

*Mapa de Impermeabilização do Solo na área Urbana da Bacia
Hidrográfica do Ribeirão das Anhumas, Campinas-SP.*

RELATÓRIO FINAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
Processo n. 04/08193-3

Orientador - Marcio Rossi

Pesquisador Científico

Bolsista – Hubert Bayer Costa

Estagiário

SÃO PAULO

JUNHO/2005

RESUMO DO PLANO INICIAL 09/2004 a 06/2005

Este projeto tem como objetivo efetuar um mapeamento dos diferentes graus de impermeabilização do solo urbano na bacia do ribeirão Anhumas. Para este mapeamento serão utilizadas fotografias aéreas e imagens de satélite da bacia em questão, além do material cartográfico levantado na primeira fase do projeto de políticas públicas da FAPESP intitulado “Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas”, Processo n.º. 01/02952-1 de coordenação geral de Roseli B. Torres do Instituto Agrônômico (IAC), com participação efetiva da UNICAMP, Prefeitura do Município de Campinas, Universidade de Brasília, Instituto Agrônômico de Campinas e Instituto Florestal.

O trabalho foi executado utilizando-se de revisão do material existente, fotointerpretação e verificações de campo. Serão utilizados os programas Erdas 8.3.1 e Arcview 3.2 para georreferenciamento e digitalização na tela para elaboração dos mapas no formato digital. Como resultado obteve-se o Mapa de impermeabilização do solo na área urbana da bacia hidrográfica das Anhumas, Campinas-SP que pretendeu identificar e cartografar zonas com diferentes graus de impermeabilização e subsidiar os trabalhos de diagnóstico e mapeamento do projeto de políticas públicas, estabelecendo parâmetros e diretrizes para um zoneamento buscando uma melhor compreensão da infiltração e recarga das águas que drenam para esta bacia.

RESUMO DO EXECUTADO NO PERÍODO 01 a 06/2004

Neste segundo período do projeto *Mapa de impermeabilização do solo na área urbana da bacia hidrográfica das Anhumas, Campinas-SP* efetuou-se o georreferenciamento das fotografias aéreas (escala 1:15.000) da área, apuramento dos critérios de determinação de graus de permeabilidade, levantamento bibliográfico sobre dinâmica da água no solo, mapeamento dos graus de impermeabilização nas fotografias aéreas e atualização do mapeamento da imagem de satélite.

Após a fundamentação teórica, levantamento e ajustamento cartográfico em meio digital e mapeamento das fotografias e imagem de satélite, se procedeu a análise dos dados obtidos. Optou-se por discutir as diferenças dos sensores utilizados, fotografia aérea e imagem de satélite, na determinação das manchas de impermeabilização, no que diz respeito às características e escala dos diferentes sensores.

Utiliza-se de duas metodologias distintas para quantificação das manchas de impermeabilização mapeadas na bacia. Uma metodologia determina percentuais de cobertura do solo para a imagem de satélite pelo cruzamento dos polígonos mapeados com uma classificação supervisionada no programa ILWIS, segundo Luchiari (2001). Como esta metodologia não é eficiente para fotografias aéreas, foi adotada uma metodologia de *grid* amostral para quantificação dos graus de impermeabilização mapeados nas fotografias aéreas.

Mapa de impermeabilização do solo na área urbana da bacia hidrográfica das Anhumas, Campinas-SP

INTRODUÇÃO

O trabalho é parte integrante do projeto de políticas públicas da FAPESP intitulado “Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas”, Processo nº. 01/02952-1 de coordenação geral de Roseli B. Torres do Instituto Agrônomo (IAC), com participação efetiva da UNICAMP, Prefeitura do Município de Campinas, Universidade de Brasília, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Instituto Florestal. Este grande projeto tem como objetivo geral o detalhamento do estudo do uso e ocupação das terras na bacia do ribeirão das Anhumas e o aprofundamento do diagnóstico sócio-econômico (diagnóstico do meio físico, diagnóstico sócio-econômico, estruturação de atividades de educação ambiental e registro fotográfico).

Na bacia do ribeirão das Anhumas localiza-se uma das ocupações urbanas mais antigas do município de Campinas, incluindo a região central da cidade, com áreas residenciais, de comércio e serviços, situada sobre as nascentes dos córregos que formam o ribeirão das Anhumas. Nessa bacia, a área urbanizada corresponde a aproximadamente 40%, sendo que nascentes e córregos, no alto curso da bacia, encontram-se aterrados ou canalizados, não respeitando as áreas de proteção permanente (APPs). O mesmo ocorre nas planícies fluviais, várzeas naturais do ribeirão, ocupadas por uma população de baixa renda, que sofre anualmente os efeitos do período chuvoso, caracterizado por inundações. A pressão de urbanização é grande na zona rural, que já apresenta degradação ambiental aparente.

O ribeirão das Anhumas é tributário do rio Atibaia, um dos principais fornecedores de água na Região Metropolitana de Campinas, o que o torna um manancial de interesse regional, onde os problemas acima citados precisam ser equacionados.

Assim, a realização deste Projeto de Pesquisa soma com o Projeto de “Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas” das Instituições proponentes coordenadas pelo IAC; soma com a perspectiva de diagnose e mapeamento; com a abrangência da região objeto; e, finalmente, na meta comum de uma convivência mais harmônica do uso da terra da bacia, com a conservação ambiental.

Devido à complexidade da área em estudo, dos resultados alcançados até então pelo projeto de políticas públicas citado acima e visando cobrir parte dos problemas detectados por esse projeto, executou-se o trabalho “Mapa de impermeabilização do solo na área urbana da bacia hidrográfica das Anhumas, Campinas-SP” que identificou e cartografou zonas com diferentes graus de impermeabilização e visou subsidiar os trabalhos de diagnóstico e mapeamento do projeto de políticas públicas, estabelecendo parâmetros e diretrizes para um zoneamento buscando uma melhor compreensão da infiltração e recarga das águas que drenam para esta bacia.

OBJETIVOS

Especificamente visou o mapeamento, com diferentes graus de impermeabilização do solo, da área urbana na bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas, no município de Campinas-SP, melhorando o plano de informações existentes.

Dentro do mapeamento procurou-se aprimorar formas de identificação e quantificação dos graus de impermeabilização do solo urbano e também, subsidiar zoneamentos e planos de manejo para a bacia hidrográfica e os trabalhos do projeto de políticas públicas.

Um dos objetivos do projeto foi o de apontar as áreas onde o grau de impermeabilização se tornou tão alto a ponto de impedir a infiltração da água da chuva, causando conseqüências na recarga do lençol freático e aumentando o escoamento superficial que contribui para o alagamento de determinados pontos da cidade de Campinas.

HIPÓTESES DE TRABALHO

- Considerando que elementos na superfície do terreno refletem-se, cada qual de forma específica, nos sensores remotos, procurar-se-á padrões de identificação de impermeabilização pela análise e interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélite;
- Como o relevo e os solos influenciam diretamente a percolação e penetração das águas, pressupõe-se que mudanças nos compartimentos morfológicos refletem

sistemas ou tipologias de solos diferentes e, por sua vez, relações infiltração/deflúvio diferentes.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo compreendeu a bacia hidrográfica das Anhumas, que engloba parte da área urbana de Campinas conforme definido no projeto Fapesp “Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas”, Processo n^o. 01/02952-1.

Inserida na Região da Grande Campinas, a bacia do Anhumas situa-se entre as coordenadas UTM, Zona 23, de 7.462.827 a 7.482.500 N e de 282.500 a 296.870 W, correspondendo a uma superfície de 15.024,82ha, aproximadamente 150km². Engloba parte dos municípios de Campinas e Paulínia, esta última a noroeste da bacia, onde o ribeirão desemboca no rio Atibaia. O mapeamento foi realizado em toda a bacia hidrográfica, especialmente nas zonas urbanizadas, foco do estudo.

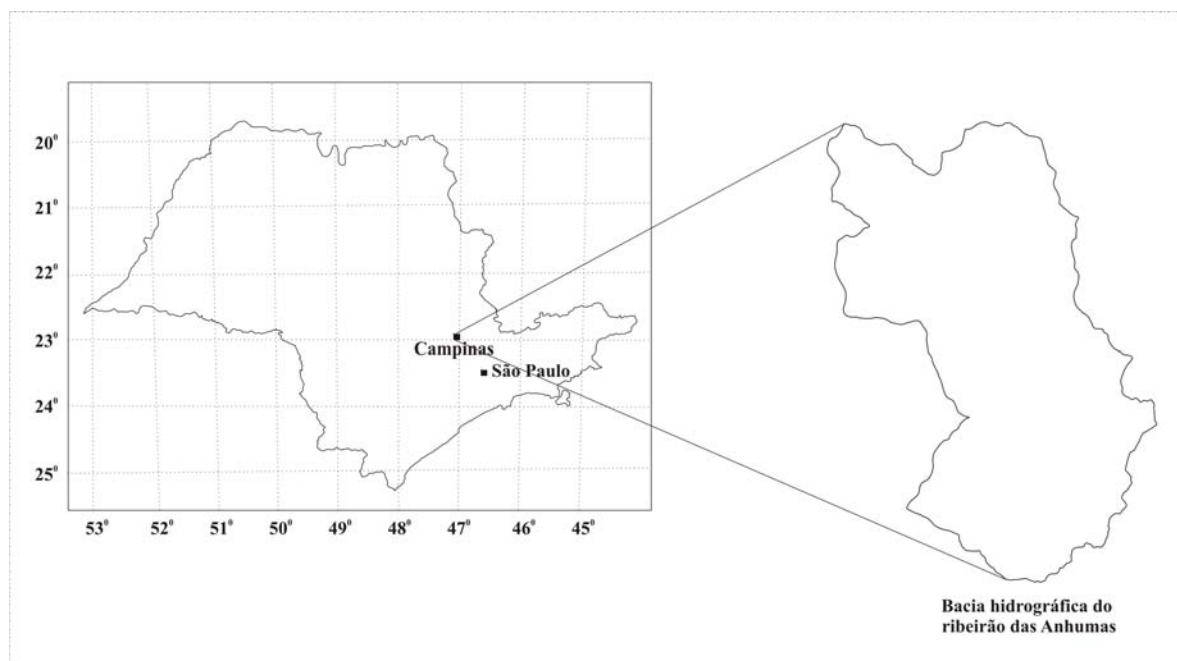


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas dentro do estado de São Paulo.

A área situa-se na transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista, com relevo ao norte e nordeste da bacia formado, predominantemente, por colinas amplas e a leste, por colinas médias e amplas. As planícies aluvionais apresentam, com raras exceções, superfícies reduzidas (Instituto Geológico, 1993) e os remanescentes da vegetação original são raros.

Segundo OLIVEIRA (1980) a topografia regional está representada na sua maior parte por colinas suavizadas, com declives inferiores a 7%. As áreas mais próximas aos principais cursos d'água apresentam um relevo mais acidentado, não ultrapassando 20% (OLIVEIRA, 1980). As altimetrias variam entre 500 e 765m conforme consulta às cartas topográficas 1:10.000.

Para ROSS & MOROZ (1997) a área possui, a leste do ribeirão das Anhumas, formas de topos tabulares com baixa dissecação, vales pouco entalhados e baixa densidade de drenagem, o que compete a este relevo uma classificação de fragilidade potencial baixa. Já no lado oeste do ribeirão, apresenta uma área com formas de topos convexos, muito dissecada, vales entalhados associados a vales pouco entalhados com alta densidade de drenagem, recebendo a classificação de fragilidade potencial alta, ou seja, áreas sujeitas a processos erosivos agressivos com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com voçorocas.

Os dados relativos ao clima da bacia foram obtidos no posto meteorológico da Fazenda Santa Eliza, do Instituto Agrônomo de Campinas. A distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. Os dados de temperatura assinalam valores inferiores a 18°C durante o inverno e superiores a 24°C durante o verão, sendo junho o mês mais frio (17,1°C) e janeiro (23,1°C) o mais quente. Os dados dos valores médios de temperatura do ar e da precipitação pluvial apresentados permitem identificar o clima como mesotérmico de inverno seco, segundo o sistema de Köppen, como do tipo Cwa (Quadro 1). (Gomes & Coelho, 2004)

O regime pluviométrico e o balanço hídrico da bacia possuem grande importância no contexto deste projeto, principalmente em sua relação com os solos e seus diversos graus de impermeabilização.

Balanço Hídrico Normal Compensado (armazenamento do solo: 125 mm)									
Local: Campinas - SP		D4-IAC01							
Latitude: 22°54' S		Longitude: 47° 05' W			Altitude: 674m				
Temp: Média Compensada									
Fonte: DAEE (1959/87) e Centro de Ecofisiologia e Biofísica - IAC									
Mês	Temp	ETo	Prec	Saldo	Neg.Acu.	Armazen.	ETr	Deficit	Exced.
	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm
Jan	23,1	113	240	127	0	125	113	0	127
Fev	23,5	102	191	89	0	125	102	0	89
Mar	23,0	102	147	45	0	125	102	0	45
Abr	21,1	77	71	-6	6	119	77	0	0
Mai	18,7	57	65	8	0	125	57	0	2
Jun	17,4	47	49	1	0	125	47	0	1
Jul	17,3	46	37	-9	9	116	46	0	0
Ago	18,9	60	37	-23	32	97	57	3	0
Set	20,1	71	66	-5	37	93	70	1	0
Out	21,2	87	124	36	0	125	87	0	4
Nov	22,0	97	138	41	0	125	97	0	41
Dez	22,5	107	217	110	0	125	107	0	110
Ano	20,7	967	1381	415	N.A.*	N.A.	961	5	420
* N.A.: não aplicável									

Quadro 1. Balanço Hídrico para a cidade de Campinas, SP.

