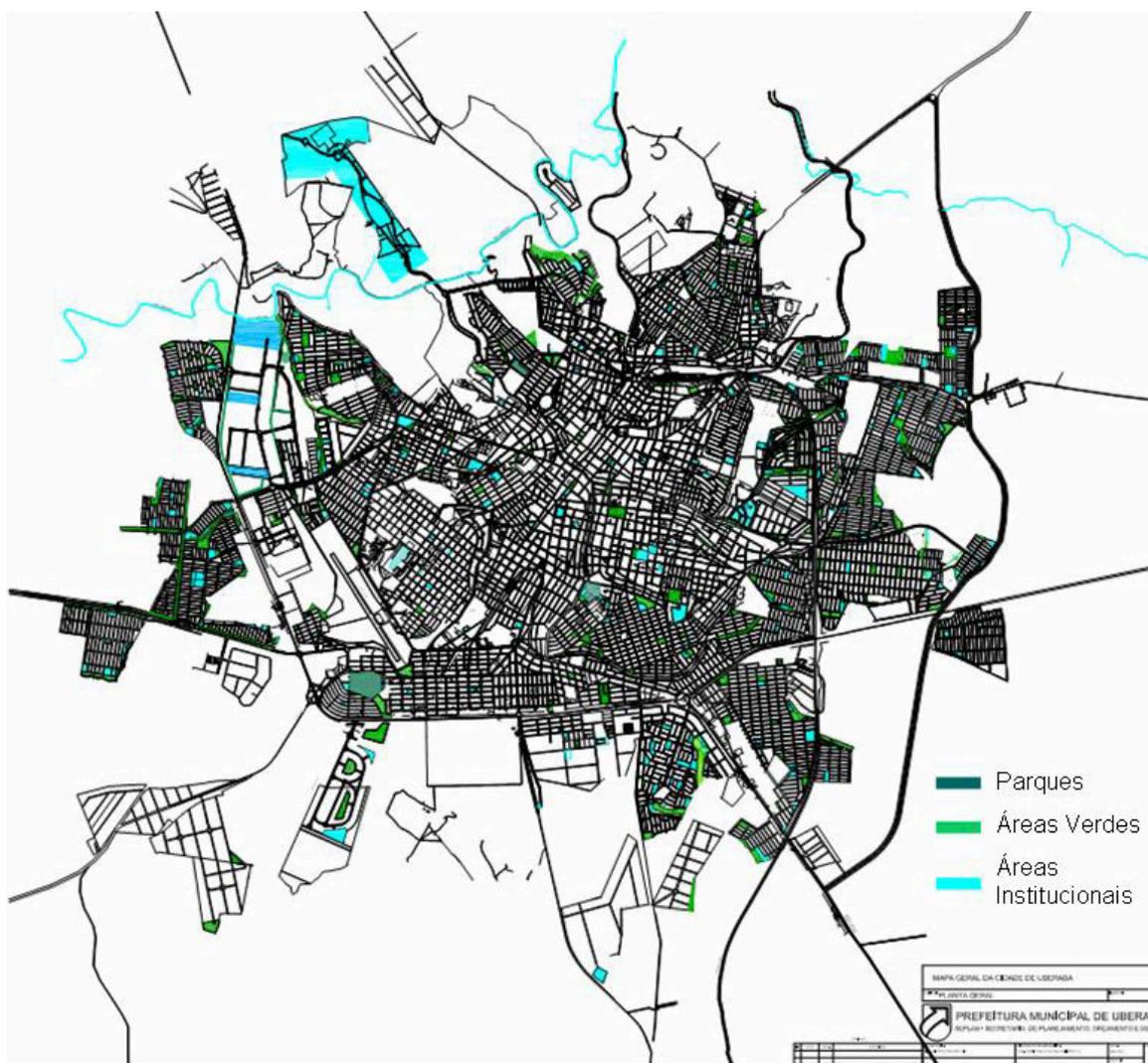


Figura 4.2: Mapa das Áreas Verdes e Áreas Institucionais da cidade de Uberaba, utilizado pela PMU
Modificado: PMU- 2007a

4.2 ÍNDICES DE QUALIDADE AMBIENTAL

No presente estudo, a questão dos índices de qualidade ambiental foi abordada de duas formas: determinando índices dependentes da densidade populacional e utilizando indicadores independentes de adensamento populacional. Esses últimos, segundo Henke-Oliveira (2001), são mais indicados para a avaliação da qualidade ambiental, pois quando se representa a quantidade de vegetação per capita, entende-se sobre aspectos de qualidade de vida, e não necessariamente ambientais. Isto pode ocorrer quando esses índices são elevados em um determinado local, devido à baixa densidade populacional e não pela grande quantidade de espaços arborizados (maior qualidade ambiental).

A análise quantitativa da vegetação urbana (em áreas públicas) foi realizada a partir do cálculo dos índices de áreas verdes em função do tamanho da população (IAV) e da superfície total da bacia do córrego das Lajes (PAV), o índice de espaços livres públicos (IEL), percentual de espaços livres públicos (PEV), índice de cobertura vegetal (ICV) e percentual de cobertura vegetal (PCV).

O tamanho da população residente na área de estudo (bacia do córrego das Lajes) foi obtido utilizando a porcentagem em área de cada bairro incluso na bacia. Essas áreas foram calculadas pelo comando AREA do Auto CAD 2007, utilizando-se mapa municipal e a sobreposição do limite da bacia (arquivo em Auto CAD), obtido em Morais (2001). A população residente em cada bairro, no ano de 2000, foi tomada como base para a estimativa da população de 2007. Nesse caso, utilizou-se a extrapolação dos dados de 2001 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para o ano de 2007, considerando que cada bairro atualmente responde pelo mesmo percentual de população de 2000.

Os índices de qualidade ambiental, levantados para a bacia do córrego das Lajes, estão convenientemente definidos a seguir:

- $IAV = \text{Superfície total das áreas verdes (m}^2\text{)} / \text{População (hab)}$;
- $PAV = \text{Superfície total das áreas verdes (m}^2\text{)} / \text{Superfície total da bacia (m}^2\text{)}$
- $IEL = \text{Superfície total dos espaços livres públicos (m}^2\text{)} / \text{População(hab)}$;
- $PEL = \text{Superfície total dos espaços livres públicos (m}^2\text{)} / \text{Superfície total da bacia (m}^2\text{)}$;
- $ICV = \text{Superfície das copas das árvores nos espaços livres (m}^2\text{)} / \text{População(hab)}$;
- $PCV = \text{Superfície das copas das árvores nos espaços livres(m}^2\text{)} / \text{Superfície total da bacia (m}^2\text{)}$.

A idéia principal de se levantar os índices, consiste na elaboração de propostas que permitem alcançar valores maiores desses indicadores. Neste contexto, lançam-se duas propostas de aumento dos índices, através da transformação de algumas áreas em áreas verdes. Essas regiões citadas abaixo, compõem as áreas utilizadas para ampliação nas propostas.

Proposta 1: Esse aumento dos índices é possível, uma vez que as APP têm condições de serem transformadas em AVDP. Apesar das três áreas analisadas, conforme apresentado

no item 4.3.1; estarem relativamente próximas do centro da cidade, elas possuem grande superfície, permitindo um aumento significativo desses índices.

Também foram consideradas as áreas que, no mapa de áreas verdes e áreas institucionais da Secretaria Municipal de Infra-Estrutura, estavam selecionadas como áreas verdes, mas que não foram utilizadas no cálculos, já que essas áreas atualmente constituem terrenos vagos, denominadas neste estudo como áreas públicas. Apesar dessas áreas terem sido excluídas na primeira fase de cálculos dos índices, na fase das propostas de ampliação elas foram incluídas, em função de um cenário futuro, onde deverão passar por adequações que as transformem em áreas verdes.

A inclusão dos reservatórios de detenção de Uberaba se justifica, pois como visto anteriormente, a aceitação de tal tipo de obra pelas comunidades tem grande relação com o sucesso da implantação de áreas verdes e de lazer no seu entorno.

Proposta 2: Além das áreas incluídas na proposta 1, foram incluídos também os lotes sem construção, se estes forem futuramente desapropriados (não sendo de propriedade pública) e transformados em áreas verdes.

Ressalta-se que, na avaliação dos índices, procuraram-se áreas em todas as sub-bacias do Córrego das Lajes, para se evitar um padrão de distribuição agregada, atendendo apenas a algumas regiões em detrimento da qualidade de vida e ambiental das outras.

4.3 DIAGNÓSTICOS DAS APP

4.3.1 Áreas selecionadas

Para a realização dos diagnósticos, foram selecionadas três regiões, nomeadas aqui de áreas do Paço (Área 2), final do Lajes (Área 3) e acima do piscinão (Área 1). Todas essas áreas situam-se dentro da bacia do Córrego das Lajes, conforme ilustra a Figura 4.3.

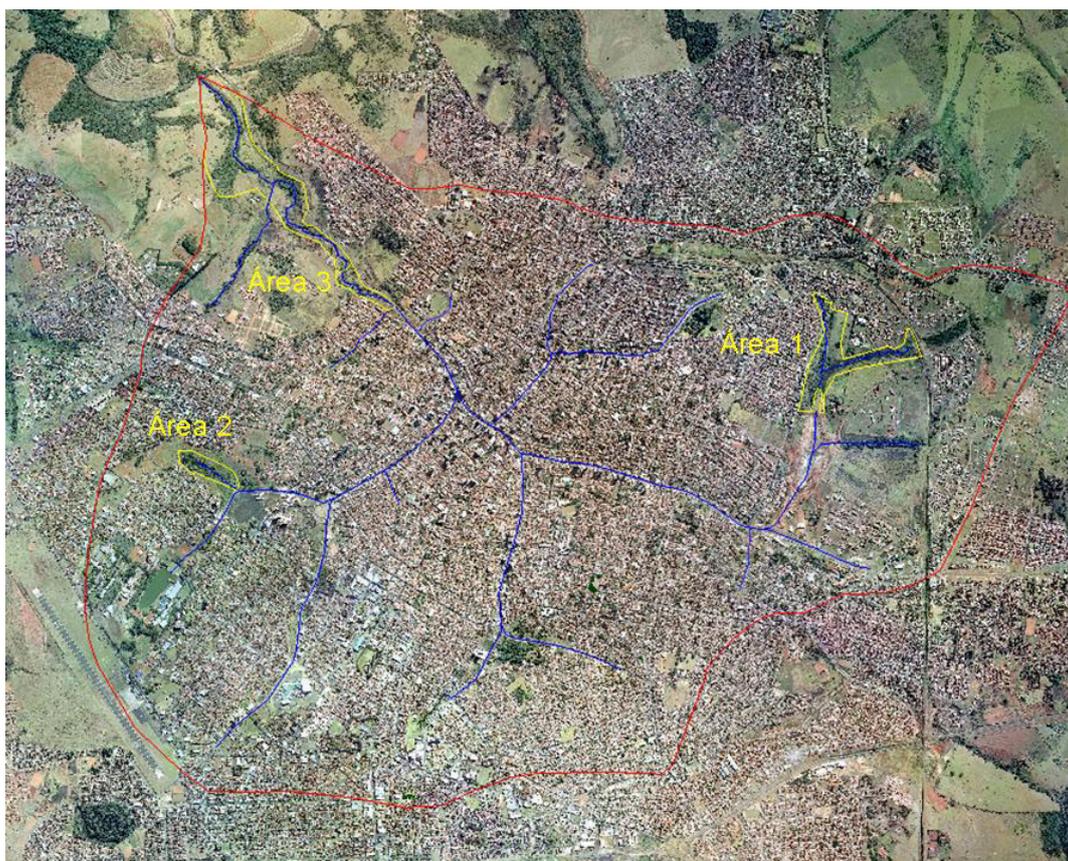


Figura 4.3: — Áreas selecionadas para o estudo, — Rede de Drenagem, — Limite da Bacia

Fonte: Fotomosaico PMU- 2003

A escolha das três áreas é justificada pela possibilidade de transformação destas em AVDP, a partir da criação do Parque do Paço, do Parque Córrego das Lajes e de um outro parque no entorno do piscinão. Além desse fator, o Plano Diretor da Cidade de Uberaba e o projeto Anel Florestal da Secretaria de Meio Ambiente do município também contemplam essas áreas. De acordo com o referido plano diretor, no Título II, que trata das estratégias de desenvolvimento, no Capítulo III, da política ambiental, na Seção III, do Sistema Ambiental Urbano, subseção I, art. 101; são diretrizes para o Sistema Ambiental Urbano:

I- preservação das matas e das matas ciliares existentes na cidade de Uberaba, nos núcleos e nos eixos de desenvolvimento previstos nesta Lei;

II - ampliação do número de unidades de conservação na cidade de Uberaba e áreas verdes de lazer, visando preservar os ecossistemas locais e ampliar a qualidade de vida urbana;

III – recuperação de áreas ambientalmente degradadas;

IV - estímulo à participação comunitária para proteção e recuperação de danos ambientais, inclusive das praças e áreas verdes urbanas.

A Subseção II, art. 106; ressalta que são elementos referenciais para o patrimônio natural da cidade de Uberaba:

XVII – Parque Córrego das Lajes, situado nas proximidades do Jardim São Bento e EPAMIG, em faixa de proteção ao longo do córrego, após o término da canalização, até sua junção com o rio Uberaba;

XIX - Parque no entorno do piscinão, na cabeceira do córrego das Lajes;

No artigo 107, observa-se que para proteção do patrimônio natural e qualificação ambiental da cidade de Uberaba, deverão ser adotadas as seguintes medidas:

VII – criação do Parque Linear Córrego das Lajes, com área de lazer ao longo da mata ciliar do córrego das Lajes até o rio Uberaba;

IX – criação de parque no entorno do piscinão, com áreas de lazer, e em áreas públicas situadas nos córregos que compõem o córrego das Lajes;

Analisando o Plano Diretor da cidade de Uberaba e o projeto Anel Florestal da Secretaria de Meio Ambiente do município, observa-se claramente a disposição em se criar os referidos parques. Para a criação destes, é necessária a adoção de medidas de recuperação das áreas degradadas e, para que essas medidas sejam traçadas, é necessário o conhecimento da situação atual. Daí surge a necessidade de se fazer um diagnóstico dessas áreas.

Uma das áreas (Área 3) se situa no trecho final do córrego das Lajes, situado nas proximidades do bairro Jardim São Bento e da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), no final da Avenida Leopoldino de Oliveira. Nesse trecho, o escoamento ocorre em seção aberta e natural até sua junção com o rio Uberaba. A área 2 se situa no local onde será criado o Parque do Paço, entre as Ruas Antônio Rios, João Aquino e Av. Pedro Salomão.

Dentre as alternativas possíveis de redução de vazões dentro do planejamento de drenagem urbana há a implantação de reservatórios com a finalidade de controlar cheias urbanas. Esses dispositivos procuram regularizar o escoamento em canais de macro-drenagem, atenuando o pico da cheias e devolvendo a água gradualmente após o período crítico.

A grande virtude desses parques e dos grandes reservatórios (também chamados de piscinões) está no fato de acomodar as diferentes ampliações de vazões de cheia em parte

da bacia, reduzindo o material sólido e melhorando a qualidade da água (TUCCI et al, 1995). No entorno desses reservatórios, o aspecto paisagístico adquire fundamental importância. A aceitação, pelas comunidades, de tal tipo de obra, guarda estreita relação com o sucesso da implantação de áreas verdes e de lazer no seu entorno. Como exemplo disto citam-se os reservatórios AT-1, em Mauá, e AM-3, em Santo André, ambas em São Paulo e com áreas verdes e de lazer incorporadas (CANHOLI, 2005). Nesse contexto, justifica-se a implantação de uma área verde pública nas imediações do piscinão de Uberaba, pois, além de atuar como um elemento de controle de cheias, esse reservatório pode ter funções paisagísticas e de lazer, como citado na literatura. Sendo assim, a área verde considerável na vizinhança desse local constitui-se na Área 1 deste estudo. Deve-se ressaltar que as três áreas selecionadas são APP, e como disposto na legislação podem ser transformadas em áreas verdes de domínio público. Para essa implementação, é necessário o diagnóstico das atuais condições dessas APP.

4.3.2 Diagnóstico (Análise qualitativa) das APP

A diferenciação dos tipos de cobertura vegetal das áreas foi realizada a partir da mesma idéia utilizada no levantamento das áreas comentadas nos itens anteriores. Para a confecção do mapa de cobertura vegetal, utilizou-se programa SCARTA 4.3.3.

As análises qualitativas das APP urbanas da bacia foram feitas essencialmente a partir de observações de campo. Nessas visitas foram analisados processos como fatores de degradação, presença de esgoto, instabilidade de encostas, erosões, presença de lixo e entulho, presença de animais e vegetação.

4.4 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

Neste item são descritas as principais metodologias utilizadas na simulação hidrológica. Esta etapa da pesquisa visa estimar, em termos quantitativos, qual é a influência das APP na macro-drenagem de Uberaba. Essas estimativas foram conduzidas por metodologias consagradas da Hidrologia, com a utilização da equação de chuvas de Uberaba, a estimativa do escoamento superficial gerado (transformação chuva-vazão) e a construção de hidrogramas nos exutórios das três sub-bacias que abrangem as APP diagnosticadas. Ressalta-se que para melhor confiabilidade dos hidrogramas a serem gerados, nesta etapa,

a bacia do Córrego das Lajes foi sub-divida de acordo com a figura 3.8. Além disso a sub-bacia Leopoldino foi subdividida em 5 sub-bacias menores (Leopoldino 1, 2, 3, 4 e 5). A Sub-bacia Leopoldino 1 foi sub-dividida em 2 outras (Leopoldino 1A e Leopoldino 1B). Esse procedimento foi necessário pois o reservatório de retenção (piscinão), localiza-se nesta sub-bacia; e os cálculos realizados para a obtenção dos hidrogramas, são mais complexos que nas outras. Estes procedimentos estão melhor explicados nos subitens abaixo.

A Figura 4.4 representa uma vista tridimensional da superfície da cidade de Uberaba, destacando vetores de fluxo de escoamento superficial e as três áreas verdes estudadas. A referida figura foi construída no âmbito desta pesquisa interpolando espacialmente as cotas obtidas a partir de curvas de nível da cidade.

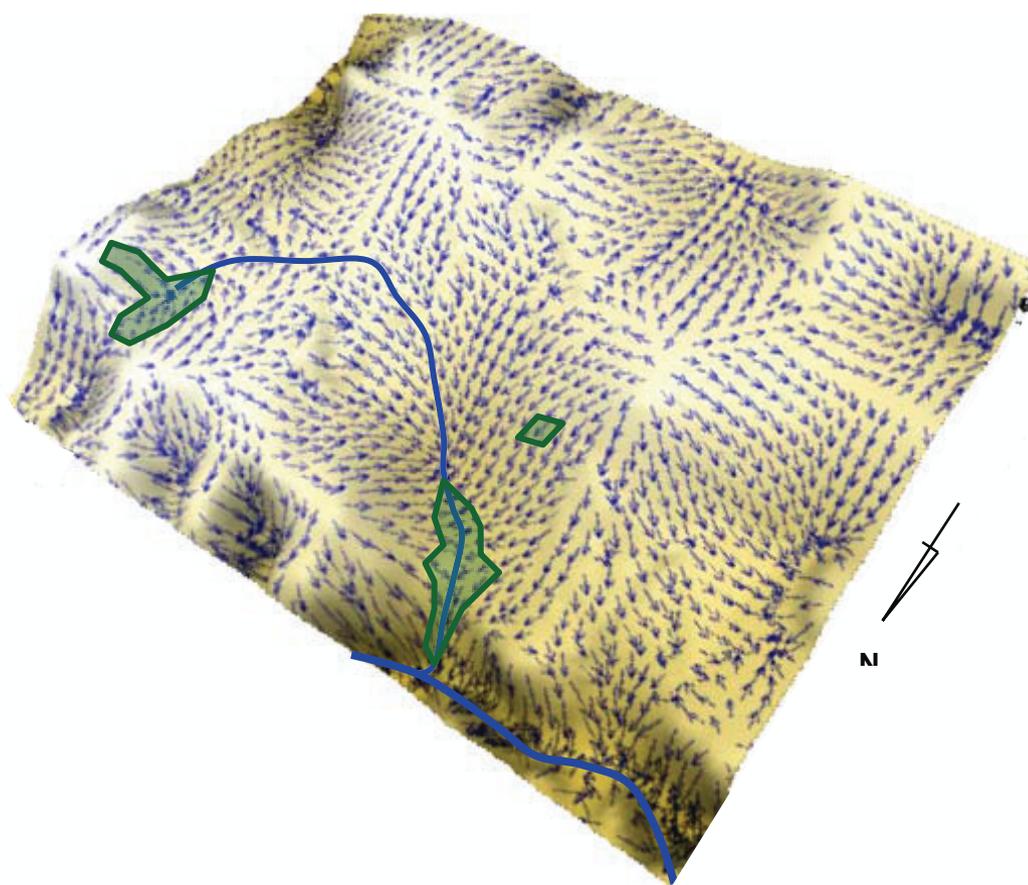


Figura 4.4: Modelo tridimensional da superfície da cidade de Uberaba: destaque para os vetores de fluxo de escoamento superficial, córrego das Lajes e as três APP analisadas no presente trabalho.

O acoplamento entre as metodologias descritas a seguir, permitiu trabalhar com diversos cenários de distribuição temporal de precipitação e diferentes cenários de impermeabilização das sub-bacias, incluindo a retirada das APP, melhor detalhados nos subitens abaixo.

4.4.1 Precipitação

A precipitação é, em geral, a variável que inicializa uma simulação hidrológica. Neste estudo, por exemplo, é a partir da precipitação que foi calculado o escoamento superficial (*runoff*) nas sub-bacias, redundando nos hidrogramas de cheia que alimentam o canal principal (córrego das Lajes). Nesse sentido, o estudo utilizou a equação de chuvas intensas para a cidade de Uberaba (NASCIMENTO, 2005):

$$i_{d,T} = \frac{33,382 - 7,558 \left\{ \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{d^\eta} \quad \text{Equação 4.1}$$

Na equação (4.1), i é a intensidade, em mm/h, da precipitação de duração d para um tempo de retorno T ; d é a duração da precipitação, em horas; T é o tempo de retorno, em anos. O parâmetro η , na Equação 4.1, assume os seguintes valores:

- $\eta = 0,5681$, para a duração da precipitação situada no intervalo $0,0833 \leq d \leq 1$ (5 min a 1 h);
- $\eta = 0,7398$, para a duração da precipitação situada no intervalo $1 \leq d \leq 24$ (1 h a 24 h).

Em termos espaciais, o modelo leva em consideração uma distribuição uniforme por toda área das sub-bacias analisadas. Em termos temporais, as chuvas foram distribuídas de acordo com as curvas de Huff, com 50% de probabilidade de ocorrência da precipitação máxima. Essas curvas relacionam a distribuição percentual da precipitação com o tempo transcorrido desde o seu início. Em outras palavras, as distribuições de Huff localizam o pico de chuva ao longo da sua duração. As curvas de 50% de probabilidade de ocorrência para os quatro quartis de Huff são ilustradas pela Figura 4.5.

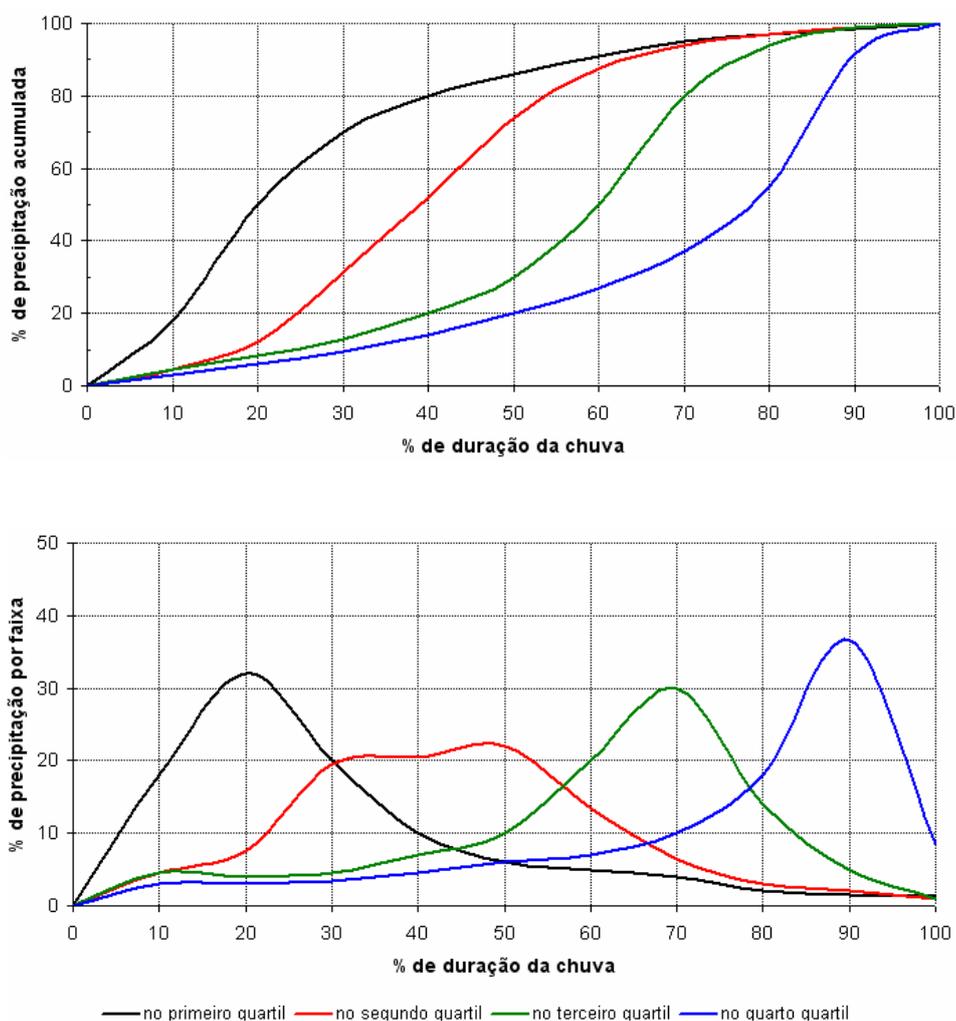


Figura 4.5: Distribuição temporal da precipitação a partir das curvas de 50% de probabilidade de ocorrência para os quatro quartis de Huff. Note-se que, na distribuição por faixa, é possível verificar os instantes de concentração dos picos da chuva.

4.4.2 Escoamento superficial – transformação chuva-vazão

Dentre os vários procedimentos para a estimativa da chuva excedente ou escoamento superficial, este trabalho optou pelo uso do Método do Número CN do *Soil Conservation Service* (SCS). Esse método baseia-se na seleção de um número CN (*curva de runoff*) que corresponde a um coeficiente de escoamento superficial, cujo valor varia em função das características das áreas permeáveis da bacia. De uma maneira geral, o número CN pode ser obtido a partir das características do solo, de pesquisas locais e da capacidade mínima de infiltração do solo. As pesquisas *in loco*, embora constituam a forma mais precisa de se obter números CN locais, ainda são praticamente inexistentes no Brasil. Atualmente, em

termos práticos, os números CN são obtidos a partir de tabelas que constituem a combinação empírica de pelo menos três fatores: grupo do solo, cobertura e condições de umidade antecedente do solo.

Para determinação do número CN de uma área, inicialmente os solos são classificados em quatro grupos (A, B, C e D), basicamente em função do seu teor de argila e da sua capacidade de infiltração. Essa classificação é obtida de acordo com o Quadro 4.2.

A partir da classificação do solo nos quatro grupos, o número CN pode ser estimado, para bacias rurais, urbanas e suburbanas, a partir do tipo de uso do solo. O Quadro 4.3 relaciona esses valores para áreas urbanas e suburbanas, as quais são de interesse desta pesquisa.

Ainda nessa análise é importante comentar que a umidade do solo exerce considerável influência na sua capacidade de infiltração, afetando indiretamente a geração de escoamento superficial. A tendência do solo saturar-se de água normalmente ocorre após períodos prolongados de chuvas, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial. Nesses casos, o número CN, obtido no Quadro 4.3, deve ser corrigido para levar em conta a condição de umidade antecedente do solo. Os Quadros 4.4 e 4.5 auxiliam nessa correção.

Grupo de Solo	Características do solo
A	<p>Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).</p>
B	<p>Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m; mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solo arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).</p>
C	<p>Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).</p>
D	<p>Solos argilosos (30% e 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995).</p> <p>Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).</p>

Quadro 4.2: Classificação de solos segundo o SCS. Retirado de Tomaz (2002)

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de Solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Florestais: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Quadro 4.3: Número CN para bacias urbanas e suburbanas. Retirado de Tomaz (2002)

Condições do solo	Situação do solo
I	Solo seco
II	Condições médias do solo. É a condição normal das tabelas do número CN.
III	Solo úmido. Ocorreram precipitações nos últimos cinco dias. O solo está saturado.

Quadro 4.4: Condições de umidade antecedente do solo. Retirado de Tomaz (2002)

Condição normal II do número CN	Número CN correspondente para a devida Condição	
	Condição I	Condição III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Quadro 4.5: Ajuste do número CN em função das condições de umidade do solo. Retirado de Tomaz (2002)

É importante notar que nas áreas urbanas coexistem áreas impermeáveis e áreas permeáveis. Dessa forma, há a necessidade de se estimar um número CN composto que

considere a fração de área impermeável. Esse número CN composto pode ser calculado como:

$$CN = CN_p \cdot (1 - d) + CN_I \cdot d \quad \text{Equação 4.2}$$

Na equação (4.2), CN_p é o coeficiente obtido para a área permeável, ao passo que CN_I é o coeficiente obtido para a área impermeável. Nesse último caso, o valor normalmente adotado é $CN_I = 98$. O parâmetro d representa a relação entre a área impermeável e a área total da sub-bacia (ou da bacia) considerada ($d = A_I / A_{total}$). Essa equação é válida quando as áreas impermeáveis correspondem a pelo menos 30% da área total, valor normalmente superado nas bacias urbanas.

Destaca-se que os valores de CN foram estimados por sub-bacia, levando em consideração as características diferentes de cada uma delas. Na ausência de uma melhor caracterização do solo, adotou-se o tipo B, recomendação normal na literatura, e condições de umidade antecedente tipo II (normal) e tipo III (solo úmido/saturado), para todas as sub-bacias. Destaca-se que as duas últimas condições foram utilizadas, com o objetivo de verificar se em meses chuvosos, as áreas verdes ainda amortecem as enchentes. A porcentagem de áreas permeáveis de cada cenário simulado, descritos no Quadro 4.6, para cada sub-bacia, ajudou no cálculo do CN composto.

Cenário	Descrição	Objetivos
1	Uso do solo atual	Diagnosticar funcionamento atual do sistema. Servir como referência para os outros cenários. Fornecer subsídios ao planejamento do uso do solo.
2	Área permeável sem Áreas Verdes, APP e Áreas Públicas* (Área da bacia igual aos lotes sem construção)	Avaliar impactos da ocupação urbana futura na bacia sobre o sistema de macrodrenagem existente. Fornecer subsídios ao planejamento do uso do solo. Verificar o acréscimo ocorrido nas vazões com a retirada destas áreas, ou seja, seu efetivo desempenho na atenuação destas vazões.
3	Área permeável da bacia igual à Área das APP**	Avaliar impactos da ocupação urbana futura na bacia sobre o sistema de macrodrenagem existente. Verificar o acréscimo ocorrido nas vazões com a retirada das APP, ou seja, seu efetivo desempenho na atenuação destas vazões. Fornecer subsídios ao planejamento do uso do solo
4	Impermeabilização Total	Avaliar impactos da ocupação urbana futura na bacia sobre o sistema de macrodrenagem existente. Servir para comparação dos cenários anteriores. Fornecer subsídios ao planejamento do uso do solo

Quadro 4.6: Cenários de simulação.

* As áreas que no mapa de áreas verdes e áreas institucionais da Secretaria Municipal de Infra-Estrutura, estavam selecionadas como áreas verdes, mas que não foram utilizadas nos cálculos, já que essas áreas não passam de terrenos vagos

** Somente para as sub-bacias Leopoldino 1A e 1B, Santos Dumont, Fidélis Reis, Guilherme Ferreira e Restante, que são sub-bacias onde existem APP.

Além da obtenção do número CN, que corresponde ao coeficiente de escoamento superficial, o método SCS ainda exige um parâmetro que representa o potencial máximo de retenção do terreno após o início do escoamento superficial. Esse parâmetro pode ser calculado como:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 4.3}$$

Na equação (4.3), S é o potencial máximo de retenção do terreno, dado em milímetros.

De posse desses dois parâmetros, CN e S , o escoamento superficial foi calculado como:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P - 0,2 \cdot S) + S} \quad \text{válida para } P > 0,2 \cdot S \quad \text{Equação 4.4}$$

Na equação (4.4), Q é a parcela de precipitação P transformada em escoamento superficial, cujos valores são dados em milímetros. É importante comentar que o fator $(0,2 \cdot S)$ representa todas as perdas que acontecem no escoamento superficial, ocasionadas pela retenção de água nas depressões, pela interceptação, evaporação e infiltração. Ainda nesse contexto, quando a precipitação acumulada é inferior a esse valor, ou seja, quando $P < 0,2 \cdot S$, não é gerado nenhum escoamento superficial ($Q=0$).

