

MAPA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS, CAMPINAS-SP¹

Hubert Bayer COSTA²

Marcio ROSSI³

Ricardo Marques COELHO⁴

RESUMO

Os processos que envolvem a dinâmica da água dentro de uma bacia hidrográfica são amplamente alterados onde há adensamento da ocupação urbana. Aterros, cortes, arruamentos pavimentados, adensamento das áreas construídas, diminuição de áreas verdes, são algumas das intervenções antrópicas freqüentes no meio urbano. Como resultado destas intervenções temos, entre outras coisas, o alto grau de impermeabilização do solo, que tem perdida sua função de reter água. Sem a possibilidade de infiltrar no solo a água escoar superficialmente e, acentuada pela morfologia antropogênica, tem sua quantidade e velocidade aumentadas na drenagem da bacia. Da concentração destes processos no meio tropical úmido resultam eventos calamitosos que causam danos ao próprio homem. Atualmente, enchentes e torrentes d'água que levam carros e vidas são freqüentemente noticiados na mídia, juntamente com ações mitigadoras, tais como os pisciões. Na bacia do ribeirão das Anhumas encontra-se uma importante parcela da mancha urbana da cidade de Campinas, onde há preocupante ocorrência dos eventos descritos. Ao sul da bacia a ocupação mais antiga e adensada da cidade, e ao norte uma área com uso predominantemente agrícola, mas que se encontra em processo de expansão e adensamento da ocupação urbana. Pelos motivos acima descritos se propõe o mapeamento dos graus de impermeabilização atual do solo na bacia do ribeirão das Anhumas. Para desenvolvimento deste projeto foram utilizadas imagens de satélite (Landsat TM-5 bandas 3, 4 e 5 e CBERS/CCD 2005 bandas 2, 3 e 4) e fotografias aéreas (2000 e 2001, escala 1:15.000) para interpretação do adensamento da ocupação com vistas a classificar diferentes graus de impermeabilização da superfície do solo. Grande parte do projeto foi desenvolvido em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), por meio de softwares como Arcview 3.2, Erdas Image 8.3.1 e Ilwis 3.1. Estes programas foram utilizados para georreferenciar as imagens e fotografias, mapear em tela de computador diferentes manchas de impermeabilização e quantificar o percentual de impermeabilização das manchas interpretadas. Como produto deste projeto obtiveram-se dois mapas de impermeabilização do solo para a bacia, um mapa produzido a partir das imagens de satélite (escala 1:50.000) e outro produzido a partir de fotografias aéreas (escala 1:15.000). A comparação destes mapas permite avaliar vantagens e desvantagens de cada sensor e de cada escala utilizada para este tipo específico de mapeamento. A partir dos mapas produzidos obtiveram-se cinco classes de impermeabilização do solo dentre as manchas de ocupação fotointerpretadas. Estas cinco classes foram reconhecidas tanto para o mapa das imagens de satélite como para o mapa das fotografias aéreas. Após a definição das manchas e suas classes, se procedeu a quantificação do grau de impermeabilização do solo para cada uma a partir do percentual de cobertura construída. As classes, e seus respectivos percentuais de impermeabilização, são as seguintes: muito permeável (0 a 20%); permeável (20 a 50%), moderadamente permeável (50 a 85%); pouco permeável (85 a 95%) e impermeável (>95%). O resultado deste mapeamento permite visualizar e quantificar os diferentes adensamentos da ocupação urbana dentro da bacia e algumas tendências espaciais do avanço desta ocupação. Estas informações podem ser utilizadas

¹ Apoio Financeiro FAPESP através de bolsa de Iniciação Científica processo nº 04/08193-3

² Universidade de São Paulo, Graduando de Geografia da FFLCH - USP, ecco_hubert@yahoo.com.br

³ Instituto Florestal, Pesquisador Científico, rossi@iflorestal.sp.gov.br

⁴ Instituto Agrônomo de Campinas, Pesquisador Científico, rmcoelho@iac.sp.gov.br

por planejadores do espaço urbano no sentido de diminuir/desacelerar o processo de impermeabilização da superfície do solo.

INTRODUÇÃO

Na bacia do ribeirão das Anhumas localiza-se parte da ocupação urbana mais antiga do município de Campinas, incluindo a região central da cidade, com áreas residenciais, de comércio e serviços instalados sobre as nascentes dos córregos que formam o ribeirão das Anhumas, aterradas ou canalizadas, desrespeitando áreas de proteção permanente (APPs), correspondendo a aproximadamente 40% área urbanizada. O mesmo ocorre nas planícies fluviais, várzeas naturais do ribeirão, ocupadas por população de baixa renda, que sofre anualmente os efeitos do período chuvoso, caracterizado por inundações. Atualmente, a pressão urbana é grande na zona rural, já apresentando 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 políticas públicas “Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas” (Processo Fapesp nº. 01/02952-1) das Instituições proponentes (UNICAMP, Prefeitura do Município de Campinas, Universidade de Brasília, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Instituto Florestal) 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.