Geologicamente a área de estudo é constituída principalmente de pedimentos (sedimentos glaciais, fluvio glaciais e lacustre glaciais – arenitos peloditos – silitos – conglomerados e dilitos do pensilvaniano inferior); e rochas intrusivas básicas de diabásio do Rético, segundo MELFI (1967) e MELFI & BITTENCOURT (sd). Na quadrícula de Campinas, encontramos ainda segundo os mesmos autores: rochas sedimentares de aluvião (sedimentos recentes – areias, argilas e cascalhos – do Quaternário ao longo do rio Atibaia no trecho entre Paulínia e Pedreira); e do Pré-Cambriano granitos – gnaisses rico em microclinio a leste, biotita – granito ao norte sob um trecho do leito do rio Atibaia e a sudeste à montante do mesmo rio; e ainda, uma mancha de complexo metamórfico (xistos e gnaisses) cortando a quadrícula de nordeste a sul situada a leste da área urbana de Campinas.

Em mais recente levantamento realizado por Instituto Geológico (1993), a região da bacia do Anhumas encontra-se assentada, a oeste, sobre aluviões do período quaternário, diabásios de idade jurássico-cretácea sob a forma de *sills*, gnaisses do período proterozóico

médio (complexo Itapira), arenitos e ritmitos compostos de siltitos, argilitos e arenitos finos, que constituem áreas restritas do Subgrupo Itararé dentro do domínio de rochas metamórficas do complexo Itapira, e hornblenda-biotita granitos porfíricos da suite granítica Jaguariúna. Na parte leste da bacia foram encontrados diabásios de idade jurássico-cretácea, aluviões do período quaternário, gnaisses do período proterozóico médio (complexo Itapira) e protomilonito de idade proterozóica superior/cambro-ordoviciana. Ao sul da bacia encontram-se aluviões do período quaternário, gnaisses bandados e xistosos do proterozóico médio (complexo Itapira). (Gomes & Coelho, 2004)

No primeiro levantamento de solos para a Bacia, elaborado por OLIVEIRA (1979) foram encontradas três classes de solos segundo a antiga classificação: latossolos, podzólicos e gleys. Estas grandes classes possuem, neste mapeamento semi-detalhado (1:100.000), subclasses que não serão descritas nesta caracterização pois optou-se por utilizar o mapeamento mais atualizado feito na primeira fase do projeto 01/02952-1.

Neste novo mapa de solos, produzido por COELHO et al. (2003) na primeira fase do projeto de políticas públicas, o levantamento pedológico semidetalhado da bacia do ribeirão das Anhumas identificou 17 unidades de mapeamento, compostas por quatro ordens de solo, oito subordens, onze em nível de grande grupo e 17 em nível de subgrupo, totalizando sete unidades simples e 10 associações de solos.

Das 17 unidades de mapeamento, seis são latossolos vermelhos (33,20% da área total), quatro latossolos Vermelho-Amarelos (11,47%), um argissolo Vermelho (0,98%), cinco argissolos Vermelho-Amarelos (49,74%) e um Gleissolo (3,62%). De todas as unidades mapeadas o argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura arenosa/média foi o mais abundante na bacia, ocupando 39,17% da área total.

Os solos da bacia do ribeirão das Anhumas encontram-se distribuídos da seguinte forma: Argissolos na porção sul, sudeste, e leste da bacia (área com maior urbanização consolidada) e acompanhando o leito do ribeirão das Anhumas em direção noroeste; Gleissolos ocupando as planícies fluviais que acompanham a rede de drenagem em geral, principalmente no ribeirão das Anhumas; e, Latossolos na porção oeste, noroeste e nordeste.

OCUPAÇÃO

Bernardo (2002) efetua interessante estudo sobre a ocupação do solo no município de Campinas. Abordando importantes questões históricas, econômicas, geográficas, imobiliárias e legislativa a autora descreve o crescimento da mancha urbana de Campinas em sua tese de Mestrado.

Segundo a autora, a mancha urbana de Campinas vem crescendo significativamente desde a década de 40, com profundas relações com a industrialização da região em diferentes momentos de seu desenvolvimento no país. Mesmo em períodos de crise do modelo econômico brasileiro 1979-1992, o parcelamento do solo urbano de Campinas não perdeu sua força.

O crescimento espacial da mancha urbana foi mapeado no estudo de Bernardes (2002) com fotografias aéreas de 1940, 1953, 1962, 1968, 1978 e 1982 e uma imagem de satélite Landsat TM banda 3 de 1989, produzindo importante material cartográfico do histórico da ocupação da cidade. A quantificação em área da evolução do crescimento urbano, bem como os lotes oficialmente aprovados em cada década constam de tabelas (Quadros 2 e 3) extraídas do trabalho de Bernardes (2002).

Quadro 2. Evolução da Mancha Urbana do Município de Campinas ao Longo dos Anos

Ano	Mancha Urbana m ²	Acréscimo	%
1940	12.320.000	26.836.000	217
1952	39.156.000	36.662.000	93
1962	75.818.000	34.311.200	45
1968	110.129.000	42.263.200	38
1978	152.392.000	20.484.000	13
1989	197.141.000	24.465.000	13

Fonte: mapeamento de levantamento aerofotogramétrico (Bernardes, 2002).

Quadro 3. Total de Loteamentos Aprovados por Décadas, Município de Campinas.

Década	Total de loteamentos
1920	24
1930	42
1940	81
1950	322
1960	66
1970	70
1980	121
1990	60

Fonte: Prefeitura Municipal de Campinas, Seplan, Decon, CPS (Bernardo, 2002)

As instalações de infra-estrutura e localização da cidade tiveram importantes papéis no crescimento da cidade. Aeroporto de Viracopos, ferrovia e rodovias foram bons motivos para instalação da indústria e, conseqüentemente, de crescimento da mancha urbana. As vias e outros aparelhamentos estruturais urbanos instalados na periferia da cidade (água, luz, esgotos e galerias) também contribuíram para um crescimento desordenado e desconectado da mancha urbana original.

A instalação destas infra-estruturas contribuíram para a valorização de áreas desocupadas, criando espaço para especulação imobiliária. O aeroporto de Viracopos desde os anos 30 e, posteriormente, as COHABs nos anos 70 criaram “postos avançados” da urbanização dentro do município, com espaços vazios valorizados nas terras intermediárias.

Hoje em dia, a pressão é causada pelos proprietários rurais muito interessados em lotear suas terras para uso urbano. Estes Bolsões Urbanos são novas frentes de crescimento da urbanização na área rural do município, que encontram na Secretaria de Planejamento o aval oficial para tal empreendimento através da lei 8.853/96. O perímetro urbano de Campinas cresce constantemente, tendo sido alterado 18 vezes em 40 anos segundo estudo efetuado pela Unicamp (Bernardo, 2002).

Essas novas áreas rurais, somadas as glebas não parceladas preexistentes e os lotes vagos da cidade totalizam uma importante extensão em área para avanço e adensamento da mancha urbana de Campinas e, conseqüentemente, para aumento dos graus de impermeabilização do solo na bacia do ribeirão das Anhumas.

OS SOLOS E A ÁGUA

O conhecimento do comportamento da água no solo possui direta relação com o mapeamento desenvolvido neste projeto, pois se considera que diferentes coberturas da superfície do solo respondem diferentemente às águas pluviais, principalmente com relação a capacidade de infiltração e escoamento superficial. Para se mapear a distribuição dos diferentes graus de impermeabilização do solo da bacia é preciso entender como a água se comportaria neste solo, de forma geral e específica, em condições mais próximas do natural. Geral no sentido de como se comporta no elemento solo, e específica no sentido de

como se comporta nos solos encontrados na bacia do ribeirão das Anhumas.

Entender os processos de infiltração e escoamento superficial da água auxilia na compreensão da função do solo dentro do ciclo hidrológico. A partir da função do solo é possível entender como as alterações antrópicas sobre este sistema causam prejuízos ao meio e, conseqüentemente ao próprio homem. Dentre as ações do homem, as diferentes formas e densidades de ocupação no meio urbano são um dos principais fatores de alteração da superfície do solo, principalmente na relação desta superfície com a água.

A água da chuva já é, naturalmente, um elemento que traz muitas transformações e impactos ao solo, pois possui um papel fundamental na evolução e erosão dos perfis e horizontes de qualquer tipo de solo. Porém existem muitas diferenças entre o solo em seu meio natural e o solo no meio urbano. Então, encontraremos em ambiente urbano, a água atuando de forma particular, devido às modificações na concentração e dissipação de energia dos corpos d'água causada pela morfologia antropogênica (Lima, 1990).

Um solo pouco antropizado (rural, por exemplo) dificilmente possui grandes extensões de sua superfície coberta com qualquer tipo de material que impeça a infiltração da água, a não ser em afloramentos rochosos. Muito pelo contrário, as diferentes vegetações que podem se desenvolver em ambientes naturais contribuem para aumentar a capacidade do solo de absorver água de várias formas, seja pela interceptação (impedindo contato direto na gota da chuva com a superfície do solo através das copas e serrapilheiras), por facilitar o caminho da água pela malha de raízes, ou ainda por contribuir para diminuição do escoamento superficial (Guerra *et al.*, 1994).

Em estudo desenvolvido por Vieira (1993) são levantadas algumas características físico-hídricas dos solos do Estado de São Paulo, separando os solos em isotrópicos (diferenciação de horizontes dificilmente perceptível, por exemplo, Latossolo Vermelho Amarelo textura média) e anisotrópicos (diferenciação de horizontes evidente, por exemplo, Podzólico (Argissolo) Vermelho Amarelo). Para cada tipo de solo estudado foram coletadas amostras de três usos contrastantes, mata, cultura perene e cultura anual, demonstrando que diferentes usos da terra implicam em diferentes comportamentos da água.

Percebeu-se que, para grande maioria dos casos, as propriedades físicas são mais restritivas à percolação da água quanto maior é a intensidade de cultivo do solo. Desta

forma, a mata apresentara maior porosidade e maior condutividade hidráulica em relação a culturas perenes e anuais, na maioria dos casos.

Este comportamento é explicado por alguns fatores. Na mata a estrutura natural do solo é preservada, mantendo a maioria de sua porosidade original encontrada principalmente nos macroporos. Os macroporos encontrados nas matas também estão relacionados à dinâmica de carbono orgânico. Desta forma, os maiores valores para condutividade hidráulica saturada em campo referem-se às condições de vegetação natural, principalmente para a camada de 15cm (Vieira, 1993).

Em outros usos do solo esta estrutura natural é “quebrada” de várias formas, como, por exemplo, o uso de maquinário agrícola, os usos de insumos que atuam na dispersão de partículas e diminuição dos agregados e o pisoteamento e compactação do solo em pastagens. Todas estas intervenções de usos mais intensivos diminuem a macroporosidade do solo, e aumentam a microporosidade, causando maiores restrições a percolação da água no perfil.

Para muitos autores (Bertoni *et al.* 1990., Guerra *et al.* 1994 e Brandão *et al.* 2003) a cobertura natural representa uma defesa para o solo, atuando de várias formas para diminuir o efeito erosivo que a chuva provoca em contato direto com o solo. Para Bertoni *et al.* (1990) os efeitos da vegetação podem ser enumerados da seguinte forma: “(a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; (b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; (c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; (d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.”

Guerra *et al.*(1994), além de concordar com os efeitos listados por Bertoni *et al.*(1990), detalha o papel da serrapilheira como retentor de água e interceptador das gotas que atravessam a vegetação, que seria o efeito “d”. A serrapilheira contribui para transferir gradualmente para os horizontes minerais o fluxo d’água de certo tempo de vazão-pico constante, seria a chamada precipitação terminal (Guerra *op.cit.*).

Portanto, a serrapilheira é importante elemento quando ocorre o atravessamento das chuvas pelas copas e fluxos de tronco, caso contrário, as gotas que atravessam poderiam

encontrar um solo exposto, causando a diminuição da taxa de infiltração pelo selamento da superfície do solo decorrente do efeito *splash*.

A questão do atravessamento de chuva pelas copas e fluxos de tronco é um ponto importante levantado por *Guerra et al.* (1994). “Na Floresta da Tijuca, Miranda (1992) observou que chuvas até 10mm podem ser totalmente interceptadas pelas copas florestais, aumentando linearmente o atravessamento com o aumento das chuvas; a interceptação torna-se insignificante durante chuvas maiores e de longa duração.”(*op. cit*) Contudo, por todos os motivos anteriormente expostos, a importância da presença de vegetação não é minimizada com o fenômeno do atravessamento.

Em todas as tabelas encontradas nos trabalhos consultados a vegetação natural apresenta as maiores taxas de infiltração em relação a outros usos, seguidos muitas vezes de pastagens, culturas perenes, anuais e solos sem cobertura, nesta ordem. Dependendo das propriedades do solo e da intensidade de cada uso, essa ordem pode ser alterada.

Neste estudo da bacia das Anhumas as culturas anuais e perenes, pastos, florestas e vegetação natural serão considerados como de alta permeabilidade. Quando comparados ao solo urbano, mesmo os usos mais restritivos para infiltração do solo descritos acima possuem uma taxa de infiltração maior do que a do solo urbano. O solo urbano, com seus arruamentos e áreas edificadas possuem, dependendo do adensamento, altas taxas de impermeabilização, onde a infiltração de água é praticamente nula.

Além da impermeabilização do solo urbano, a morfologia antropogênica criada nas grandes cidades é um elemento importante a ser considerado na sua relação com a dinâmica da água, segundo Lima (1990). A morfologia antropogênica, ao mesmo tempo que depende dos elementos condicionantes dos processos naturais de elaboração das formas (morfologia, morfometria, clima, formações superficiais, cobertura vegetal, litologia, etc), altera diretamente estes elementos. (*op. cit*)

Estas alterações correspondem às superfícies criadas diretamente por ações antrópicas, com representatividade areolar significativa. “Fazem parte deste grupo os patamares criados por cortes e aterros, e as superfícies edificadas e pavimentadas”. (*op. cit*)

Segundo Lima (1990) “o controle de ação das águas é fortemente estabelecido pelo grau de impermeabilização da superfície e das possibilidades de interceptação e retardamento dos fluxos superficiais. Estas quatro categorias (1. área com predomínio

arbóreo e/ou arbustivo; 2. Áreas com predomínio de gramíneas; 3. As superfícies expostas; e 4. As áreas construídas) tem grande representatividade para com a definição do comportamento e “caminhos” das águas pluviais, que são os agentes básicos da morfodinâmica do meio tropical úmido. O monitoramento destas categorias deve ser interessante aos estudos hidrológicos urbanos.”(*op. cit*)

Além destas diferenciações de uso, existem também as diferenças nas propriedades inerentes de cada solo, que contribuem para acelerar ou retardar o movimento da água dentro do perfil. Fatores como a porosidade, a textura e a estrutura naturais do solo influenciam na infiltração da água (Brandão *et al.*, 2003).