Vale destacar que os valores de Q , assim como o CN , foram estimados para cada sub-bacia.

4.4.3 Tempo de concentração

Para que o Método Santa Bárbara obtenha os hidrogramas de cheia, é necessário que este seja alimentado com alguns dados da área de drenagem, como o CN , explicado no item anterior e o t_c (tempo de concentração).

O tempo de concentração (t_c) representa o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial. Os t_c foram estimados por sub-bacia, considerando-se a soma da aplicação da equação da Fórmula Califórnia Culverts Practice

(Equação 4.5), para áreas de escoamento difuso e trechos não canalizados do talvegue principal, com a média da equação do Método Cinemático e do Método SCS de 1975, para os trechos canalizados (Equação 4.6). Deve-se ressaltar que a Equação destes dois últimos métodos é igual, somente variando o coeficiente K , consultado em tabelas diferentes.

$$t_c = 57 \cdot L^{0,155} \cdot H^{-0,385} \quad \text{válida para } P > 0,2.S \quad \text{Equação 4.5}$$

Na Equação 4.5, t_c é o tempo de concentração (min); L é o comprimento do talvegue (Km) e H a diferença de cotas, em metros, entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue.

$$t_c = \frac{L}{V} \quad \text{Equação 4.6}$$

Na Equação 4.6, t_c é o tempo de concentração (min); L é o comprimento do talvegue (m) e V a velocidade do escoamento superficial (m/s), calculada pela Equação 4.8.

Os valores de L foram os mesmos do Quadro 3.3, mostrado no capítulo anterior, que nos traz a relação e o comprimento dos cursos de água da Bacia do Córrego das Lajes. As altitudes, para o cálculo de H , foram obtidas no pelo mapa de Morais (2001) com as curvas de nível.

Em canaletas, valas, tubos e canais, pode ser usada a Equação de Manning, para a estimativa das velocidades, na forma:

$$V = n^{-1} \times R^{2/3} \times S^{0,5} \quad \text{Equação 4.7}$$

A equação acima pode ser simplificada para:

$$V = k \times S^{0,5} \quad \text{Equação 4.8}$$

Na Equação 4.7, V é a velocidade do escoamento na canalização (m/s); R é o raio hidráulico (m), n é o coeficiente de rugosidade de Manning, $k = n^{-1} \times R^{2/3}$ e S é a declividade do trecho canalizado, em (m/m). O Valor de k foi obtido pelo Quadro 4.8, de acordo com o uso da terra ou regime de escoamento das sub-bacias. O Quadro 4.9 mostra os valores de coeficientes k utilizados pelo método SCS, 1975.

Uso da terra/regime de escoamento	Rugosidade n de Manning	Raio Hidráulico R (m)	Valor de k
Floresta			
Com vegetação rasteira densa	0,8	0,076	0,22
Com pouca vegetação rasteira	0,4	0,067	0,41
Com bastante vegetação rasteira	0,2	0,061	0,77
Gramma			
Gramma bermuda	0,41	0,046	0,31
Densa	0,24	0,037	0,46
Curta	0,15	0,031	0,65
Pastagem de grama curta	0,025	0,012	2,12
Terra cultivada convencional			
Com resíduo	0,19	0,018	0,37
Sem resíduo	0,09	0,015	0,68
Agricultura			
Culturas em carreiras retilíneas	0,04	0,037	2,76
Culturas em contornos ou em faixas de diferentes plantações	0,05	0,018	1,39
Terra de cultura não utilizada (rodízio)	0,045	0,015	1,37
Pastagens	0,13	0,012	0,41
Sedimentos aluvionais	0,017	0,012	3,12
Canal gramado para passagem da água	0,095	0,305	4,77
Região montanhosa pequena	0,04	0,153	7,14
Área pavimentada com escoamento superficial (opção A)	0,011	0,018	6,31
Área pavimentada com escoamento superficial (opção B)	0,025	0,061	6,2
Canaleta pavimentada	0,011	0,061	14,09

Quadro 4.7: Valores de “ n ”, raio hidráulico “ R ”(m) e de “ k ” para o método cinemático Fonte: Tomaz,(2002)

Uso da terra e regime de escoamento	Coefficiente <i>K</i>
Floresta com muita folhagem no solo	0,76
Área com pouco cultivo; terraceamento	1,52
Pasto ou grama baixa	2,13
Áreas cultivadas	2,74
Solo quase nu sem cultivo	3,05
Caminhos de escoamento em grama, pasto	4,57
Superfície pavimentada; pequenas vossorocas de nascentes	6,10

Quadro 4.8: Coeficientes “*k*” do método SCS (1975) Fonte: Tomaz (2002)

4.4.4 O Método Santa Bárbara

O objetivo do Método Santa Bárbara é a obtenção de hidrogramas de cheia, ocasionados por precipitações em uma determinada bacia, para uma seção de controle previamente especificada. O Método Santa Bárbara tem a vantagem de levar em consideração o efeito do armazenamento, ou seja, aquela parcela de escoamento superficial que fica temporariamente retida na bacia e que poderá chegar, com certo atraso, ao exutório. Esse método ainda faz uma combinação entre o escoamento superficial que ocorre sobre as áreas permeáveis e sobre as áreas impermeáveis. O Método Santa Bárbara trata a bacia como um reservatório imaginário (ver Figura 4.6), no qual há entrada de água, gerada pelo escoamento superficial, armazenamento temporário e a saída no exutório, que compõe, finalmente o hidrograma desejado.

Neste trabalho, a função do Método Santa Bárbara está na estimativa dos hidrogramas de cheia para os exutórios das três sub-bacias estudadas, as quais alimentam o córrego das Lajes. As Figuras 4.7 a 4.9 fornecem uma noção mais clara acerca das sub-bacias estudadas, da presença das áreas verdes e do papel do Método Santa Bárbara na estimativa dos hidrogramas gerados nos exutórios.

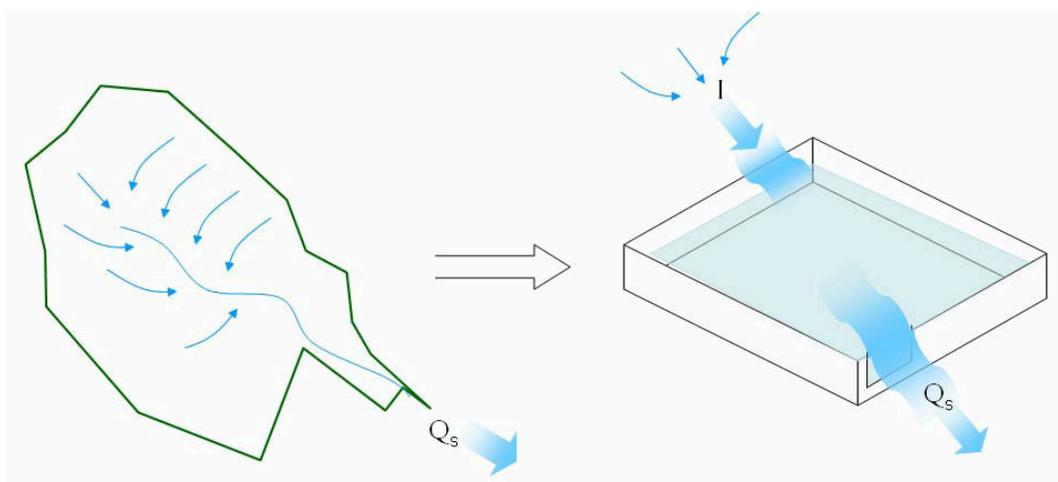


Figura 4.6: Esquema ilustrativo do Método Santa Bárbara. O método considera o armazenamento temporário na bacia (reservatório imaginário), com vazão de entrada I e vazão de saída Q_s .

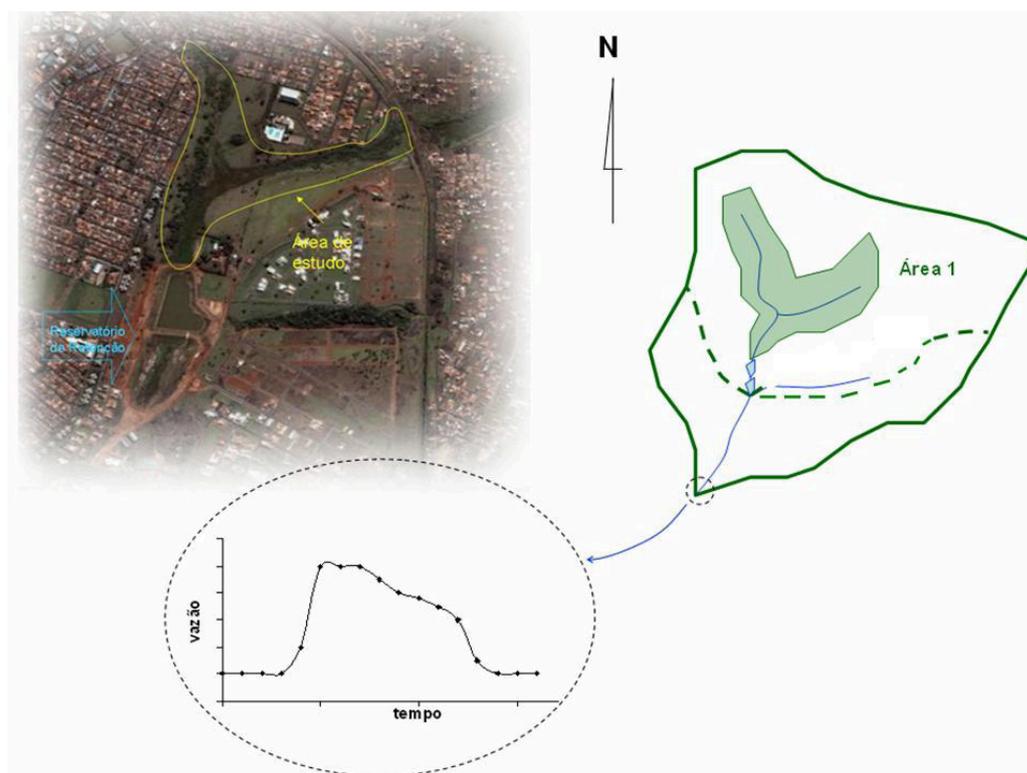


Figura 4.7: Esquema da sub-bacia Leopoldino, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara. Note-se que esta sub-bacia apresenta dois reservatórios de detenção em série.

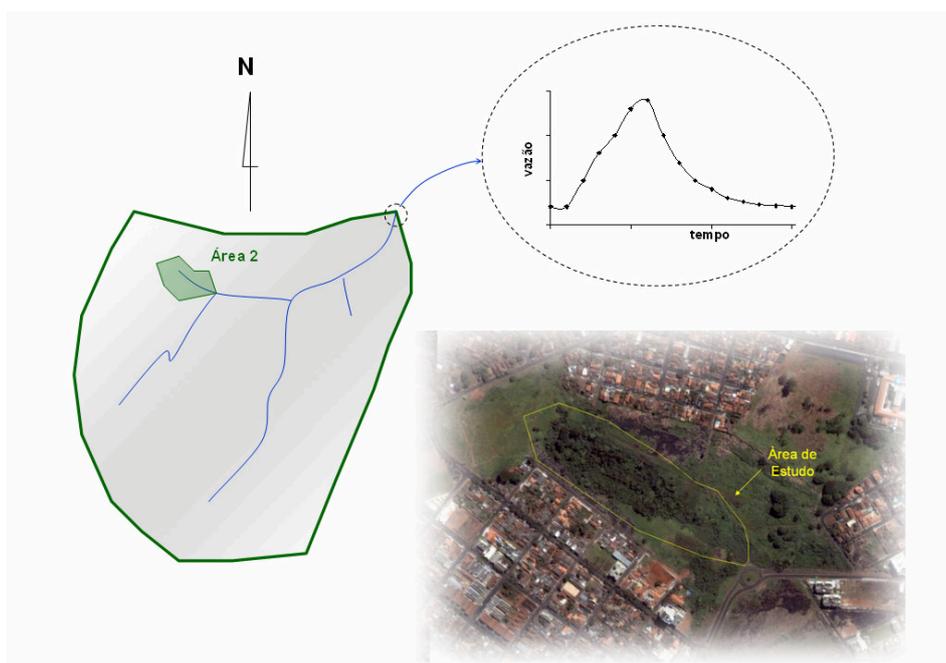


Figura 4.8: Esquema da sub-bacia Santos Dumont, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara

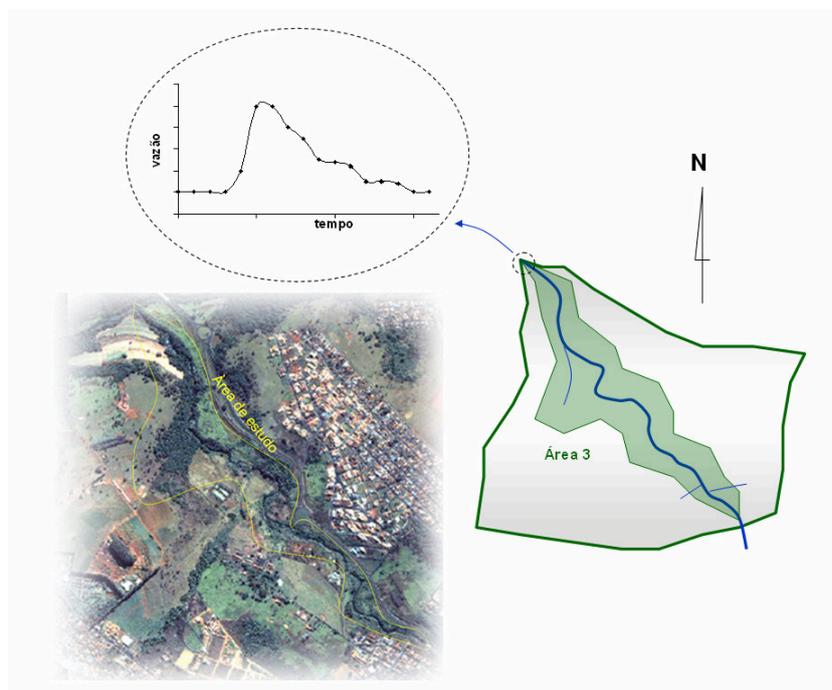


Figura 4.9: Esquema da sub-bacia que engloba o trecho final do Córrego das Lajes, com destaque para a área verde analisada e para o hidrograma hipotético, que será gerado pelo Método Santa Bárbara

Dentre os dados necessários para inicializar o Método Santa Bárbara citam-se:

- *parâmetros da precipitação*: equação local da chuva, tempo de recorrência, duração e o tipo de distribuição temporal da tormenta. Vale aqui lembrar que, no caso da distribuição temporal, este trabalho utilizou as curvas de Huff, conforme descrito no item 4.4.1;
- *parâmetros da bacia*: área total, área impermeável, tempo de concentração e número CN resultante.

Diante desses valores iniciais, há a necessidade de alguns cálculos preliminares, antes do procedimento iterativo do método:

- *Precipitação total*: $P = i \times t$
- *Potencial máximo de retenção da bacia*: $S = \frac{25400}{CN} - 254$
- *Fração de área impermeável da bacia*: $d = A_i / A$
- *Coefficiente de retardo*: $k_r = \frac{\Delta t}{2 \cdot t_c + \Delta t}$

O coeficiente de retardo representa o atraso do escoamento em chegar até a seção de controle. Na aplicação do Método Santa Bárbara, a duração da chuva foi discretizada, ou seja, dividida em intervalos de tempo menores (Δt) nos quais são calculadas as vazões instantâneas, em operações de “marcha temporal”. Ao final de cada passo de tempo, são estimadas as vazões de saída que fornecem o hidrograma em cada exutório.

A partir dos cálculos preliminares, as iterações do Método Santa Bárbara seguem o roteiro:

- *Precipitação acumulada (obtida a partir das curvas de distribuição temporal da chuva)*: $P_{ac}^t = \%P_{ac} \times P$
- *Precipitação por faixa*: $P_{fx}^{t+\Delta t} = P_{ac}^{t+\Delta t} - P_{ac}^t$

- *Escoamento superficial acumulado:*

$$Q^t = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P - 0,2 \cdot S) + S} \quad \text{se } P_{ac}^t > 0,2 \cdot S$$

$$Q^t = 0 \quad \text{se } P_{ac}^t \leq 0,2 \cdot S$$

- *Escoamento superficial por faixa:* $Q_{fx}^{t+\Delta t} = Q_{ac}^{t+\Delta t} - Q_{ac}^t$

- *Intensidade da chuva efetiva na área impermeabilizada:* $i_{im}^t = P_{fx}^t / \Delta t$

- *Intensidade da chuva efetiva na área permeável:* $i_{per}^t = Q_{fx}^t / \Delta t$

- *Vazão de entrada no reservatório imaginário:* $I^t = (i_{im}^t \cdot d + i_{per}^t \cdot (1 - d)) \times A$

- *Vazão de saída do reservatório imaginário (geração do hidrograma de saída):*
 $Q^{t+\Delta t} = Q^t + k_r \cdot (I^t + I^{t+\Delta t} - 2 \cdot Q^t)$

O desenvolvimento até esse equacionamento esta em Tomaz (2002).

A solução do Método Santa Bárbara é obtida a cada passo de tempo e isto sugeriu a construção de um algoritmo para solução das suas operações. No decorrer deste trabalho, as idéias avançaram no sentido de se construir um programa mais completo, com entrada, processamento e saída de dados. Nesse contexto, optou-se pela uso da linguagem computacional *Visual Basic for Applications* (VBA).

O VBA representa a linguagem *Visual Basic* aplicada aos objetos do EXCEL. Com essa opção, a entrada e a saída de dados é feita nas planilhas do EXCEL, enquanto que rotinas computacionais escritas em *Visual Basic* controlam os cálculos, além das operações de leitura e saída dos resultados. Nesse aspecto, foram construídos dois programas, um para o estudo das sub-bacias que englobam as Áreas 2 e 3, e outro para a sub-bacia que engloba a Área 1, onde os códigos se encontram no Anexo 1. Nesse último caso, a presença de dois piscinões torna o cálculo mais específico, com a necessidade de se prever o amortecimento de cheias nesses reservatórios, além da propagação das vazões de saída dos mesmo até o

exutório da sub-bacia analisada. Nesse caso, além do Método Santa Bárbara, são necessários outros modelos matemáticos, os quais serão descritos no item seguinte.

4.4.5 Programas para os cálculos hidrológicos

4.4.5.1 Sub-bacias que englobam as Áreas 2 e 3

Para a geração dos hidrogramas das sub-bacias sem reservatórios de detenção, o programa aplica diretamente o Método Santa Bárbara. Os dados de entrada são os mesmos descritos no item anterior, divididos em parâmetros da bacia e parâmetros da precipitação. O programa calcula ainda a vazão de pico e, a partir da integração do hidrograma, o volume de escoamento superficial gerado na bacia estudada. A Figura 4.10 ilustra a planilha de entrada e saída de dados, bem como o hidrograma gerado.

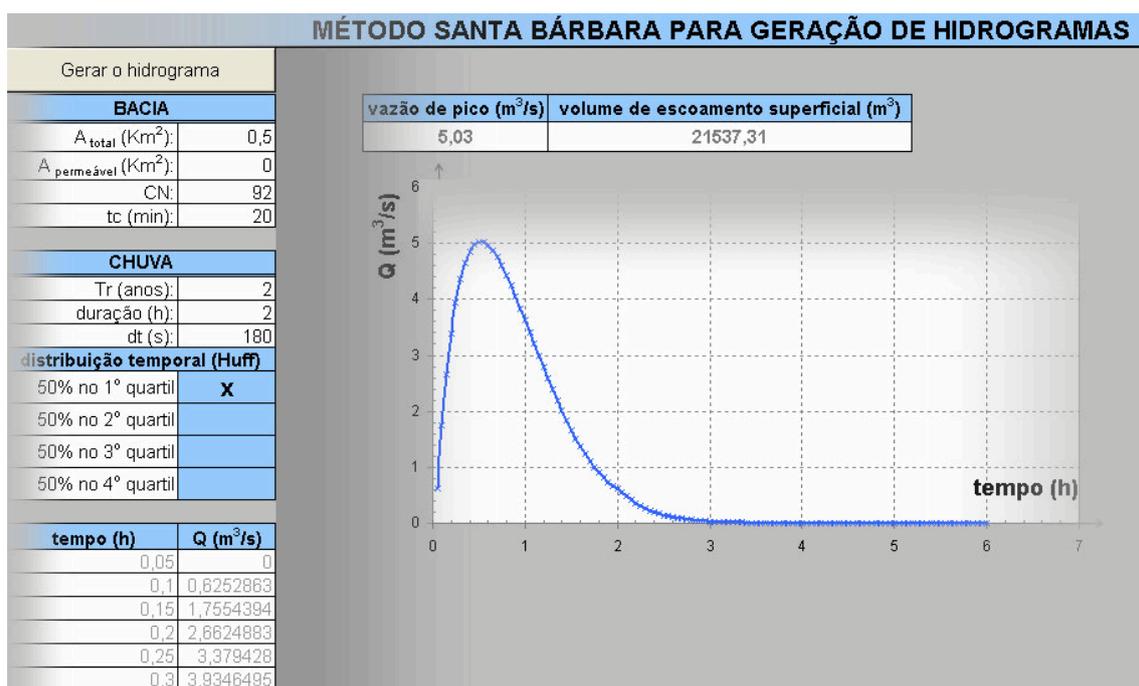


Figura 4.10: Programa para geração de hidrogramas de cheia a partir do Método Santa Bárbara.

4.4.5.2 Sub-bacia que engloba a Área 1

Para o cálculo do hidrograma na sub-bacia Leopoldino 1, devido à presença dos reservatórios de retenção, além do Método Santa Bárbara, foi utilizado o Método de Pulz (cálculo do amortecimento nos reservatórios) e as equações de Saint-Venant (propagação das vazões no canal que liga o último reservatório até o exutório da sub-bacia). Dessa maneira, a sub-bacia foi dividida em duas (Leopoldino 1A e Leopoldino 1B), conforme ilustra a Figura 4.11.



Figura 4.11: _____ Limites das sub-bacias Leopoldino 1A e Leopoldino 1B

4.4.5.2.1 Método de Pulz

O objetivo do Método de Pulz é a obtenção do hidrograma de saída dos reservatórios de retenção. No caso específico da sub-bacia Leopoldino 1, existem dois reservatórios em série (ver Figura 4.12), de forma que as vazões de saída do primeiro reservatório correspondem à entrada do segundo.

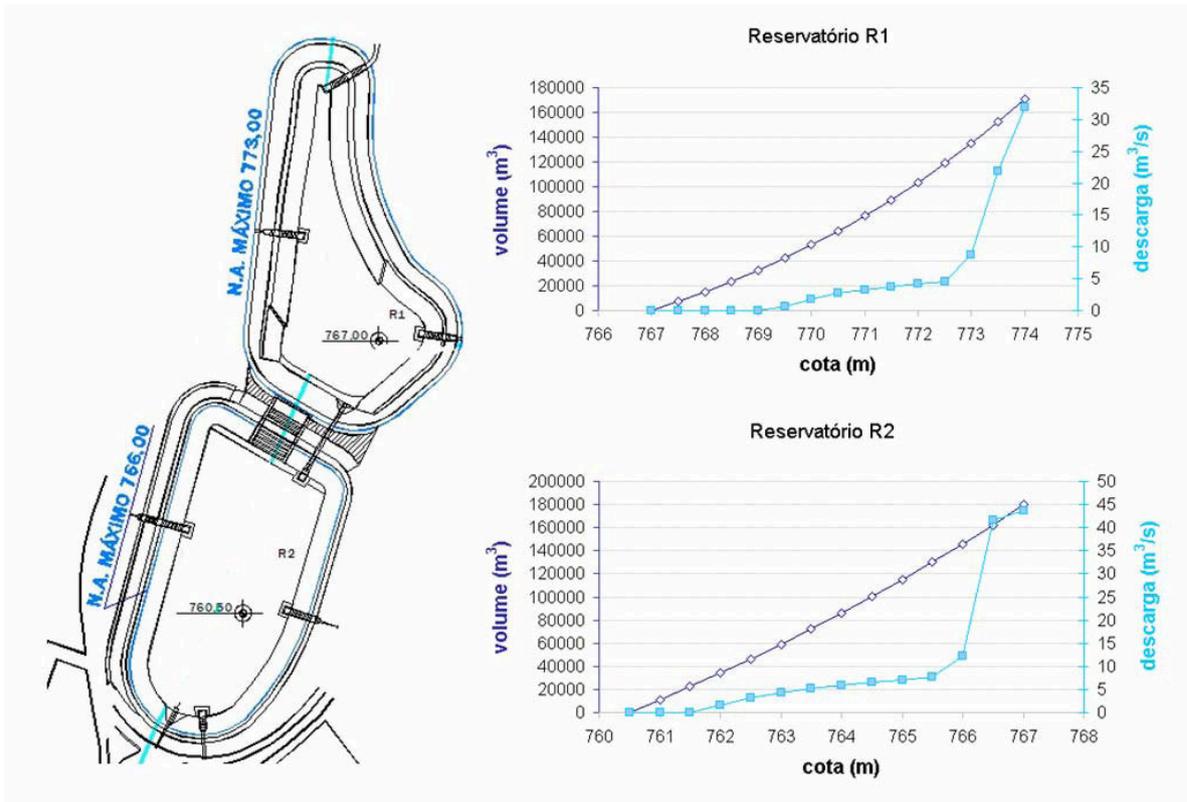


Figura 4.12: Reservatórios de detenção presentes na sub-bacia que engloba a Área 1 e suas respectivas curvas cota-volume e cota-descarga, retiradas de Nascimento et al (2005).

Para aplicação do Método de Pulz, há a necessidade de se conhecer as curvas cota-volume e cota-descarga dos reservatórios. Também é necessário conhecer o hidrograma de entrada, o qual, no caso dessa pesquisa, foi obtido pela aplicação do Método Santa Bárbara na sub-bacia Leopoldino 1A. O Método é descrito pela equação seguinte (TOMAZ, 2002):

$$(I^t + I^{t+\Delta t}) + \left(2 \cdot \frac{S^t}{\Delta t} - Q^t\right) = \left(2 \cdot \frac{S^{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q^{t+\Delta t}\right) \quad (\text{Equação 4.9})$$

Na equação (4.9), I representa a vazão de entrada no reservatório imaginário, Q é a vazão de saída, S é o volume armazenado, Δt o passo de tempo e t indica o nível de tempo. Ainda na referida equação, os valores de I^t , $I^{t+\Delta t}$, Q^t , S^t são conhecidos no início de cada nível de tempo, sendo $S^{t+\Delta t}$ e $Q^{t+\Delta t}$ as incógnitas do problema. Todavia, a relação entre Q e S pode ser obtida a partir das curvas cota-volume e cota-descarga, permitindo a estimativa da vazão $Q^{t+\Delta t}$, que constitui o hidrograma de saída almejado. O procedimento iterativo do Método de Pulz pode ser resumido como:

- 1) A partir de um passo de tempo Δt pré-fixado e das curvas cota-volume e cota-descarga, construir um gráfico que relacione as quantidades Q (nas ordenadas) e $\left(2 \cdot \frac{S}{\Delta t} + Q\right)$ (nas abscissas);
- 2) Cálculo do termo $[I^t + I^{t+\Delta t}]$ (vazões de entrada) a partir do Método Santa Bárbara, aplicado na sub-bacia Leopoldino 1A;
- 3) Cálculo do termo $\left(2 \cdot \frac{S^t}{\Delta t} - Q^t\right)$ a partir do nível de tempo prévio;
- 4) Uso da Equação 4.9 para cálculo do termo $\left(2 \cdot \frac{S^{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q^{t+\Delta t}\right)$;
- 5) Cálculo da vazão de saída $Q^{t+\Delta t}$ a partir da relação entre Q e $\left(2 \cdot \frac{S}{\Delta t} + Q\right)$, construída anteriormente;
- 6) Repetição dos procedimentos (2) a (5) até que as vazões de saída do reservatório sejam anuladas.

4.4.5.2.2 Equações de Saint-Venant

No presente trabalho, as equações de Saint-Venant foram utilizadas para propagar a vazão de saída, no canal que liga o reservatório R2 até o exutório da sub-bacia Leopoldino 1B. A soma dessa vazão propagada, com a vazão calculada pelo Santa Bárbara, na sub-bacia 1B, fornecerá o hidrograma resultante das sub-bacias Leopoldino 1A e 1B. A Figura 4.13 a seguir ilustra esse raciocínio.

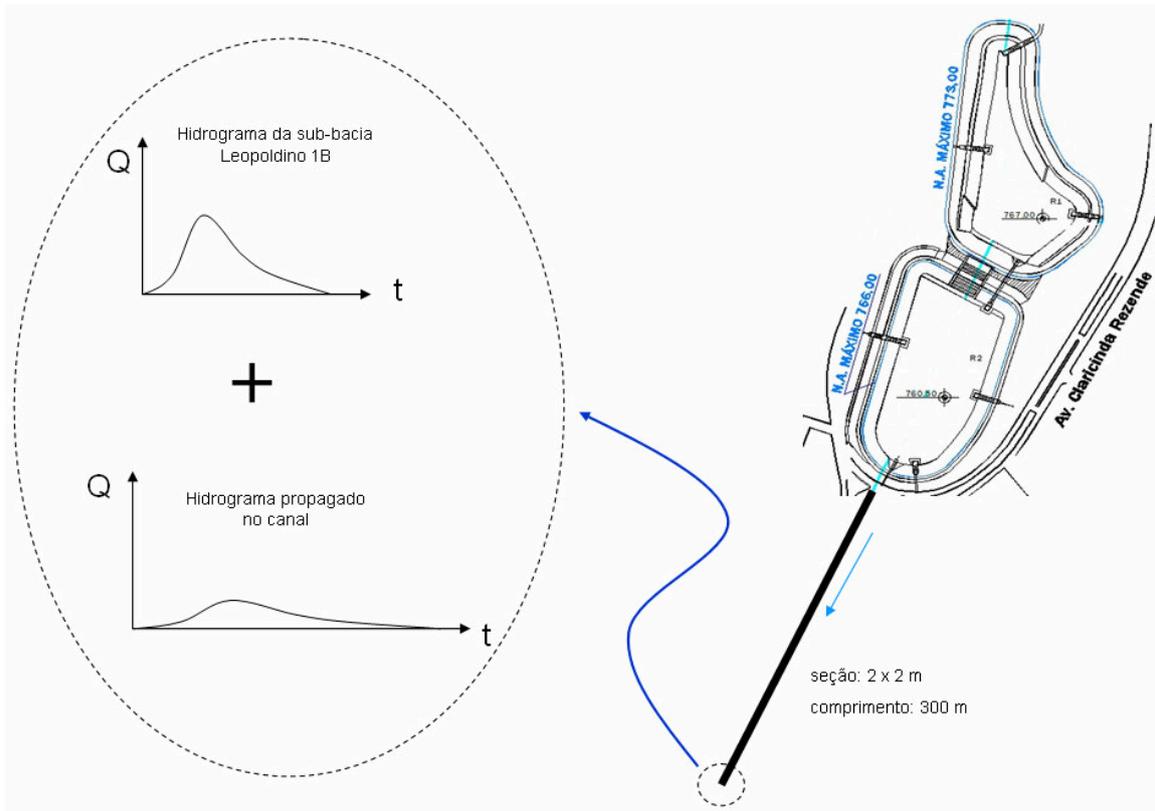


Figura 4.13: Obtenção do hidrograma resultante para a sub-bacia Leopoldino

Na avaliação da propagação de ondas de cheia em canais, as equações da continuidade e de quantidade de movimento são agrupadas, constituindo as chamadas equações de Saint-Venant, cuja representação matemática fornece (TOMAZ, 2002):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (\text{continuidade}) \text{ (Equação 4.10)}$$

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot \frac{\partial y}{\partial x} - g \cdot \frac{\partial Z}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (\text{quantidade de movimento}) \text{ (Equação 4.11)}$$

Nas equações de Saint-Venant, definem-se os seguintes termos:

- Q = vazão do curso de água [L^3T^{-1}];
- A = seção transversal do escoamento [L^2];
- x, t = posição longitudinal e tempo, constituindo as variáveis independentes do problema;

- g = aceleração da gravidade [LT^{-2}];
- y = altura da água ou profundidade do escoamento [L];
- Z = cota do fundo do canal [L];
- H = energia mecânica por unidade de peso de fluido [L].

O resultado final das equações de Saint-Venant fornece a distribuição de vazão e a profundidade do escoamento ao longo do tempo e do espaço. Neste trabalho, a variável de interesse é a vazão no final do canal. Para o cálculo da energia mecânica da água, são levadas em conta as energias potencial, de pressão e cinética (todas por unidade de peso de fluido) de forma que:

$$H = Z + y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Equação 4.12})$$

Na equação (4.12), o termo V representa a velocidade média na seção transversal de escoamento, a qual pode ser calculada pela forma integral da equação integral da continuidade, ou seja, como $V = Q/A$.