O trabalho ora apresentado identificou e cartografou zonas com diferentes graus de impermeabilização, visando subsidiar os trabalhos de diagnóstico e mapeamento do projeto de políticas públicas, estabelecendo parâmetros e diretrizes para um zoneamento, buscando melhor compreensão da infiltração e recarga das águas que drenam para esta bacia.

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.

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.

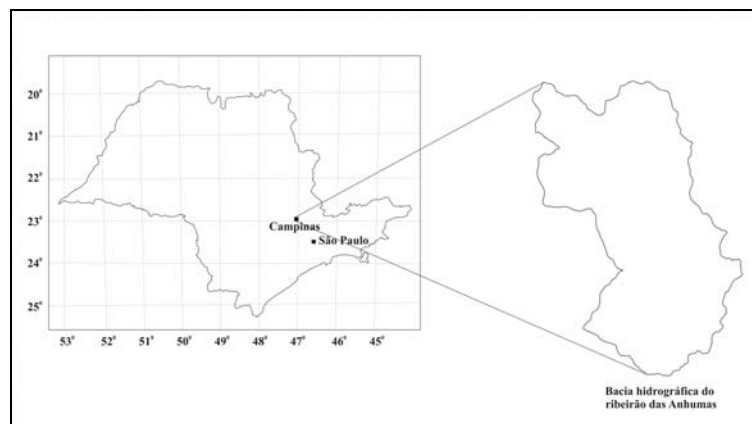


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas dentro do estado de São Paulo.

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% e as áreas mais próximas aos principais cursos d'água apresentam um relevo mais acidentado, não ultrapassando 20%.

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, permitindo identificar o clima como do tipo Cwa mesotérmico de inverno seco, segundo o sistema de Köppen (GOMES & COELHO, 2004).

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 porfiríticos 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). (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993 apud GOMES & COELHO, 2004).

O levantamento pedológico semidetalhado da bacia do ribeirão das Anhumas feito por COELHO et. al (2003) 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.

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.

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 pode contribuir para a infiltração uma vez que os espaços porosos entre as partículas são maiores.

BERNARDO (2002) efetua estudo sobre a ocupação do solo no município de Campinas abordando importantes questões históricas, econômicas, geográficas, imobiliárias e legislativas, 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.

Quadro 1. 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 (BERNARDO, 2002).

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.

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. Encontramos 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).

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, p.59) 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.”

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 possuem uma taxa de infiltração maior do que a do solo urbano. 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 (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*)

LIMA (1990) atribui o controle de ação das águas ao grau de impermeabilização da superfície e da interceptação e retardamento dos fluxos superficiais (definição dos comportamentos e “caminhos” das águas pluviais, que são os agentes básicos da morfodinâmica do meio tropical úmido. Agrupa em quatro categorias: 1. área com predomínio arbóreo e/ou arbustivo; 2. áreas com predomínio de gramíneas; 3. superfícies expostas; e 4. áreas construídas.

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 velocidade máxima de infiltração no solo ocorre durante o começo de uma chuva (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. 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 no 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.

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.

Dependendo da umidade pré-existente no solo e 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. A canalização urbana própria para drenagem nessas ocasiões muitas vezes 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 feito 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 conseqüência, 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 possuíssem maior capacidade de infiltração de água as quantidades acumuladas nos fundos de vale seriam menores e mais rapidamente absorvidas pelo meio.

MÉTODOS e TÉCNICAS

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 (Processo Fapesp nº. 01/02952-1), criando uma base cartográfica composta por rede de drenagem, curvas de nível, quadras, etc. Em um segundo nível de abordagem, interpretou-se os demais elementos a partir daquele e através da convergência de evidências.

A fotoidentificação baseou-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. 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: muito permeável, permeável, moderadamente permeável, pouco permeável e impermeável, onde 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. 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. 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, onde 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 algumas áreas, considerou-se importante o mapeamento destas como indicativas de “frentes” de impermeabilização, onde o solo tende a sofrer um processo de selamento mais acelerado (em termos percentuais) que em outras áreas, sendo 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.

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) foi obtida através do site do INPE abrangendo a área de estudo, e além de mais atual, possui melhor resolução.

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:

Vegetação em tons de verde; culturas recentes na cor Pêssego; lilás claro e escuro com textura lisa e homogênea para solo exposto, lilás claro e cinza com textura quadriculada para áreas construídas, lilás escuro com textura quadriculada para áreas densamente contruídas e verticalizadas. Nas formas de ocupação urbana as diferentes texturas das áreas contruídas e a presença, ainda que esparsa, de pontos verdes indicava diferentes adensamentos e, portanto, diferentes graus de selamento do solo. As cores de solo exposto e áreas urbanas se confundem, se diferenciando apenas pela textura nesta composição.

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. Neste momento selecionaram-se amostras da imagem que representavam as diferentes coberturas do solo (água, vegetação

arbórea, herbácea, solo exposto e área urbana), informando ao programa que determinada área selecionada representava um tipo de cobertura. É preciso uma boa quantidade de amostras de cada uso para que a classificação tenha um resultado mais eficiente.

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 uso pré-determinados.

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 os usos da terra. 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.

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, gramíneas, 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.

Em seguida procedeu-se o mapeamento das fotografias aéreas, que foram georreferenciadas no software Imagine e mapeadas em Arcview na tela de computador.