A dinâmica da água dentro de um perfil de solo é largamente estudada por pesquisadores das áreas ligadas à agronomia, pois este campo do conhecimento é diretamente interessado no comportamento da umidade para produção agrícola. Por este motivo, grande parte da bibliografia encontrada sobre infiltração é utilizada como fundamentação teórica das hipóteses deste projeto e provêm de estudos de agrônomos e pesquisadores relacionados a agronomia.

A infiltração da água no solo pode ser entendida, segundo Bertoni *et al.* (1990), como o movimento da água no solo, realizado por forças de gravidade e capilaridade. Gravidade quando o movimento ocorre através de grandes poros e em solo saturado, e capilaridade quando ocorre nos microporos e em solo não saturado.

Segundo Guerra *et al.* (1994) estas duas forças (atração capilar e a força gravitacional) devem ser consideradas para se compreender a infiltração em meio poroso. A força gravitacional direciona a água verticalmente no perfil, enquanto a força capilar impulsiona a água em todas as direções, especialmente para cima. A força capilar aumenta conforme o diâmetro dos poros diminuem.

Dentro de um perfil de solo a água se distribui por quatro diferentes zonas segundo Brandão *et al.* (2003): zona de saturação, de transição, de transmissão e de umedecimento. A zona de saturação encontra-se logo abaixo da superfície do solo, normalmente é uma camada estreita de aproximadamente 1,5 cm onde o solo encontra-se saturado. A zona de transição se caracteriza pelo decréscimo acentuado da umidade, ou seja, é uma zona “exportadora” de água, com espessura em torno de 5 cm. A zona de transmissão se caracteriza por pequena variação de umidade em relação ao espaço e tempo, e não tem

espessura constante, pois é aumentada continuamente com a aplicação da água. A zona de umedecimento é estreita e com grande redução da umidade com o aumento da profundidade.

É na zona de umedecimento que se encontra o limite visível da movimentação da água no solo, onde há elevado gradiente hidráulico devido a variação abrupta da umidade, principalmente em solos inicialmente secos (Brandão *et al.*, 2003).

Algo importante a ser entendido para os objetivos deste projeto é que quanto maior a velocidade de infiltração e a capacidade do solo em absorver água, menor será o escoamento superficial da água. Esta função da permeabilidade do solo pode ter grande importância no que diz respeito a eventos calamitosos de enchentes. Horton, segundo Bertoni *et al.* (1990), definiu a capacidade de infiltração como a velocidade máxima com que a chuva pode ser absorvida por dado solo, em determinada condição.

A velocidade máxima de infiltração no solo ocorre durante o começo de uma chuva segundo Bertoni (1990), decrescendo muito rapidamente dependendo das características da superfície e propriedades do solo. Em um solo arenoso, onde existem grandes espaços porosos, espera-se uma velocidade de infiltração mais alta do que em solos argilosos, que relativamente possuem espaços porosos menores.

Um dos fatores mais importantes que determinam a capacidade de infiltração da água no solo é a porosidade, ou seja, a quantidade de espaços vazios por onde a água pode passar. Para a melhor permeabilidade do solo é importante considerar o tamanho de seus poros, pois devido as características físicas da água, poros maiores (macroporos) permitem uma percolação mais rápida do que os menores (microporos). Entendemos percolação conforme termo proposto por Horton *in* Guerra (1994).

Dentre as propriedades do solo que influenciam o tamanho dos poros podemos dizer que, além da estrutura, a textura é o mais importante, pois o tamanho das partículas determina o tamanho dos espaços que ocorrerão entre estas partículas. Solos arenosos (textura grossa) possuem maior quantidade de macroporos do que solos argilosos e, conseqüentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração.

Se, por exemplo, “um solo arenoso tem logo abaixo uma camada de material pouco permeável de argila pode-se esperar alta velocidade de infiltração até que a camada arenosa fique saturada, e, desse momento em diante, infiltração menor, em virtude da camada

argilosa” (Bertoni *et al.*, 1990). A velocidade de percolação depende diretamente da condutividade hidráulica de cada solo, e dentro de um mesmo solo, de cada um de seus horizontes. Então, a velocidade de infiltração também sofre influencia da variação na textura do perfil (*op. cit.*).

Como foi dito, a estrutura também é importante, contribuindo para aumentar a taxa de infiltração em solos argilosos onde a estrutura estável, pois não sofrem dispersão com agentes desagregadores, tais como a água. No caso brasileiro, segundo Brandão *et al.* (2003), onde o ambiente é tropical, o alto grau de desenvolvimento da estrutura do solo pode exercer influência muito mais expressiva na taxa de infiltração do que a textura.

O grau de agregação do solo é um fator que afeta a infiltração, pois se as partículas mais finas são bem agregadas, os espaços porosos entre elas são maiores, proporcionando maior velocidade de infiltração (Bertoni, 1990).

Quando a água penetra na superfície de um solo ela primeiramente preenche os espaços vazios, ou seja, substitui o ar nos macroporos e depois nos microporos. Depois de saturada esta zona superficial a água percola o perfil em um movimento descendente por um processo denominado fluxo saturado (Buckman, 1968), em direção ao lençol freático e, conseqüentemente para o sistema de drenagem da bacia hidrográfica.

A quantidade de água que percola pelo perfil é determinada por alguns fatores, segundo Buckman (1968), como por exemplo: quantidade de água aplicada; capacidade de infiltração da superfície do solo; condutividade total da umidade nos horizontes inferiores; e quantidade de água que o perfil reterá na sua capacidade de campo. A textura e a estrutura dos horizontes determinam as influências de cada um destes fatores. Assim, segundo o autor, solos arenosos têm capacidade de infiltração e condutividade total, bastante elevadas, mas pouca capacidade de retenção de umidade, pois a percolação ocorre com facilidade e rapidez.

Estas características do solo nos permitem entender porquê alguns solos são mais permeáveis que outros, e porquê alguns solos retêm mais umidade que outros. Por um lado um solo muito arenoso, por exemplo, é favorável a infiltração, pois a água percola rapidamente pelo perfil sem grandes impedimentos, permitindo ao solo absorver grandes quantidades. Por outro lado, este mesmo solo não possui microporos suficientes para reter a água absorvida pela força de capilaridade, fazendo com que a água chegue rapidamente ao

lençol freático e ao leito do rio. Esta alta velocidade de percolação não chega a ser tão rápida quanto o escoamento superficial, mas pode ser rápida o suficiente para sobrecarregar os canais principais, causando cheias durante eventos de chuva fortes e prolongados.

Um solo mais argiloso (mais microporos) com boa capacidade de retenção de água (boa força capilar) permite que a água armazenada no solo só chegue aos canais fluviais algum tempo após a chuva, quando a maior quantidade precipitada já escoou, ou seja, a água armazenada não contribui para enchentes e sim para a maior perenidade do canal. Esta propriedade contribui para a estocagem de água no solo, aumentando o período de abastecimento para a bacia. Porém, este mesmo solo pode retardar também a velocidade de infiltração, contribuindo para aumentar o escoamento superficial e, conseqüentemente, o volume de água nos canais fluviais. São nestes casos, por exemplo, que o tipo de cobertura do solo é determinante para aumentar ou diminuir a capacidade de infiltração do solo.

A quantidade de água que um solo consegue armazenar durante um evento de chuva também depende de quanto de umidade este solo já possuía antes do evento. Se o solo encontrava-se seco antes da chuva sua capacidade de infiltração é máxima. Mas se o intervalo entre uma chuva e outra é curto, e o solo ainda se encontra úmido, o perfil irá saturar rapidamente e o escoamento superficial será mais significativo.

Dependendo da intensidade e quantidade de chuva precipitada, a capacidade de infiltração do solo poderá não dar conta de absorver toda a água, neste momento a água passará a escoar superficialmente. Em solos impermeabilizados pela alta densidade urbana, todo o processo de infiltração descrito acima é pulado, e a água escoar superficialmente desde o início do evento de chuva. Mesmo com a canalização urbana própria para essas ocasiões, muitas vezes este sistema de drenagem não dá conta de cumprir a função do solo, que seria a de absorver uma importante parte da água precipitada.

Além da impermeabilização da cobertura do solo, outro fator que contribui para o escoamento superficial é a declividade do terreno. Segundo Souza (2004) em uma declividade superior a 6° o processo de infiltração perde importância, e o escoamento superficial domina o comportamento da água em superfície.

Uma análise da relação entre a água, a declividade e a hipsometria da bacia do ribeirão das Anhumas foi feita por Briguenti (2002), concluindo na ocasião que as áreas com maior risco de inundação são aquelas onde ocorrem baixas declividades em baixas

altitudes relacionadas a áreas mais altas de declives acentuados em seu entorno. Isto porque a baixa declividade determina uma baixa velocidade de escoamento, enquanto que as altas declividades provocam maior velocidade de escoamento. Como consequência, temos áreas com altas declividades escoando muita água para áreas com baixa declividade, onde o escoamento é lento, ocasionando a sobrecarga e o acúmulo de água, ou seja, inundações.

Como exemplo desta relação Briguenti (*op. cit*) cita os trechos próximos a via Norte/Sul e do córrego Brandina em Campinas, que possuem declives de 12 a 17% e, principalmente, na margem esquerda do ribeirão das Anhumas, onde se localiza a rua Moscou, que possui áreas com declives de até 30 % em seu entorno.

Certamente a maior presença de vegetação e solos sem suas superfícies impermeabilizadas nestas áreas, contribuiriam para diminuir a velocidade e quantidade de água escoada superficialmente. Isto vale para as áreas com altas declividades, de onde a água ganha força torrencial, mas também vale para áreas mais baixas com declividades menores, onde a água escoada irá se acumular. Se ambas as áreas possuísem maior capacidade de infiltração de água as quantidades acumuladas nos fundos de vale seriam menores e mais rapidamente absorvidas pelo meio.

SOLOS DA BACIA

Os solos encontrados na bacia pertencem as classes dos Latossolos, Argissolos e Gleissolos, principalmente, segundo Coelho et al. (2003). Dentro desta classificação foram detalhados subníveis, apontando características específicas dentro de uma grande classe. Descreveremos a seguir as definições do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) para os solos da bacia e as principais características relacionadas ao tema do projeto.

Latossolos – Segundo SBCS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – EMBRAPA, 1999) latossolos “são normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B, C, com pouca diferenciação de horizontes, e transições usualmente difusas ou graduais. (...) O incremento de argila do A para o B é pouco expressivo. De um modo geral, os teores da fração argila no *solum* aumentam gradativamente com a profundidade, ou permanecem constantes ao longo do perfil.”

O latossolo é um solo profundo a muito profundo, com pouca e gradual diferenciação de horizontes, permitindo a infiltração da água em seu perfil sem grandes impedimentos físicos entre um horizonte e outro, a não ser em casos de textura muito argilosa onde a dificuldade é grande por todo o perfil, devido à escassez de macroporos. Exceção feita aos latossolos vermelhos férricos, que apresentam estrutura microagregada permitindo a percolação da água com facilidade.

Argissolos – Segundo SBCS (EMBRAPA, 1999) os argissolos são solos com profundidade variada, normalmente apresentam relação textural entre horizonte superficial e subsuperficial, o que lhes imprime uma relação infiltração deflúvio diferenciada dos latossolos. Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, normalmente com estruturação em blocos na subsuperfície, o que modifica sua porosidade. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. (...) A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo incremento de argila daquele para este.”

Os Argissolos possuem características mais restritivas a percolação da água, devido à relação textural mais significativa entre um horizonte e outro. Com o incremento de argila no Bt a água encontra resistência à infiltração no perfil, saturando os horizontes superficiais e acelerando o processo de escoamento superficial.

Porém, a quantidade de argila pode influenciar a estrutura do solo, ou seja, partículas bem agregadas, o que, como dito, pode contribuir para a infiltração uma vez que os espaços porosos entre as partículas são maiores.

Em estudo realizado por Vieira (1993) encontra-se a seguinte constatação ao se comparar um latossolo com um argissolo (podzólico): “...pode-se dizer que os dois Lva tem condições de conduzir toda a água infiltrada na superfície porque, mesmo a 70 cm de profundidade tem altos valores para infiltração saturada. O mesmo não pode ser dito a respeito dos podzólicos (argissolos), os quais tem uma infiltração saturada bastante baixa, fruto da própria gênese que os leva a ter altos teores de argila no horizonte B.”

Os Gleissolos estão limitados a se localizar em uma faixa estrita sob a influência da drenagem principal da bacia. Além de sua pequena área em termos percentuais, suas características específicas são variadas. É relevante registrar que são solos pouco profundos (50cm a 10cm, podendo chegar a profundos 125 cm) saturados em água, o que os coloca

em posição de agradação, ou seja, recebimento de material, ou ainda, como solos com pouca capacidade de absorver mais água (de eventos pluviais).

Dentro dos subníveis de classificação dos solos da bacia, se considerou relevante para a permeabilidade (capacidade de infiltração) dos solos as texturas encontradas. Assim, pode-se considerar que um latossolo tem características mais favoráveis a infiltração da água do que o argissolo. Também pode-se considerar que os solos mais arenosos são mais permeáveis (possuem mais macroporos) do que os mais argilosos (menos macroporos), conforme já foi discutido anteriormente.