As equações de Saint-Venant constituem um sistema de duas equações diferenciais parciais. A solução analítica dessas equações somente é possível para situações extremamente simplificadas, as quais inevitavelmente se distanciam da realidade. Vale lembrar que a natureza não é simples. Nesse contexto, outra abordagem é dada para o tratamento de equações diferenciais parciais: a solução numérica. Com o uso de esquemas numéricos, os termos infinitesimais são transformados em diferenças ou intervalos muito pequenos, porém finitos. Essa aproximação transforma a equação diferencial numa equação algébrica, de forma que suas variáveis (vazão e profundidade do canal, nesse caso) conseguem ser explicitadas. O esquema explícito em diferenças finitas de Mc Cormack foi utilizado, nesta pesquisa, para a solução numérica das equações de Saint-Venant.

O esquema de Mc Cormack consiste de um procedimento explícito de primeira ordem. De uma maneira geral, os esquemas numéricos dividem o domínio de escoamento em intervalos finitos de dimensão Δx . Nesse sentido, todas as equações devem ser resolvidas

para cada um desses intervalos, de forma que o agrupamento das várias soluções produz a distribuição de vazão e profundidade no curso de água analisado. De acordo com a maior parte dos arranjos explícitos, o esquema de Mc Cormack divide a solução em dois passos: o preditor e o corretor. No passo preditor, as equações de Saint Venant são resolvidas por um esquema espacial de diferenças progressivas, enquanto que o passo corretor resolve as mesmas equações por um esquema de diferenças regressivas. Depois disto, uma etapa média produz as variáveis atualizadas. A seguir, descrevem-se as equações de Saint Venant discretizadas de acordo com o esse esquema numérico:

- **Etapa preditora (progressiva):**

$$A_j^* = A_j^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (Q_{j+1}' - Q_j') \quad (\text{continuidade discretizada}) \quad (\text{Equação 4.13})$$

$$Q_j^* = Q_j' + g \cdot A_j^k \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \left[-(H_{j+1}' - H_j') + (Z_{j+1}' - Z_j') - (y_{j+1}' - y_j') \right] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \left[\frac{(Q_{j+1}')^2}{A_{j+1}} - \frac{(Q_j')^2}{A_j} \right]$$

(quantidade de movimento discretizada) (Equação 4.14)

- **Etapa corretora (regressiva):**

$$A_j^{**} = A_j^* - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (Q_j^* - Q_{j-1}^*) \quad (\text{continuidade discretizada}) \quad (\text{Equação 4.15})$$

$$Q_j^{**} = Q_j^* + g \cdot A_j^* \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \left[-(H_j^* - H_{j-1}^*) + (Z_j^* - Z_{j-1}^*) - (y_j^* - y_{j-1}^*) \right] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \left[\frac{(Q_j^*)^2}{A_j} - \frac{(Q_{j-1}^*)^2}{A_{j-1}} \right]$$

(quantidade de movimento discretizada) (Equação 4.16)

- **Etapa média (obtenção das variáveis atualizadas):**

$$A_j^{t+\Delta t} = \frac{A_j^{**} + A_j^t}{2} \quad (\text{Equação 4.17})$$

$$Q_j^{t+\Delta t} = \frac{Q_j^{**} + Q_j^t}{2} \quad (\text{Equação 4.18})$$

Após a obtenção dessas variáveis primitivas, pode-se, por exemplo, estimar as profundidades (y) e as velocidades do escoamento (V) por meio de relações de área e utilizando a equação integral da continuidade ($Q = V.A$). Todavia, salienta-se que o objetivo do esquema é calcular a vazão no final do canal, cuja distribuição temporal fornecerá o hidrograma das vazões provenientes da sub-bacia Leopoldino 1A, amortecidas nos dois reservatórios de detenção e também amortecidas no canal.

O esquema de Mc Cormack produz uma marcha temporal, cuja solução avança passo a passo no tempo. Tem-se aqui, um exemplo de esquema explícito. Dessa forma, não é só o espaço que deve ser discretizado, mas também o tempo. Nas aproximações explícitas, os incrementos de tempo não podem assumir qualquer valor indiscriminadamente, uma vez que isto pode instabilizar a solução numérica. Normalmente, os intervalos de tempo também são calculados via condições que realizam um controle do passo de tempo. Assim, os incrementos temporais devem ser atualizados a cada nível de tempo, de acordo com:

$$\Delta t = C_n \cdot \frac{\Delta x}{Q_j / (A_j) + \sqrt{9,81 \cdot y_j}} \quad (\text{Equação 4.19})$$

Na Equação (4.19), C_n é número de Courant, cujos valores adotados devem ser menores que 1. Note-se que, pela referida equação, o incremento temporal deve ser calculado para cada ponto discreto do domínio, ou seja, para cada nó do canal. Dessa forma, como os menores passos de tempo são, em geral, mais estáveis, adota-se o menor valor de Δt . Esse procedimento é dinâmico, uma vez que deve ser refeito para cada nível de tempo.

4.4.5.2.3 O programa de cálculo

Em suma, para geração do hidrograma da sub-bacia Leopoldino, cuja sub-divisão 1A engloba a área verde (Área 1) analisada, houve a necessidade de se aplicar os seguintes métodos:

- Santa Bárbara: geração do hidrograma de entrada no reservatório de retenção (hidrograma da sub-bacia Leopoldino 1A);
- Pulz: propagação de cheia nos reservatórios, cujo produto final foi a vazão de saída do reservatório R2;
- Mc Cormack: solução numérica das equações de Saint-Venant, cálculo do hidrograma de vazão propagada no canal;
- Santa Bárbara: geração do hidrograma da sub-bacia Leopoldino 1B.

Esses métodos foram devidamente inter-relacionados e implementados em linguagem VBA. A Figura 4.14 ilustra a tela principal do programa, construído especificamente para a sub-bacia Leopoldino.

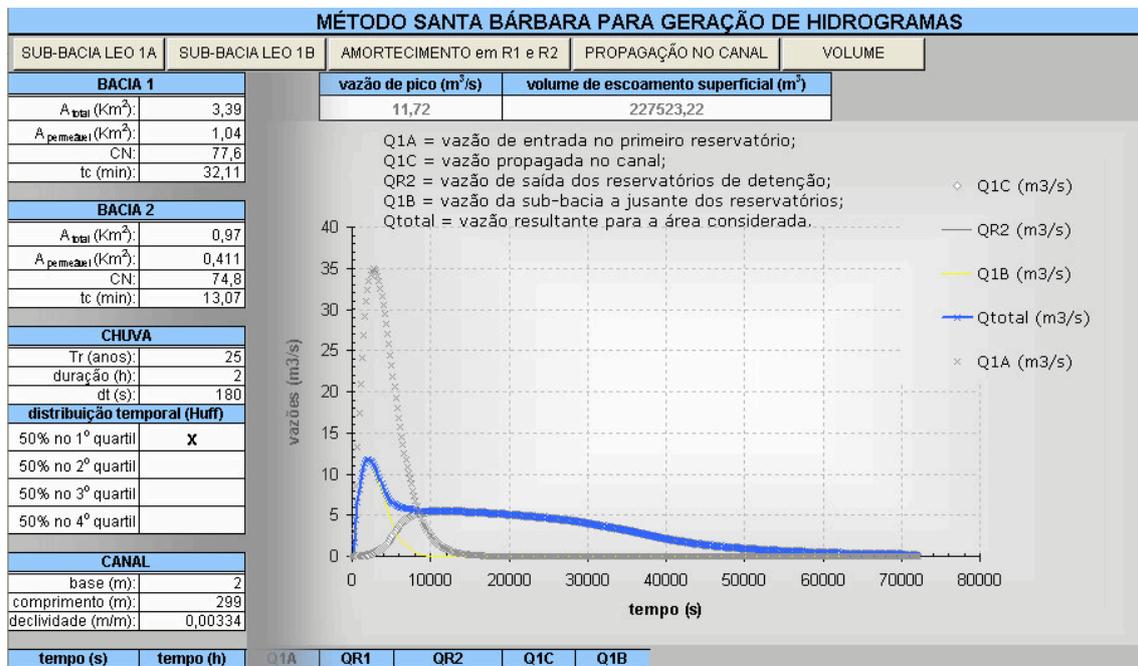


Figura 4.14: Programa para geração de hidrogramas de cheia na sub-bacia Leopoldino 1

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MAPEAMENTO E ÍNDICES

Neste item são apresentados os resultados dos índices ambientais para a bacia do córrego das Lajes. A Figura 5.1 ilustra a distribuição dos espaços livres públicos (diferenciando as áreas verdes) da bacia do córrego das Lajes.

Analisando a Figura 5.1 é possível observar que, na bacia do córrego das Lajes, existem regiões com menos áreas verdes e espaços livres públicos do que outras, principalmente as regiões mais centrais, como a sub-bacia do Centro e Santos Dumont. Essa má distribuição, segundo autores como Lorusso (1992), não corresponde a uma situação ideal, uma vez que privilegia determinados bairros.

Segundo Buccheri Filho e Nucci (2006) a grande confusão na conceituação de termos não impede a procura de possíveis índices para as diferentes formas do “verde urbano”. Os autores ainda destacam que faltam estudos suficientes para se designar os índices “ideais” para as cidades brasileiras, mas que isso não quer dizer que a quantificação deva ser desprezada já que a comparação entre índices de diferentes bairros da mesma cidade, ou entre bairros de cidades diferentes, mas com as mesmas características, é perfeitamente possível, desde que se utilizem métodos e técnicas semelhantes. Justamente por isto, buscou-se comparar os resultados com os estudos que utilizaram à mesma metodologia, ou que fossem passíveis de comparação.

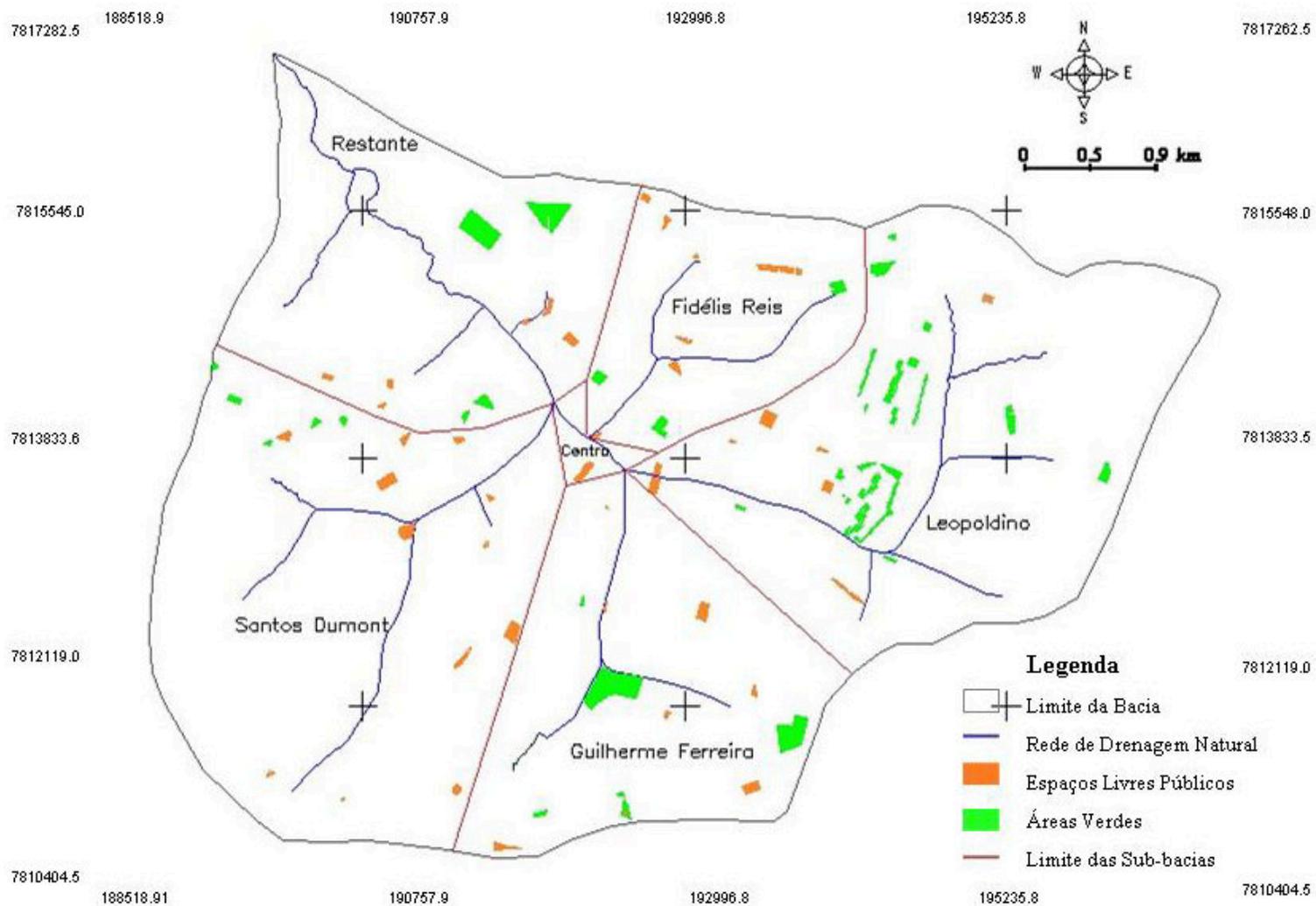


Figura 5.1: Distribuição dos espaços livres públicos na bacia do córrego das Lajes

Sist. Cord : UTM Datum: SAD69 Escala: 1:50.000

Na bacia do córrego das Lajes, dos 382.325 m² de espaços livres públicos, 256.415 m² podem ser considerados como áreas verdes, o que representa 67,1% desses espaços. A população da bacia em estudo, obtida por extrapolação dos dados censitários, foi de 133.828 habitantes para o ano de 2007. O IEL encontrado foi de 2,9 m²/hab e PEL de 1,45%, sendo o IEL minimamente maior e o PEL minimamente menor que o encontrado por Buccheri Filho e Nucci (2006), com valores respectivamente de 2,23 m²/hab e 1,49%, no bairro Alto da XV, em Curitiba/PR. Nucci (2001) destaca as proposições de Llardent (1982) que recomenda para cidades de no máximo 500 mil habitantes, o índice de 50 m²/hab de sistemas de espaços livres, o que deixaria o índice encontrado na bacia do córrego das Lajes, muito distante do ideal.

O IAV encontrado para a bacia analisada foi de 1,9 m²/hab. Efetuando comparações com o estudo de Buccheri Filho e Nucci (2006) que utilizaram à mesma metodologia deste, o valor encontrado foi de 0,91 m²/hab em Curitiba. Nucci (2001) obteve para a cidade de São Paulo um índice de 2,9 m²/hab de áreas verdes públicas. Apesar do valor encontrado neste estudo ser maior que o encontrado por Buccheri Filho e Nucci (2006), este ainda está muito aquém do mínimo de 15 m²/hab sugerido pela SBAU (1996). Henke-Oliveira (2001) estimou um IAV de 14,9 m²/hab para a cidade de Luiz Antônio, no estado de São Paulo, sendo que esse diagnóstico favorável foi devido principalmente a um único parque com 7,24 ha.

Para a bacia do córrego das Lajes, o PAV foi de 0,97%. O PAV para Curitiba encontrado por Buccheri Filho e Nucci (2006) foi de 0,60%. Nucci (2001) conclui que 26,9 Km² dos 900 Km² de área urbanizada na cidade de São Paulo correspondem a áreas verdes públicas (praças e parques públicos). Dividindo esses valores encontra-se um PAV de 3% para a cidade de São Paulo. Henke-Oliveira (2001) encontrou PAV de 6,2% para a cidade de Luiz Antônio, e considerou que esse índice, junto com o índice de áreas verdes, descrevia uma cidade rica em áreas verdes públicas. Tomando-se por base esse valor, pode-se afirmar que o valor encontrado para a bacia do córrego das Lajes é baixo.

A Figura 5.2 mostra a distribuição da cobertura arbórea na bacia em estudo. Encontrou-se um ICV arbórea de 0,9 m²/hab. Esse valor ainda é baixo, porém um pouco maior do que o ICV de 0,55 m²/hab encontrado por Harder, Ribeiro e Tavares (2006) para o município de Vinhedo, no estado de São Paulo. Vale destacar que, no cálculo desse índice, os autores

consideraram apenas as praças do município. Para melhor comparação, retirando-se as áreas verdes do cálculo desse índice, este tem uma redução de 33,33%, caindo para 0,3 m²/hab, o que o torna mais baixo que o encontrado para Vinhedo. O PCV arbórea encontrado para a bacia do córrego das Lajes foi de 0,005%, ou seja, apenas 0,12 Km² dos 26,38 Km² da bacia, se referem às copas de árvores, valor muito baixo, porém encontrou-se dificuldade em comparar esse dado com outras cidades brasileiras. Destes 0,12 Km², 0,088 Km² encontram-se nas áreas verdes, ou seja, 72,5% do total, mostrando o déficit de arborização nos espaços livres públicos (praças).

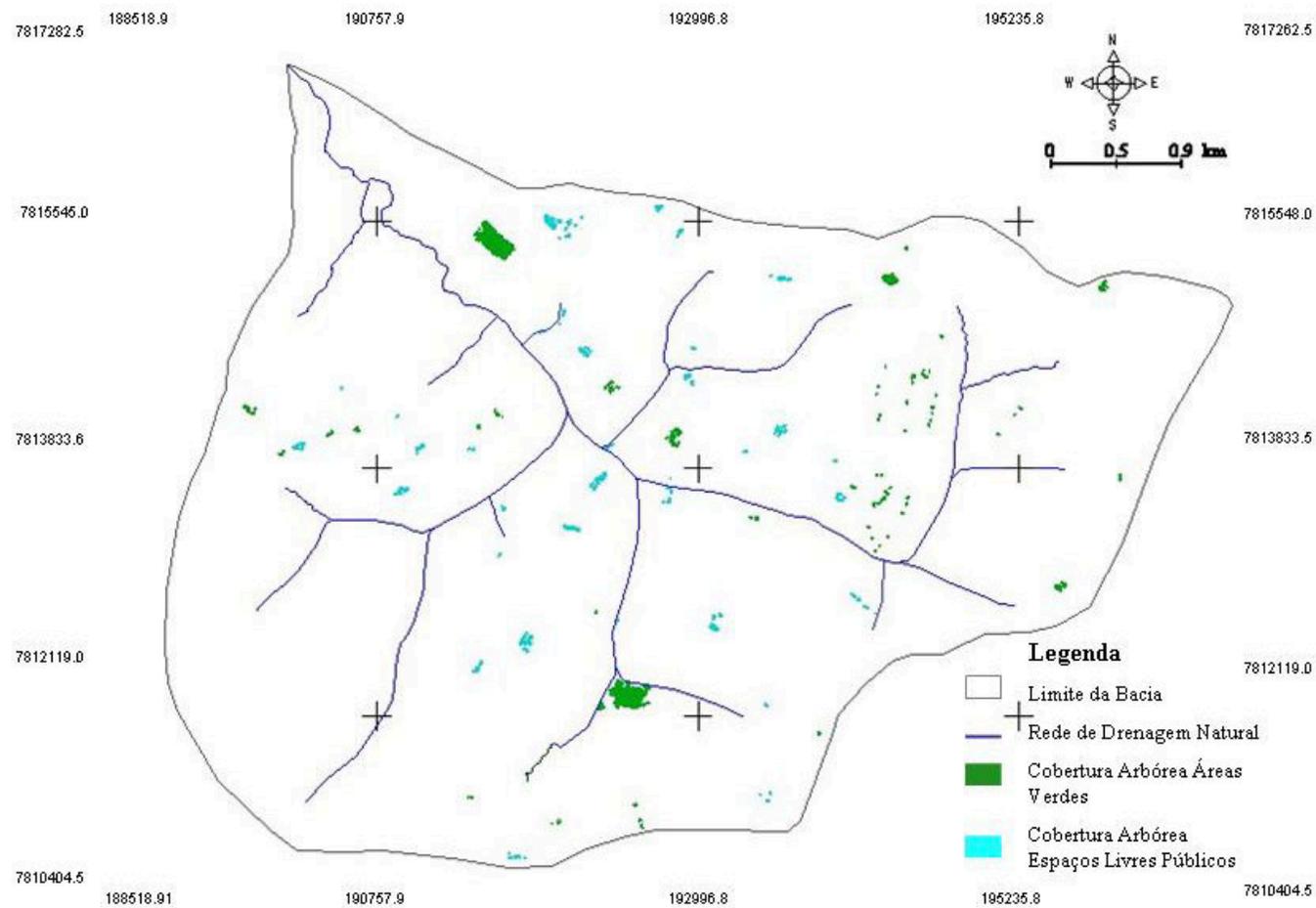


Figura 5.2: Cobertura arbórea na bacia do córrego das Lajes
 Sist. Cord.:UTM Datum: SAD69 Escala: 1:50.000

5.1.1 Propostas de ampliação

Neste item serão apresentados os valores dos indicadores (IAV, PAV, IEL, PEL, ICV, PCV) elevados por meio das propostas, resumidamente descritas a seguir, para melhor localização no texto:

Proposta 1: Inclusão de aos índices atuais de APP; áreas públicas (áreas que, no mapa de áreas verdes e áreas institucionais da Secretaria Municipal de Infra-Estrutura, estavam selecionadas como áreas verdes, mas que não foram utilizadas no cálculos dos índices atuais, já que essas áreas atualmente constituem terrenos vagos); reservatório de detenção (piscinão); sendo estas áreas citadas acima transformadas futuramente em AVDP e áreas verdes.

Proposta 2: Além das áreas incluídas na proposta 1, foram incluídos também os lotes sem construção, se estes forem futuramente desapropriados (não sendo de propriedade pública) e transformados em áreas verdes.

Apesar da busca de áreas para transformação em áreas verdes em todas as sub-bacias do córrego das Lajes, evitando assim um padrão de distribuição agregada, não foi totalmente possível, pois alguns setores mais centrais não dispunham de nenhuma área compatível com os critérios utilizados neste estudo. Os setores mais afetados foram os que já possuem déficit dessas áreas, devido à urbanização com elevado grau de impermeabilização.

A Figura 5.3 ilustra a localização das áreas possíveis de serem transformadas em áreas verdes, aumentando assim os índices calculados. A Figura 5.4 ilustra um possível cenário de como ficaria a situação da bacia, com as áreas verdes já existentes e a transformação das áreas possíveis de serem transformadas em áreas verdes, ou seja, o cenário da proposta 1. A Figura 5.5 ilustra uma possível situação futura da cobertura arbórea, segundo a proposta 1. Com a inclusão das áreas propostas, entre elas APP urbanas (mediante a criação de parques) houve um significativo aumento nos valores dos índices e percentuais, os quais estão relacionados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Comparação dos IAV, IEL, PAV, PEL, ICV, PCV atuais da bacia do Córrego das Lajes com os índices obtidos com a proposta 1 e 2 de ampliação das áreas verdes e espaços públicos.

	IAVm²/hab	PAV %	IELm²/hab	PEL%	ICV m²/hab	PCV %
Atual	1,9	0,97	2,9	1,45	0,9	0,005
Proposta 1	11,6	5,9	12,6	6,4	3,2	0,02
Proposta 2	33,5	17	34,4	17,5	-	-

Os valores encontrados mostraram que a proposta 1 de implantação de novas áreas verdes foi satisfatório, representando uma real melhoria na situação atual. Com essa proposta de ampliação todos os índices sofreram aumentos significativos. Destaca-se que as áreas verdes atuais equivalem á 5,9 % do total de áreas permeáveis da bacia. Com a proposta, essa porcentagem subiria para 35,7%, ou seja, ampliaria para 1557.507 m² de áreas verdes. Apesar disso, o IAV de 11,6 m²/hab ainda não chegaria ao mínimo recomendado pela SBAU (15 m²/hab) e o IEL de 12,5 m²/hab ressalta que a proposta ainda está muito longe dos 50 m²/hab propostos por Llardent (1982) apud Nucci (2001).

O valor de 5,9% encontrado para o PAV, é apenas 0,5% menor que os 6,4% encontrados no estudo de Henke-Oliveira (2001), o qual indica uma cidade rica em áreas verdes públicas, demonstrando a eficiência da proposta 1.

Deve-se destacar que para atingir esses valores na bacia do córrego das Lajes, foi incluída uma área privada de APP com 1,64 ha, localizada na Av.Guilherme Ferreira (Sub-bacia Guilherme Ferreira), considerando-se que esta deva ser desapropriada. Levando em consideração essa idéia, a Tabela 5.1 apresenta os resultados da proposta 2. Se todos os lotes (maiores que 50 m² e sem construção) da bacia do córrego das Lajes, o que equivale a 2.922.680 m², se transformassem em áreas verdes, o IAV subiria para 33,5 m²/hab, sendo 123,33% maior que o mínimo estabelecido pela SBAU. Somando-se o valor dos lotes particulares citado acima, com os 1.683.418 m² de Espaços Livres Públicos da proposta anterior, o IEL seria de 34,4 m²/hab, 31,2% inferior ao valor mínimo proposto por Llardent (1982) apud Nucci (2001).

Os valores de PAV e PEL seriam, respectivamente, 17% e 17,5%, valores bem maiores que os encontrados nos estudos de Henke-Oliveira (2001) e Buccheri Filho e Nucci (2006).

Ressalta-se também que estes valores são quase o dobro dos valores encontrados na proposta 1, e se o PAV da proposta 1 já trazia um valor que denota uma cidade rica em áreas verdes públicas, a proposta 2 se apresenta bastante adequada neste sentido, superando com folga este percentual. Os valores de ICV e PCV, não foram calculados para a proposta 2, pois seria necessário mapear toda a cobertura arbórea da cidade (exceto a arborização viária), o que demandaria muito tempo, e este não é o alvo principal deste estudo. Porém, é sabido que como os outros índices, este também teria um aumento considerável. Sendo assim, deixa-se esta idéia como sugestão para estudos posteriores.

A Figura 5.6 ilustra o cenário de como ficaria a situação da bacia, se a proposta de desapropriação dos lotes (proposta 2), com as áreas verdes já existentes e a transformação das áreas possíveis de serem transformadas em áreas verdes fosse implantada. Ressalta-se, que apesar de ter coberto áreas que com a proposta anterior (proposta 1) continuam em déficit de áreas verdes, essa proposta, como a anterior, manteve um padrão de distribuição agregada, por exemplo a sub-bacia Centro, continuou não dispondo de nenhuma área compatível com os critérios utilizados nesta nova proposta.

Enfatiza-se que o fato de estas áreas serem contínuas é benéfico ecologicamente, pois estas áreas verdes deixam de ser seguimentos isolados, aumentando seu grau de conectividade e contribuindo para a troca gênica. Douglas (1983) afirma que em áreas urbanas, a contínua fragmentação dos habitats naturais, os distúrbios e aumento do isolamento dos indivíduos em “habitats de ilhas”, têm causado uma geral redução na riqueza de espécies: espécies mais sensíveis são expulsas pelas agressivas que conseguem sobreviver em condições mais perturbadas. Ainda seguindo a vertente acima, outras áreas privadas e públicas, com condições de se transformarem em áreas verdes, devem ser futuramente mapeadas e adquiridas pelo poder público para que haja o aumento considerável nesses índices.

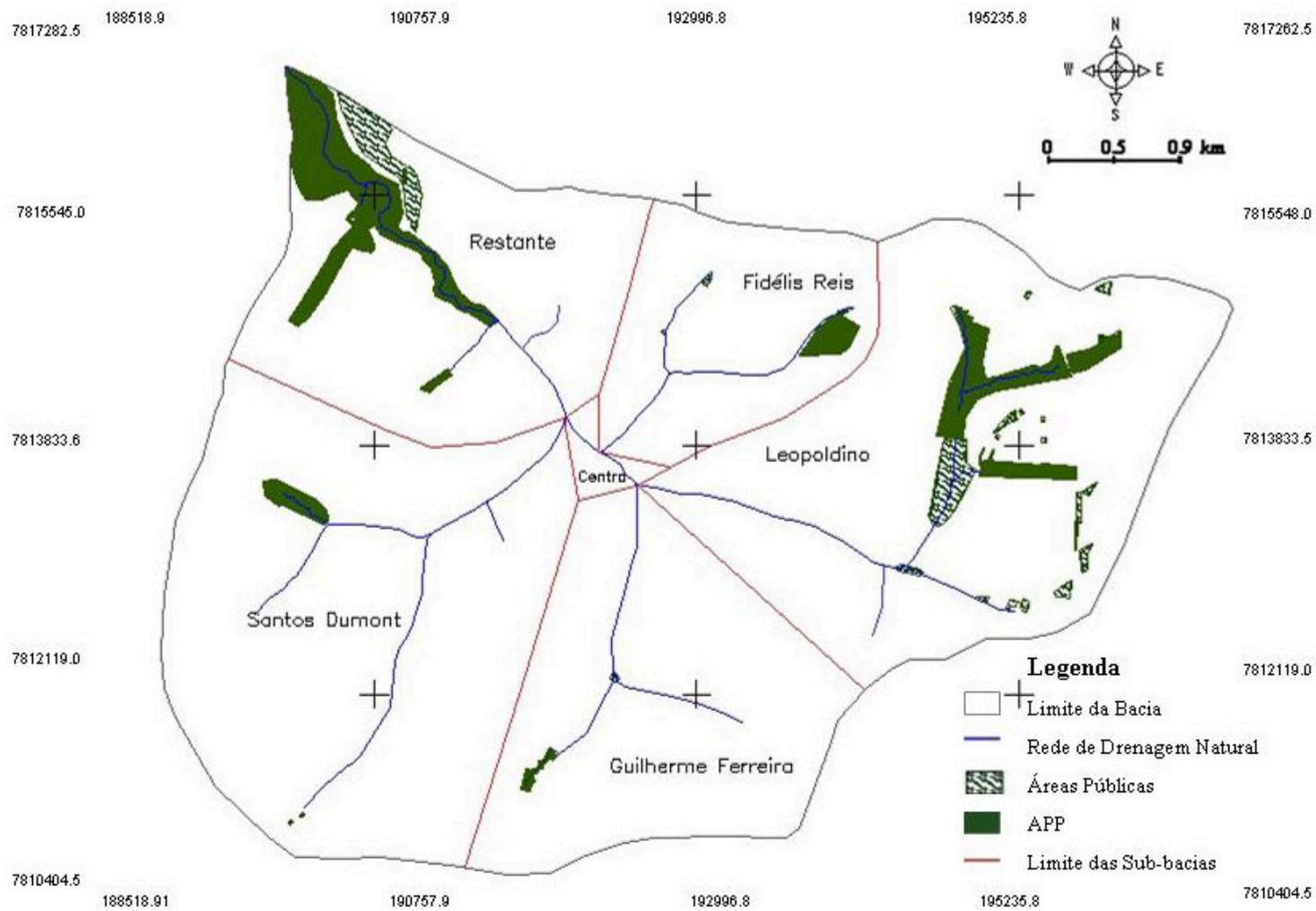


Figura 5.3: Localização das áreas possíveis de serem transformadas em áreas verdes de acordo com a proposta 1.

Sist. Cord.: UTM Datum: SAD69 Escala: 1:50.000

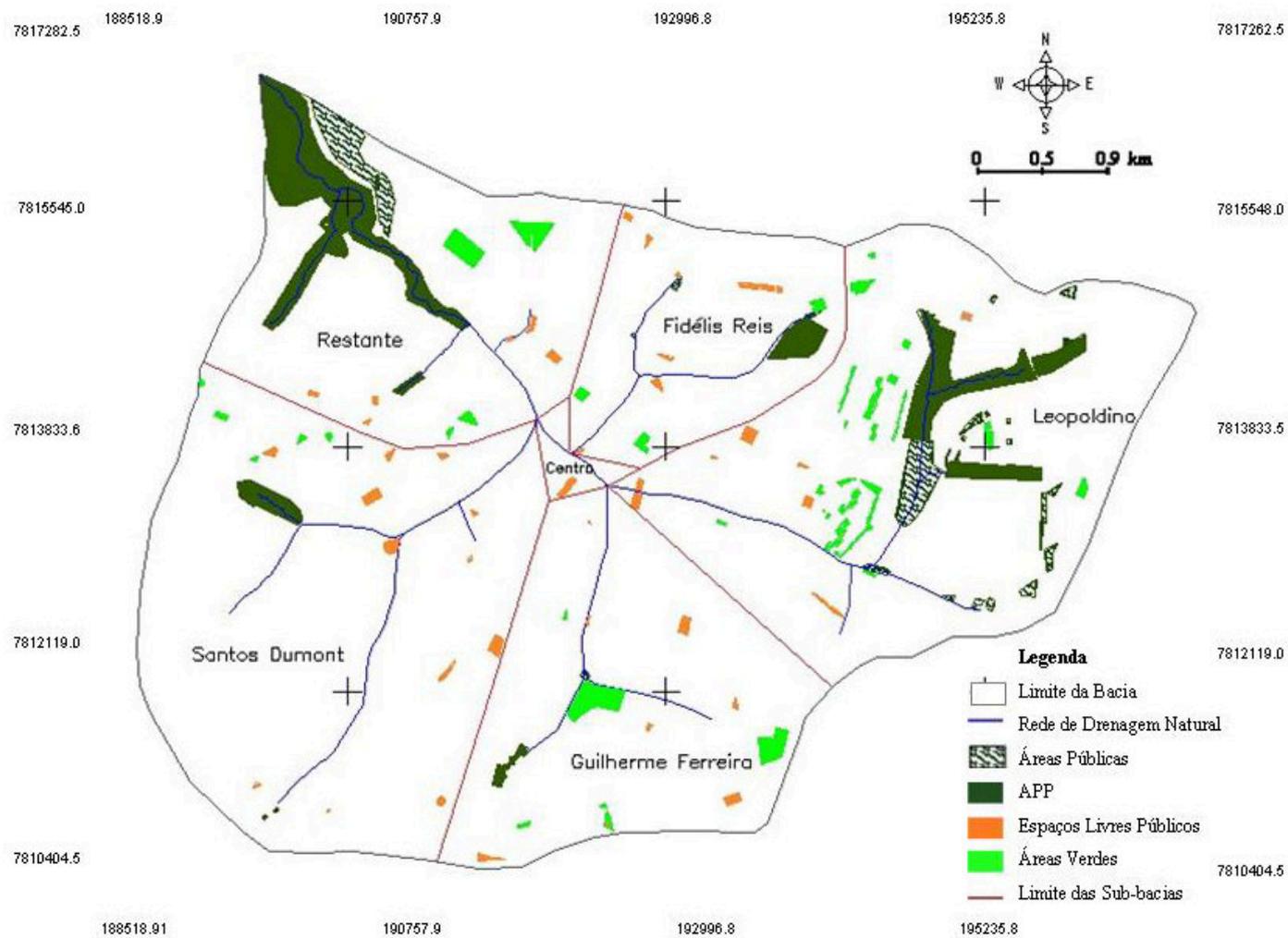


Figura 5.4: Espaços Livres Públicos Atuais e Áreas passíveis de transformação em Áreas Verdes na bacia do córrego das Lajes, proposta 1
Sist. Cord.: UTM Datum:SAD69 Escala: 1:50.000

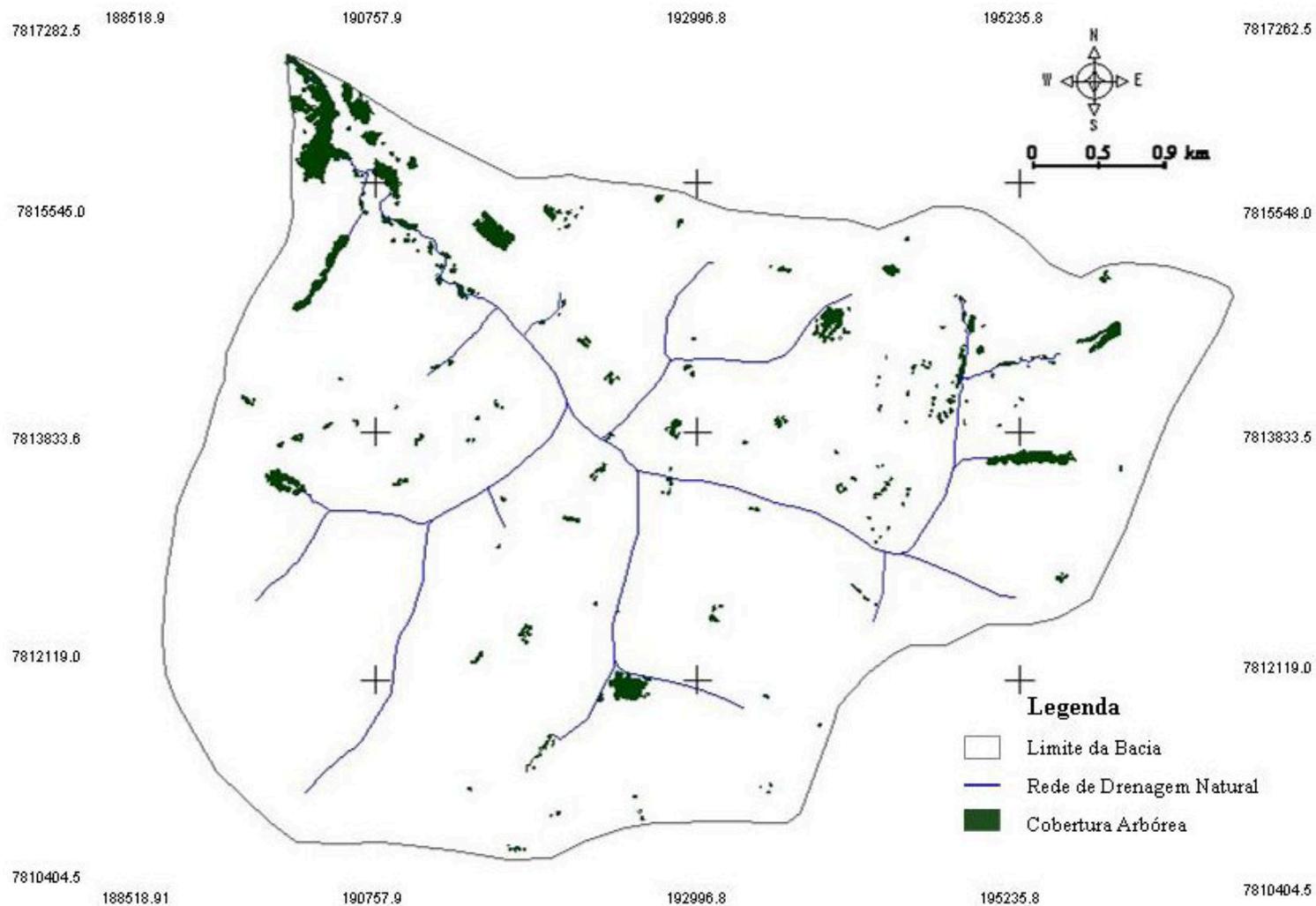


Figura 5.5: Distribuição da Cobertura Arbórea nos Espaços Livres Públicos futuros da bacia do córrego das Lajes, proposta 1.

Sist. Cord.: UTM Datum:SAD69 Escala: 1:50.000

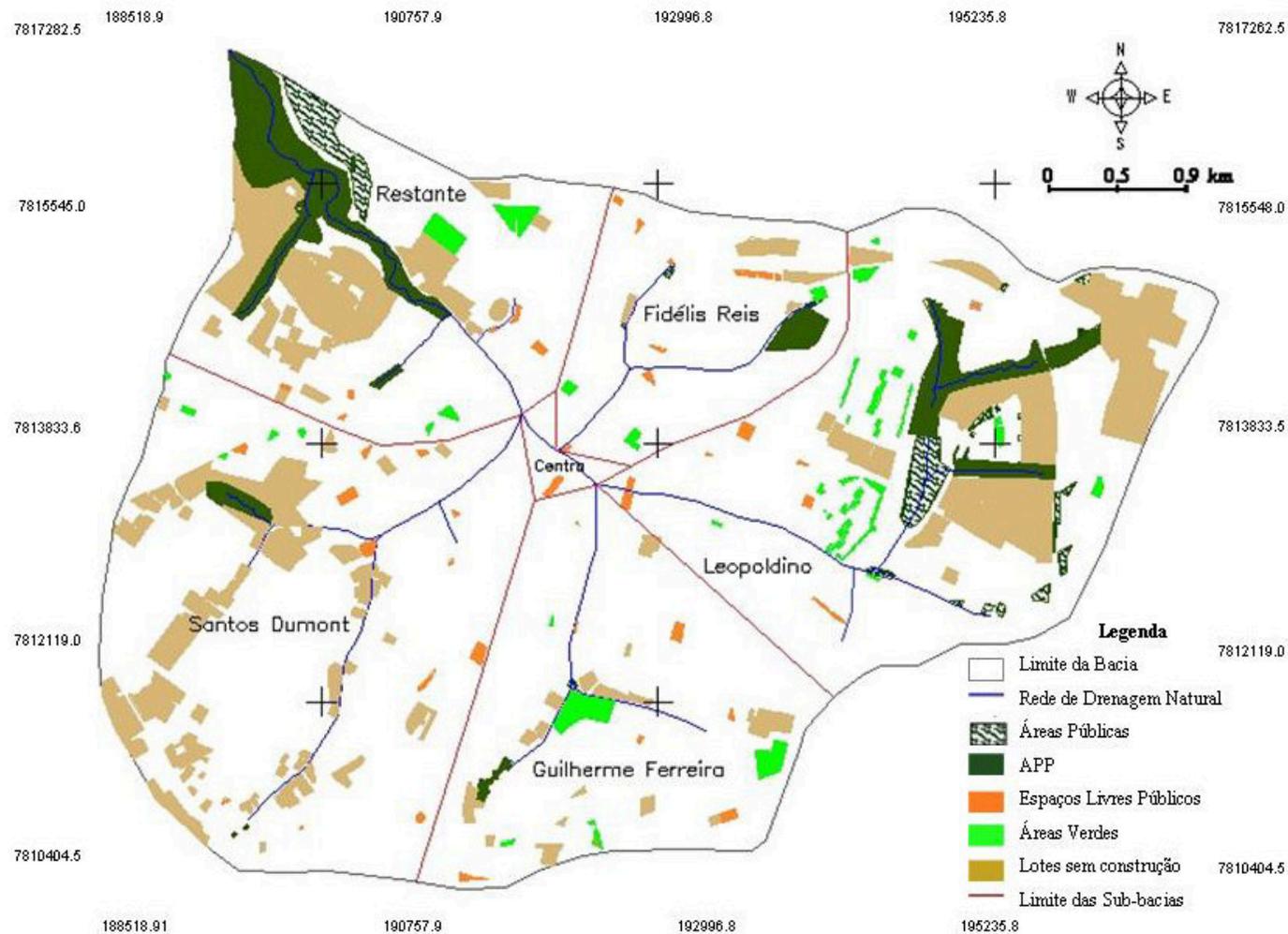


Figura 5.6: Lotes sem construção, Espaços Livres Públicos Atuais e Áreas passíveis de transformação em Áreas Verdes na bacia do córrego das Lajes, proposta 2.

Sist. Cord.:UTM Datum:SAD69 Escala: 1:50.000

5.2 DIAGNÓSTICOS DAS APP

5.2.1 Área 1

O local de estudo situa-se acima do reservatório de retenção, no bairro Parque do Mirante, com uma área de 25,05 ha., possuindo coordenadas UTM 194812.5717; 7814767.7899 até 194794.6040; 7813893.9258, local onde se forma uma represa (Figura 5.7). A área de estudo é cortada pelo início do córrego das Lajes, e pelo curso de água denominado vertente 1.



Figura 5.7: Localização da APP a montante do reservatório de retenção.

Fonte: Google Earth

5.2.1.1 Solos

Verificou-se principalmente a presença de solos hidromórficos (Figura 5.8), através da presença de vegetação característica como taboa e plintossolos com afloramento de tapiocangas.. A Taboa (*Typha domingensis*) é uma planta aquática (hidrófita), típica de

brejos, manguezais, várzeas e outros espelhos de água. Campos *et al.* (2003) em estudo realizado em Viçosa, verificaram que solos encharcados ocorriam sob vegetação de taboa.

Durante a visita *in loco* observou-se que parte da área analisada sofreu uma grande queimada, verificada pelos vestígios do fogo na vegetação e no solo (Figura 5.9).



Figura 5.8: Solo encharcado depois de ação do fogo.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.9: Vestígios de queimada na vegetação.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.2 Esgotos

Os corpos de água da área de estudo (início do córrego das Lajes e sua vertente 1) não recebem diretamente o esgoto dos bairros no seu entorno, porém observou-se mau cheiro em alguns pontos, principalmente perto da represa, no final da área, indicando que os despejos atingem o corpo de água. Foram observados vários poços de visita, mostrando que perto do curso de água, passa uma rede de esgoto (Figura 5.10). Essa rede funciona como um interceptor que é indispensável para evitar que o esgoto chegue ao córrego. Ainda, caso as tubulações sejam paralelas ao córrego, o problema está na falta de manutenção delas, o que provoca vazamentos. A suspeita de aporte de esgoto no curso de água também se fundamenta porque esse corpo de água já sofreu anteriormente com o rompimento da tubulação da rede de esgoto do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU). Esse rompimento contaminou o curso de água que passa pelo local, causando mortandade de peixes, desequilíbrio ecológico nos ecossistemas presentes no local. Uma forma de se comprovar a presença atual de esgoto seria através de análises da água, que não foram executadas pois fogem do objetivo deste trabalho.

Seria preciso, para que esses incidentes não ocorressem mais, a devida manutenção para que não ocorram mais os vazamentos.



Figura 5.10: A/B Presença de PVs de esgoto na área analisada C- Destaque da tampa com a denominação Esgoto.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.3 Instabilidade das encostas

A vegetação tem um papel fundamental para a estabilidade das encostas, já que o sistema radicular das plantas proporciona uma malha protetora que aumenta significativamente a resistência ao cisalhamento e, em conjunto com outras propriedades da vegetação, favorece a uma eficiente proteção contra a ação das águas (PISANI, 2003).

Na área de estudo, os locais sem vegetação característica (mata ciliar ou veredas) ou com solo exposto apresentaram-se instáveis, com risco de desmoronamento (Figura 5.11A). Esse fator foi observado também nas margens com pisoteio do gado (Figura 5.12). O resultado direto é o assoreamento do curso de água, com acúmulo de sedimentos mais evidente nos pontos onde as encostas estão instáveis.

Durante a caminhada pelo curso de água principal (córrego das Lajes), observou-se a formação de um poço (Figura 5.11B), onde suas margens encontram-se instáveis devido à falta de vegetação característica. As margens da vertente 1 não possuem esse fator de degradação, já que se constitui de uma região de solos encharcados, e a vegetação está condizente com o local.

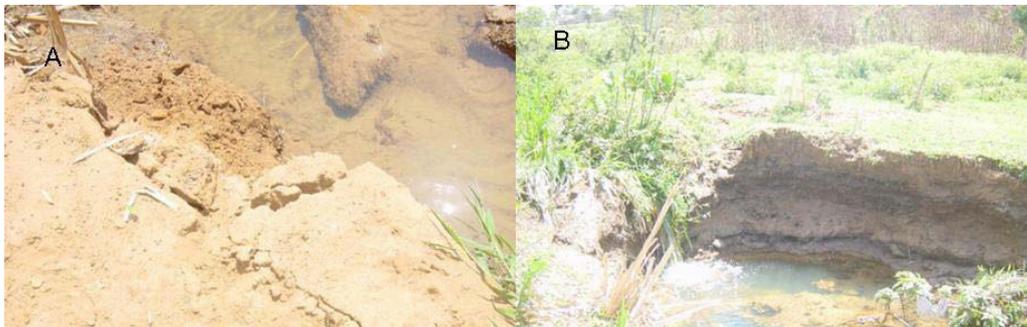


Figura 5.11: A- Solo exposto e margem instável B- Trecho erodido do córrego, formando uma espécie de poço. Margens instáveis devido à falta de vegetação característica

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.12: Instabilidade das margens devido ao pisoteio do gado e vegetação não característica está causando o assoreamento do curso de água.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.4 Erosão

Erosão é um processo de desagregação, transporte e deposição do solo causado pela ação da água e dos ventos. A erosão condiciona o carreamento de sedimentos para os corpos de água, alterando sua qualidade e provocando assoreamento. Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas. O aumento da vazão dos cursos de água, principalmente durante eventos de chuva, também acelera a erosão das margens e do leito. Uma das causas desse aumento de vazão é o escoamento superficial incrementado pela impermeabilização.

Segundo Henke-Oliveira (1996) a conservação do solo pela arborização ocorre fundamentalmente pela proteção física e estabilizadora das raízes, interceptação de gotas de chuva pela folhagem (impedindo a desestruturação física do horizonte superficial), enquanto a presença de matéria orgânica originária da cadeia de detritos promove condições estruturais adequadas ao solo, amenizando os problemas de erosão.

Na área analisada verificou-se a presença de diversos sulcos e ravinas de erosão, formados pela ação do escoamento superficial (Figura 5.13).



Figura 5.13: A seqüência de letras mostra o caminho percorrido pelas águas. A- ravina na área gramada; B- água empocada em pequena voçoroca ainda na parte gramada; C- ravina em área de declive, perto do maciço arbóreo; D- ravina no começo do maciço arbóreo; E- ravina dentro do maciço arbóreo; F- pequenas voçorocas formadas dentro da mata ciliar.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.5 Lixo e entulho

Em seu trabalho em São Carlos, Henke-Oliveira (1996) verificou que as margens da maioria dos córregos eram utilizadas, em muitos trechos, como área de despejo de rejeitos de construção civil. Durante o percurso pela área, observou-se que existem poucos pontos de deposição de lixo e entulhos. Apesar disso, a presença de entulhos concentrou-se em um único ponto de grande deposição (Figura 5.14B e Figura 5.14C). Nesse local foi constatado que a deposição de entulhos está soterrando a nascente do córrego das Lajes. Para maior surpresa, o entulho estava sendo depositado (Figura 5.14A) pela Prefeitura Municipal de Uberaba, para servir de base para a construção de uma rua, conforme processo no Ministério Público contra a Prefeitura, ganho pelos moradores do bairro. Apesar de ganho o processo, o entulho ainda não foi retirado do local, o que está causando o soterramento da nascente (Figura 5.15). Pouco antes dessa nascente, ainda no local de

estudo, existe um ponto de descarga das águas pluviais, onde não ocorreu a finalização dessa rede (Figura 5.16). Nesse ponto, observa-se grande deposição de lixo e entulho.



Figura 5.14: A- Caminhão depositando entulho; B- Ponto de grande acumulação de entulho; C- Visão aproximada deste.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.15: Nascente brotando em meio ao entulho.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.16: A- Galeria de águas pluviais não finalizada e depósito de entulho nas proximidades da nascente do córrego das Lajes B- Depósito de lixo na saída da galeria.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.6 Presença de animais

Foi constatada a presença de gado na faixa de APP, através da grande quantidade de fezes e marcas de pisoteio nas margens. Não foi possível, nas visitas de campo, a identificação de diversas espécies de aves na região. Todavia, a presença de vários pássaros pode ser constatada por simples audição. Na Figura 5.17 urubus (aves de rapina da família Cathartidae), lagartos e cágados. A presença de urubus indica a presença de lixo doméstico. Em conversas com os moradores no entorno, estes confirmaram que principalmente aos arredores da lagoa (represa), encontram-se capivaras, e entre as espécies de peixes, traíra e tilápia.

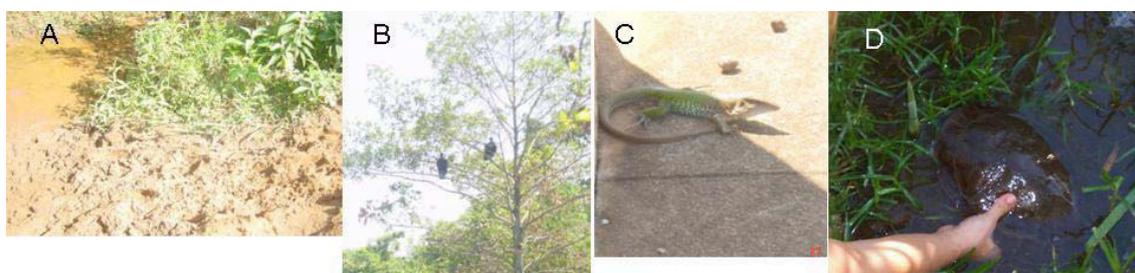


Figura 5.17: A- Margens pisoteadas por gado; B-Aves de rapina na área analisada; C- Lagarto; D- Cágados no poço apresentado na Figura 5.15.

Fonte: Fotos do autor

5.2.1.7 Vegetação

Foram raríssimos os trechos em que se observou mata ciliar, até mesmo vegetação arbórea. Na checagem de campo, observou-se que a margem esquerda da represa possui pouca vegetação arbórea e de veredas. Porém, na parte onde se encontrou vegetação arbórea, verificou-se que estas estão sofrendo com a derrubada, através de ações antrópicas (Figura 5.18 A e B). Identificou-se, na maioria das vezes, vegetação secundária, fato que constata fortes indícios da ação humana. Nas margens de toda a vertente I verificou-se a presença de vegetação de solo encharcado, veredas, principalmente Taboa (*Thypha dominguensis*), alguns exemplares de Embaúba (*Cecropia pachystachya*) e Taioba (*Calocasia antiquorum Schott*), ver (Figura 5.18C, Figura 5.18D, Figura 5.18E), seguido por grama e raríssimos pontos com vegetação arbórea. Em grande parte das margens do início do córrego das Lajes identificou-se total ausência de mata ciliar, apresentando o solo exposto ou a predominância de grama, conforme ilustra a Figura 5.19. Ao longo das margens do córrego das Lajes observou-se também grande quantidade de Taboa, planta considerada depuradora de águas poluídas, absorvendo metais pesados. Esse tipo de vegetação também foi encontrada na maioria dos pontos em que se observou solo encharcado, indicando que as

águas desses corpos de água podem estar poluídas. Como dito anteriormente, esse fato só pode ser comprovado através de análises de água. A Figura 5.20 apresenta o mapa dos tipos de cobertura vegetal encontrados na área.



Figura 5.18: A/B- Indícios de retirada de vegetação arbórea por ações antrópicas; C- Taboa; D- Taioba; E- Embaúba.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.19: Predominância de gramíneas nas margens do Córrego das Lajes.

Fonte: Fotos do autor

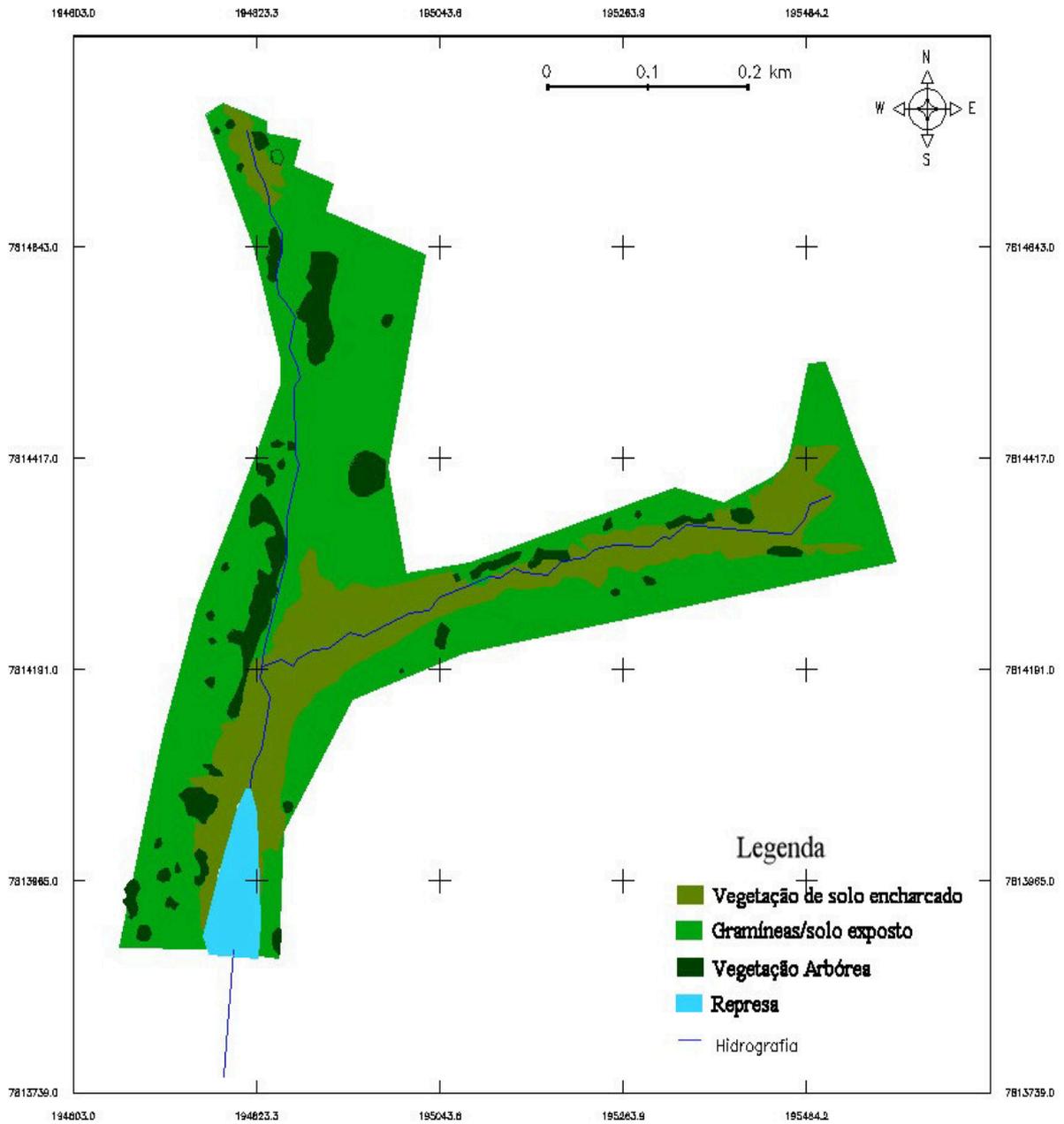


Figura 5.20: Mapa dos Tipos de Cobertura Vegetal da Área 1.

Sist. Cord.: UTM Datum: SAD69 Escala: 1:5.000

5.2.2 Área 2

O local de diagnóstico situa-se na futura área do Parque do Paço, entre as ruas Antônio Rios, João Aquino e Av. Pedro Salomão (Figura 5.21). De acordo com o projeto da Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba, o Parque do Paço terá uma área de 2 ha.

A região em estudo possui coordenadas UTM 190020.0338, 7813580.4445 até 190512.1529, 7813303.4184 ponto onde a vertente 3 (Figura 3.9) começa a ser canalizada.



Figura 5.21: Localização da área verde diagnosticada.

Modificada do Fotomosaico PMU 2003

5.2.2.1 Solos

Durante o diagnóstico verificou-se a presença de solos hidromórficos, latossolos e plintossolos com afloramento de tapiocangas (petroplintita), que indica a presença de plintita, caracterizando os plintissolos. Os solos hidromórficos ocorrem em áreas de confluência do relevo e apresentam vegetação característica de veredas. Esses solos ocorrem também margeando a vertente 3, em função dos depósitos de partículas finas oriunda das partes mais altas do relevo associadas à presença de água e alto teor de matéria

orgânica. Na Figura 5.22A observa-se o perfil do solo exposto em uma das voçorocas existentes, onde verificou-se uma espessura de 20 cm de latossolo superior ao solo hidromórfico. Na Figura 5.22B observa-se a gradação de solo silto arenoso para solo argiloso, devido às colorações diferentes à medida que se aproxima do curso de água.

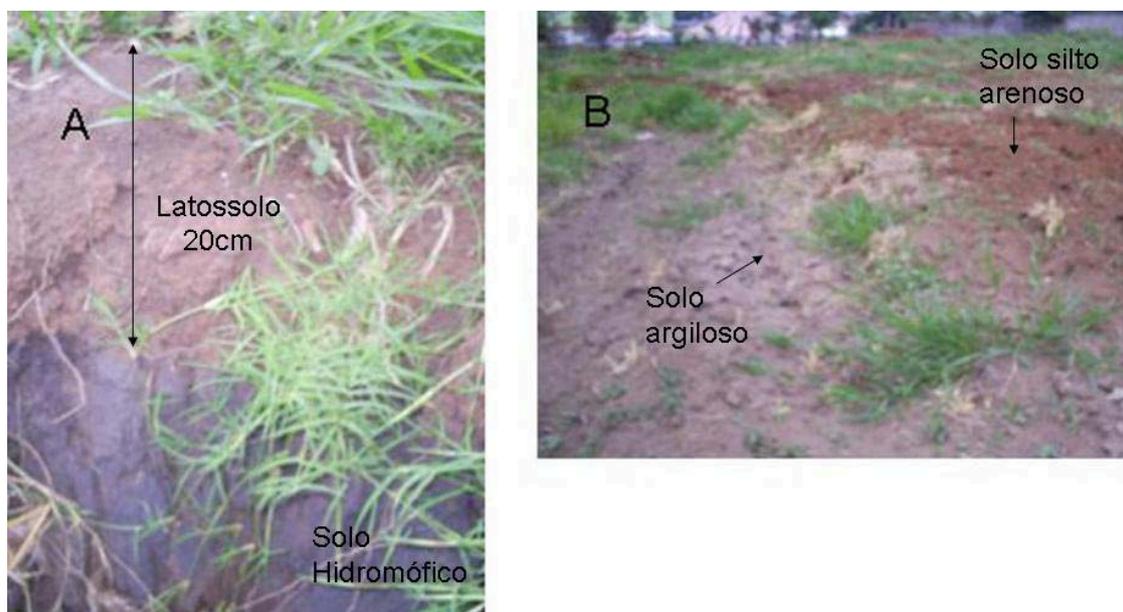


Figura 5.22: A- Perfil do solo exposto em voçoroca. Latossolo e solo hidromórfico B- Transição de solos superficiais.

Fonte: Fotos do autor

5.2.2.2 Esgotos

A vertente 3 não recebe diretamente o esgoto bruto da região circunvizinha, porém observou-se mau cheiro no decorrer da caminhada pelo curso de água, indicando a possível poluição por esgotos. A suspeita de aporte de esgoto no curso de água também se fundamenta pelo grande contato com águas pluviais, transportadas por manilhas que vão até perto da área de APP e adentram pela mata, causando erosões, até chegarem no curso principal. Como é de conhecimento, na maioria das redes pluviais infelizmente existem ligações clandestinas de esgoto e um dos fatores da presença deste no corpo de água pode ser devido a essas ligações. Uma forma de se comprovar a presença de esgoto seria através de análises da água do manancial.

5.2.2.3 Instabilidade das encostas

Verificou-se que grande parte das margens do corpo de água é instável, apresentando risco de desmoronamento (Figura 5.23).



Figura 5.23: Risco de desmoronamento em barrancos atingidos por erosões.

Fonte: Fotos do autor

As áreas mais preocupantes são aquelas atingidas pela descarga concentrada de águas pluviais (nas extremidades das manilhas citadas no sub-item anterior), ocasionando grandes erosões. As áreas sem vegetação característica (mata ciliar) também são responsáveis pela instabilidade dos barrancos, além do tipo do solo arenoso, encontrado na área. O curso de água encontra-se bastante assoreado, não somente pelo aporte de sedimentos transportados pelas águas pluviais, mas também pelo desmoronamento das margens instáveis (ver Figura 5.24). A Figura 5.25 mostra começo de fenômeno “piping” na margem direita. O fenômeno “piping” se constitui de uma erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando "tubos" vazios que provocam colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a voçoroca, criando novos ramos ou desmoronando as margens.

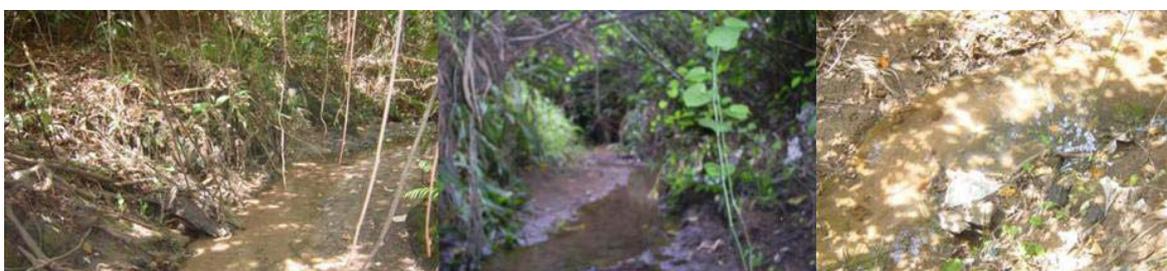


Figura 5.24: Corpo de água assoreado devido desmoronamento dos barrancos sem vegetação característica.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.25: Vazios (fenômeno “piping”) no solo que margeia o corpo de água.

Fonte: Fotos do autor

5.2.2.4 Erosão

Entre os fatores de degradação encontrados nesta área, o mais preocupante foi o número de erosões encontradas, onde os pontos mais graves estão apontados na Figura 5.28.

Nos trechos sem cobertura arbórea, ocupados por gramíneas ou com solo exposto, identificou-se a presença de diversos sulcos de erosão, formados pela ação das águas pluviais que não são inteiramente captadas pelo sistema de drenagem e escoam superficialmente no interior da área (Figura 5.26), ou pelas águas pluviais concentradas depois de saírem das canaletas do sistema de drenagem (Figura 5.27).



Figura 5.26: Erosão laminar devido às águas pluviais que não são inteiramente captadas pelo sistema de drenagem de águas pluviais.

Fonte: Fotos do Autor



Figura 5.27: Final da rede de drenagem e concentração das águas pluviais lançadas diretamente sobre o terreno.