Desta forma, no que pode interessar a questão da infiltração da água no solo, nos interessa classificar os solos da bacia em latossolos ou argissolos, arenosos ou argilosos e, caso seja possível, determinar sua profundidade.

Outros atributos, como a estrutura, deverão ser considerados sempre que sua presença influenciar de alguma forma o comportamento da água no perfil. Como é o caso de solos mais estruturados devido a maior presença de microagregados, causando um comportamento melhor no que diz respeito a percolação da água.

Oliveira (2001) adaptou para as condições brasileiras, as classes de permeabilidade definidas pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos onde, a permeabilidade pode variar de muito lenta a muito rápida, passando por lenta, moderada lenta, moderada, moderada rápida e rápida.

A classe de drenagem de um solo, segundo esta classificação, é comandada pela permeabilidade do seu horizonte menos permeável. Os argissolos podem ser encontrados nas classes lenta, moderada lenta e moderada, enquanto que os latossolos podem ser encontrados nas classes moderada, moderada rápida e rápida.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Visando reconhecer e identificar a área foram selecionadas imagens de satélite (Landsat-5/TM e CBERS-2/CCD), fotografias aéreas (fotos 1:15.000 de Junho/2001, do setor sul da bacia hidrográfica e fotos 1:30.000 de Julho/2000, apenas do setor norte, ambos os vôos efetuados pela Base Aerofotogrametria e Projetos S.A.) e todo o material cartográfico necessário à execução do trabalho. Adotou-se como técnica principal, a interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite, na identificação dos elementos

componentes da paisagem. Esse procedimento foi necessário para agilizar e facilitar o mapeamento dos elementos, porém sem dispensar os trabalhos de campo, no detalhamento e comprovações desses elementos.

A análise e interpretação de fotografias aéreas e imagens orbitais iniciou-se pelo registro dos elementos prontamente visíveis, como a rede de drenagem, o relevo, a cobertura vegetal e ocupação antrópica. Estes elementos foram registrados e digitalizados na primeira fase do projeto de políticas públicas, criando uma base cartográfica composta por rede de drenagem, curvas de nível, quadras, etc. Em um segundo nível de abordagem, interpreta-se os demais elementos a partir destes e através da convergência de evidências.

A fotoidentificação baseia-se em elementos observáveis nas fotografias aéreas como cor, textura, tonalidade, forma, dimensão e convergência de evidências, confirmados com verificação e análise de campo, como proposto por LUEDER (1959) e SPURR (1960).

Para identificação dos padrões de ocupação procurou-se manter os mesmos critérios para todos os sensores fotointerpretados. Assim, tanto nas imagens de satélite como nas fotografias aéreas buscou-se a identificação de padrões urbanos de ocupação e seus respectivos graus de adensamento para determinação das manchas de impermeabilização do solo.

A partir destes critérios estabeleceram-se cinco classes de impermeabilização do solo. Sendo que, do mapeamento enviado no relatório parcial, uma classe foi extinta (impermeável verticalizada) e outra foi criada (moderadamente permeável), em decorrência do andamento do mapeamento, conforme havia sido previsto.

Das cinco classes estabelecidas (muito permeável, permeável, moderadamente permeável, pouco permeável e impermeável) procurou-se inserir tipos específicos de usos de solo identificados nos sensores remotos usados (imagens de satélite e fotografias aéreas). Assim temos:

- Muito Permeável:

Inicialmente, foram mapeadas áreas onde a cobertura do solo não possuísse materiais que pudessem selá-lo, como asfalto, concreto, grandes superfícies de rochas expostas, etc. Esta classe engloba áreas de vegetação natural, reflorestamento, culturas, pastos e gramíneas em geral, ou seja, áreas sem cobertura impermeável.

Para possibilitar a determinação de manchas representativas certas generalizações foram necessárias no sentido de permitir pequenas áreas com o solo “selado” quando estas se encontravam inseridas em grandes áreas sem impermeabilização. Então, por exemplo, uma sede de fazenda, que representa apenas uma edificação dentro de uma grande área rural, foi incluída na mancha de áreas muito permeáveis, pois o percentual de impermeabilização da área construída é insignificante dentro da área com alto grau de permeabilidade em que está inserida.

Dentro das áreas mapeadas como muito permeáveis encontraram-se diferentes tipos de cobertura e uso do solo, como áreas florestadas, usos agrícolas e solos expostos, que possuem diferentes comportamentos em relação a infiltração da água conforme foi discutido em outro momento do projeto. Porém, seu agrupamento dentro de uma mesma classe foi escolhido, pois nestas superfícies não há impermeabilização total de grandes áreas construídas ou pavimentadas.

Em alguns casos de solo exposto, a infiltração da água pode ser bastante dificultada pelo efeito *splash* ou compactação da superfície, por exemplo. No caso das pequenas áreas impermeabilizadas dentro de grandes áreas permeáveis, a fotointerpretação das fotografias aéreas permitiu definir se uma superfície de solo exposto deveria ser considerada permeável ou impermeável, dependendo de seu tamanho e de sua relação com as áreas de entorno.

- Permeável:

A classe Permeável foi escolhida para definir áreas com muito baixa ocupação, como os loteamentos em fase inicial de instalação, pois nestas predominam as áreas permeáveis (sem cobertura) com poucas edificações. Apesar de, no momento da quantificação das manchas, o percentual de impermeabilização do solo ser baixo e muito próximo à classe Muito Permeável. Em alguns casos, considerou-se importante o mapeamento destas áreas como indicativas de “frentes” de impermeabilização, onde o solo tende a sofrer um processo de selamento mais acelerado (em termos percentuais) do que em outras áreas, o que é digno de atenção dos órgãos públicos interessados neste tipo de adensamento.

- Moderadamente Permeável:

A classe Moderadamente Permeável indicou áreas mais adensadas e consolidadas de ocupação em relação à classe anterior. Nesta classe, em alguns casos devido ao

médio/alto padrão de algumas áreas, o grau de impermeabilização pode estar mais estabilizado devido ao tipo do uso e tamanho das propriedades, com considerável presença de áreas verdes, como arborização, praças e quintais. Esta classe abrange predominantemente áreas de uso residencial. O que não implica na certeza de que todas as áreas desta classe estejam incluídas neste padrão de uso, é possível que em alguns casos um processo de adensamento ocorra com o passar do tempo, pois são áreas com considerável espaço para novas edificações (lotes sem área construída).

- Pouco Permeável:

A classe Pouco Permeável refere-se a áreas de uso também predominantemente residencial, onde o adensamento de construções é ainda maior em relação a classe Moderadamente Permeável. O nível social dominante obtido através da fotografia aérea é de classe média, com a presença de ruas arborizadas e alguns quintais, mas em sua maioria são quintais com significativo percentual de área construída. Trata-se de uma área horizontalmente ocupada, sendo possível identificar os lotes, não havendo presença significativa de construções “geminadas”. A ocupação do solo tem padrão ordenado, com lotes e quarteirões simétricos e tamanhos semelhantes, excluindo os casos em que a topografia do terreno exige um padrão mais sinuoso.

- Impermeável:

A classe Impermeável refere-se a áreas onde o adensamento urbano é alto, e praticamente todos os espaços já foram edificados, com algumas poucas exceções. Estas áreas localizam-se principalmente na região mais central da mancha urbana de Campinas, onde, excluindo-se as áreas arborizadas de alguns parques, o restante é praticamente impermeabilizado com áreas edificadas e ruas asfaltadas. O padrão de ocupação é variado (residencial médio e baixo, comercial e equipamentos urbanos), com significativa presença de construções geminadas, dificultando a identificação do tamanho das propriedades. O tamanho da propriedade, em alguns casos, pode ser identificado apenas pela descontinuidade da altura das edificações, que em áreas comerciais variam de sobrados a grandes edifícios. O padrão de ocupação se mostrou ordenado nas regiões mais centrais, devendo predominar o uso comercial, com quarteirões de simetria e tamanhos semelhantes; e desordenados em áreas de ocupação de baixo poder aquisitivo, onde a auto-construção preenche a maioria dos espaços, com algumas exceções.

- Impermeável Verticalizada:

Esta classe foi identificada apenas na imagem Landsat-5/TM com o nome de “muito impermeável”, representam as ocupações urbanas muito densas, onde as áreas construídas são predominantemente verticalizadas. O grau de impermeabilização desta classe é equivalente à classe Impermeável.

Todo o material produzido pela fotointerpretação e trabalhos de campo foi sistematizado em ambiente digital georreferenciado tomando-se como base as cartas topográficas em escala de 1:10.000 do GEGRAM digitalizadas. O trabalho de campo, pontos de coleta e observação, foram identificados com GPS para ajuste no meio digital.

Foram desenvolvidos trabalhos de campo a título de reconhecimento da área, sem sistematização de experimentos, dado o exíguo tempo de desenvolvimento da pesquisa. Desta forma, o projeto, em grande parte, foi desenvolvido via sensoriamento remoto em ambiente digital com verificações da verdade de campo.

Para se ter uma visão macro da mancha urbana de Campinas e do comportamento da bacia hidrográfica quanto a sua impermeabilização, iniciou-se o processo com a interpretação da imagem de satélite (Landsat-5/TM) na escala 1:50.000 através do programa ArcView 3.2, onde foram observadas as diferentes texturas e cores da imagem da bacia do ribeirão das Anhumas de acordo com as respostas espectrais que os diferentes usos do solo geram e identificadas zonas com diferentes graus de impermeabilização.

Este procedimento balizou os trabalhos mais detalhados que foram executados com as fotografias aéreas, pois a partir deles se teve uma visão da distribuição das maiores diferenciações de permeabilidade na bacia.

Na Segunda etapa do projeto foi efetuada a atualização do mapeamento feito na imagem Landsat-5/TM, do ano de 1997 (bandas 3, 4 e 5), com uma imagem CBERS-2/CCD do ano de 2005 (bandas 2, 3 e 4). A imagem CBERS utilizada (fev/2005), além de mais atual, possui melhor resolução, sendo obtida através do site do INPE com todas as bandas abrangendo toda a área de estudo.

Os critérios específicos de identificação dos diferentes usos do solo na imagem Landsat-5/TM a partir da composição usada (3, 4 e 5 RGB, respectivamente) foram:

Muito Permeável o reconhecimento foi feito a partir de manchas com resposta espectral em tons de verde (vegetação), pêssego (culturas recentes), lilás claro e lilás escuro

(estes últimos quando apresentavam textura lisa e homogênea – solo exposto mais ou menos úmido). Caracterizando-a como muito permeável.

Permeável, nesta classe predominam as áreas permeáveis, mas com nítida presença de ocupação periurbana sem padrão significativo de loteamentos (quadriculado), perceptível pela presença da coloração lilás claro e cinza claro nesta composição (atribuída a áreas construídas) misturada às colorações da classe muito permeável. Ocorre geograficamente relacionada à classe pouco permeável, caracterizando mancha onde a ocupação urbana fica mais rarefeita, ou se encontra em estágio inicial de expansão.

Pouco Permeável é representada por áreas onde a densidade da ocupação urbana não é alta, pois nota-se na imagem outros usos misturados às áreas construídas, bem como quadras com lotes desocupados (gramíneas ou solo exposto). Apresentam-se na imagem como mancha lilás com padrões de textura quadriculados (presença de arruamentos/loteamentos) com presença de pontos verdes, marrons claro ou lilás de textura lisa (solo exposto). Mancha lilás quadriculada não densa.

Impermeável é definida por manchas de cor lilás clara e média com padrões texturais quadriculados contínuos e rugoso em decorrência das diferentes alturas das construções, com muito pouca presença de outras colorações que possam sugerir áreas permeáveis. A utilização desta tonalidade pode causar erros de interpretação pois, na composição de bandas utilizada para este mapeamento, o lilás de áreas construídas possui o mesmo tom do lilás de solo exposto, diferenciando-se apenas pela textura. Neste caso, o uso de outra composição de bandas ou tratamento da imagem poderia diferenciar estes dois usos do solo, mas este não foi o objeto deste trabalho.

Impermeável Verticalizada é representada pela tonalidade lilás escura com padrões texturais quadriculados contínuos e muito rugoso em decorrência das diferentes alturas das construções, sem presença de outras colorações.

Os critérios utilizados para o mapeamento na imagem de satélite CBERS foram os mesmos no que diz respeito às texturas da imagem, ou seja, os padrões de ocupação identificados na escala utilizada de 1:50.000 – permitindo uma aproximação até 1:30.000 – foram os mesmos em ambas imagens.

As bandas utilizadas na imagem CBERS foram as bandas 2, 3 e 4, resultando em tons e cores diferenciados da imagem Landsat-5/TM. Porém, uma vez identificada a

equivalência do uso pela textura e estrutura de uma mesma área – e recorrendo a escala de detalhe das fotografias aéreas para aferição – os critérios para o mapeamento do grau de impermeabilização foram os mesmos, apenas adequando as cores ao novo sensor (CBERS).

Portanto, para redefinição de algumas manchas mapeadas na primeira etapa identificou-se as alterações na ocupação urbana, no que diz respeito ao avanço em área e adensamento, resultando em um mapeamento de atualização para 2005.

Finalizado o produto prévio do mapeamento das manchas de impermeabilização a partir da fotointerpretação dos sensores remotos procedeu-se à quantificação das manchas para determinação das faixas de percentual de cobertura construída/selada de cada classe.

Para esta quantificação considerou-se que áreas urbanizadas (com concreto ou asfalto) são 100% impermeáveis e que áreas sem construções possuem permeabilidade.

A partir do novo mapa de impermeabilização do solo na bacia, atualizado com a imagem CBERS de 2005, efetuou-se a quantificação do grau de impermeabilização das manchas interpretadas nas imagens de satélite. Foi utilizada uma metodologia que permitisse quantificar qual a área de cada tipo de cobertura dentro de uma mancha.