Fonte: Fotos do Autor

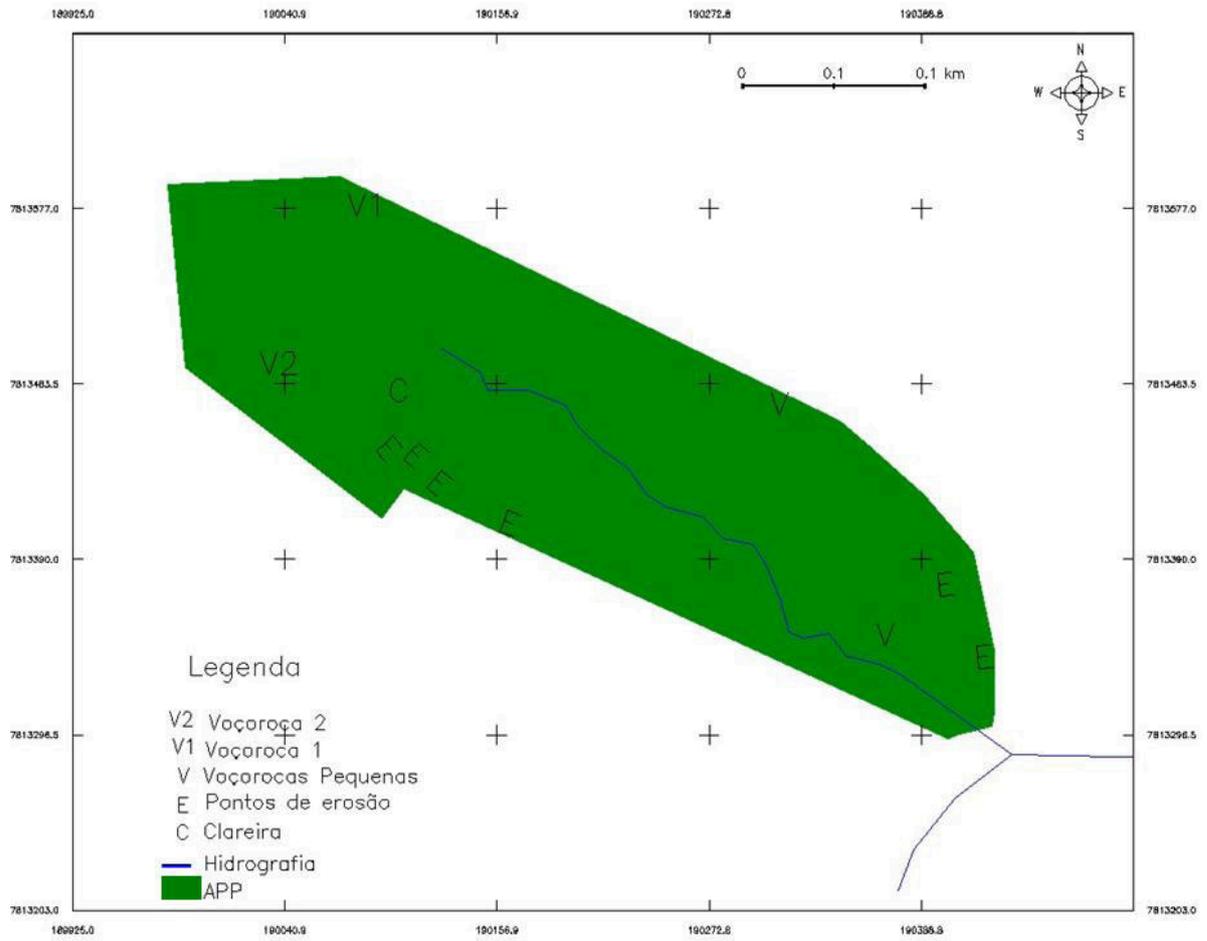


Figura 5.28: Pontos de erosão, voçorocas e clareira.

Sist. Cord.: UTM Datum: SAD69 Escala: 1:5.000

Na Figura 5.29 observa-se a presença de ravinas dentro da área arborizada, demonstrando que o escoamento superficial concentrado, associado à declividade do terreno em alguns setores está provocando grandes crateras dentro da mata (Figura 5.30), onde pode-se observar também grande quantidade de lixo.



Figura 5.29: A- Erosão em sulcos dentro do maciço florestal B- Fissuras, demonstrando fragilidade do solo e formação do processo erosivo.

Fonte: Fotos do Autor



Figura 5.30: Cratera sendo formada pela força das águas pluviais após sulco erosivo.

Fonte: Fotos do Autor

A Figura 5.31 e Figura 5.32 apresentam um caso especial, onde um ponto da rede de drenagem pluvial está sendo aumentado. A escavação está aumentando mais ainda a velocidade da água pluvial o que está acarretando sérios problemas à jusante. Atualmente, a obra é finalizada onde começa a mata. Nesses setores, durante eventos de chuva, a água faz um caminho de destruição. Na entrada da mata já se observam vegetações tombadas devido à força das águas e, poucos metros adiante, começam os problemas de erosão, onde

uma voçoroca está sendo pouco a pouco formada. Essa voçoroca está a cerca de 3 m de um olho d'água e 7 m do manancial.

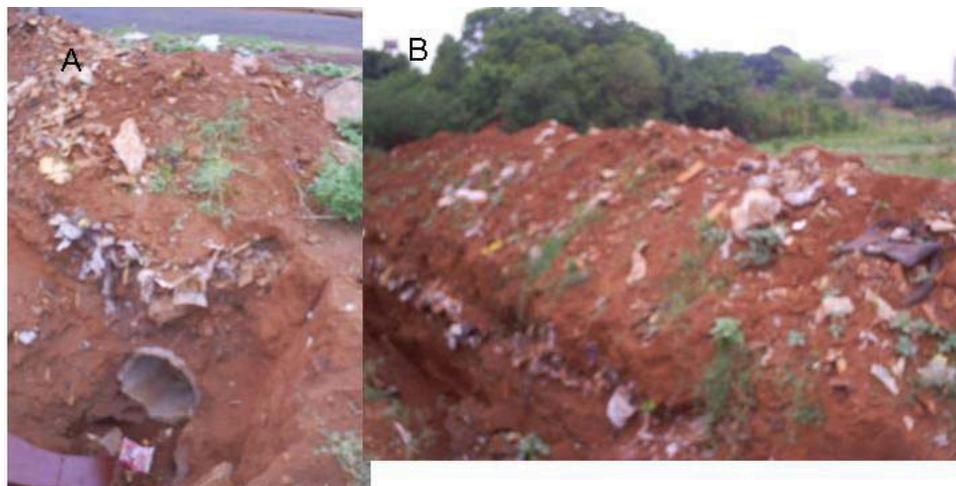


Figura 5.31: A- Final da rede de drenagem; B- Canaleta que está sendo aberta, provavelmente para aumentar o sistema de drenagem.

Fonte: Fotos do Autor



Figura 5.32: A- Visão à distância da canaleta; B- Voçoroca sendo formada pela força das águas da canaleta.

Fonte: Fotos do autor

As Figura 5.33 a 5.36 mostram situações ainda mais preocupantes na área: desenvolvimentos de voçorocas, que como já citado anteriormente é a feição mais avançada da erosão. Essas voçorocas maiores foram encontradas fora da mata, porém correndo para dentro desta e encontram-se especializadas na Figura 5.28. As voçorocas 1 e 2 foram provocadas pelo final da rede de drenagem não terminada. A voçoroca 1 possui ponto crítico com 8 m de profundidade e 27,85 m de largura. A voçoroca 2 possui ponto crítico com 2,1 m de profundidade e 3,8 m de largura. As outras voçorocas se encontram

perto do ponto onde inicia a canalização do corpo de água e acredita-se que a sua formação ocorreu devido principalmente ao tipo de solo e à falta de vegetação.



Figura 5.33: Visão da Voçoroca 1

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.34: A- Final da rede de drenagem, B- Manilhas soltas dentro da voçoroca e água pluvial parada

Fonte: Fotos do autor

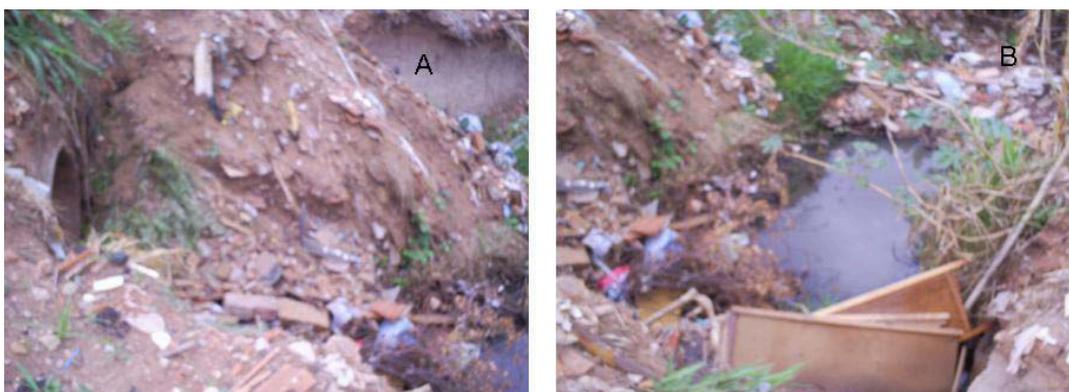


Figura 5.35: A- Final da rede de drenagem e voçoroca formada da margem esquerda B- Água pluvial parada e lixo na voçoroca formada por rede de drenagem inacabada.

Fonte: Fotos do autor

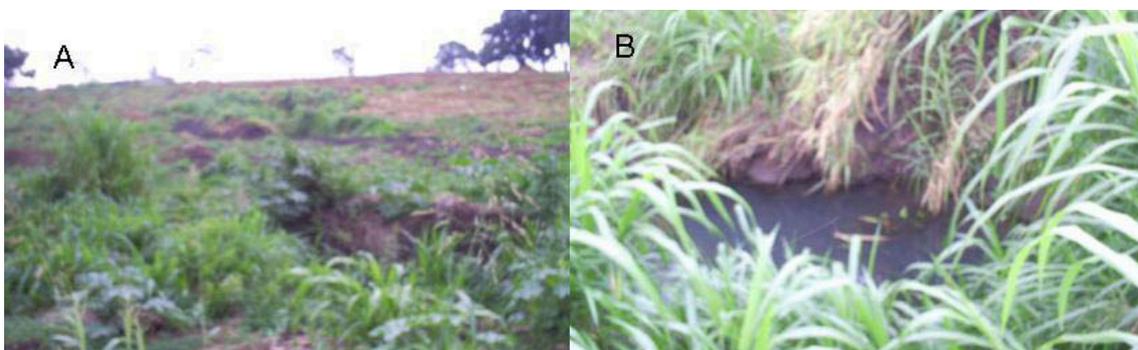


Figura 5.36: Voçoroca lado direito formada devido à falta de vegetação B- Água pluvial dentro da voçoroca

Fonte: Fotos do autor

5.2.2.5 Lixo e Entulho

A maioria dos resíduos encontrados na área encontrava-se dentro das voçorocas, porém em grande quantidade, desde materiais de construção até mobiliário e lixo orgânico. Como as voçorocas em que se encontram os resíduos vão de encontro à vertente 3, os resíduos sólidos são carregados para dentro da mata e do corpo de água. Essa situação é ilustrada pela Figura 5.37.



Figura 5.37: Mosaico mostrando lixo e entulho dentro das voçorocas.

Fonte: Fotos do autor

5.2.2.6 Presença de animais

Foi constatada a presença de animais de criação (cavalos, cabras) na faixa de APP (Figura 5.38). Os donos têm utilizado a vegetação rasteira para alimentação dos animais. Da mesma forma que na Área 1, descrita no item anterior, não foi possível, nas visitas de campo, a identificação de espécies específicas de aves. Apesar disso constatou-se, pela audição, a presença de vários pássaros, não sendo possível o registro fotográfico.



Figura 5.38: Animais de criação dentro da área de APP

Fonte: Fotos do autor

5.2.2.7 Vegetação

Conforme pode ser observado no mapa dos tipos de vegetação da área (Figura 5.39), somente parte da área analisada possui vegetação arbórea, porém, nas visitas a campo, verificou-se que esse maciço florestal é constituído em sua maioria de vegetação secundária. Foram raríssimos os pontos em que se observou vegetação de galeria.

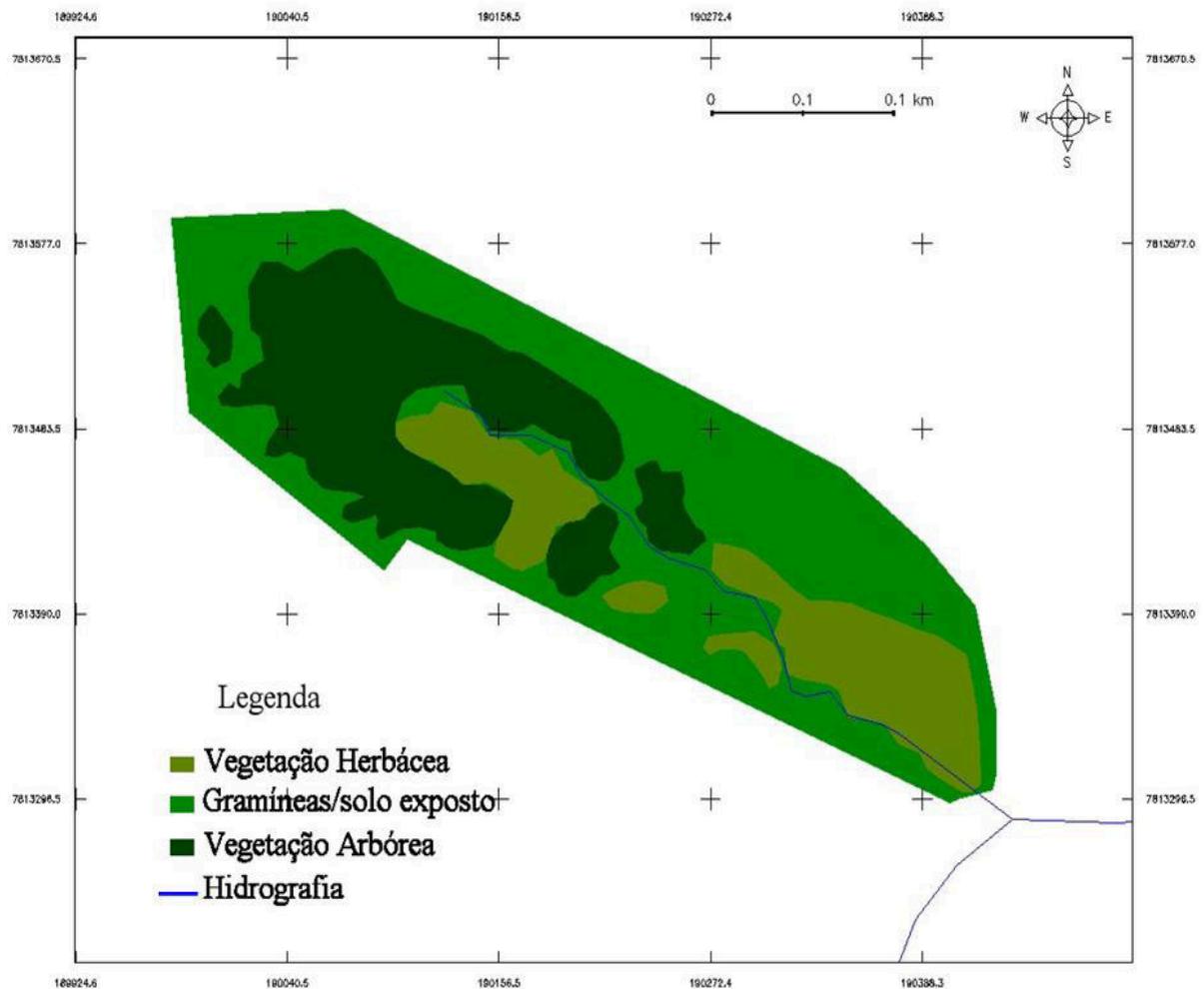


Figura 5.39: Tipos de vegetação da área.

Sist. Cord.: UTM Datum: SAD69 Escala: 1:5.000

Em grande parte das margens, no trecho final do curso de água que drena a área, identificou-se total ausência de vegetação, apresentando solo exposto ou a predominância de grama e vegetação herbácea, o que atua como um fator potencial para as erosões. Esse aspecto é ilustrado pela Figura 5.40.



Figura 5.40: Margens do corpo de água (vertente 3). Ausência de vegetação ciliar original.

Fonte: Fotos do autor

Verificou-se uma clareira ainda na parte de vegetação arbórea (Figura 5.41), com indícios de queimadas e árvores tombadas. A Figura 5.28 ilustra a localização da referida clareira na Área 2.



Figura 5.41: Clareira na vegetação arbórea

Fonte: Fotos do autor

5.2.3 Área 3

O local de diagnóstico situa-se dentro da futura área do Parque da Cidade (Figura 5.42). De acordo com o projeto da Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba, o Parque da Cidade terá uma área de 138 ha. A área em estudo neste trabalho (Figura 5.43), no trecho final do córrego das Lajes possui 51,52 ha. Nessa área, o córrego das Lajes volta à calha natural, após percorrer toda região central de Uberaba com seção artificial, fechada e com seu curso retificado.

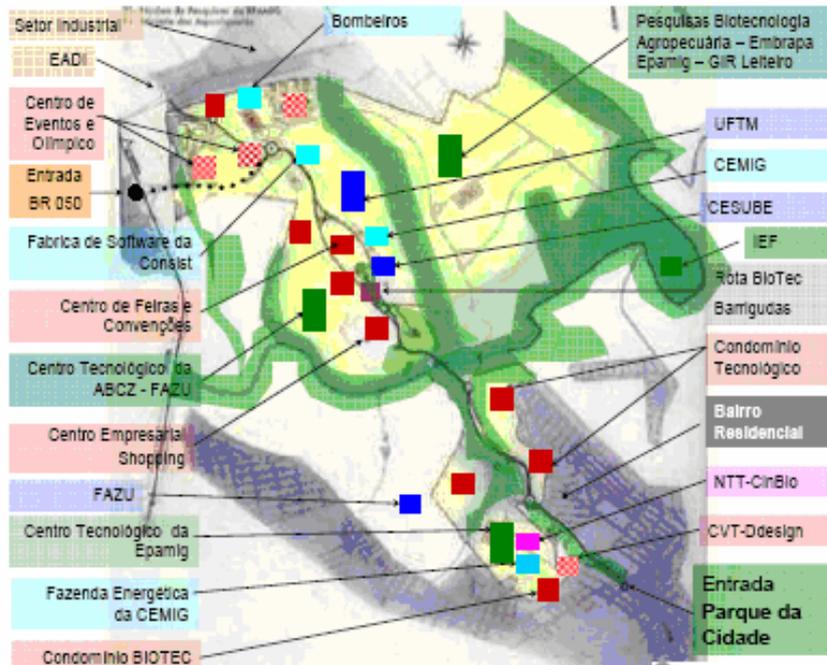


Figura 5.42: Localização do Parque da Cidade.

Fonte: Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba 2007



Figura 5.43: Fotografia aérea da área verde localizada no final do Córrego das Lajes.

Modificada: Fotomosaico PMU-2003

5.2.3.1 Geologia e Solos

Quanto à geologia do local observou-se que a calha do córrego é formada de basalto característico da formação Serra Geral. Esse aspecto é ilustrado pela Figura 5.44.



Figura 5.44: Calha natural do córrego das Lajes em seu trecho final. Nota-se que a água escoar sobre uma calha de basalto, caracterizando afloramentos da formação Serra Geral.

Fonte: Fotos do autor

Entre os tipos de solo encontrados, destaca-se o solo hidromórfico, também encontrado nas regiões mais úmidas das outras áreas diagnosticadas. Como nas outras áreas, também observou-se a presença de latossolos.

Vale ressaltar que durante a visita de campo foi possível caminhar dentro da calha do rio, devido ao período de estiagem que redundou em baixa vazão (Figura 5.45).



Figura 5.45: Baixas vazões no período de estiagem, destacando o afloramento de basalto na calha do córrego.

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.2 Esgotos

Em seu estudo Henke-Oliveira (1996) verificou que a maioria dos córregos de São Carlos, recebiam durante seu trecho lançamentos de efluentes domésticos e/ou industriais, comprometendo tanto os recursos hídricos como as áreas riparianas. Essa situação é verificada em Uberaba onde o córrego das Lajes é utilizado pela cidade para escoar seus esgotos e águas pluviais. Pouco antes do final do trecho canalizado desse córrego, uma parte desse esgoto é desviado para um emissário, que as conduz para a estação de tratamento de esgotos. Essa foi uma forma alternativa para minimizar a carga de esgotos lançada no Córrego, enquanto a solução permanente (a separação da rede de esgotos e pluvial) não pôde ser realizada. Mesmo com o emissário atual, o aporte de carga orgânica ao córrego ainda é grande. Dentre os aspectos desse aporte de esgotos destacam-se a turbidez (Figura 5.46) e odor desagradável, além da presença de algas verdes e algas ferruginosas, que são indicadores de má qualidade de água (Figura 5.47).



Figura 5.46: A- Turbidez nas águas do Córrego das Lajes; B- Espuma formada devido ao aporte de esgoto no córrego, depois de trecho com grande correnteza.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.47: A - Algas verdes; B- algas ferruginosas.

Fonte: Fotos do autor

Verificou-se que quando o Córrego começa a apresentar sinais aparentes de recuperação, recebe novamente descargas de esgoto, mostradas na Figura 5.48, demonstrando que não há interceptores nesse trecho final do córrego e que o esgoto não é apenas lançado no trecho canalizado.



Figura 5.48: A e B - Lançamento de esgoto na margem direita; C- Lançamento de esgoto na margem esquerda.

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.3 Instabilidade das encostas

De maneira semelhante aos corpos de água presentes nas áreas anteriormente diagnosticadas, no seu trecho final, grande parte das margens do córrego das Lajes apresenta risco de desmoronamento, principalmente nas áreas sem vegetação característica (mata ciliar). O córrego encontra-se bastante assoreado, não somente pelo aporte de sedimentos transportados pelo esgoto e água pluvial, mas também pelo desmoronamento das margens instáveis (Figura 5.49).



Figura 5.49: A- Talude instável com risco de desmoronamento na margem direita do Córrego das lajes. Área sem mata ciliar; B- Banco de areia assoreando o Córrego das Lajes.

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.4 Erosão

As encostas instáveis e sem vegetação constituem trechos potenciais de erosão, ocasionando assoreamento à jusante dos trechos erodido, conforme ilustra a Figura 5.50.



Figura 5.50: Bancos de areia e assoreamento.

Fonte: Fotos do autor

Sobre os processos erosivos pontuais verificados no local, foram identificados dois pontos de erosão, porém estas encontram-se em estado já avançado. Na Figura 5.51A observa-se o primeiro ponto de erosão. Observa-se que essa já pode ser chamada de voçoroca, devido a sua profundidade e largura e ao aparecimento do fenômeno "piping". Na Figura 5.51B observa-se que a erosão formada é devido ao escoamento da água proveniente do duto de drenagem pluvial.



Figura 5.51: A- Voçoroca encontrada na área de estudo; B- Final de galeria de água pluvial e erosão em seu entorno.

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.5 Lixo e entulho

Uma grande quantidade de resíduos foi encontrada no córrego, tanto nas águas como em suas margens. A maioria do lixo encontrado nas águas do córrego deve-se ao transporte pelas águas pluviais, constituindo-se principalmente de lixo doméstico, sacolas plásticas, garrafas plásticas de refrigerantes, etc. Observou-se, em geral, que o entulho encontrado nas margens são restos de construção civil, os quais podem ser carregados para o leito do córrego aumentando o assoreamento neste. Esses aspectos são ilustrados pela Figura 5.52 e Figura 5.53.



Figura 5.52: Lixo no córrego das Lajes.

Fonte: Fotos do autor.



Figura 5.53: Restos de construção civil depositados próximo às margens do córrego das Lajes.

Fonte: Fotos do autor.

5.2.3.6 Presença de animais

Foi constatada a presença de animais de criação na faixa de APP. Os animais utilizam a água poluída para dessedentação e danificam a vegetação existente nas margens. A Figura 5.54 mostra cavalos dentro da calha do córrego, ilustrando também a situação de assoreamento e abandono na qual o córrego se encontra.



Figura 5.54: Cavalos dentro do córrego.

Fonte: Fotos do autor

Entre as espécies animais observadas, a maioria foram pássaros (João de Barro, Anu, Maria Branca, Beija-flor). Observou-se também lagartos e cágados. Além disso, verificou-se na foz do córrego, marcas de patas que supõe-se ser de capivaras (Figura 5.55).

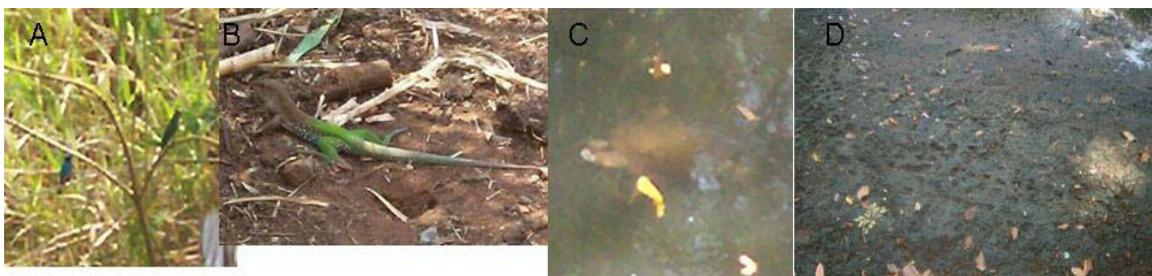


Figura 5.55: A-Passarinho; B-Lagarto; C- Cágado, encontrado com outros em um poço; D- Marcas de patas de animais (provavelmente capivaras) no encontro do Córrego das Lajes com o Rio Uberaba

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.7 Vegetação

Foram raríssimos os pontos em que se observou vegetação de galeria. Entretanto, identificou-se na maioria das vezes vegetação secundária (Figura 5.56A), demonstrando que essa área já é de recomposição, e presença de bambus para a estabilização das encostas (Figura 5.56B). Em grande parte das margens, identificou-se total ausência de vegetação ciliar, apresentando o solo exposto ou a predominância de grama (Figura 5.57).

A Figura 5.58 apresenta o Mapa dos tipos de cobertura vegetal encontrados na área.



Figura 5.56: A- Começo da vegetação secundária nas áreas de maior adensamento florestal B- bambuzais que auxiliam na estabilidade das margens.

Fonte: Fotos do autor



Figura 5.57: Solo exposto e gramíneas nas margens do Córrego das Lajes.

Fonte: Fotos do autor

Em um ponto da área, a mata ciliar encontra-se cercada para evitar o acesso de animais de criação assegurando assim melhor recomposição da mata. Pouco antes da foz do córrego das Lajes com o Rio Uberaba, a vegetação apresenta-se mais adensada, conforme ilustra a Figura 5.58. Entre as espécies vegetais encontradas citam-se Mangueiras, Aroeiras, Barrigudas e Eucaliptos.

A vegetação na margem no córrego é utilizada para alimentação de animais, através da retirada por criadores (Figura 5.59) ou pela presença dos próprios animais.

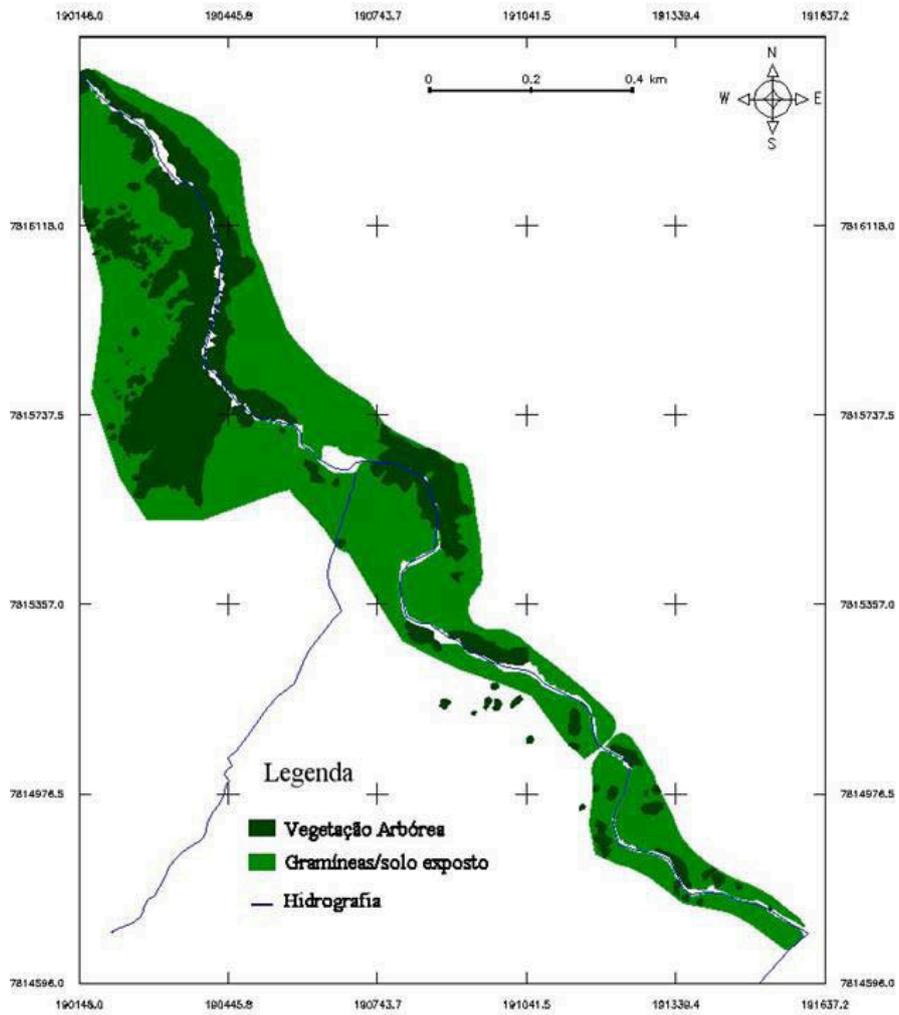


Figura 5.58: Tipos de Cobertura vegetal encontrados na área.

Sist. Cord.: UTM Datum: SAD69 Escala: 1:10.000



Figura 5.59: Retirada de vegetação por criador.

Fonte: Fotos do autor

5.2.3.8 Conflitos de uso

Entre os conflitos de uso identificados, o de maior destaque foi a utilização de uma área para atividades de agricultura de hortaliças e criação de patos, galinhas e etc., na margem esquerda do córrego, como mostrado na Figura 5.60.



Figura 5.60: Margem do córrego e acima área de cultivo de hortaliças.

Fonte: Fotos do autor.

5.2.4 Comparação entre as três áreas e proposição de medidas de recuperação.

Henke-Oliveira (1996), estudando algumas áreas em São Carlos, concluiu que via de regra os remanescentes de mata ciliar não formavam corredores contínuos, sendo interrompidos em diversos pontos ou simplesmente compondo um segmento isolado de mata. Essa foi a situação encontrada nas áreas diagnosticadas. Em relação aos padrões da flora, normais, remanescentes ou residuais, verificou-se que a vegetação dos locais de estudo encontra-se, em sua maioria, empobrecidas em sua biodiversidade característica, estando em franco processo de sucessão secundária, atestadas pelo seu baixo porte e a presença de indivíduos pioneiros, arbustos e árvores jovens, além de trepadeiras. A total ausência de vegetação (solo exposto) e a predominância de gramíneas também foram encontradas nas três áreas diagnosticadas, caracterizando-se como um fator de degradação, já que aumentam a probabilidade de erosões, e potencializam o desmoronamento das margens, entre outros fatores agravantes.

A instabilidade das encostas, em sua maioria, foi provocada pela presença de gramíneas ou solo exposto nas margens dos corpos de água estudados. Fiorillo (2004) destaca que uma

reposição florestal deverá ser feita com espécies nativas, e essa é a proposta lançada neste trabalho para as áreas estudadas na bacia em questão, através do isolamento da faixa limite de APP. Em todas as áreas diagnosticadas verificou-se a presença de animais de criação na faixa de APP. Esses animais devem ser retirados destas áreas, e estas devem ser cercadas, pois sua presença causa problemas, como por exemplo o pisoteio do gado nas margens, que formam caminhos de erosão e assoreamento através do desmoronamento das encostas já desprovidas de proteção pela vegetação.

Quanto à presença de esgoto nos corpos de água onde não é comprovado o lançamento direto de efluentes líquidos, devem ser feitas análises de água para sustentar ou não a suspeita de poluição. Vale lembrar que em alguns cursos de água verificou-se lançamento direto de esgoto *in natura*, porém, em outros, há suspeita de poluição pelos odores. Depois de comprovada a presença de esgotos, deve-se eliminar o contato dos corpos de água com os agentes poluentes.

Na Área 3, a erosão não foi um fator tão preocupante como na Área 1 e principalmente na Área 2, onde o número e a gravidade das erosões foram maiores, sendo o sistema de drenagem não finalizado o fator responsável pela maioria delas, em especial pelas voçorocas encontradas. Aconselha-se que esse sistema de drenagem seja projetado de forma que as águas pluviais não entrem em contato com os canais naturais dos corpos de água (trechos não canalizados) cujas margens, quase sempre desprovidas de vegetação ciliar, estão altamente susceptíveis a desmoronamentos. Sendo assim, medidas de contenção desses processos erosivos (finalização do sistema de drenagem e reconstituição vegetal) devem ser aplicadas rapidamente, nas três áreas diagnosticadas.

O fator lixo e entulho trouxe grande preocupação nas Áreas 1 e 2, porém com maior ênfase na Área 1, onde o entulho está soterrando a nascente do córrego das Lajes. Já na Área 2, a grande deposição de resíduos sólidos nas voçorocas contribui para o arraste de lixo para dentro da mata.