Para esta quantificação foi utilizada a proposta de Luchiari (2001) para identificação de cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de sistema de informação geográfica (SIG). Esta metodologia utiliza ferramentas do programa ILWIS (Integrated Land and Water Information System) para separar as bandas da composição da imagem utilizada (no caso CBERS-2/CCD); coletar amostras para classificação supervisionada da imagem; classificar a imagem; efetuar correções na classificação; e cruzar a classificação com o mapeamento feito no programa Arcview.

Após a separação das bandas na composição da imagem CBERS procedeu-se à coleta de amostragem para uma classificação supervisionada. Primeiramente são escolhidos os tipos de cobertura do solo que irão orientar a classificação da imagem e suas cores de representação, utilizando-se as classes: água (azul), vegetação arbórea (verde escuro), vegetação gramínea (verde claro), solo exposto (branco) e área urbana (vermelho). Neste momento selecionaram-se amostras da imagem que representavam estas diferentes coberturas do solo, informando ao programa que determinada área selecionada representava um tipo de cobertura. É preciso uma boa quantidade de amostras de cada tipo de cobertura, para que a classificação tenha um resultado mais próximo possível da realidade.

Através das amostras de pixels selecionados o programa executa uma classificação por verossimilhança do restante dos pixels da imagem. Resulta desta classificação uma imagem apenas com as cinco cores dos tipos de cobertura determinados (azul, verde escuro, verde claro, branco e vermelho).

Esta imagem classificada passa por uma verificação, utilizando a composição da imagem original e, como apoio, as fotografias aéreas de detalhe. Esta verificação permite que sejam corrigidas, por comparação, áreas onde o programa tenha classificado de maneira errada as cores associadas aos usos. Isto ocorreu no caso do solo exposto, que foi, de forma generalizada, interpretado como área urbana e vice-versa, exigindo correção.

Para o problema da confusão da classificação do solo exposto com áreas urbanas foi preciso um acompanhamento individual para cada mancha. Em casos onde houve classificação de urbano como solo exposto nas áreas de ocupação consolidada, foram somados os pixels de solo exposto com os de urbanos, desde que se confirmasse com a imagem e as fotografias que de fato tratava-se somente de áreas urbanas. Em casos onde o solo exposto foi classificado como urbano em meio a áreas muito permeáveis procedeu-se o inverso, ou seja, se considerou tudo como solo exposto na quantificação dos pixels.

Depois de classificada e corrigida a imagem foi cruzada com o mapa de impermeabilização interpretado no Arcview. Deste cruzamento resultou uma tabela contendo a quantidade de pixels de cada tipo de cobertura (água, vegetação arbórea, vegetação gramínea, solo exposto e área urbana) em cada polígono. Por exemplo, um polígono possui 100 pixels, dos quais 78 são de área urbana, 10 de solo exposto, 10 de vegetação gramínea e três de água, pode-se dizer que é um polígono de alto grau de impermeabilização, pois 78% de sua área é impermeável.

Na interpretação das fotografias aéreas foi necessário realizar primeiro o seu georreferenciamento.

Portanto, utilizou-se inicialmente o programa Ilwis, georreferenciando as fotografias aéreas no sistema de geração de ortofoto, usando MDE para eliminar as distorções radiais e de paralaxe, com erro mínimo sugerido de sigma 4. Porém, devido ao fato de se dispor apenas de fotografias ímpares da área para este estudo, não foi possível uma sobreposição

de 60% necessária para se diminuir a distorção das extremidades das fotos. Esta distorção das laterais das fotografias aéreas e os escassos pontos de referência da base cartográfica nas áreas rurais inviabilizaram o erro mínimo aceito.

Entretanto, alcançou-se resultado satisfatório com o georreferenciamento feito no software Erdas Imagine 8.3.1, utilizando como base as cartas Gegram 1:10.000 scaneadas e registradas com coordenadas geográficas UTM.

A sobreposição das fotografias com as cartas topográficas e com a base digital (hidrografia e quadras) em ambiente SIG (Arcview) se mostrou mais aproximada do que em ambiente Ilwis neste caso. O não ajustamento preciso das fotografias dificultou o mapeamento na definição de limites de manchas localizados próximas às suas extremidades.

Todo este procedimento contribuiu, sob muitos aspectos, para o objetivo inicial de inserção do estudante no meio técnico-científico e aperfeiçoamento em procedimentos e técnicas utilizadas na área de levantamento e mapeamento do meio físico.

As fotografias georreferenciadas no software Imagine foram salvas em extensão IMG, permitindo seu mapeamento em ambiente Arcview sem a necessidade de exportar/importar em formatações distintas.

Quanto a escala utilizada no mapeamento definiu-se a escala de 1:15.000 como referência, uma vez que a maior definição da fotografia permite o maior detalhe em relação a imagem de satélite (1:50.000).

Apesar da escala de 1:15.000 ter sido utilizada como uma referência, no transcorrer do mapeamento múltiplas escalas foram utilizadas para determinação de uma mancha. Em alguns momentos foi necessário diminuir a escala para se obter uma visão macro da cobertura do solo ou padrão de ocupação, utilizando escalas de 1:30.000 a 1:50.000; e em outros momentos foi necessário a utilização de escalas de maior detalhe (1:10.000 ou até 1:2.000) para identificar melhor a cobertura do solo e traçar os limites das manchas com maior precisão.

Apesar de ter sido previsto que a maior escala de detalhe das fotografias aéreas permitiriam a incorporação de novas classes em relação à quantidade de classes encontradas nas imagens de satélite, isto não ocorreu de fato. Cinco classes de

permeabilidade foram encontradas para as fotografias aéreas, mantendo o número de classes do mapeamento da imagem CBERS.

O que ocorreu foi a inclusão de uma classe e exclusão de outra em relação a classificação do relatório parcial. A classe “muito impermeável”, renomeada como “impermeável verticalizada”, foi extinta no mapeamento das fotografias e da imagem de 2005 (CBERS), pois seu grau de impermeabilização é o mesmo da classe “impermeável”. Por outro lado criou-se uma nova classe, tanto para o mapeamento das fotografias como para o das imagens, que foi a classe moderadamente permeável. A criação desta classe foi necessária para representar um estágio intermediário de ocupação urbana, entre uma ocupação esparsa (classe “permeável”) e uma mais adensada (classe “pouco permeável”).

Para quantificar o percentual de cobertura impermeável que cada classe nas fotografias aéreas possui não foi possível utilizar a mesma metodologia usada para a imagem de satélite. Uma classificação supervisionada de fotografia aérea é possível, porém os erros de classificação seriam muito maiores do que os da imagem, exigindo um trabalho dispendioso de correção.

Também não foi possível utilizar a metodologia de determinação do grau de selamento da superfície do solo em área urbana encontrada no endereço eletrônico do senado de Berlin (AGU, 1991). Não havia informações suficientes, nem suporte necessário, para sua aplicação na área de estudo deste projeto.

Optou-se pela utilização de *grids* amostrais para quantificação do grau de impermeabilização das classes mapeadas nas fotografias aéreas. A utilização dos grids amostrais foi adaptado para este projeto com base em técnicas de medição de áreas como a técnica da contagem ou dos segmentos médios (De Biasi, 1983).

Neste projeto partiu-se de uma área quadrada conhecida para amostragem de uma mancha mapeada. Este quadrado foi subdividido em cem pequenos quadrados e sobrepostos a fotografia aérea onde se localizava uma mancha. A partir desta sobreposição procedeu-se à classificação e contagem dos pequenos quadrados, dominados por áreas permeáveis ou áreas impermeáveis. Desta forma, de cem quadrados, cada amostragem quantificaria o percentual de áreas permeáveis e impermeáveis.

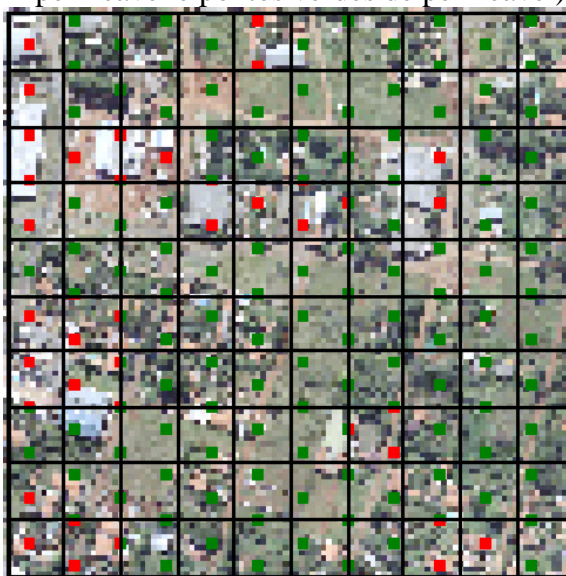
Para determinação da classificação (permeável/impermeável) que dominava cada pequeno quadrado utilizaram-se critérios adaptados de Lemos et al. (1996) para interpretação de percentagem de mosqueado e fragmentos grosseiros em solos.

Em casos onde não houve cobertura dominante, nem permeável nem impermeável, foi adotado um critério de compensação, ou seja, de dois quadrados com metade de cada cobertura um foi classificado como permeável e outro como impermeável. Este critério também foi utilizado em casos onde, por exemplo, vários quadrados apresentavam pequenas áreas permeáveis que não eram dominantes, mas freqüentes. Então, um quadrado, mesmo que dominado por cobertura impermeável, foi classificado como permeável para compensar áreas permeáveis de outros quadrados.

Para a escala das fotografias utilizadas foram criados *grids* quadrados (5 cm de lado) composto por cem pequenos quadrados de 5mm de lado. Na escala da foto (1:15.000) 5mm representam 75 metros, cobrindo partes de um quarteirão.

De cada classe de impermeabilização foram coletadas amostragens de diferentes manchas pertencentes à mesma classe. Desta forma confirmou-se os critérios para fotointerpretação através da quantificação. Esta confirmação ocorreu quando diferentes manchas da mesma classe obtiveram percentuais aproximados de impermeabilização. Para isto procurou-se coletar amostras representativas em quantidade e variedade de manchas.

Figura 2. Exemplo de Grid Amostral (pontos vermelhos classificação de impermeável e pontos verdes de permeável).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia descrita obtiveram-se como resultado três mapas de impermeabilização do solo, um com base na imagem de satélite Landsat-5/TM (1997), um com base nas fotografias aéreas (escalas 1:15.000 de 2001 e 1:30.000 de 2000) e o terceiro com base na imagem de satélite CBERS-2/CCD (2005).

A análise qualitativa e quantitativa dos dados obtidos destes três produtos cartográficos permitiu a conclusão de alguns resultados e a discussão de algumas hipóteses passíveis de serem levantadas.

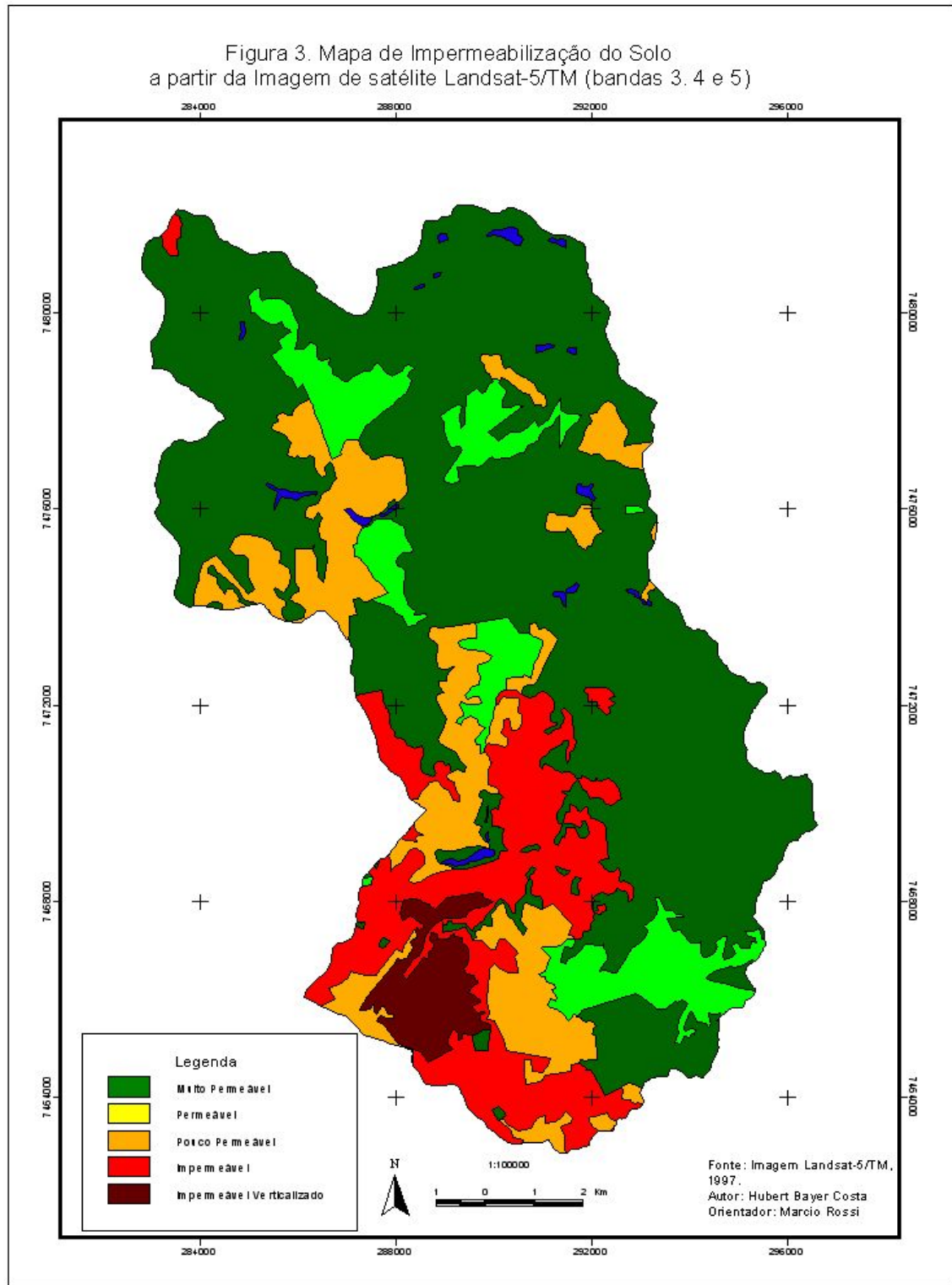
Alguns resultados obtidos do mapeamento da imagem Landsat-5/TM foram descritos no relatório parcial e consistiram na definição das manchas de diferentes graus de impermeabilização conforme a figura 3. A classificação original deste mapeamento sofreu uma pequena modificação com o renomeamento da classe muito impermeável, que passou a ser denominada de impermeável verticalizada, com já foi dito.

Não foi efetuada a quantificação dos graus de impermeabilização para as manchas mapeadas por este sensor, pois optou-se por quantificar apenas o mapeamento da imagem mais atual, no caso, a imagem CBERS de 2005.

Foi incluído neste relatório a quantificação das áreas totais de cada classe para a imagem Landsat-5/TM e inserido em uma tabela comparativa com os dados dos outros dois mapeamentos, para facilitar a análise dos valores encontrados.

Uma adaptação dos resultados de área foi feito devido ao fato do mapa da Landsat-5/TM ter duas classes diferentes em relação aos outros dois mapas. Foi somada a área da classe impermeável com a da classe impermeável verticalizada para equivaler com a classe impermeável dos demais mapas; e a somatória das classes permeável e pouco permeável da Landsat para equivaler com a somatória das classes permeável, moderadamente permeável e pouco permeável. A somatória das classes permeável, moderadamente permeável e pouco permeável foi denominada “urbana intermediária”.

Figura 3. Mapa de Impermeabilização do Solo a partir da Imagem de satélite Landsat-5/TM (bandas 3, 4 e 5)



Quadro 4. Tabela com valores de área das classes mapeadas.

Classe	1997 (Landsat) m ²	2001 (foto aérea) m ²	2005 (CBERS) m ²
Água	9.029.510.000	8.558.290.000	12.256.010.000
Muito Permeável	899.354.930.000	908.799.700.000	849.623.000.000
Permeável	143.254.400.000	204.460.380.000	149.608.860.000
Moderadamente Permeável		70.480.190.000	144.502.330.000
Pouco Permeável	209.005.940.000	87.872.030.000	139.368.770.000
Impermeável	241.837.170.000	222.311.360.000	207.122.980.000

Quadro 5. Tabela adaptada para comparação da área das classes.

Classe	1997 (Landsat) m ²	2001 (foto aérea) m ²	2005 (CBERS) m ²
Água	9.029.510.000	8.558.290.000	12.256.010.000
Muito Permeável	899.354.930.000	908.799.700.000	849.623.000.000
Urbana Intermediária	352.260.340.000	362.812.600.000	433.479.960.000
Impermeável	241.837.170.000	222.311.360.000	207.122.980.000

Percebe-se que na comparação dos valores do mapeamento da Landsat com o da imagem CBERS a diminuição da classe muito permeável (-49.731.930.000m²) e da classe impermeável (-34.714.190.000 m²) somadas (84.446.120.000 m²) corresponde, aproximadamente, ao crescimento da classe urbana intermediária (81.219.620.000 m²).

A diminuição da classe impermeável de 1997 (Landsat) para 2005 (CBERS) deve-se provavelmente a diferença de sensores, pois sensores com melhor resolução permitem uma classificação mais precisa. A possibilidade de utilizar escalas de mais detalhe durante o mapeamento permitiu uma melhor identificação dos limites das manchas e dos graus de adensamento da ocupação urbana.

Desta forma, manchas que na imagem Landsat tinham sido inseridas na classe impermeável, foram reclassificadas como pertencentes a outras classes de menor impermeabilização, causando a diminuição da área total da classe impermeável e aumento das classes urbanas intermediárias. Esta análise comparativa indica um erro embutido no mapeamento feito a partir da imagem Landsat-5/TM. Este erro talvez pudesse ter sido minimizado com a classificação da imagem Landsat-5/TM e quantificação dos graus de impermeabilização de seu mapeamento e/ou com a obtenção de uma imagem Landsat-7/ETM.

Outro erro importante notado no mapeamento das imagens foi a dificuldade de se diferenciar áreas urbanas e solos expostos em alguns casos, pois ambas coberturas do solo possuem respostas espectrais muito semelhantes nas composições utilizadas. Este erro é

significativamente minimizado na fotointerpretação das fotografias aéreas, principalmente em escalas de detalhe.

O erro encontrado na dificuldade de diferenciar área urbana com solo exposto ocorreu, tanto na fotointerpretação das manchas na composição RGB das imagens, quanto na classificação supervisionada feita na imagem CBERS-2/CCD. No caso da classificação, sempre que se percebeu erro nos resultados, se procederam à edição e correção da cobertura do solo. Porém, para as composições RGB nem sempre foi possível distinguir com precisão o solo exposto das áreas urbanas. Em muitos casos a comparação com a fotografia aérea auxiliou no esclarecimento de dúvidas, mas a diferença temporal da tomada das imagens deve ser considerada como agravante.

Com relação à resolução das imagens de satélite, ainda que a imagem CBERS tenha melhor resolução do que a Landsat-5/TM, os limites das manchas são prejudicados durante o mapeamento. Este fato é percebido quando comparamos a geometria dos limites das manchas, diferentes entre o mapeamento feito a partir das fotografias aéreas (figura 4) e os mapeamentos feitos a partir das imagens. O mapa das fotografias aéreas possui limites mais precisos, resultando em manchas mais “dissecadas” e com áreas menores.

Um exemplo desta diferenciação pode ser dado na mancha “permeável” localizada acima da lagoa Taquaral no mapeamento da imagem CBERS (figura 5) e no mapeamento das fotografias aéreas. Ao se comparar a diferença na geometria dessas duas manchas que representam a mesma ocupação pode-se ter uma idéia da diferença dos resultados obtidos em cada tipo de sensor.

Notaram-se dois efeitos ocorridos como consequência da diferença na precisão dos limites em cada sensor. O primeiro diz respeito ao cruzamento da classificação da imagem CBERS-2/CCD com o mapa de polígonos fotointerpretado da mesma. Ao aproximar a sobreposição dos limites dos polígonos com a classificação dos pixels observou-se que classes de uso pertencentes a um polígono entraram na classificação e quantificação do lado errado do limite entre uma mancha e outra. Este erro demandou trabalhoso processo de edição dos polígonos, para que a quantificação dos graus de cobertura impermeabilizada não fosse distorcida.

Figura 4. Mapa de Impermeabilização do Solo a partir das Fotografias Aéreas (escalas 1:15.000 e 1:30.000)

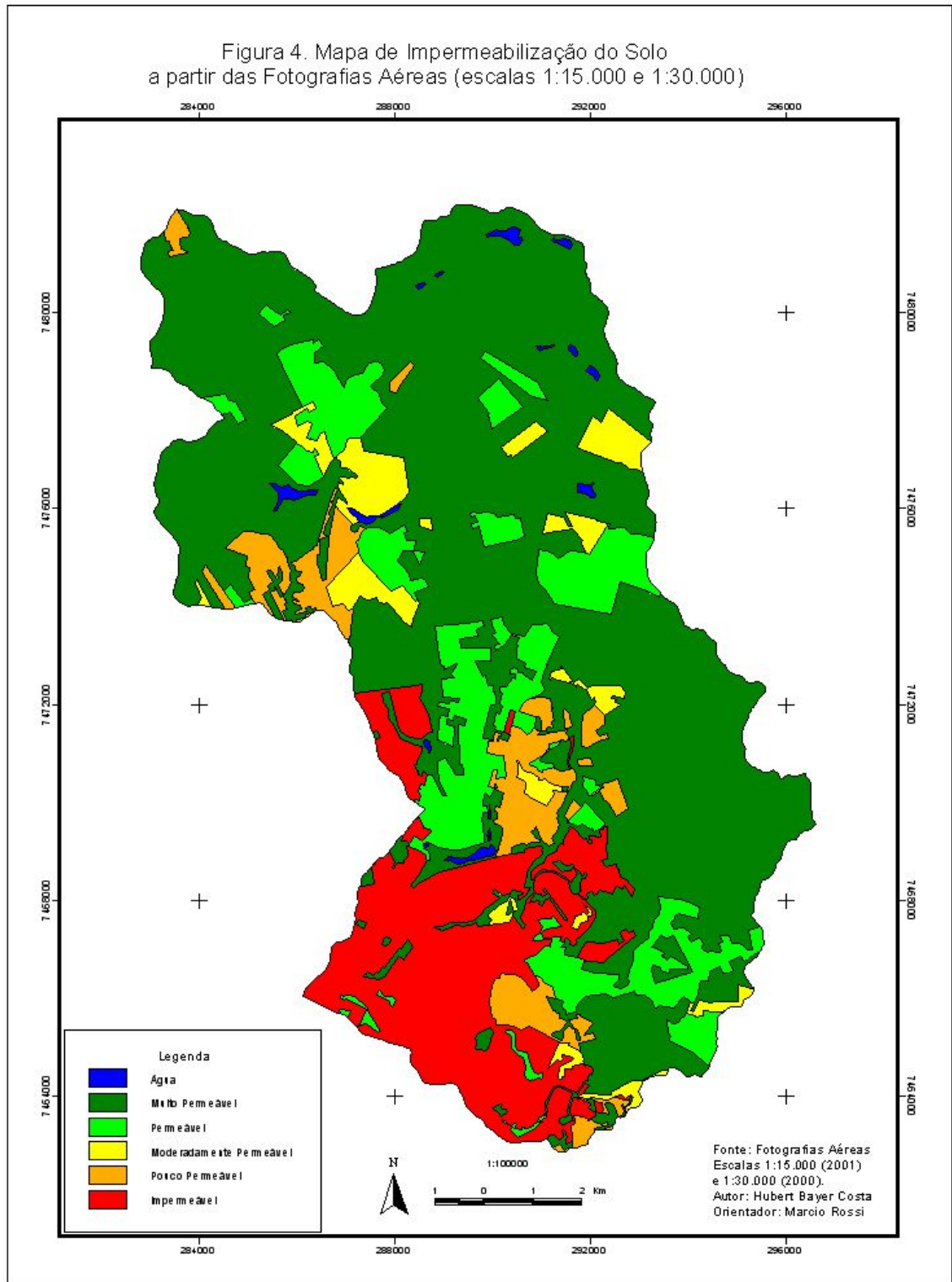
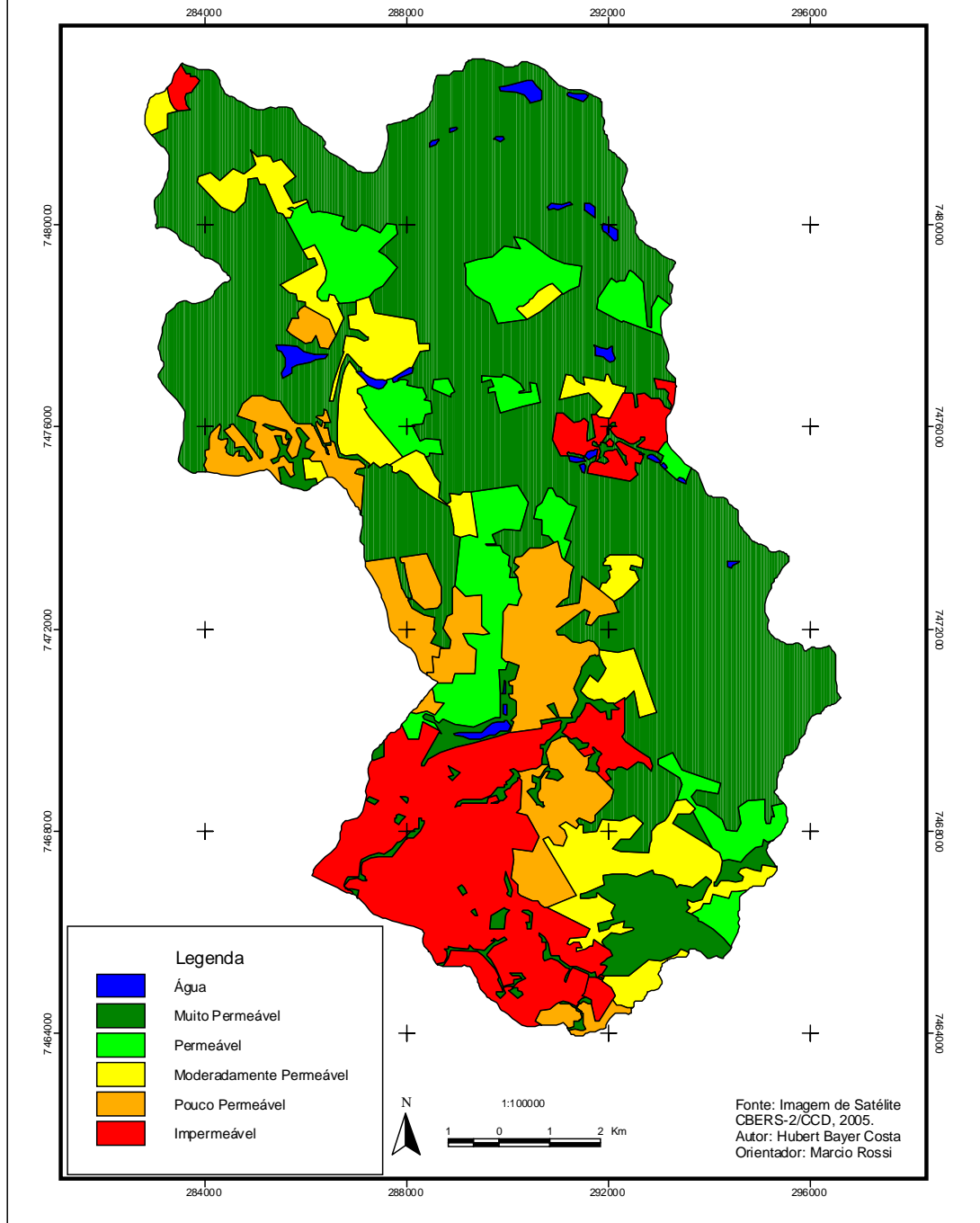


Figura 5. Mapa de Impermeabilização do Solo a partir da Imagem de satélite CBERS-2/CCD (bandas 2, 3 e 4)



Este tipo de erro influencia principalmente pequenas manchas, como corpos d'água e áreas verdes (muito permeável) dentro da área densamente urbanizada (impermeável). O mapeamento destas pequenas manchas “muito permeáveis” dentro da mancha “impermeável” foi necessário para que pontos isolados de classe arbórea/gramínea não interferissem na quantificação do grau de impermeabilização de toda área mais adensada de ocupação urbana.