O Quadro 5.1 apresenta o quadro base, com a descrição do fator de degradação e seu respectivo grau. O Quadro 5.2 mostra uma matriz de interações entre as áreas e os fatores avaliados.

Fator de degradação e/ou degradado	Baixo	Médio	Grave
Esgotos	Sem suspeita de aporte	Com suspeita de aporte	Comprovado
Instabilidade das encostas	Sem visualização, vegetação arbórea por toda área.	Verificado, pontos sem vegetação arbórea.	Toda a área sem vegetação arbórea
Erosão	Somente sulcos	Ravinas e poucas voçorocas	Grande numero de voçorocas, até no maciço arbóreo
Lixo e Entulho	Ausência	Pontos poucos e pequena quantidade	Muitos pontos e/ ou grande quantidade.
Presença de animais de criação	Ausência	Pequena quantidade	Grande quantidade
Vegetação	Vegetação característica em toda a faixa de APP	Vegetação característica na maioria da faixa de APP	Vegetação não característica na maioria da faixa de APP

Quadro 5.1: Fatores degradados e de degradação e sua descrição para classificação.

Fator de degradação e/ou degradado	Área 1	Área 2	Área 3
Esgotos			
Instabilidade das encostas			
Erosão			
Lixo e Entulho			
Presença de animais de criação			
Vegetação			

Quadro 5.2: Matriz de Interações, fatores degradados e de degradação das áreas diagnosticadas.

Comparando-se as três áreas, é possível identificar a Área 2 como a mais degradada, já que a mesma possuiu mais fatores de degradação classificados como graves. Apesar disso, a Área 3 deve ser ressaltada, uma vez que seus fatores de degradação mais graves exigem providências mais demoradas e de grande escala, como a retirada dos pontos de lançamento de esgoto, por exemplo. Os fatores lixo, entulho e erosão, mais graves da Área 1, são combatidos mediante retirada do entulho que está soterrando a nascente, e as erosões, com as medidas citadas anteriormente. Quanto à vegetação, em todas as áreas, a área de APP deve ser cercada e a reposição florestal deve acontecer. Salienta-se que nenhum dos fatores avaliados nas áreas foi considerado baixo, o que ressalta a importância de providências urgentes para evitar seu agravamento.

Em geral, além das medidas citadas anteriormente, deve-se ainda proceder:

- Campanha educativa e de informação da importância das APP junto à população;
- Participação dos moradores de entorno na fase de reflorestamento;
- Proibir a deposição de lixo e entulhos;
- Fiscalizar e fazer cumprir a legislação incidente;

5.3 SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

5.3.1 Áreas Permeáveis

Segundo Sukopp e Werner (1991) apud Buccheri Filho e Nucci (2006) a cidade ideal, que apresentaria as condições ideais para a conservação da natureza e da paisagem, poderia edificar ou pavimentar, aproximadamente, somente dois terços da superfície do centro, ou seja, 33% da área central da cidade deveriam ser permeáveis e não edificadas, deveriam apresentar ampla conexão entre a vegetação da zona rural e a das zonas centrais, com uma redução dos gradientes entre esses dois tipos de uso. Na bacia do córrego das Lajes não foi observado nenhuma área permeável com essas características. Dos 26,38 Km², a bacia analisada possui 21,98 Km² de área impermeabilizada, correspondendo a 83,3 %, ou seja, apenas 4,28 Km² (16,2%) de áreas permeáveis. Sem considerar somente os 70% de área permeável das áreas verdes, ou seja, utilizando o valor total dessas áreas, tem-se 4,36 Km² (16,5%) de áreas permeáveis, o que não aumenta significativamente o valor. Se este valor for dividido pela população mostrada no item 5.1, tem-se 32,6 m²/hab.

A Figura 5.61 apresenta a distribuição das áreas permeáveis na bacia do córrego das Lajes. As áreas permeáveis, discriminadas por sub-bacia, estão listadas na Tabela 5.2. A partir da observação da Figura 5.61 e da Tabela 5.2, observa-se que as áreas periféricas da bacia possuem mais áreas permeáveis do que as regiões centrais, onde os bairros são mais antigos e cuja urbanização está mais consolidada, constituindo-se de zonas comerciais, na sua maioria.

Tabela 5.2: Levantamento das áreas permeáveis por sub-bacia.

Sub-bacias	Área Total (Km ²)	Áreas Permeáveis (Km ²)	Porcentagem das áreas permeáveis em relação à área total da sub-bacia (%)
Centro	0,22	0	0
Leopoldino 3	0,48	0	0
Leopoldino 5	1,3	0,0007	0,05
Leopoldino 2	1,01	0,046	4,6
Guilherme Ferreira	4,33	0,24	5,5
Fidélis Reis	2,74	0,16	5,7
Leopoldino 4	7,24	0,034	6,2
Santos Dumont*	6,57	0,91	13,8
Restante*	4,83	1,46	30,2
Leopoldino 1 A*	3,39	1,04	30,7
Leopoldino 1 B	0,97	0,411	42,4

* sub-bacias com as áreas verdes estudadas

A Tabela 5.3 traz a porcentagem das APP em relação à área total da sub-bacia e em relação à área permeável de cada sub-bacia. As sub-bacias não descritas na tabela, não possuem APP em sua área.

Tabela 5.3: Porcentagem equivalente das APP das sub-bacias.

Sub-bacias	Porcentagem das APP em relação a área da Sub-bacia (%)	Porcentagem das APP em relação a área permeável (%)
Guilherme Ferreira	0,38	6,21
Fidélis Reis	2,5	43,7
Santos Dumont*	1,0	7,0
Restante*	9,6	31,2
Leopoldino 1 A*	10,7	34,4

* sub-bacias com as áreas verdes estudadas

Convém lembrar que as sub-bacias Leopoldino 1A, Santos Dumont e Restante tiveram APP diagnosticadas, onde os resultados foram apresentados no item anterior. Essas APP foram denominadas Área 1, Área 2 e Área 3 e pertencem, respectivamente, à sub-bacia

Leopoldino 1A, Santos Dumont e Restante. As sub-bacias Leopoldino 1A e Restante possuem outras APP (que não foram diagnosticadas) em sua área, além da Área 1 e Área 3. Essa situação não ocorreu na sub-bacia Santos Dumont, onde a única APP encontrada foi diagnosticada (Área 2). A Área 1 equivale a 7,4% e a 24,1 %, respectivamente, da área total e da área permeável da sub-bacia Leopoldino 1A. A área 3 equivale a 7% e 23%, respectivamente, da área total e da área permeável da sub-bacia Restante. A área 2 é a única APP da sub-bacia Santos Dumont, correspondendo aos valores encontrados na Tabela 5.3.

Na figura abaixo (Figura 5.61): L1A (Sub-bacia Leopoldino 1A); L1B (Sub-bacia Leopoldino 1B); L2 (Sub-bacia Leopoldino 2); L3 (Sub-bacia Leopoldino 3); L4 (Sub-bacia Leopoldino 4); L5 (Sub-bacia Leopoldino 5); FR (Sub-bacia Fidélis Reis); R (Sub-bacia Restante); C (Sub-bacia Centro); SD (Sub-bacia Santos Dumont); GF (Sub-bacia Guilherme Ferreira).

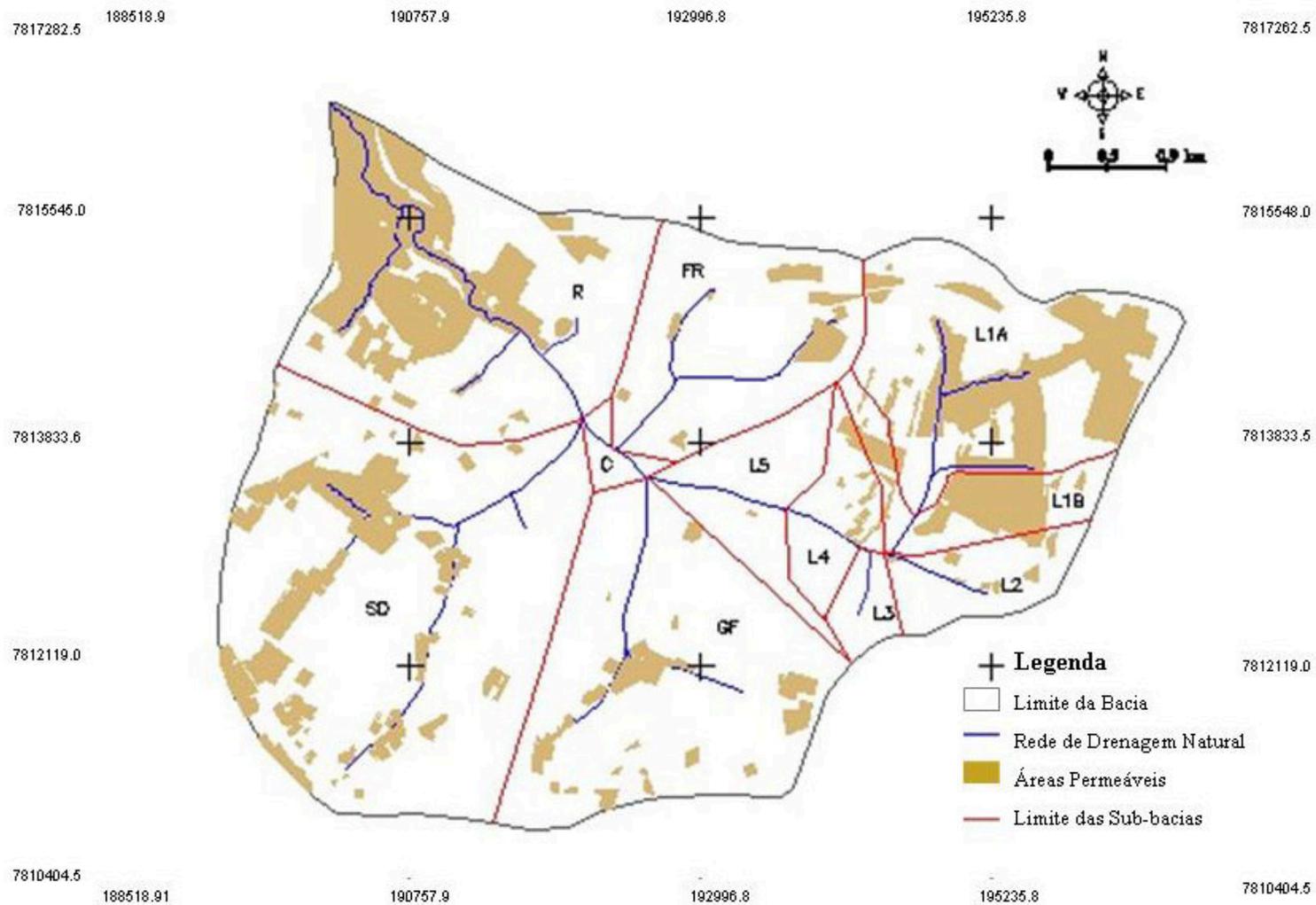


Figura 5.61: Distribuição das áreas permeáveis na bacia do córrego das Lajes

Sist. Cord.: UTM Datum:SAD69 Escala: 1:50.000

5.3.2 Levantamento de parâmetros das sub-bacias para transformação chuva-vazão

Neste item serão apresentados os parâmetros utilizados nas transformações de chuva em vazão para os diferentes cenários de impermeabilização simulados, resumidamente descritos a seguir, para melhor localização no texto:

Cenário 1: Representa as vazões e volumes gerados no atual uso do solo.

Cenário 2: Representa as vazões e volumes gerados em uso futuro do solo, onde todas as áreas verdes, APP e áreas públicas (áreas que no mapa de áreas verdes e áreas institucionais da Secretaria Municipal de Infra-Estrutura, estavam selecionadas como áreas verdes, mas que não foram consideradas como tal, pois não passam de terrenos vagos) seriam impermeabilizadas, restando somente os lotes vagos como áreas permeáveis.

Cenário 3: Representa as vazões e volumes gerados em uso futuro do solo, onde todas as áreas verdes, áreas públicas (explicadas acima) e lotes vagos seriam impermeabilizados, restando somente as APP como áreas permeáveis. Esse cenário pode ser considerado como de máxima impermeabilização, já que a impermeabilização total das APP é ilegal.

Cenário 4: Representa as vazões e volumes gerados em uso futuro do solo, onde todas as áreas verdes, áreas públicas, APP e lotes vagos seriam impermeabilizados. Esse cenário foi simulado para avaliar a real influência das APP no amortecimento das cheias.

A Tabela 5.4, traz a porcentagem de área impermeável de cada cenário. Neste aspecto pode-se observar que a maioria das sub-bacias estudadas já estão bastante impermeabilizadas, sendo muito pequena a diferença entre o cenário 1 (atual) e o cenário 4 (de impermeabilização total). Somente as sub-bacias Santos Dumont, Restante, Leopoldino 1A e Leopoldino 1B, possuem diferenças consideráveis em relação aos cenários, o que se presume que fará diferença nos hidrogramas gerados. Note-se nas Tabelas 5.5 e 5.6, que somente são apresentados os CN e t_c para as sub-bacias Santos Dumont, Restante, Leopoldino 1A e Leopoldino 1B. Isto deve-se ao fato de que essas sub-bacias, por conterem as áreas verdes estudadas e possuírem maior índice de APP e áreas permeáveis da bacia total, tornaram-se o foco das simulações deste trabalho. Sendo assim, as discussões dos resultados serão acerca das sub-bacias Santos Dumont, Restante, Leopoldino 1.

Tabela 5.4: Porcentagem de área impermeável de cada cenário, para todas sub-bacias.

Sub-bacias/ Cenário	1	2	3	4
Centro	100	-	-	100
Leopoldino 3	100	-	-	100
Leopoldino 5	99,9	-	-	100
Leopoldino 2	95,4	98,2	-	100
Guilherme	94,5	95,1	99,6	100
Fidélis Reis	94,3	97,4	97,5	100
Leopoldino 4	93,8	96,2	-	100
Santos Dummont	86,2	93,6	99,0	100
Restante	69,8	83,4	90,4	100
Leopoldino 1A	69,3	81,2	89,3	100
Leopoldino 1B	57,6	60,0	100	100

- cenários não levantados, pois não havia áreas verdes correspondentes.

A porcentagem de áreas impermeáveis de cada cenário simulado e os valores de CNp e CNi (Quadro 5.3) são importantes para o cálculo do CN composto das sub-bacias, cujos valores estão relacionados na Tabela 5.5.

Sub-bacias	Condição II		Condição III	
	CNp	CNi	CNp	CNi
Santos Dumont	61	85	80	97
Restante	61	85	80	97
Leopoldino 01A	61	85	80	97
Leopoldino 01B	61	85	80	97

Quadro 5.3: Valores típicos de CNp e CNi adotados, seguindo o tipo e o uso do solo

Tabela 5.5: CN composto das sub-bacias, nos diversos cenários simulados.

Sub-bacias/ Cenário	CN - Solo normal				CN - Solo úmido			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Santos Dummont	81,7	83,5	84,8	92	94,7	95,9	96,8	98
Restante	77,8	81	82,7	92	91,9	94,2	95,4	98
Leopoldino 1A	77,6	80,5	82,4	92	91,8	93,8	95,2	98
Leopoldino 1B	74,8	75,4	92	92	89,8	90,2	98	98

Os valores dos tempos de concentração estimados estão representados na Tabela 5.6. Essa tabela traz também os valores de tempo de concentração encontrados por Nascimento et al (2005) em seu estudo na bacia do córrego das Lajes.

Tabela 5.6: Valores de tempos de concentração (t_c) simulados para cada sub-bacia simulada e valores correspondentes em Nascimento et al (2005).

Sub-bacias	t_c (min) estimados no presente trabalho	t_c (min) Nascimento et al (2005)*
Restante	78,73	71,7
Santos Dumont	72,14	51,9
Leopoldino 1**	45,18	50,4

* Valores obtidos por meio da soma dos t_c das sub-bacias correspondentes. ** Soma dos valores de Leopoldino A (32,11min) e Leopoldino B (13,07 min)

Nesse contexto, foram fixados, para as análises das três sub-bacias, tempo de recorrência de 25 anos e chuva com duração de 2 h. Justifica-se o uso desses valores, pois Nascimento et al. (2005) em seu estudo, realizaram uma pesquisa da duração crítica das precipitações de projeto, ou seja, seu objetivo era identificar a duração de precipitação que resultasse nas maiores vazões de pico por sub-bacia em Uberaba. Os autores tomaram por referência o tempo de retorno de 25 anos, justificando que se tratava de fins de projeto de intervenções de controle de inundações na área. Os autores também relatam, nesse estudo, que a inclusão de precipitações de pequena duração (até 2 h) atende à finalidade de identificar os tempos críticos para pequenas sub-bacias.

É conveniente salientar que, neste estudo, as chuvas foram distribuídas em termos temporais de acordo com as curvas de Huff, que localizam o pico de chuva ao longo da sua duração. Essas curvas representam 50% de probabilidade da maior parte da precipitação ocorrer em cada quartil de Huff. Cada quartil é o intervalo de 25% de duração da chuva, por isto existem quatro curvas de distribuição temporal de precipitação.

5.3.3 Simulações para a sub-bacia Santos Dumont

A sub-bacia Santos Dumont engloba a Área 2 e, entre as duas outras sub-bacias simuladas, é a que apresenta o maior índice de impermeabilização. A Figura 5.62 ilustra os hidrogramas obtidos para a sub-bacia Santos Dumont.

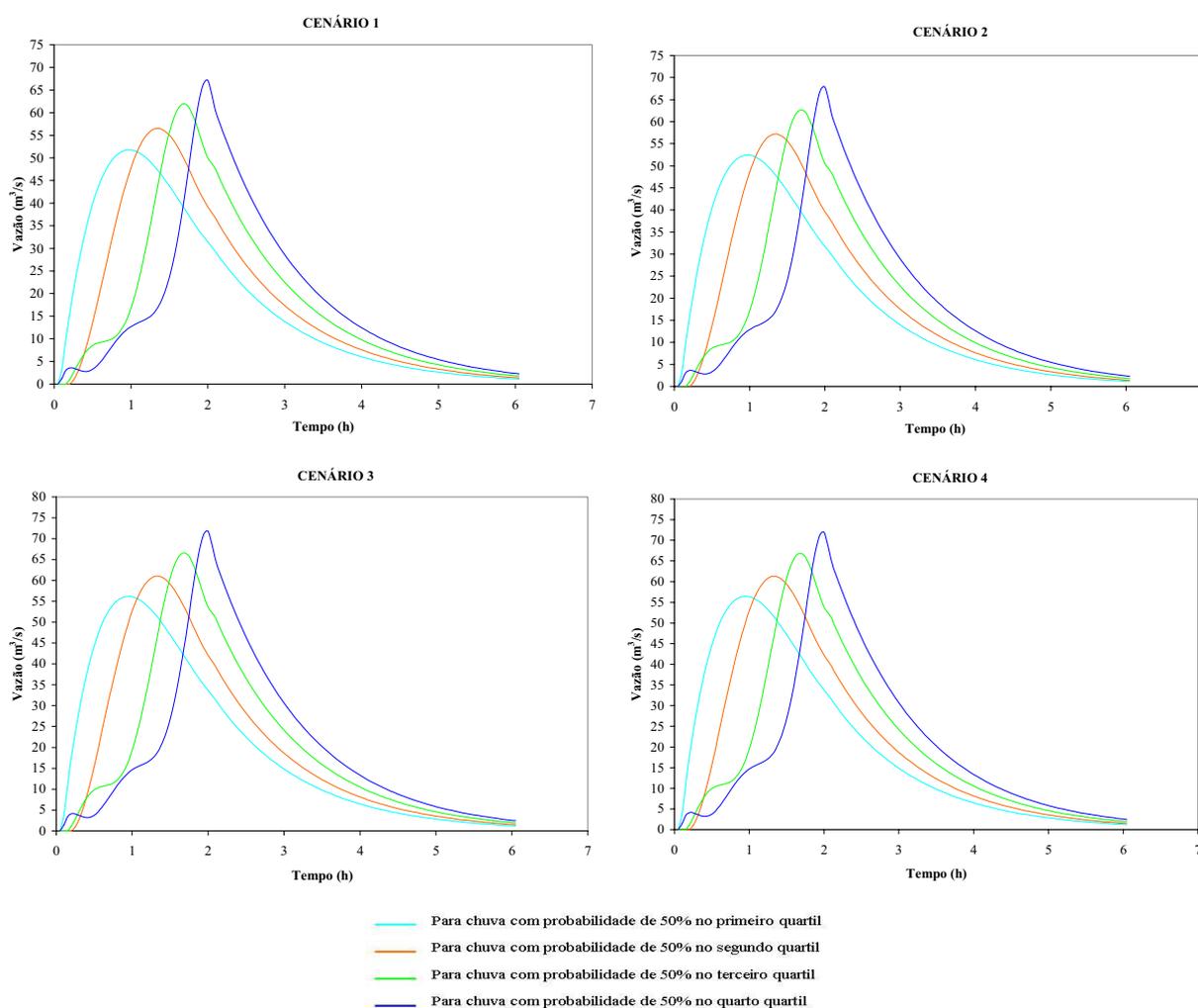


Figura 5.62: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Santos Dumont para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.

A Figura 5.63 ilustra as máximas vazões obtidas para a sub-bacia Santos Dumont, enquanto que a Figura 5.64 ilustra os volumes de escoamento superficial gerados.

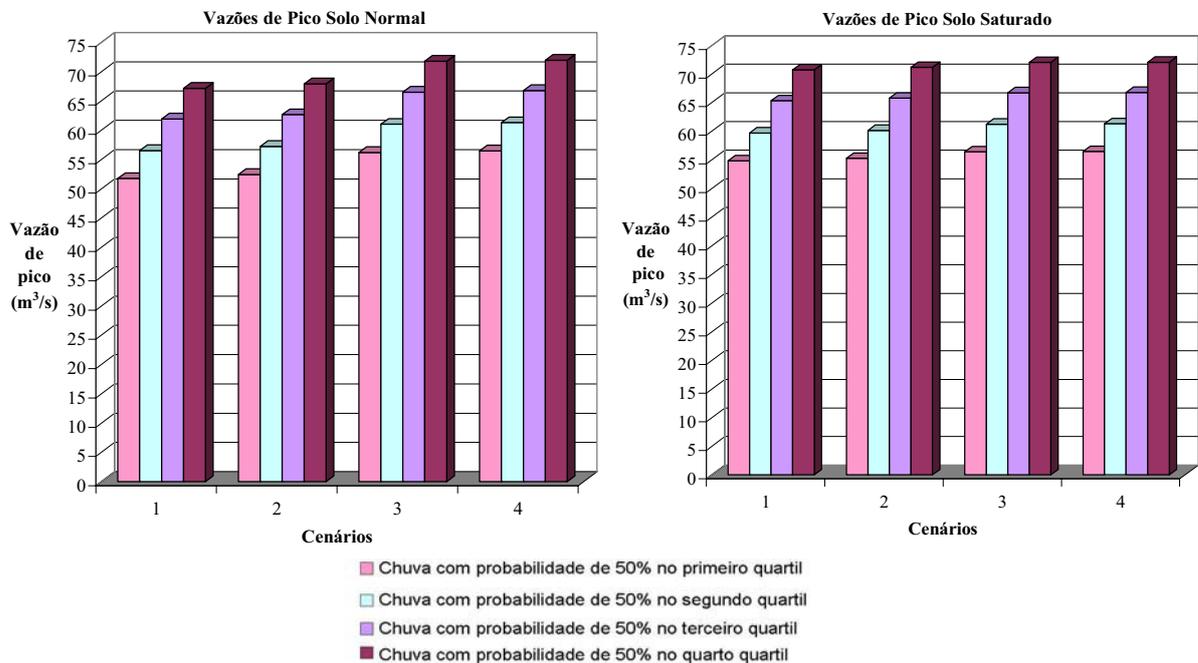


Figura 5.63: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Santos Dumont para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

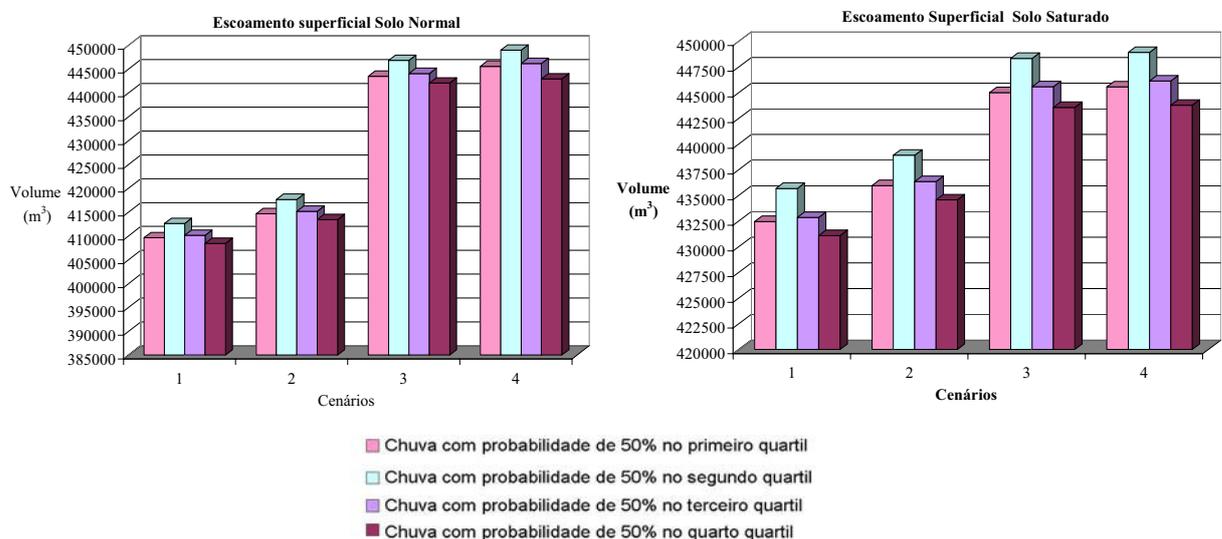


Figura 5.64: Volumes de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Santos Dumont para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

Para a melhor percepção dos acréscimos ocorridos nas vazões de pico e nos volumes para os diferentes cenários, foi realizada uma comparação com os resultados do cenário 1, que possui a maior quantidade de áreas permeáveis. A porcentagem correspondente desses acréscimos em relação à vazão e volumes calculados no cenário 1 (de uso atual do solo)

está ilustrada na Tabela 5.7. Essa percentagem de acréscimo foi calculada a partir da equação 5.1:

$$\Delta\phi\% = \frac{100(\phi_1 - \phi_i)}{\phi_1} \quad \text{Equação 5.1}$$

Na equação 5.1, ϕ representa uma variável genérica (vazão de pico ou volume de escoamento superficial), o sub-índice 1 representa os valores de ϕ no cenário 1 e o sub-índice i representa os cenários 2, 3 e 4.

Tabela 5.7: Acréscimos, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento na Sub-bacia Santos Dumont.

		Cenário 2				Cenário 3				Cenário 4			
		Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)
Solo Normal/ chuva (quartil)	1º	0,66	1,3	5026	1,2	4,43	8,6	33862	8,3	4,70	9,1	35957	8,8
	2º	0,69	1,2	5055	1,2	4,49	8,0	34244	8,3	4,77	8,4	36366	8,8
	3º	0,74	1,2	5023	1,2	4,58	7,4	33931	8,3	4,86	7,8	36032	8,8
	4º	0,77	1,2	4995	1,2	4,66	6,9	33642	8,2	4,79	7,1	34478	8,4
Solo Saturado/ chuva (quartil)	1º	0,45	0,8	3497	0,8	1,58	2,9	12563	2,9	1,65	3,0	13112	3,0
	2º	0,44	0,7	3224	0,7	1,53	2,6	12668	2,9	1,60	2,7	13247	3,0
	3º	0,43	0,7	3498	0,8	1,40	2,1	12728	2,9	1,45	2,2	13291	3,1
	4º	0,43	0,6	3473	0,8	1,31	1,9	12492	2,9	1,34	1,9	12689	2,9

A partir da análise dos resultados ilustrados nas Figuras 5.63 e 5.64 e dos resultados discriminados na Tabela 5.7, verifica-se, de maneira geral, que independente da distribuição temporal da chuva, os maiores acréscimos de vazão de pico e de volume ocorreram do segundo para o terceiro cenário. Para condição de solo normal, em termos de vazão de pico, por exemplo, o aumento percentual (em relação ao cenário atual) passou de 1,3% para 8,6%, considerando a distribuição de Huff com probabilidade de 50% para o primeiro quartil. Isto mostra que, para a sub-bacia Santos Dumont, os lotes vagos apresentam maior influência na atenuação de cheias, uma vez que a sua impermeabilização responde por este acréscimo mais notável de vazão de pico. Ainda para condição de solo normal, do cenário 3 para o cenário 4, os aumentos não foram tão significativos. Esses dados indicam que, embora exista o efeito da APP, a presença de outras áreas permeáveis é

imprescindível na atenuação das vazões. De fato, para a sub-bacia Santos Dumont, a única APP apresenta área bastante reduzida quando comparada com os lotes vagos e outras áreas permeáveis.

Quando o solo apresenta condições de maior umidade, nota-se o esperado aumento das vazões em todos os cenários. Não obstante, há menor diferença entre as vazões do cenário 1 (atual e mais permeável) para os outros cenários (de maior impermeabilização). Isto vem confirmar que as áreas permeáveis têm sua eficiência de atenuação bastante reduzida quando o solo está saturado. De acordo com os valores calculados para a sub-bacia Santos Dumont, essa redução de eficiência chega a ser de até 83,7%, para vazões de pico, e de 76,4%, para os volumes de escoamento superficial.

Em termos de volume, para solo normal, a distribuição temporal de Huff, com probabilidade de 50% no segundo quartil, resultou nos maiores valores. Assim como nas vazões de pico, nota-se um aumento significativo dos volumes do segundo para o terceiro cenário (1,2% para 8,3%). Do terceiro para o quarto cenário o aumento foi menor (8,3% para 8,8%). Isto confirma que, na sub-bacia Santos Dumont, apenas a manutenção da APP não é suficiente para a redução do escoamento superficial. Para isto, há a necessidade de mais áreas permeáveis.

A eficiência da APP, no amortecimento das vazões de pico e na redução de volume, pode ser calculada pela comparação entre o cenário 4 (impermeabilização total) e o cenário 3 (somente a APP como área permeável). Isto pode ser matematicamente descrito como:

$$E\% = \frac{100(\phi_4 - \phi_3)}{\phi_3}$$

Equação 5.2

Na Equação 5.2 os sub-índices 4 e 3 referem-se aos cenários de impermeabilização. Conforme foi definido na equação 5.1, ϕ é uma variável que representa a vazão de pico ou o volume de escoamento superficial.

A Tabela 5.8 discrimina as eficiências da APP na atenuação de vazões e na redução dos volumes.

Tabela 5.8: Eficiências da APP na sub-bacia Santos Dumont

		eficiência na atenuação de vazões		eficiência na redução de volumes	
		%		%	
		solo normal	solo saturado	solo normal	solo saturado
chuva (quartil)	1º	0,48	0,12	0,51	0,13
	2º	0,45	0,11	0,51	0,13
	3º	0,41	0,08	0,51	0,13
	4º	0,19	0,03	0,20	0,05

A partir da análise dos resultados da Tabela 5.8, em condições normais do solo, a APP da sub-bacia Santos Dumont fornece uma eficiência de no máximo 0,5%, seja na atenuação do pico de vazões, seja na redução de volumes, o que equivale a 0,27 m³/s e 2122 m³, respectivamente. Esses valores são considerados baixos, pois esta APP corresponde a apenas 1% da área total da sub-bacia em questão, o que justifica a sua baixa eficiência na atenuação das vazões de pico. Destaca-se aqui que, apesar de ser considerada ineficiente, esta área atenua 0,28 m³/s, quase 6% dos 4,86 m³/s (máximo acréscimo), ver cenário 4 para chuva com probabilidade de 50% no terceiro quartil da Tabela 5.7. Destaca-se também a queda na eficiência que esta apresentou se o solo estiver saturado, indo de 0,19% para 0,03% nas vazões de pico e de 0,20% para 0,05% nos volumes.

5.3.4 Simulações para a sub-bacia Restante

A sub-bacia denominada de Restante é aquela que engloba a Área 3 deste estudo. Essa sub-bacia é drenada pelo trecho final do córrego das Lajes, até a sua confluência com o rio Uberaba. A Figura 5.65 ilustra os hidrogramas estimados para a sub-bacia Restante.

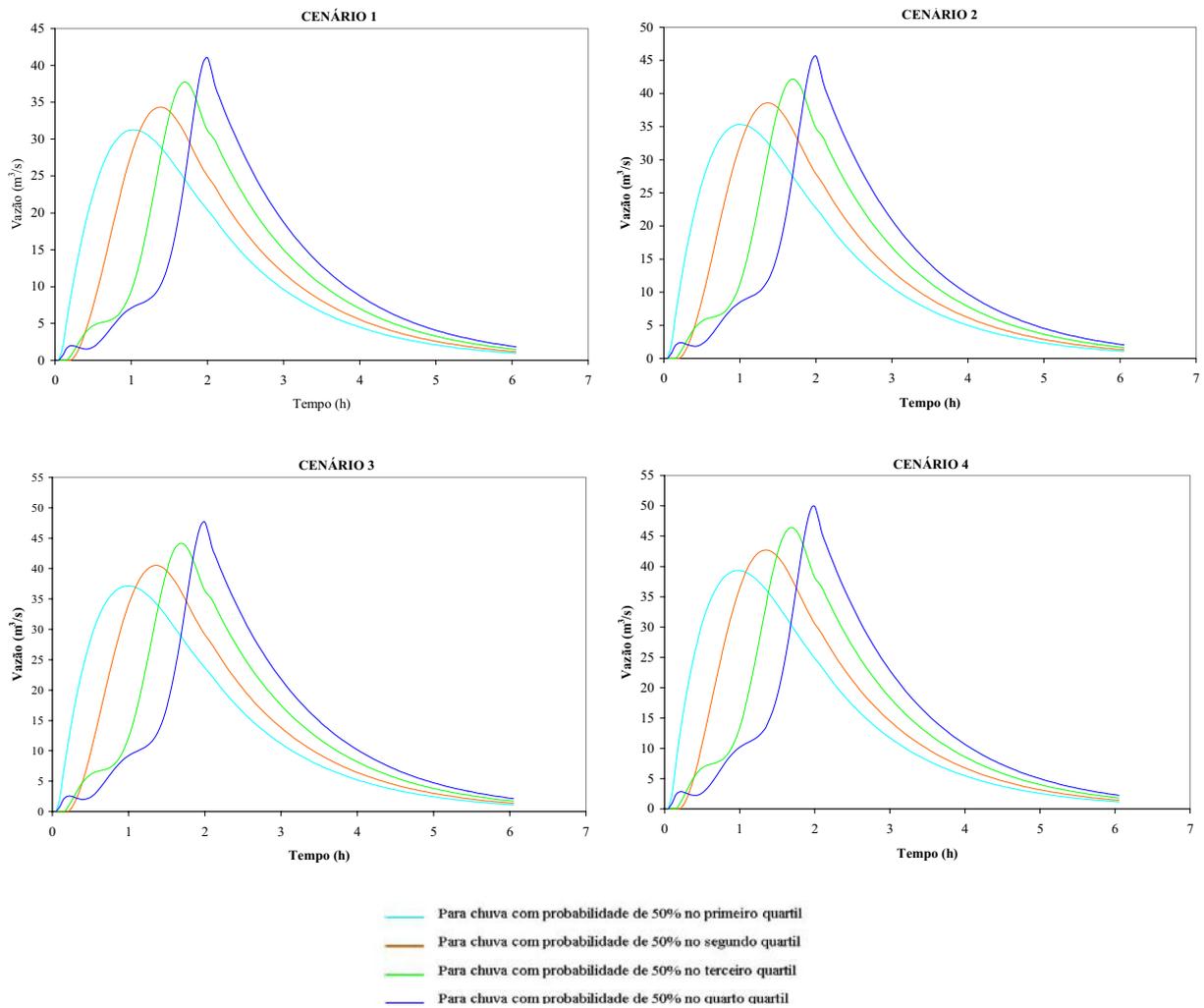


Figura 5.65: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Restante para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.

As Figuras 5.66 e 5.67 ilustram, respectivamente, as máximas vazões e os volumes de escoamento superficial obtidos para a sub-bacia Restante.

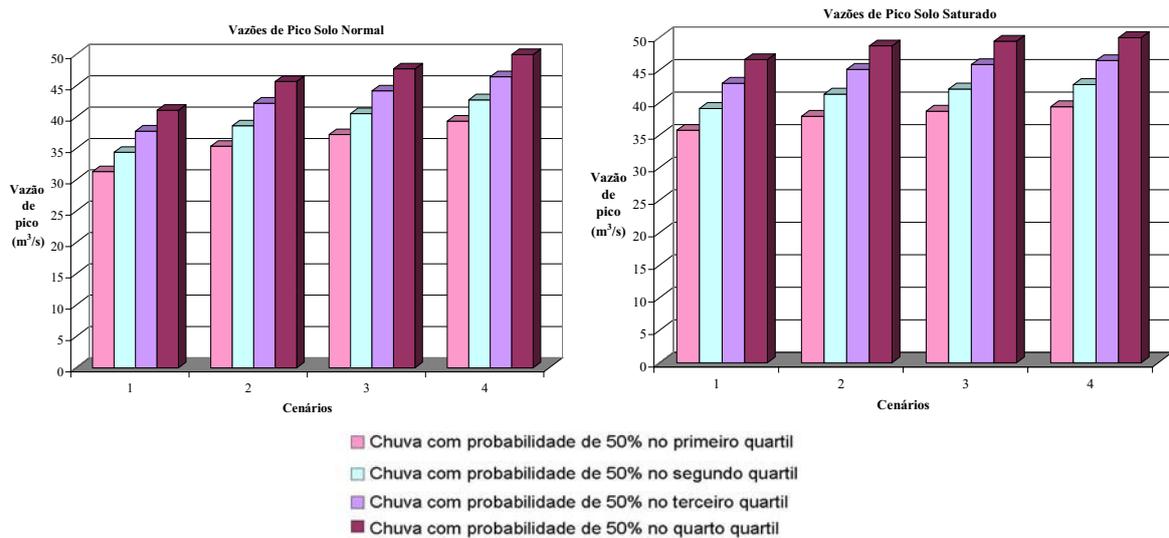


Figura 5.66: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Restante para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

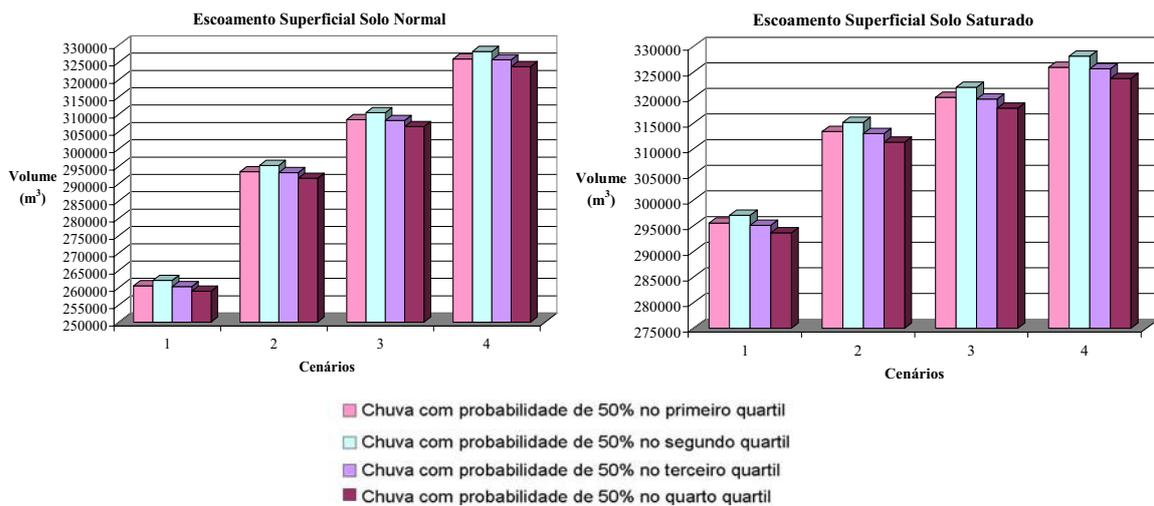


Figura 5.67: Volumes de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Restante, para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

Para a melhor percepção dos acréscimos ocorridos nas vazões de pico e nos volumes para os diferentes cenários, assim como para a sub-bacia Santos Dumont, foi realizada uma comparação com os resultados do cenário 1, que possui a maior quantidade de áreas permeáveis. A porcentagem (calculada a partir da equação 5.1) correspondente desses acréscimos em relação à vazão e volumes calculados no cenário 1 (de uso atual do solo) está ilustrada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Valores e percentuais de acréscimo, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento superficial na sub-bacia Restante.

		Cenário 2				Cenário 3				Cenário 4			
		Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)
Solo Normal/ Quartil	1°	4,05	13,0	32907	12,6	5,91	18,9	47958	18,4	8,05	25,8	65432	25,1
	2°	4,24	12,3	33169	12,7	6,17	18,0	48358	18,5	8,39	24,4	66023	25,2
	3°	4,44	11,8	32867	12,6	6,43	17,0	47909	18,4	8,67	23,0	65388	25,1
	4°	4,59	11,2	32593	12,6	6,62	16,1	47498	18,3	8,89	21,7	64804	25,0
Solo Saturado/ Quartil	1°	2,16	6,0	17841	6,0	2,95	8,3	24534	8,3	3,64	10,2	30370	10,3
	2°	2,20	5,6	18123	6,1	3,00	7,7	24972	8,4	3,69	9,4	31024	10,4
	3°	2,13	5,0	17896	6,1	2,89	6,7	24638	8,3	3,51	8,2	30560	10,4
	4°	2,10	4,5	17676	6,0	2,82	6,1	24313	8,3	3,40	7,3	30105	10,3

A partir da análise dos resultados ilustrados nas Figuras 5.66 e 5.67 e dos resultados discriminados na Tabela 5.9, verificou-se que de maneira geral, independentemente da distribuição temporal da chuva, os maiores acréscimos de vazão de pico e de volume ocorreram do terceiro para o quarto cenário. Para condição de solo normal, em termos de vazão de pico, por exemplo, o aumento percentual (em relação ao cenário atual) passou de 18,9% para 25,8%, considerando a distribuição de Huff com probabilidade de 50% para o primeiro quartil. Isto mostra que, para a sub-bacia Restante, as APP apresentam maior influência na atenuação de cheias, uma vez que a sua impermeabilização responde por este maior acréscimo na vazão de pico. Ainda para condição de solo normal, do cenário 2 para o cenário 3, os aumentos também foram significativos. Esses dados indicam que, embora as APP tenham grande efeito, a presença de outras áreas permeáveis também tem grande importância na atenuação das vazões. Ao contrário da sub-bacia Santos Dumont, na sub-bacia Restante as APP apresentam área considerável quando comparada com os lotes vagos e outras áreas permeáveis, correspondendo a 31,2% destas. Vale lembrar que somente a Área 3 já corresponde a 23% das áreas permeáveis desta sub-bacia.

Além do aumento das vazões, em todos os cenários de impermeabilização, para condições de solo úmido, observa-se também pequenas diferenças entre as vazões do cenário 1 para os outros cenários de maior impermeabilização. De maneira semelhante ao caso do subitem anterior, a eficiência de atenuação das áreas permeáveis é reduzida quando o solo

está úmido. Essa queda de eficiência atinge, para a sub-bacia simulada, até 74,8% (para as vazões de pico) e até 66,5% (para os volumes de escoamento superficial).

Em termos de volume, para solo normal, a distribuição temporal de Huff, com probabilidade de 50% no segundo quartil, resultou nos maiores valores. Assim como nas vazões de pico, nota-se um aumento significativo dos volumes do terceiro para o quarto cenário (18,5% para 25,2%). Do segundo para o terceiro cenário o aumento foi menor (12,7% para 18,5%). Estes resultados evidenciam que, na sub-bacia Restante, a manutenção das APP contribui de uma maneira mais decisiva para a redução do escoamento superficial. Porém destaca-se que a manutenção das outras áreas permeáveis é imprescindível para que essa redução seja mais eficiente.

Assim com no subitem anterior, a eficiência das APP no amortecimento das vazões de pico e na redução de volume, foi calculada pela comparação entre o cenário 4 (impermeabilização total) e o cenário 3 (somente a APP como área permeável), matematicamente descrito de acordo com a Equação 5.2, citada anteriormente.

A Tabela 5.10 discrimina as eficiências das APP na atenuação de vazões e na redução dos volumes.

Tabela 5.10: Eficiências das APP na sub-bacia Restante.

		eficiência na atenuação de vazões		eficiência na redução de volumes	
		%		%	
		solo normal	solo saturado	solo normal	solo saturado
chuva (quartil)	1º	5,45	1,74	5,36	1,79
	2º	5,19	1,61	5,38	1,84
	3º	4,84	1,33	5,37	1,82
	4º	4,55	1,15	5,35	1,79

Analisando-se a Tabela 5.10, observa-se que em condições normais do solo, as APP presentes nesta bacia fornecem eficiência de 5,5% na atenuação das vazões de pico, o que equivale a 2,14 m³/s. Com relação à redução dos volumes, a redução chega a até 5,4%, o que equivale a 17.665 m³. Pode-se dizer que as APP desta sub-bacia possuem alta eficiência na atenuação de vazões e redução dos volumes, já que atenuam 2,27 m³/s, o que corresponde a 25,6% dos 8,89 m³/s (máximo acréscimo), ver cenário 4 para chuva com probabilidade de 50% no quarto quartil da tabela 5.9. Isto é justificado pelo fato das APP

corresponderem a 9,6% da área total da sub-bacia Restante. Destaca-se aqui a queda sensível que esses valores sofrem quando o solo encontra-se úmido, o que acontece justamente nos meses mais chuvosos, onde são maiores os casos de enchente. Os valores decresceram de 5,5% para 1,7%, nas vazões de pico e de 5,4 % para 1,8%, nos volumes.

5.3.5 Simulações para a sub-bacia Leopoldino 1

A sub-bacia denominada de Leopoldino 1 engloba as sub-bacias Leopoldino 1A (onde se localiza a Área 1 deste estudo) e a sub-bacia Leopoldino 1B, situada a jusante dos reservatórios de detenção. Essa sub-bacia é drenada pelo trecho inicial do córrego das Lajes, antes da entrada do mesmo sob a Avenida Leopoldino de Oliveira, uma das principais de Uberaba. A Figura 5.68, ilustra os diversos hidrogramas gerados, necessários para a elaboração do hidrograma final da sub-bacia. O hidrograma final (total ou resultante) foi obtido pela superposição do hidrograma da sub-bacia Leopoldino 1B e da propagação das vazões no canal de 300 m, que liga a saída do último piscinão até o exutório da bacia.

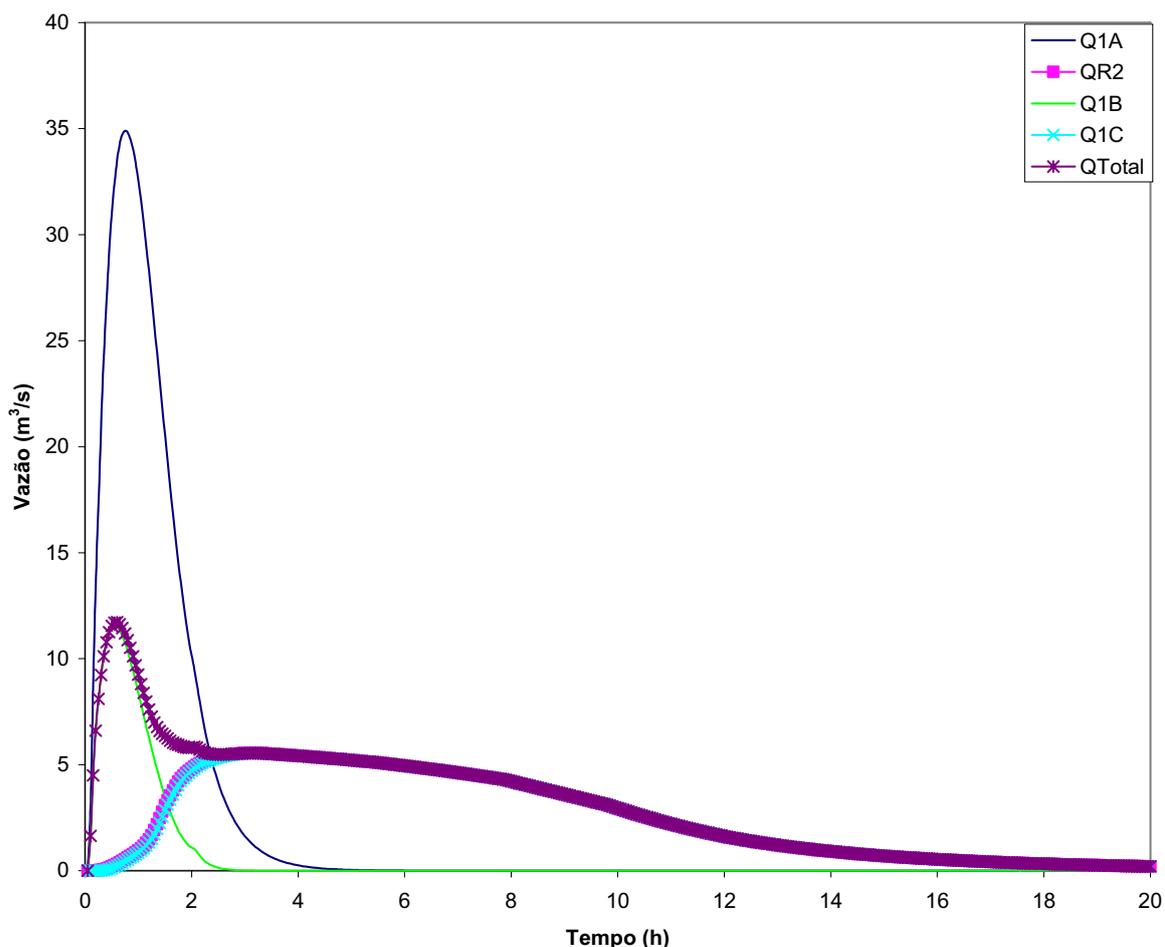


Figura 5.68: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 . Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente, uso atual do solo (cenário 1) e chuva com probabilidade de 50% no primeiro quartil

Onde: Q1A - Vazão de entrada do 1ºreservatório (Vazão da sub-bacia Leopoldino 1A); QR2 - Vazão de saída dos reservatórios de detenção; Q1C - Vazão propagada no canal; Q1B - Vazão da sub-bacia a jusante dos reservatórios (Leopoldino 1B); Q Total- Vazão resultante para a área considerada.

Através da análise da Figura 5.68, comparando-se Q1A e QR2 verifica-se a eficiência na redução das vazões de pico proporcionada pelos reservatórios de detenção. Nesse aspecto, o papel da APP está no amortecimento das vazões de entrada nos reservatórios, haja vista que elas situam-se a montante destes.

A Figura 5.69 ilustra os hidrogramas resultantes estimados para a sub-bacia Leopoldino 1.

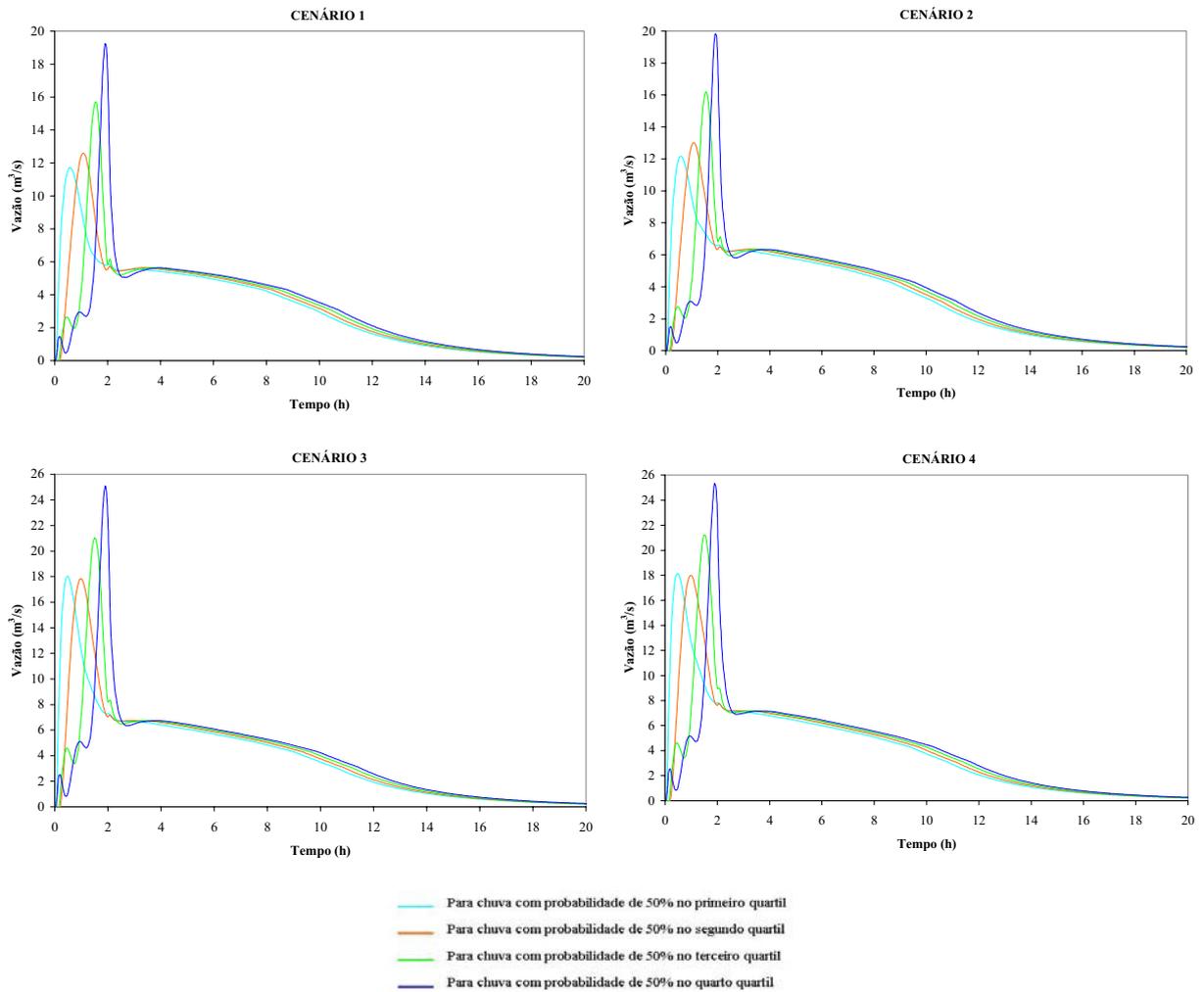


Figura 5.69: Hidrogramas gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 para diferentes cenários de impermeabilização e diferentes distribuições temporais de chuva. Os resultados aqui ilustrados referem-se à condição de solo normal em termos de umidade antecedente.

As Figuras 5.70 e 5.71 ilustram, respectivamente, as máximas vazões e os volumes de escoamento superficial obtidos para a sub-bacia Leopoldino 1.

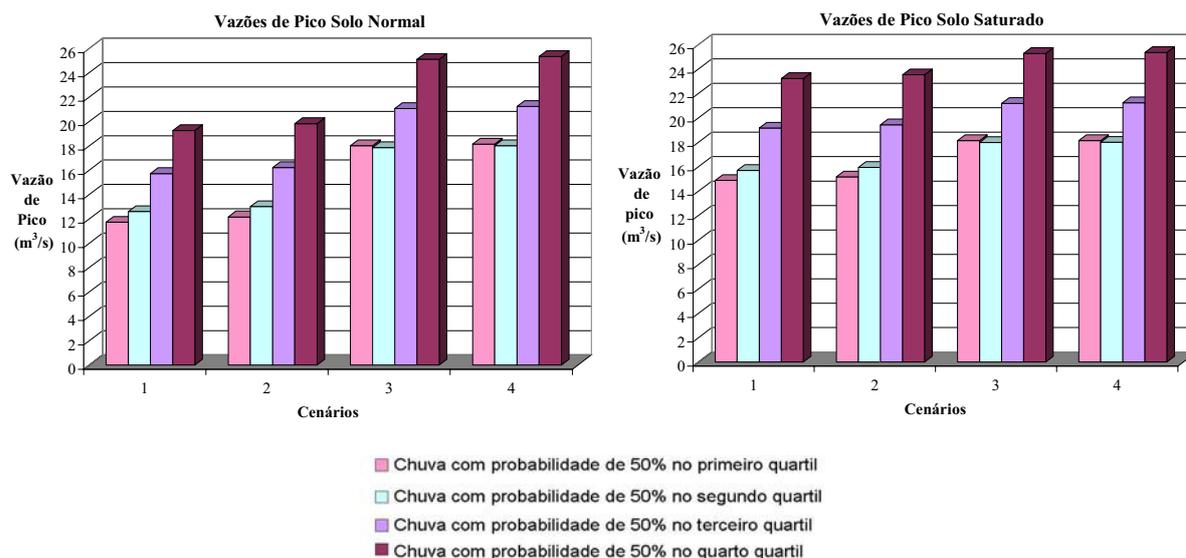


Figura 5.70: Vazões de pico geradas para a sub-bacia Leopoldino 1 para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

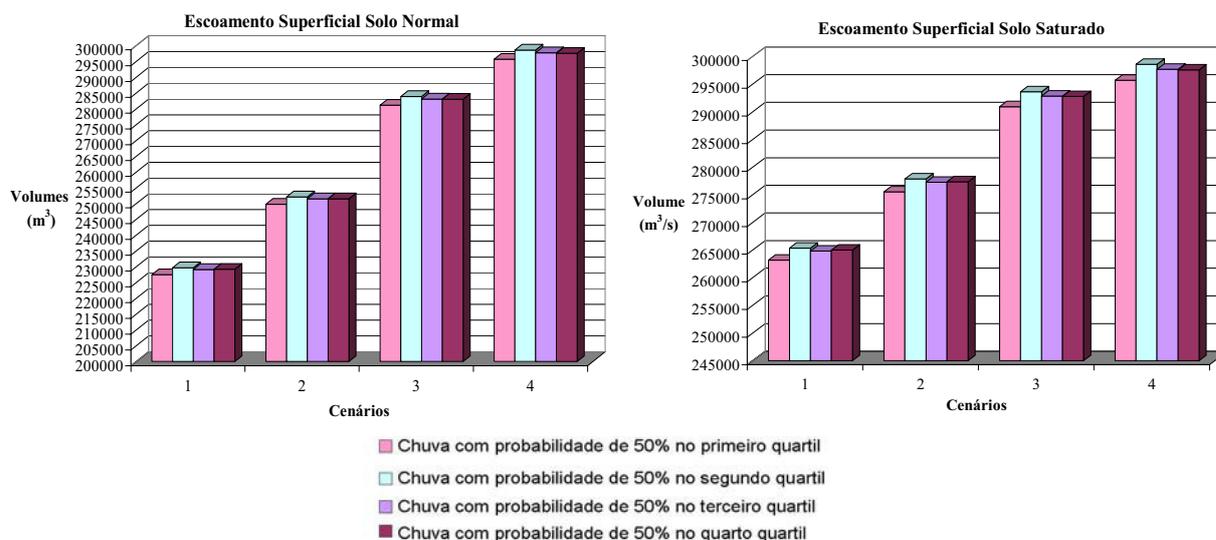


Figura 5.71: Volumes máximos de escoamento superficial gerados para a sub-bacia Leopoldino 1 para período de retorno (T_r) 25anos, diferentes cenários de impermeabilização, de condições do solo e diferentes distribuições temporais de chuva.

Assim como para as sub-bacias discutidas anteriormente, para a melhor percepção dos acréscimos ocorridos nas vazões de pico e nos volumes para os diferentes cenários, foi realizada uma comparação com os resultados do cenário 1, que possui a maior quantidade de áreas permeáveis. A percentagem (calculada a partir da equação 5.1) correspondente desses acréscimos em relação à vazão e volumes calculados no cenário 1 (de uso atual do solo) está ilustrada na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Valores e percentuais de acréscimo, em relação às condições atuais de uso do solo (cenário 1), nas vazões de pico e volume de escoamento superficial na sub-bacia Leopoldino 1.

		Cenário 2				Cenário 3				Cenário 4			
		Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)	Vazão (m ³ /s)	(%)	Volume (m ³)	(%)
Solo Normal/ (Chuva) Quartil	1º	0,44	3,7	22260	9,8	6,28	53,6	53657	23,6	6,41	54,8	68232	30,0
	2º	0,42	3,3	22467	9,8	5,25	41,7	54239	23,6	5,40	42,9	68978	30,0
	3º	0,49	3,1	22370	9,8	5,33	33,9	53993	23,6	5,51	35,0	68641	30,0
	4º	0,57	3,0	22305	9,7	5,85	30,4	53819	23,5	6,09	31,6	68393	29,8
Solo Saturado/ (Chuva) Quartil	1º	0,30	2,0	12338	4,7	3,26	21,9	27752	10,5	3,27	22,0	32534	12,4
	2º	0,25	1,6	12556	4,7	2,29	14,6	28313	10,7	2,31	14,7	33277	12,5
	3º	0,28	1,5	12448	4,7	2,02	10,6	28036	10,6	2,07	10,8	32907	12,4
	4º	0,31	1,4	12350	4,7	2,05	8,8	27779	10,5	2,13	9,2	32560	12,3

A partir da análise dos resultados ilustrados nas Figuras 5.70 e 5.71 e dos resultados discriminados na Tabela 5.11, confirmou-se a tendência da sub-bacias Santos Dumont, haja vista que os maiores acréscimos de vazão de pico e de volume ocorreram do segundo para o terceiro cenário. Isto pode ser explicado pelo fato de que é justamente nessa mudança de cenário que a maior parte das áreas permeáveis é impermeabilizada, ainda que as APP sejam mantidas intactas. Para condição de solo normal, em termos de vazão de pico, por exemplo, o aumento percentual (em relação ao cenário atual) passou de 3,7% para 53,6%, considerando a distribuição de Huff com probabilidade de 50% para o primeiro quartil. Isto mostra que, assim como na sub-bacia Santos Dumont, para a sub-bacia Leopoldino 1, os lotes vagos apresentam maior influência na atenuação de cheias, uma vez que a sua impermeabilização responde por este grande acréscimo na vazão de pico. É também interessante notar que, no caso específico dessa sub-bacia, grande parte dos lotes vagos está à jusante dos piscinões. Assim, no cenário em que esses lotes são impermeabilizados, não ocorre amortecimento dessas vazões pelos reservatórios, o que resulta em vazões de pico maiores. Ainda para condição de solo normal, do cenário 3 para o cenário 4, os aumentos não foram tão significativos. Para a sub-bacia Leopoldino, apesar das APP apresentarem áreas consideráveis, quando comparadas com os lotes vagos e outras áreas permeáveis (as APP correspondem a 24,9 % das áreas permeáveis, ressaltando que a Área 1 corresponde a 17,3% da área da sub-bacia), a influência destas na atenuação das vazões de pico foi menor pelo fato delas se encontrarem a montante dos reservatórios

de detenção, aos quais cabe a função amortecedora. Aqui, o papel da APP é basicamente auxiliar no amortecimento da vazão de entrada nos reservatórios.

Quando o solo apresenta condições de maior umidade, nota-se o esperado aumento das vazões em todos os cenários, ver Figura 5.70. Não obstante, verificando a Tabela 5.11, observa-se a menor diferença entre as vazões do cenário 1 (atual e mais permeável) para os outros cenários (de maior impermeabilização). Nesse caso, a redução de eficiência de atenuação chega a cair até 89,4% (para as vazões de pico) e até 67,2 % (para os volumes de escoamento superficial).

Assim como nas outras sub-bacias discutidas, em termos de volume, para solo normal, a distribuição temporal de Huff, com probabilidade de 50% no segundo quartil, resultou nos maiores valores. Assim como nas vazões de pico, nota-se um aumento significativo dos volumes do segundo para o terceiro cenário (9,8% para 23,6%). Do terceiro para o quarto cenário o aumento foi menor (23,6% para 30%). Esses resultados mostram que na sub-bacia Leopoldino 1, devido à presença do reservatório de detenção, apenas a manutenção das APP não é suficiente para a redução do escoamento superficial. Para isto, destaca-se que a manutenção de outras áreas permeáveis é imprescindível para a eficiente redução, mesmo porque grande parte dessas áreas situam-se a jusante dos piscinões.

A eficiência exclusiva das APP no amortecimento das vazões de pico e na redução de volume, assim como para as sub-bacias anteriormente discutidas, foi calculada pela comparação entre o cenário 4 (impermeabilização total) e o cenário 3 (somente a APP como área permeável). Os resultados para a sub-bacia Leopoldino são mostrados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Eficiências das APP na sub-bacia Leopoldino 1.

		eficiência na atenuação de vazões		eficiência na redução de volumes	
		%		%	
		solo normal	solo saturado	solo normal	solo saturado
chuva (quartil)	1º	0,72	0,08	4,93	1,62
	2º	0,84	0,13	4,94	1,66
	3º	0,81	0,24	4,92	1,64
	4º	0,94	0,30	4,90	1,61

Analisando-se a Tabela 5.12, observa-se que em condições normais do solo, as APP presentes nesta bacia fornecem eficiência de no máximo 0,94% na atenuação das vazões de

pico, o que equivale a $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$. Ao contrário da baixa eficiência nas vazões de pico, com relação à redução dos volumes, as APP reduzem 4,94% o que equivale a 14739 m^3 . Pode-se dizer que as APP dessa sub-bacia possuem baixa eficiência na atenuação de vazões e maior eficiência na redução dos volumes, já que atenuam apenas $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$, o que corresponde a 2% dos $6,41 \text{ m}^3/\text{s}$ (máximo acréscimo), ver cenário 4 para chuva com probabilidade de 50% no primeiro quartil da Tabela 5.11 e reduzem até 21,4% dos 68978 m^3 (máximo acréscimo), ver cenário 4 para chuva com probabilidade de 50% no segundo quartil da Tabela 5.11. Isso é justificado pelo fato destas APP, apesar de corresponderem a 8,28% da área total da sub-bacia, sendo 5,7% representado pela Área 1, se encontram na sub-bacia a montante do reservatório de detenção, não fazendo grande diferença nas vazões de pico, somente nos volumes. Destaca-se aqui a queda que esses valores sofrem quando o solo encontra-se saturado, decrescendo de 0,9% para 0,3%, nas vazões de pico e de 4,9% para 1,6% nos volumes.