O segundo efeito ocorrido em consequência da diferença na precisão dos limites em cada sensor diz respeito as fotografias aéreas. Como foi dito, o delineamento das manchas de ocupação feito a partir das fotografias aéreas de detalhe e semi-detalle proporciona limites mais precisos e, portanto, manchas mais dissecadas. Como consequência da maior precisão das manchas de ocupação obteve-se manchas com menor área em comparação às manchas mapeadas a partir das imagens de satélite, o que fez com que a área das manchas não ocupadas pela urbanização (muito permeável) fosse aumentada. Desta forma, observa-se na tabela com os valores de área (Quadro 4) que a classe “muito permeável” tem sua área aumentada no mapeamento feito a partir das fotografias aéreas em comparação às áreas da mesma classe nos mapeamentos feitos a partir de imagens de satélite.

Uma dificuldade encontrada em decorrência da boa definição e escala de detalhe das fotografias aéreas foi a generalização dos adensamentos de ocupação. Em decorrência da qualidade das fotografias em escala de muito detalhe (1:1.000), permitindo uma identificação precisa das diferentes coberturas do solo, se encontrou dificuldade em mapear grandes manchas em alguns casos.

Apesar desta dificuldade, para que o mapeamento das manchas não se tornasse muito “pulverizado”, priorizou-se a delimitação de grandes manchas em detrimento de um mapeamento muito detalhado que prejudicaria a visualização dos graus de impermeabilização na escala da bacia. Para isto, procurou-se definir as manchas em escalas menores que facilitassem a visualização da homogeneidade dos diferentes padrões de ocupação, conforme descrito nos critérios para definição das manchas no capítulo de metodologia.

De forma geral, no decorrer do desenvolvimento do projeto, todos os sensores foram utilizados em algum momento em todos os mapeamentos, no sentido de auxiliar em uma melhor aproximação na identificação dos elementos de ocupação. Assim, as

fotografias foram úteis no mapeamento das imagens, bem como uma imagem foi importante no mapeamento de outra e, em alguns casos, a imagem auxiliou no mapeamento das fotografias.

Além disso, a fotointerpretação e a classificação da imagem CBERS-2/CCD se complementaram para definição dos limites e classes das manchas. A classificação serviu para confirmar ou corrigir a fotointerpretação e vice-versa. Foi preciso tomar cuidado com a classificação da imagem, bem como com a composição da imagem utilizada. Em alguns casos a composição usada mostra um uso verde na faixa do visível, mas a área é classificada como solo exposto. Nem todas as informações das bandas de um pixel estão na faixa do visível. Neste caso é preciso confirmar na fotografia aérea ou no próprio campo.

As diferenças de resolução, de escala e de tipo de sensor (imagem de satélite e fotografia aérea), inviabilizam uma análise confiável da evolução das manchas de impermeabilização do solo, pois os resultados obtidos em cada um são diferentes e devem ser considerados de forma independente.

É recomendável que, para uma análise da evolução das manchas, sejam utilizadas imagens tomadas a partir do mesmo sensor com escalas e resoluções aproximadas. Dentre os sensores utilizados para os mapeamentos produzidos neste projeto, as fotografias aéreas de detalhe (1:15.000 ou maior) se mostraram mais eficientes. Porém, para quantificação das manchas a imagem de satélite CBERS-2/CCD apresentou resultados mais precisos, desde que tomados os devidos cuidados com a classificação supervisionada.

As diferenças de graus de impermeabilização de uma mancha mapeada para outra foram corroboradas no momento da aplicação dos métodos de quantificação adotados, podendo-se confirmar que, na maioria das vezes, os critérios adotados na interpretação dos diferentes adensamentos urbanos estava certo. Em alguns casos esta confirmação não ocorreu, sendo necessário reclassificar a mancha e avaliar os motivos que levaram ao equívoco na aplicação dos critérios.

A partir dos valores encontrados na quantificação dos graus de impermeabilização nos mapeamentos das fotografias e da imagem CBERS-2/CCD estabeleceu-se as seguintes faixas percentuais, válidos para os mapas de ambos sensores:

Classe	%
muito permeável	0-20
permeável	20-50
moderadamente permeável	50-85
pouco permeável	85-95
impermeável	>95

Quadro 6. faixas percentuais de impermeabilização das classes mapeadas.

Os valores encontrados na aplicação da metodologia de quantificação utilizada seguem abaixo:

Quadro 7. quantificação dos graus de impermeabilização das fotografias aéreas:

Amostra	1	2	3	4	5	6
Muito Permeável	2%	0%	5%	2%	4%	0%
Permeável	59%	55%	22%	26%	59%	31%
Mod. Permeável	58%	83%	73%	80%	65%	77%
Pouco Permeável	94%	90%	86%	88%	89%	88%
Impermeável	99%	99%	98%	97%	95%	98%

Os valores iniciais encontrados na quantificação da classe “permeável” não confirmaram, na metade das amostras, a faixa prevista para o tipo de adensamento de ocupação fotointerpretado. Como se trata de uma ocupação esparsa e de densidade heterogênea, optou-se por efetuar uma quantificação total dos polígonos que ficaram fora dos percentuais esperados. Desta forma, ou se confirmaria a necessidade de reclassificar as manchas ou se confirmaria que os critérios de fotointerpretação estavam corretos.

Para isto, um grid com quadrados de lado 5mm foi sobreposto na mancha toda e procedeu-se a classificação da superfície do solo na foto em permeável ou impermeável. Contabilizando o total de quadrados obteve-se o percentual de superfícies permeáveis e impermeáveis.

Esta nova quantificação corroborou os critérios de fotointerpretação, pois os valores encontrados para o polígono inteiro ficaram dentro da faixa da classe permeável. Os valores encontrados para os polígonos das amostras 1, 2 e 5 foram 37%, 34% e 33% de impermeabilização, respectivamente.

Quadro 8. Quantificação dos graus de impermeabilização da imagem CBER-2/CCD

%	Classe	Polígono	%	Classe	Polígono
0,00	muito permeável	31	56,90	moderadamente permeável	5
0,00	muito permeável	42	64,48	moderadamente permeável	29
0,44	muito permeável	89	65,72	moderadamente permeável	19
0,49	muito permeável	87	68,37	moderadamente permeável	12
0,53	muito permeável	51	71,90	moderadamente permeável	88
1,16	muito permeável	72	72,36	moderadamente permeável	92
1,32	muito permeável	46	73,75	moderadamente permeável	27
1,59	muito permeável	44	80,00	moderadamente permeável	18
3,21	muito permeável	30	81,92	moderadamente permeável	83
3,50	muito permeável	40	82,43	moderadamente permeável	1
3,92	muito permeável	21	84,22	moderadamente permeável	90
4,76	muito permeável	3	84,81	moderadamente permeável	16
6,48	muito permeável	93	85,11	moderadamente permeável	22
6,59	muito permeável	57	89,91	pouco permeável	28
7,43	muito permeável	85	90,13	pouco permeável	82
8,28	muito permeável	24	91,24	pouco permeável	84
8,41	muito permeável	60	92,25	pouco permeável	77
8,70	muito permeável	35	94,80	pouco permeável	79
11,19	muito permeável	78	94,91	Impermeável	75
17,49	permeável	20	96,09	pouco permeável	17
18,14	permeável	59	96,10	pouco permeável	74
23,50	permeável	26	96,14	Impermeável	64
35,54	permeável	91	96,58	Impermeável	66
41,00	permeável	25	96,88	Impermeável	86
42,71	permeável	50	97,68	Impermeável	33
45,01	permeável	13	97,75	Impermeável	81
56,77	permeável	76	98,53	Impermeável	71
58,94	permeável	2			

A partir dos números apresentados acima se procedeu a verificação de cada polígono para análise da quantificação/classificação e da fotointerpretação. Na maioria dos casos a metodologia de quantificação corroborou a classificação feita a partir dos critérios de fotointerpretação.

Em alguns casos a classificação se mostrou mais correta do que a interpretação, então a mancha foi reclassificada. Isto ocorreu com os polígonos 1, 5 e 22. Em outros casos, apesar da classificação quantificar a mancha fora de sua faixa de impermeabilização, a fotointerpretação prevaleceu, mantendo a classe atribuída originalmente, corrigindo erros da classificação supervisionada. Isto ocorreu nos polígonos 2, 14, 17, 20, 59 e 76.

Na maior parte dos casos onde a interpretação prevaleceu sobre a quantificação, a dificuldade da classificação supervisionada em diferenciar solo exposto de área urbana foi

responsável pela quantificação equivocada, utilizando-se o critério da interpretação textural para diferenciar o uso. Em outros casos (polígonos 17 e 74) a interpretação permitiu a identificação de áreas verdes que não foram detectadas pela classificação.

Uma diferença encontrada na quantificação do mapa da imagem CBERS em relação ao mapa das fotografias aéreas foi a faixa de percentual encontrado para a classe muito permeável. No mapeamento das fotografias esta classe não ultrapassa os 5% de impermeabilização, enquanto que para a imagem CBERS a percentagem desta classe atinge os 11%. Atribuímos esta diferença ao fato da escala e resolução das fotografias permitir um mapeamento mais preciso. De qualquer forma, considerou-se que até a faixa de 80% de permeabilidade (20% de impermeabilização) a cobertura do solo é muito permeável.

O mapeamento das manchas de permeabilidade dentro da bacia do ribeirão das Anhumas permitiu a observação de algumas características na distribuição dos diferentes delineamentos dentro da bacia. A sobreposição dos polígonos de diferentes manchas sobre a imagem de satélite demonstrou que a distribuição do grau de cobertura/selamento do solo em Campinas consiste em áreas de maior grau de impermeabilização no centro urbano da cidade, onde se localizam as nascentes do ribeirão das Anhumas, com o gradativo aumento da permeabilidade do solo em direção a área rural da bacia, localizada ao norte, em direção ao rio Atibaia. Contudo, se encontram próximo ao centro manchas com boa permeabilidade (parques/bosques e condomínios de alto padrão) assim como na área rural/periurbana já se verifica a presença de manchas de impermeabilidade decorrentes do avanço da ocupação humana/urbana.

Os canais fluviais do alto curso da bacia encontram-se nas áreas de mais alta impermeabilidade do mapeamento feito, localizados no centro histórico da ocupação de Campinas. O Córrego do Proença, o canal do Saneamento e o encontro do ribeirão Anhumas com o Córrego Brandina são os mais importantes exemplos do grau de alteração da drenagem da bacia. Além de estarem diretamente relacionados a áreas altamente impermeabilizadas, que escoam para seus vales toda a água das chuvas, estes córregos encontram-se canalizados tendo sua vazão aumentada por despejo de esgoto e com suas margens tomadas por ocupações, aterros, entulhos e vias de acesso. Todos esses fatores contribuem em muito para episódios de alagamentos durante eventos prolongados de chuva intensa.

Além destas áreas, existem muitas outras (quatorze pontos pelo menos) que sofrem com alagamentos periódicos segundo relatório final, onde foram descritas (item 2.1.3) as áreas de risco encontradas através de uma análise *booleana* (Torres, 2001). O cruzamento desta análise *booleana* com o mapeamento dos graus de impermeabilização do presente estudo mostra que, na maioria dos casos, é possível estabelecer relação da localização dos eventos de alagamento com locais de significativo grau de adensamento urbano.

Por outro lado, percebemos que áreas mais permeáveis contradizem a própria análise booleana, como, por exemplo, pontos 7 (fazenda Santa Cândida e Jardim Santana próximos da rodovia D. Pedro I), 8 (Ribeirão das Pedras próximo à nascente) e 14 (Parque da Hípica) onde, apesar da análise utilizada as apontar como áreas de risco, elas não possuem histórico de alagamentos. Nos pontos 7 e 8, apesar de estarem próximo a áreas com ocupação urbana consolidada, possuem a drenagem instalada em áreas classificadas como muito permeável, reforçando a importância de margens permeáveis e vegetação ciliar.

O Parque da Hípica (ponto 14) por sua vez se encontra em área muito permeável e permeável no mapeamento de 2001 (fotografias aéreas), mas que no mapeamento de 2005 já está entre muito permeável e moderadamente permeável. O ainda baixo grau de impermeabilização da área pode justificar os baixos impactos das chuvas. Mas há uma tendência ao adensamento urbano que pode mudar este quadro ambiental.

Evidenciou-se no decorrer do mapeamento que diferentes sensores e escalas revelam diferentes aspectos da área de estudo. Desta forma, o uso da imagem de satélite se mostrou eficiente para mapeamento geral dos diferentes graus de impermeabilização do solo na bacia, bem como para sua quantificação. Porém, para reconhecimento dos padrões de ocupação, dos tipos específicos de cobertura do solo e para um mapeamento mais detalhado dos graus de impermeabilização, a fotografia aérea de grande escala se mostrou indispensável.