5.3.6 Análises Gerais

Quando se analisa as diferentes curvas de Huff no mesmo cenário, o pico tende a aumentar, além de sofrer deslocamento. Analisando as Figuras 5.62, 5.65 e 5.69; que ilustram o comportamento das 3 sub-bacias em condições normais do solo, nas diferentes distribuições temporais (curvas de Huff), observou-se coerência nos resultados de todas as sub-bacias, ou seja, aumento no pico das vazões, e deslocamento nestes picos, conforme ocorre a mudança das curvas de Huff. As exceções foram observadas nos cenários 3 e 4 da sub-bacia Leopoldino 1, onde a distribuição da chuva com probabilidade de 50% no segundo quartil, apresentou vazões pouco menores que as da chuva com probabilidade de 50% no primeiro quartil.

As simulações evidenciaram que as maiores vazões de pico e os maiores volumes de escoamento superficial foram encontrados na sub-bacia Santos Dumont. Esse resultado é justificado, pois esta é a mais impermeabilizada das 3 sub-bacias analisadas, além de possuir a maior área ($6,57 \text{ Km}^2$).

Na sub-bacia Leopoldino 1, para condição de solo normal, em termos de vazão de pico o aumento percentual (em relação ao cenário atual) passou de 3,7% para 53,6%. Este

aumento foi considerado muito grande, maior que o da sub-bacia Restante, que possui características mais parecidas com esta, que foi de 13% para 18%. Essa discrepância é justificada porque os lotes vagos da sub-bacia Leopoldino 1 equivalem a 1,03 Km² dos 1,45 Km² de áreas permeáveis presentes na bacia, ou seja, 70,8%. Já na sub-bacia Restante dos 1,46 Km² de áreas permeáveis, os lotes vagos representam 0,805 Km², ou seja, 55,16%.

Com relação à eficiência das APP na atenuação das vazões de pico e redução do volume de escoamento superficial; conclui-se que as APP mais eficientes foram aquelas presentes na sub-bacia Restante. A APP menos eficiente, tanto em atenuação de vazão quanto em volume, foi a localizada na Sub-bacia Santos Dumont, devido a sua pequena área, correspondendo a apenas 1% da área total da sub-bacia.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Na análise dos índices de qualidade ambiental para a bacia urbana do córrego das Lajes, tanto os valores diagnosticados de IAV ($2,7 \text{ m}^2/\text{hab}$) quanto os prognosticados na proposta 1 ($11,6 \text{ m}^2/\text{hab}$), foram entendidos como baixos, uma vez que são inferiores aos 15 m^2 de áreas verdes/hab, proposto pela SBAU. O valor prognosticado na proposta 2 ($33,5 \text{ m}^2/\text{hab}$) foi considerado satisfatório, pois é superior ao mínimo estabelecido pela SBAU. Apesar do fato da segunda proposta considerar áreas que com a proposta 1 continuavam em déficit de áreas verdes, as duas propostas mantiveram um padrão de distribuição agregada. A proposta 2 foi considerada melhor do que a 1, já que esta prognosticou valores maiores para os índices e traz maiores benefícios ecológicos, pois as áreas verdes deixam de ser seguimentos isolados, aumentando seu grau de conectividade e contribuindo para a troca gênica. Apesar desses fatores, sabe-se da grande dificuldade da obtenção, pelo poder público, dos lotes particulares, os quais foram à maioria nesta proposta. Recomenda-se que outras áreas privadas e públicas, com condições de se transformarem em áreas verdes, sejam futuramente mapeadas e adquiridas pelo poder público, para que haja o aumento considerável de todos os índices calculados.

É necessário reconhecer a importância do diagnóstico como ferramenta indispensável para a realização de um planejamento ambiental, que permitirá não apenas o desenvolvimento do processo de regularização ambiental, mas também a construção de um sistema de gestão sustentável. Tanto a quantificação das áreas verdes, quanto à qualificação das APP neste estudo, visaram servir de ferramenta para nortear a gestão ambiental urbana no sentido corretivo e preventivo. A partir dos diagnósticos, os quais basearam-se em visitas de campo nas três APP, nenhum dos fatores de degradação avaliados nas áreas foi

considerado baixo, o que ressalta a importância das providências a serem tomadas para que esses fatores não se agravem mais.

O estudo propõe a transformação das APP em AVDP. Entende-se que essa transformação melhoraria a qualidade ambiental do espaço urbano, sendo que essas áreas poderiam ser melhor recuperadas (como verificado nos diagnósticos, estas áreas encontram-se empobrecidas em sua biodiversidade faunística e florística, sofrendo a ação de vários fatores degradantes e desvio de suas funções) e melhor fiscalizadas por meio da população, que seria integralizada a essa área, ajudando a manter este novo ambiente em seu meio. Além desses aspectos, a reconstituição arbórea das APP pode influenciar positivamente no amortecimento de cheias, seja pela interceptação da chuva, seja pelo retardo ao escoamento superficial. Isto significaria a recuperação de uma área contextualizada à realidade da cidade, permitindo que seja assegurada também a sua função na drenagem urbana, pois mesmo com as intervenções (benfeitorias) que possam vir a ocorrer nestas, os percentuais de impermeabilização e alteração para ajardinamento, segundo a Resolução CONAMA 369, são limitados respectivamente a 5% e 15% da área total da APP inserida na AVDP. Essas AVDP podem constituir-se em áreas verdes para a conservação dos recursos naturais e espaços livres para o lazer. Porém, deve haver um sério compromisso com o zoneamento da unidade para que a recreação não comprometa o equilíbrio dos ecossistemas, já fragilizados por todo o contexto urbano. Este zoneamento deve incluir áreas para recreação, locais destinados ao descanso e ao contato com a natureza, e até, se achar necessário, áreas de mata isoladas, onde não é permitido o acesso do público.

As áreas permeáveis contribuem para amortecimento de vazões e para redução dos volumes escoados, principalmente quando o solo está em condições de umidade antecedente normais ou seco. Nas condições de solo úmido, conclui-se que essa eficiência foi bastante reduzida, o que acontece justamente nos meses mais chuvosos, onde são maiores os casos de enchente.

Conclui-se a partir dos resultados das simulações que a retirada das APP urbanas na sub-bacia com alto grau de impermeabilização, não influenciou significativamente em termos de macrodrenagem. Deve-se ressaltar que isto não significa que essas áreas possam ser suprimidas, até porque isto seria ilegal. As APP presentes na sub-bacia Restante foram as que obtiveram maior eficiência na atenuação das vazões de pico e na redução do volume

de escoamento superficial. Isto foi verificado pelo fato dessas APP corresponderem relativamente a grandes áreas dentro da referida sub-bacia. Apesar de também ter grande representação na área da sub-bacia correspondente, as APP da sub-bacia Leopoldino 1 tiveram baixa eficiência na atenuação das vazões de pico, porque estas encontram-se na sub-bacia a montante dos reservatórios de detenção. Dessa forma, a presença da APP apenas reduz a vazão de entrada nos reservatórios, os quais são os grandes responsáveis pelo amortecimento de cheias nessa sub-bacia.

A partir dos resultados deste estudo pode-se concluir que a quantidade de APP e áreas verdes presentes na bacia do córrego das Lajes, são insuficientes tanto em termos de qualidade ambiental (índices de qualidade ambiental baixos), quanto em termos de macrodrenagem (baixa eficiência na atenuação das vazões de pico e redução do volume de escoamento superficial) o que ressalta a importância da preservação de outras áreas permeáveis, sendo pela transformação destas em áreas verdes e/ou limitação da taxa de impermeabilização nos lotes, o que traria benefícios sociais, ambientais e da macrodrenagem urbana, proporcionando lazer, restauração ecológica e para o controle das cheias. Essas áreas, atuando em conjunto com as APP, conseguiram reduções mais eficientes nas vazões de pico e no volume de escoamento superficial.

Conclui-se que a implantação de um sistema de bacias de detenção, que reduziriam os valores de vazão de pico, como pode-se notar na sub-bacia Leopoldino 1, associada à eliminação dos fatores degradantes das APP, garante as condições para a execução de projetos de restauração ecológica das áreas de fundo do vale, através da implantação de parques lineares ou a transformação em AVDP e redução efetiva nas vazões de pico.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, I. A. **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Piracicaba, São Paulo, 2004.

AMARAL, E. F. do; MUNIZ, P.S.B.; OLIVEIRA, S.G. de. Planejamento do uso da terra e implantação de práticas agroflorestais em pequenas propriedades rurais no Estado do Acre com base em imagens de satélite. Embrapa Acre. **Documentos**, **56**. Rio Branco: Embrapa Acre, 30p. 2000.

AMARAL, E.F. do; ARAÚJO, E.A. de; MELO, A.W.F. de; RIBEIRO NETO, M.A.; SILVA, J.R.T. da; SOUZA, A.N. **Solos e aptidão agroflorestal**. In: ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente; documento final, 1 fase. Rio Branco: SECTMA. v.1, p.37-49. 2000.

AUTOCAD 2007 for windows, version 17, Autodesk, 2006, 2 CD-ROM.

BADIRU, A. I.; PIRES, M. A. F.; RODRÍGUEZ, A. C. M. **Método para a Classificação Tipológica da Floresta Urbana visando o Planejamento e a Gestão das Cidades**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1427-1433.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Lex**: Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm> Acesso em: 25 set 2006.

BRASIL. **Lei nº 7.803**, de 18 de julho de 1989.

BRASIL. **Lei nº 7.875**, de 13 de novembro de 1989.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 302**, de 20 de março de 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 303**, de 20 de março de 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 369**, de 28 de março de 2006.

BRESSAN, D. **Gestão racional da natureza**. São Paulo, Ed. Hucitec, 1996. 111p.

BUCCHERI FILHO, A. T. ; NUCCI, J. C. Espaços Livres, Áreas Verdes e Cobertura Vegetal no Bairro Alto da XV, Curitiba/PR. Revista do Departamento de Geografia. 2006. Disponível em:

http://143.107.240.111/publicacoes/RDG/RDG_18/RDG18_048_%20059.pdf Acesso em: 05 de maio de 2007.

CAMARA, G.; et al. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun. 1996.

CAMPOS, E.B. et al. Indicadores de campo para solos hidromórficos na região de Viçosa (MG). **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1057-1066, 2003.

CANDIDO, H. G.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. da. Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.368-371, 2002 Disponível em: <http://www.agriambi.com.br> Acesso em: 02 julho de 2007.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARVALHO, L. M. **Áreas verdes da cidade de Lavras/MG: caracterização, usos e necessidades**.115p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2001.

CARVALHO, R. M. B. de. **A Cidade Perdida - Anotações sobre o cotidiano, meio ambiente, política e educação**. Uberaba, MG: Escola da Comunidade Dr. José Ferreira, 1998.

CARVALHO, R. M. B. de. **Vida e morte de um córrego: a história da expansão urbana de Uberaba, MG e do córrego das Lajes**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia, MG, 2004.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. **Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4 Vitória-ES, de 13 a 18 de set/1992, Anais I e II, p. 29-38, 1992.

CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da SBAU (Sociedade Brasileira de Arborização Urbana)**, ano VII, n. 3 - jul/ago/set de 1999, Rio de Janeiro, p. 7, 1999.

CHERNICHARO, C. A. de L *et al.* **Projeto Água Viva-Ante Projeto Dos Interceptores De Esgotos Sanitários Da Sub-Bacia Do Córrego Das Lajes: Estudo Das Vazões Contribuintes E Pré-Dimensionamento Dos Interceptores**. Fundação Christiano Ottoni/ Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba. 2005.

COIMBRA, A. M.; FERNANDES, L. A. **Paleogeografia e Considerações Paleoecológicas Sobre a Bacia Bauru (Cretáceo Superior do Brasil)**. In: VI Congresso Argentino de Paleontologia y Bioestratigrafia, Trelew. Actas: 85-90, Argentina, 1995.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 369, de 29 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP. **Lex:** Disponível em: <www.mma.gov.br/conama/res/res06/res36906.xml> Acesso em: 25 set 2006.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. ; SILVEIRA, A. L. L. da. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 3 n.4. 1998. 19-31

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. CAMPINAS, SP, 2003.

CUNHA, M. R. DA; MARTINS, M. S. de M.; SOUSA, J. S. De; TORRES, J. L. R., FABIAN, A. J. Análise morfométrica e diagnóstico ambiental da microbacia do córrego Limo em Uberaba – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19 (1): 157-167, jun. 2007.

DINIZ, A. A.; BATISTA, R. B; SANTOS, R. F. dos. Popularização da taxonomia de solo: vocabulário mínimo e aspectos sócio-econômicos no contexto do ensino fundamental, em São Miguel, Esperança (PB). **R. Bras. Ci. Solo**, 29:309-316, 2005.

DOUGLAS, I. The urban environment. London: **Edward Arnold**, 229p.1983.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de meia intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, 1982.562p.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente, **Iniciação ao Desenvolvimento Sustentável**, FEAM, Belo Horizonte, MG, 2003.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. **A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil)**. In: Anais da Academia Brasileira de Ciência, 68(2); 195-205.

FERRI, M.G. **Ecologia dos Cerrados**. In: FERRI, M.G. (Coord.). SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., 1977, Itatiaia. São Paulo: Edusp, 1977. p.15-31.

GOPAC (Geologia e Paleontologia Consultores). **Estudos Geológico-Geotécnicos realizados no bairro Alfredo Freire – Uberaba- MG**. Laudo Técnico e Plano de Diretrizes de Controle e Monitoramento. Uberaba, 2006.

GUZZO, P.; CARNEIRO, R. M. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, H. DE. Cadastro Municipal de Espaços Livres Urbanos de Ribeirão Preto (SP): Acesso Público, Índices e Base para novos instrumentos e mecanismos de gestão. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Volume 1, nº1, 2006.

HARDER, I. C. F; RIBEIRO, R. de C. S; TAVARES, A. R. Índices de área Verde e Cobertura Vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.30, n.2, p.277-282, 2006.

HENKE-OLIVEIRA, C. **Análise de padrões e processos no uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano. Estudo de caso: município de Luiz Antônio (SP).** Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 2001.

HENKE-OLIVEIRA, C. **Planejamento Ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes : diagnóstico e propostas.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP; 1996.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em: 17 outubro 2007.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao SPRING-Apostila Teórica.** 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **SPRING: Manual do usuário.** São José dos Campos: INPE, 2005.

INPE. **SPRING – Sistema de processamento de informações georeferenciadas:** release 4.3.3. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/indice.htm>> Acesso em: 10 jan.2007.

JESUS, S. C. de; BRAGA, R. Análise espacial das áreas verdes urbanas da estância de águas de São Pedro (SP). **Caminhos de Geografia** 18 (16) 207- 224, out/2005 Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> Acesso em: 05 de maio de 2007.

JIM, C.Y.; CHEN, S.S. Comprehensive greenspace planning based on landscape ecology principles in compact Nanjing City, China. **Landscape and Urban Planning**, [SI] v. 998. p. 1-22.2003.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **GEONOMOS**, 5(1):17-40.1998 Disponível em: http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/5_1_17_40_Ker.pdf Acesso em: 02 de junho de 2007.

KIELBASO, J. J. Urban forestry: the international situation. In: Congresso Brasileiro sobre Arborização Urbana, 2, 1994. São Luis. **Anais...** São Luis: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1994. 613 p. p. 3-12.

LEFEBVRE, H. **O direito a cidade.** São Paulo:Nacional. 1969

LOMBARDO, M.A. **Vegetação e clima.** In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, Curitiba-PR, FUPEF/PR, p. 1-13. 1990.

LOPES, I. V., et all. **Gestão ambiental no Brasil.** São Paulo: FGV, 2000.

LORUSSO, D. C. S. **Gestão de áreas verdes urbanas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1. Vitória. Anais ... Vitória: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, p. 105-108. 1992

MARCUS, M. G.; DETWYLER, T. R. **Urbanization and environment**. Belmont/Cal., Duxburg Press, 1972.

MAZZEI, K.; COLESANTI, M. T. M.; SANTOS, D. G. dos. Áreas verdes urbanas, espaços livres para o lazer. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19 (1): 33-43, jun. 2007.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da; LIMA, J. M. de; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. de. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.121-128, 2003.

MILANO, M. S. A cidade, os espaços abertos e a vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, 1992. Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1992. p.3-13

MINAS GERAIS. **Lei nº 9.375, de 12 de dezembro de 1986**.

MORAIS, O. R. de. **Enchentes em Uberaba**. (Monografia de Especialização). Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba – FAZU, Uberaba, 2001.

MOURA, T. A. M. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.

NASCIMENTO, N.O *et al.* **Estudo do Sistema de MacroDrenagem da Cidade de Uberaba: Bacia Hidrográfica do Córrego das Lajes - Relatório Parcial 2/2005: diagnóstico**. Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia/Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. 2005

NAKAZONE, L. M. **Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDH**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica de Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª edição. São José dos Campos, d. Edgard Blücher Ltda, 1998. 308p.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de Ecologia e Planejamento da Paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. São Paulo: Humanitas/ FFLCH-USP, 2001.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro. CBS, 1985.

OLIVEIRA, M. S. M. de. **Rio Uberaba: quando os desgastes ambientais refletem os desgastes sociais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia , Uberlândia, 2005.

OLIVEIRA, P. S. G. de. **Estudo das várzeas visando o controle de cheias urbanas e a restauração ecológica: o caso do parque linear do ribeirão das Pedras, em Campinas, SP**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**. v. 19, n. 110. p. 40-45. 1995.

PISANI, M. A. J. P. Características Naturais e Antrópicas Agravantes nos Processos de Escorregamentos em Encostas Urbanas. **Revista Sinergia**, São Paulo: CEFET-SP – Centro de Educação Tecnológica de São Paulo, vol. 4, 2003, p.99-103 Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/7p3c.html>. Acesso em 19/11/2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA. **Mapa de Áreas Verdes e Áreas Institucionais**. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/semie/mapas/aveai.pdf> Acesso em: 05 de abril de 2007a.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA (PMU). **Plano Diretor**. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/planodiretor> Acesso em: 03 julho de 2007b.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA (PMU). **Caracterização do Município**. Disponível: http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/sedet/Dados2006/cap1_caracterizacao.pdf Acesso em: 03 julho de 2007c.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N; SILVA, D. D. da. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.301-307, 2001

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. DE; CORRÊA, G.F. 1997. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 2ª Ed. Viçosa: Neput, 367p.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5ª edição. Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia. 2003.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia, 1996. 104p.

SABADIN, V.A., GOMES, F., NOGUEIRA, A. F., LOPES, R, PERISSINATTO, M., ROZZA, A., DE F. **Planejamento Participativo para Recuperação de Floresta Urbana em Área Verde do Município de Piracicaba/SP**. Seminário Nacional Degradação e Recuperação Ambiental. 2003. Disponível em: www.sobrade.com.br/eventos/2003/seminario/Trabalhos/026.pdf Acesso em: 05 out.2006.

SANTOS, M. I. M. dos; HIPÓLITO, J. R. **Análise do escoamento em rios sujeitos à influência da maré**. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Évora. 2005.

SARTIF Serviços Ambientais de Responsabilidade Técnica, Imobiliária e Fundiária Ltda – **RCA Fazenda Maringá – Município Uberaba – MG**.

SBAU- Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. “Carta a Londrina e Ibiporã”. **Boletim Informativo**, v.3, n.5, p.3, 1996.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. **Revitalização Florestal de Uberaba**. 2007.

SILVA, A.G. **Avaliação da arborização do perímetro urbano de Cajuri-MG pelo método do quadro sintético**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SILVA, J. W. da; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de UBERABA-MG. **Ciênc. agrotec., Lavras**. V.27, n.3, p.665-674, maio/jun., 2003.

SILVA, M. K. A., ROSA, R. Cobertura vegetal natural e uso antrópico nas UPGRH's e bacias hidrográficas federais do bioma Cerrado – MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19 (1): 169-183, jun. 2007.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras Municipais**. São Paulo, Editora: Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M et al. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1998.

VIADANA, A. G. A classificação fisionômica de Kuechler empregada na definição dos padrões vegetacionais do cerrado. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 3(2): 103-107, Dezembro – 2005. Disponível em: www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm Acesso: 20 setembro de 2007.

WISEU, T.; *et al.* **Modelos uni e bidimensionais na simulação de cheias induzidas por roturas de barragens. A experiência do vale do Arade**. Coimbra. 1999. Disponível em: www.dha.inec.pt/nre/português/funcionários/papers.tviseu/art.iv%20silusba.pdf Acesso em: 01 junho de 2008.

ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. Gradex e Santa Bárbara: método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macro drenagem urbana. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. João Pessoa - Paraíba. 2005. Disponível em: http://www.artigocientifico.com.br/uploads/artc_1150910336_11.pdf Acesso em: 15 de janeiro de 2007.

ANEXOS

Códigos dos programas

A1 – FUNÇÕES CURVAS DE HUFF

```

Function huff_1(x)
'DISTRIBUIÇÃO DE HUFF ACUMULADA COM PROB. DE 50% NO PRIMEIRO QUARTIL
'*****
huff_1 = 0.0001184895 * x ^ 3 - 0.032513429 * x ^ 2 + 3.0613031609 * x
End Function

Function huff_2(x)
'DISTRIBUIÇÃO DE HUFF ACUMULADA COM PROB. DE 50% NO SEGUNDO QUARTIL
'*****
A = 5.87121 * 0.000001
B = -1.44066 * 0.001
C = 1.04768 * 0.1
D = -9.57391 * 0.1
E = 1.37413
huff_2 = A * x ^ 4 + B * x ^ 3 + C * x ^ 2 + D * x + E
End Function

Function huff_3(x)
'DISTRIBUIÇÃO DE HUFF ACUMULADA COM PROB. DE 50% NO TERCEIRO QUARTIL
'*****
A = 6.60987 * 0.000000001
B = -1.92496 * 0.000001
C = 2.00555 * 0.0001
D = -8.96766 * 0.001
E = 1.71805 * 0.1
F = -6.62204 * 0.1
huff_3 = A * x ^ 6 + B * x ^ 5 + C * x ^ 4 + D * x ^ 3 + E * x ^ 2 + F * x
End Function

Function huff_4(x)
'DISTRIBUIÇÃO DE HUFF ACUMULADA COM PROB. DE 50% NO QUARTO QUARTIL
'*****
A = -7.19401 * 0.000000001
B = 1.96767 * 0.000001
C = -1.97733 * 0.0001
D = 9.05332 * 0.001
E = -1.81403 * 0.1
F = 1.51663
huff_4 = A * x ^ 6 + B * x ^ 5 + C * x ^ 4 + D * x ^ 3 + E * x ^ 2 + F * x
End Function

```

A2 – MÉTODO SANTA BÁRBARA

```

Sub Método_Santa_Bárbara()
'*****
'GERAÇÃO DO HIDROGRAMA DE ENTRADA
'*****
*****

'1-DECLARAÇÃO DOS VETORES:
Dim huf(300), P_faixa(300) As Variant
Dim P_acumulada(300), Q(300), Q_faixa(300) As Variant
Dim inf_faixa(300), i_imp(300), i_perm(300) As Variant
Dim I_(300), vazão(300) As Variant

Sheets("1").Activate
Range(Cells(21, 1), Cells(1000, 2)).ClearContents

'2-DADOS INICIAIS:
A = Cells(5, 2)           'Km2
Ai = A - Cells(6, 2).Value 'Km2
t = Cells(12, 2)         'h
dt = Cells(13, 2)       's
Qo = 0                   'm3/s
Tr = Cells(11, 2)       'anos

'3-DEMAIS DADOS DA BACIA:
tc = Cells(8, 2)         'min
If (t >= 1) Then
    nn = 0.7398
Else
    nn = 0.5681
End If
'Equação de chuva local:
i = (33.382 - 7.558 * (Log(-Log(1 - 1 / Tr)))) / (t ^ nn) / 60 'mm/min
CN = Cells(7, 2)

'4-CÁLCULOS INICIAIS:
P = i * t * 60           'mm
S = 25400 / CN - 254     'mm
D = Ai / A
kr = dt / (2 * tc * 60 + dt)

'5-STA BÁRBARA PROPRIAMENTE DITO:

'5.1 - Distribuição temporal da chuva:
tempo = 0
k = 2
P_faixa(1) = 0
Do
    tempo = tempo + dt
    If (Cells(15, 2) <> "") Then
        huf(k) = huff_1(tempo / (t * 3600) * 100)
    ElseIf (Cells(16, 2) <> "") Then
        huf(k) = huff_2(tempo / (t * 3600) * 100)
    ElseIf (Cells(17, 2) <> "") Then
        huf(k) = huff_3(tempo / (t * 3600) * 100)
    ElseIf (Cells(18, 2) <> "") Then
        huf(k) = huff_4(tempo / (t * 3600) * 100)
    End If
    If (tempo <= 1 * t * 3600) Then
        P_faixa(k) = (huf(k) - huf(k - 1)) * P / 100
    Else
        P_faixa(k) = 0
    End If
    k = k + 1
Loop Until (tempo >= 3 * t * 3600)

```

```

'5.2 - Precipitação e Runoff acumulados:
tempo = 0
k = 1
P_acumulada(0) = 0
Do
    tempo = tempo + dt
    P_acumulada(k) = P_acumulada(k - 1) + P_faixa(k)
    If (P_acumulada(k) > 0.2 * S) Then
        Q(k) = (P_acumulada(k) - 0.2 * S) ^ 2 / (P_acumulada(k) + 0.8 * S)
    Else
        Q(k) = 0
    End If
    k = k + 1
Loop Until (tempo > 3 * t * 3600)

'5.3 - Runoff por faixa:
tempo = 0
k = 1
Q(0) = 0
Do
    tempo = tempo + dt
    Q_faixa(k) = Q(k) - Q(k - 1)
    k = k + 1
Loop Until (tempo > 3 * t * 3600)

'5.4 - Infiltração por faixa, velocidades do escoamento superficial e entrada no
reservatório imaginário:
tempo = 0
k = 1
Do
    tempo = tempo + dt
    inf_faixa(k) = P_faixa(k) - Q_faixa(k)
    i_imp(k) = P_faixa(k) / dt * 3600
    i_perm(k) = Q_faixa(k) / dt * 3600
    I_(k) = A * 1000000 * (i_imp(k) * 0.001 / 3600 * D + i_perm(k) * 0.001 / 3600
* (1 - D))
    k = k + 1
Loop Until (tempo > 3 * t * 3600) 'aqui foram calculadas as colunas 7 a 10

'5.5 - Hidrograma no exutório:
tempo = 0
k = 1
vazão(0) = Qo
I_(0) = 0
Do
    tempo = tempo + dt
    vazão(k) = vazão(k - 1) + kr * (I_(k - 1) + I_(k) - 2 * vazão(k - 1))
    If (vazão(k) < 0) Then
        vazão(k) = 0
    End If
    k = k + 1
    Cells(k + 19, 1) = tempo / 3600
    Cells(k + 19, 2) = vazão(k - 1)
Loop Until (tempo > 3 * t * 3600)

'5.6 - Vazão de pico e volume de escoamento superficial:
tempo = 0
k = 1
vol_es = (0 + vazão(1)) * dt / 2
Do
    tempo = tempo + dt
    dvol = (vazão(k) + vazão(k + 1)) * dt / 2
    vol_es = vol_es + dvol
    If (k > 1) Then
        If (vazão(k) > vazão(k - 1) And vazão(k) > vazão(k + 1) And tempo < t *
3600) Then

```

```

        vaz_max = vazão(k)
    End If
    End If
    k = k + 1
Loop Until (tempo > 3 * t * 3600)
Cells(5, 4) = vaz_max
Cells(5, 6) = vol_es
Cells(2, 1).Activate

End Sub

```

A3 – MÉTODO DE PULZ

```

Sub Método_de_Pulz()
'*****
' MÉTODO DE PULZ PARA ESTIMATIVA DE AMORTECIMENTO DE VAZÕES EM RESERVATÓRIOS
'*****

'DECLARAÇÕES DE VETORES E ATRIBUIÇÕES INICIAIS
'*****
Dim cotal(100), volume1(100), descarga1(100), aux1(100) As Variant 'parâmetros
curva-chave p/ R1
Dim cota2(100), volume2(100), descarga2(100), aux2(100) As Variant 'parâmetros
curva-chave p/ R2
Dim Inp1(500), S1(500), QR1(500), MR1(500) As Variant
Dim S2(500), QR2(500), MR2(500) As Variant

Sheets("1").Activate
Range(Cells(32, 5), Cells(10000, 6)).ClearContents

'LEITURA DAS CURVAS-CHAVE:
'*****
Sheets("2").Activate
j = 1
dt = Sheets("1").Cells(19, 2) / 3600 'passo de tempo em horas
Do
    cotal(j) = Cells(j + 5, 1)
    descarga1(j) = Cells(j + 5, 3)
    volume1(j) = Cells(j + 5, 2)
    aux1(j) = 2 * volume1(j) / (dt * 3600) + descarga1(j)
    Cells(j + 5, 4) = aux1(j)
    j = j + 1
Loop Until (Cells(j + 5, 1) = "")
n1 = j - 1
j = 1
Do
    cota2(j) = Cells(j + 24, 1)
    descarga2(j) = Cells(j + 24, 3)
    volume2(j) = Cells(j + 24, 2)
    aux2(j) = 2 * volume2(j) / (dt * 3600) + descarga2(j)
    Cells(j + 24, 4) = aux2(j)
    j = j + 1
Loop Until (Cells(j + 24, 1) = "")
n2 = j - 1

'LEITURA DAS VAZÕES DE ENTRADA (CALCULADAS PELO SANTA BÁRBARA)
'*****
Sheets("1").Activate
i = 1
Do
    Inp1(i) = Cells(i + 31, 3)
    i = i + 1
Loop Until (Cells(i + 31, 1) = "")
n = i - 1

```

```

'APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PULZ
'*****

'Atribuindo volumes e descargas iniciais:
nivel1 = cotal(5)
For j = 1 To n1 - 1
  If (nivel1 >= cotal(j) And nivel1 <= cotal(j + 1)) Then
    S1(1) = (nivel1 - cotal(j + 1)) / (cotal(j) - cotal(j + 1)) * (volumel(j)
- volumel(j + 1)) + volumel(j + 1)
    QR1(1) = (nivel1 - cotal(j + 1)) / (cotal(j) - cotal(j + 1)) *
(descargal(j) - descargal(j + 1)) + descargal(j + 1)
  End If
Next
nivel2 = cota2(3)
For j = 1 To n2 - 1
  If (nivel2 >= cota2(j) And nivel2 <= cota2(j + 1)) Then
    S2(1) = (nivel2 - cota2(j + 1)) / (cota2(j) - cota2(j + 1)) * (volume2(j)
- volume2(j + 1)) + volume2(j + 1)
    QR2(1) = (nivel2 - cota2(j + 1)) / (cota2(j) - cota2(j + 1)) *
(descarga2(j) - descarga2(j + 1)) + descarga2(j + 1)
  End If
Next

'Variação temporal:
i = 1
Do
  'Saída de R1:
  MR1(i) = (Inp1(i) + Inp1(i + 1)) + (2 * S1(i) / (dt * 3600) - QR1(i))
  lado2 = MR1(i)
  For j = 1 To n1 - 1
    If (lado2 >= aux1(j) And lado2 <= aux1(j + 1)) Then
      QR1(i + 1) = (lado2 - aux1(j + 1)) / (aux1(j) - aux1(j + 1)) *
(descargal(j) - descargal(j + 1)) + descargal(j + 1)
      y = (QR1(i + 1) - descargal(j + 1)) / (descargal(j) - descargal(j +
1)) * (cotal(j) - cotal(j + 1)) + cotal(j + 1)
      S1(i + 1) = (y - cotal(j + 1)) / (cotal(j) - cotal(j + 1)) *
(volumel(j) - volumel(j + 1)) + volumel(j + 1)
    End If
  Next
  Cells(i + 31, 4) = QR1(i + 1)
  i = i + 1
Loop Until (i > n)
i = 1
Do
  'Saída de R2:
  MR2(i) = (QR1(i) + QR1(i + 1)) + (2 * S2(i) / (dt * 3600) - QR2(i))
  lado2 = MR2(i)
  For j = 1 To n2 - 1
    If (lado2 >= aux2(j) And lado2 <= aux2(j + 1)) Then
      QR2(i + 1) = (lado2 - aux2(j + 1)) / (aux2(j) - aux2(j + 1)) *
(descarga2(j) - descarga2(j + 1)) + descarga2(j + 1)
      y = (QR2(i + 1) - descarga2(j + 1)) / (descarga2(j) - descarga2(j +
1)) * (cota2(j) - cota2(j + 1)) + cota2(j + 1)
      S2(i + 1) = (y - cota2(j + 1)) / (cota2(j) - cota2(j + 1)) *
(volume2(j) - volume2(j + 1)) + volume2(j + 1)
    End If
  Next
  Cells(i + 31, 5) = QR2(i + 1)
  i = i + 1
Loop Until (i > n)

End Sub

```