Algumas superfícies do solo somente puderam ser identificadas com fotografias aéreas de detalhe, mesmo assim, em alguns casos, uma verificação de campo se mostrou necessária.

Os trabalhos de campo contribuíram para confirmação destas coberturas e de alguns usos do solo que não ficaram claros no momento da fotointerpretação. Alguns locais onde

houve dúvida quanto ao material de cobertura, como arruamentos de terra ou asfalto, pátios de indústrias ou terrenos com solo exposto. O esclarecimento destes pontos contribuiu para aprimorar ou confirmar os critérios utilizados para reconhecimento das diferentes coberturas do solo.

Outra contribuição dos trabalhos de campo foi a constatação de que algumas áreas de ocupação de médio/alto padrão se mostraram menos permeáveis do que pareceram através dos sensores remotos. Foi o caso de condomínios fechados como o Housing I. Isto ocorreu porque estas ocupações possuem uma boa arborização e alguns canteiros gramados, mas em visita ao local verificou-se que possuem alto percentual de área construída e todos arruamentos asfaltados. Os canteiros gramados em alguns casos são calçamentos impermeabilizados por baixo da grama e as árvores possuem pequenos quadrados de solo descoberto para se desenvolverem. Neste caso, apesar de na fotointerpretação parecerem áreas com boa permeabilidade, na realidade se tratam de locais significativamente impermeáveis.

As principais áreas permeáveis deste padrão de ocupação são lotes desocupados, onde uma vegetação arbustiva se desenvolve. Mas estes lotes observados nas fotografias aéreas de 2001 (1:15.000) também não são mais encontrados em muitos casos, pois a velocidade do adensamento da ocupação destas áreas fez com que, no intervalo de tempo entre a tomada das fotos e os trabalhos de campo realizados, no lugar da vegetação arbustiva dos lotes vazios se instalaram casas de médio/alto padrão ocupando a maior parte dos terrenos.

RECOMENDAÇÕES

- Consideramos o georreferenciamento de fotografias aéreas a partir de MDE (Modelo Digital de Elevação) importante para que se facilite a análise tridimensional do terreno. No caso deste projeto, seria melhor visualizada a relação da impermeabilidade da bacia com a geomorfologia de sua área. Isto poderia ajudar a dimensionar áreas com maior possibilidade de escoamento superficial torrencial e áreas relacionadas sujeitas a alagamentos em áreas urbanas, o que não foi possível neste trabalho pela indisponibilidade de algumas fotografias.
- Recomenda-se o aprofundamento do uso de novas tecnologias de classificação de imagem que levem em consideração a textura para identificação de padrões de usos da terra.
- Para análise da evolução da mancha urbana recomenda-se o mapeamento feito a partir de imagens geradas pelo mesmo tipo de sensor em anos diferentes.
- Para avaliar a diferença entre sensores e melhor aproveitar as informações de cada um, recomenda-se um mapeamento comparativo em imagens do mesmo ano de sensores diferentes.
- Apesar da inviabilidade de um volume maior de trabalho de campo, consideramos de muita importância o aprofundamento de experimentos de campo que acrescentem dados da cobertura e infiltração da água no solo, tais como os infiltrômetros citados por Bertoni *et al.* (1990), por exemplo. Estes instrumentos fornecem uma idéia aproximada de como se comporta a infiltração nos solos.
- Consideramos de grande importância o aprofundamento de estudos ligados a quantificação da velocidade e volume de água escoada superficialmente em ambientes urbanos, bem como estudos sobre dispersão e concentração da energia gerada por fluxos de água torrenciais.
- Consideramos ainda relevante que a distribuição das chuvas dentro do município (clima urbano) deve ser monitorada para identificação de pontos com maior pluviosidade e suas relações com eventos de alagamento.

CONCLUSÕES

- A quantificação das fotografias aéreas pelo método do grid é mais confiável quando toda a mancha é quantificada, pois dependendo do tipo de ocupação apenas uma amostra pode não ser representativa, resultando em valores que não retratam a realidade.
- A verossemelhança do solo exposto com áreas urbanas nas imagens de satélite prejudica a fotointerpretação e a quantificação por classificação, mesmo que supervisionada.
- uso de Múltiplos sensores e escalas na fotointerpretação deste tipo de mapeamento auxiliam na identificação dos usos e maior precisão do produto final.
- Ao mesmo tempo, a utilização de mapeamentos de anos diferentes feitos com sensores e escalas diferentes prejudica a análise da evolução das manchas de impermeabilização do solo, pois cada um produz mapas com diferentes limites das manchas.
- Os métodos de quantificação e os critérios de fotointerpretação chegaram à classificações muito próximas dos graus de impermeabilização na maioria dos casos, demonstrando que as metodologias aplicadas são confiáveis.
- Existe de fato uma expansão e adensamento da mancha urbana em direção a área rural localizada ao norte da bacia.
- Áreas de médio/alto padrão, apesar de possuírem boa arborização, possuem a maior parte do lote coberto de áreas construídas. A maior parte de áreas realmente permeáveis são de lotes de desocupados que tem a tendência de serem habitados rapidamente. Portanto, os condomínios fechados são áreas com impermeabilidade do solo significativa.
- É possível estabelecer relações diretas entre áreas de risco de alagamento com áreas altamente impermeabilizadas pela mancha urbana.
- A expansão e adensamento da mancha urbana diminuem as áreas de retenção de água no solo que, além de estarem relacionadas aos eventos de alagamento, aumentam a vazão da drenagem na época de chuvas fortes e prejudicam a recarga do lençol freático para o abastecimento de água em períodos secos.

ETAPAS EXECUTADAS

A - revisão bibliográfica sobre critérios de interpretação de padrões de imagens para avaliação do grau de cobertura do solo com fins de inferência da infiltração nestes em áreas urbanas, e critérios para estabelecimento de classes de cobertura/infiltração de água da chuva na superfície do solo urbano;

B - Mapeamento de 5 (cinco) classes de impermeabilização da cobertura do solo na imagem de satélite Landsat-5/TM da área da bacia na escala 1:50.000 no software Arcview 3.2.

C – Determinação de critérios de identificação de graus de permeabilidade do solo em fotografias aéreas em escala de detalhe.

D - fotointerpretação na tela do computador de fotos aéreas de escala aproximada de 1:15.000 rasterizadas, em sistema de informação geográfica, para fins de separação mais detalhada de áreas impermeabilizadas e com graus de cobertura/infiltrabilidade variável;

E – Atualização do mapeamento da imagem de satélite Landsat-5/TM (1997) através de imagem CBERS-2/CCD (2005).

F – Quantificação dos graus de impermeabilização do solo das manchas fotointerpretadas em imagens e fotografia aéreas.

G - trabalho de campo para verificação dos padrões de cobertura/infiltrabilidade interpretados;

H - elaboração de mapa de cobertura do solo para fins de infiltração da água da chuva e para fins de recarga das águas superficiais e aquíferos;

I- Análise qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos

J - elaboração de relatório técnico.

CRONOGRAMA DO PROJETO

Abaixo se encontra tabela com a descrição das atividades que foram desenvolvidas no período (**Bolsa de Iniciação Científica**).

Cronograma: Mapa de Impermeabilização

ATIVIDADES	Etapas executadas				Etapas seguintes					
	2004				2005					
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X		
Aquisição de material cartográfico e fotográfico	X	X								
Compilação e revisão de dados existentes	X	X	X		X					
Interpretação preliminar de imagens	X	X	X							
Georreferenciamento de fotografias aéreas					X	X				
Interpretação preliminar de fotos aéreas						X	X	X		
Elaboração de mapa da imagem			X	X	X	X				
Trabalhos de campo					X	X				
Elaboração de mapa das fotografias aéreas							X	X		
Quantificação dos graus de impermeabilização								X	X	
Elaboração de mapas finais								X	X	X
Relatórios				X	X				X	X

BOLSISTA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

HUBERT BAYER COSTA CPF: 213.029.858-33

ORIENTADOR

MARCIO ROSSI CPF: 056.844.878-23

BIBLIOGRAFIA

- AGU ARBEITSGEMEINSCHAFT UMWELTPLANUNG 1991: *FORTSCHREIBUNG DER ÖKOLOGISCHEN PLANUNGSGRUNDLAGEN BERLIN: Erstellung der Umweltatlaskarten 06.01 Reale Nutzung der bebauten Flächen, 06.02 Grün- und Freiflächenbestand, 01.02 Versiegelung (einschließlich Bebauungsgrad) für das Stadtgebiet der östlichen Bezirke und Integration in das Umweltinformationssystem (UIS)*, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, not published.* Site: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ei102.htm>
- BERNARDO, Rosana Guimarães. *HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- BERTONI, José & LOMBARDI NETO, José. *CONSERVAÇÃO DO SOLO*. – São Paulo: Ed. Ícone, 1990.
- BRANDÃO, Viviane dos Santos & PRUSKI, Fernando Falco & SILVA, Demetrius David da. *INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO*. Viçosa: Ed.UFV, 2003.
- BRIGUENTI, Ederson Costa. *UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO ANHUMAS, CAMPINAS/SP*. IG/Geografia/UNICAMP. IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2002. Universidade do Maranhão. Anais, Volume 2. São Luís, MA.
- BUCKMAN, Harry O. e Brady, Ntle C. *NATUREZA E PROPRIEDADES DOS SOLOS*. – Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S/A, 1968.
- COELHO, R.M.; MENK, J.R.F.; ROSSI, M. GOMES, D.C.H. 2003. *MAPA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS*. IAC/UNICAMP/Pref.Campinas. Relatório Final FAPESP. (não publicado)
- DE BIASI, Mario. *MEDIÇÃO DE ÁREAS EM CARTAS TOPOGRÁFICAS: A TÉCNICA DOS “SEGMENTOS MÉDIOS”*. Cartografia 5, Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, 1983
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS*. – Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- GOMES, Daniela Cristina Haponczuk & COELHO, Ricardo Marques. *LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS, CAMPINAS/SP – MEMORIAL DESCRITIVO*. Processo FAPESP nº 03/02044-3. Instituto Agrônomo Campinas, 2004.
- GUERRA, A.J.T. e Cunha, S. B. org. *GEOMORFOLOGIA: UMA ATUALIZAÇÃO DE BASES E CONCEITOS*. – Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 1994.
- INSTITUTO GEOLÓGICO 1993. *SUBSÍDIOS DO MEIO FÍSICO-GEOLÓGICO AO PLANEJAMENTO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS (SP)*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 217pp. e mapas de escala 1:50.000.

* Tradução: AGU Centro de Estudos de Planejamento Ambiental 1991: *CONTINUAÇÃO DO PLANEJAMENTO ECOLÓGICO DE BERLIN: confecção das plantas (projetos) dos atlas ambientais 06.01 real aproveitamento das superfícies ocupadas, 06-02 superfícies verdes e livres, 01-02 fechamento (inclusive grau de edificações) para o setor da cidade da parte oriental e integração ao sistema ambiental informatizado (UIS)*, de acordo com a adm. do Senado para urbanização e medidas de segurança ambiental de Berlin, não publicado.

- LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. *MANUAL DE DESCRIÇÃO E COLETA DE SOLO NO CAMPO*. 3.ed. Campinas, SBCS/CNPS, 1996.
- LIMA, Cleide Rodrigues de. “*URBANIZAÇÃO E INTERVENÇÕES NO MEIO FÍSICO NA BORDA DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO: UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA*.” Universidade de São Paulo, FFLCH – Departamento de Geografia. Tese de Mestrado. São Paulo, 1990.
- LUEDER, D.R. *AERIAL PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION: PRINCIPLES AND APPLICATIONS*. MacGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 1959.
- LUCHIARI, Ailton. *IDENTIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM ÁREAS URBANAS POR MEIO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA*. Revista do Departamento de Geografia USP, 14 (2001) 47-58. São Paulo.
- MELFI, A .J. *INTEMPERISMO DE GRANITOS E DIABÁSIOS NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS E ARREDORES, ESTADO DE SÃO PAULO*. Tese de Doutorado. FFLCH - USP. São Paulo - SP, 1967.
- MELFI, A .J. & BITTENCOURT, I. *MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS*. Seção de Agrogeologia – I.A. Campinas. Carta Avulsa, sd.
- OLIVEIRA, João Bertoldo de. *LEVANTAMENTO SEMIDETALHADO DOS SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO: QUADRÍCULA DE CAMPINAS*. Rio de Janeiro, IBGE, 1979.
- _____, João Bertoldo de. *CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, ANALÍTICAS, LIMITAÇÕES E APTIDÃO AGRÍCOLA DOS SOLOS DA QUADRÍCULA DE CAMPINAS*. Campinas, I A Campinas, 1980.
- _____, João Bertoldo de. *PEDOLOGIA APLICADA*. Jaboticabal: Ed. Funep, 2001.
- ROSS, Jurandy Luciano Sanches & MOROZ, Isabel Cristina. *MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: ESCALA 1:500.000*. FFLCH - USP. São Paulo – SP, 1997.
- SOUZA, Ariclens Pólo. *POTENCIAL EROSIVO DAS PRECIPITAÇÕES - UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA*. V Simpósio Nacional de Geomorfologia, Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2004.
- SPURR, S. H. *PHOTOGRAMMETRY AND PHOTOINTERPRATATION*. 2ed. New York: Ronald Press Co., 1960.
- TORRES, Roseli B. (coordenadora) *Relatório final da primeira fase do projeto de políticas públicas da FAPESP intitulado “RECUPERAÇÃO AMBIENTAL, PARTICIPAÇÃO E PODER PÚBLICO: UMA EXPERIÊNCIA EM CAMPINAS”*, Processo n°. 01/02952-1. Instituto Agrônômico (IAC), com participação efetiva da UNICAMP, Prefeitura do Município de Campinas, Universidade de Brasília e Instituto Florestal. 2001.
- VIEIRA, Sidney Rosa. *CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA PARA FINS DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO*. Seção de Conservação do Solo. Instituto Agrônômico Campinas, Outubro/1993. Ref. Proc. N° 89/0842-0