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.

A classe “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 a ocupação esparsa (“permeável”) e a mais adensada (“pouco permeável”).

Para quantificar o percentual de cobertura impermeável que cada classe possui nas fotografias aéreas não foi possível utilizar a metodologia usada na 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.

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

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 boas partes de um quarteirão.

De cada classe de impermeabilização foram coletadas seis 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.

RESULTADOS

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).

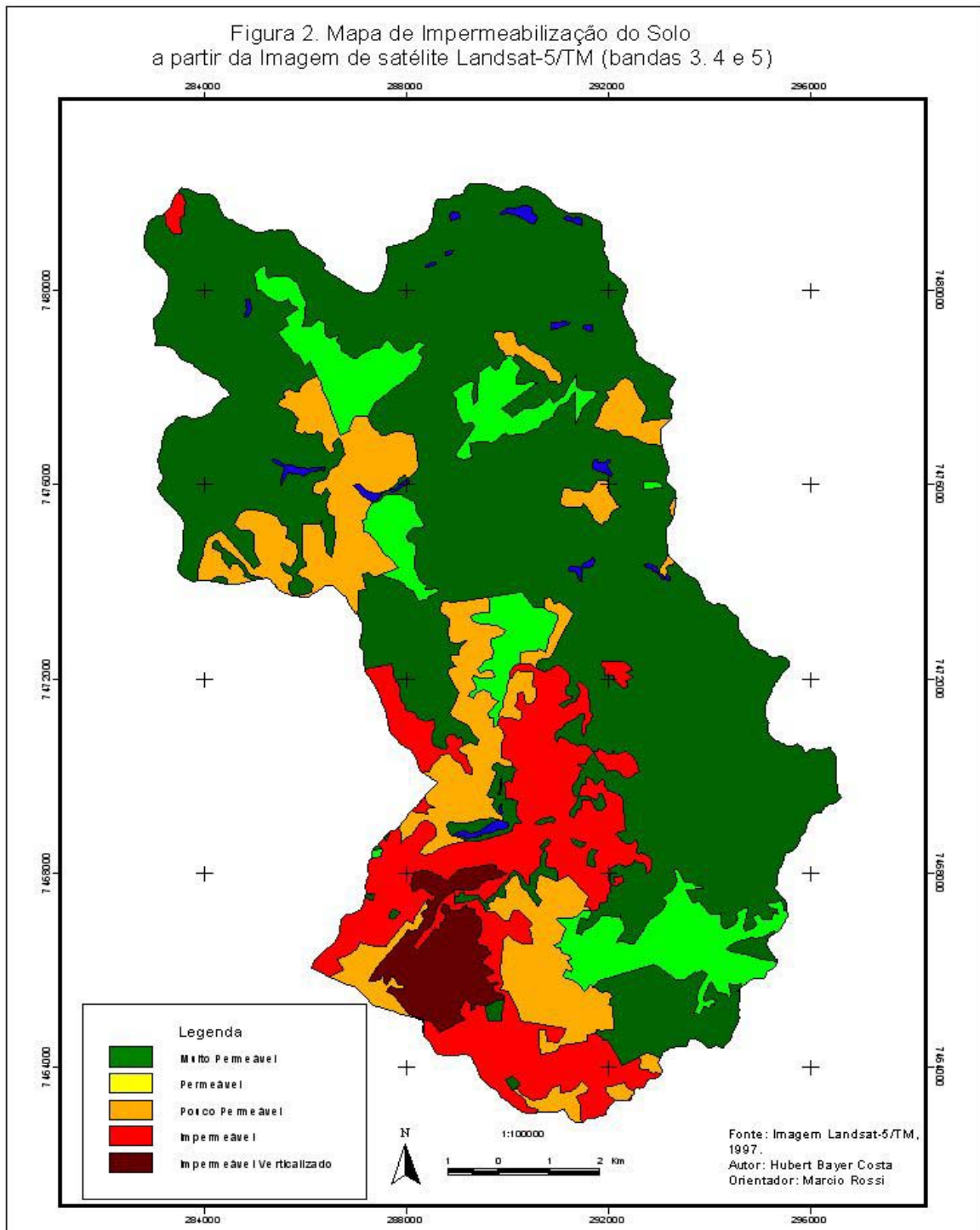
A análise qualitativa e quantitativa dos dados obtidos destes três produtos cartográficos permitiu a conclusão de alguns resultados e a discussão de algumas hipóteses passíveis de serem levantadas.

Os resultados obtidos do mapeamento da imagem Landsat-5/TM consistiram na definição das manchas de diferentes graus de impermeabilização conforme a figura 2. 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.

Obteve-se, ainda, a quantificação das áreas totais de cada classe para a imagem Landsat-5/TM e inserida em uma tabela comparativa com os dados dos outros dois mapeamentos (Quadro 2), 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.

Para a comparação entre os três sensores foram somadas as classes permeável e pouco permeável da Landsat ($352.260.340.000\text{m}^2$) para equivaler com a somatória das classes permeável, moderadamente permeável e pouco permeável dos outros sensores ($362.812.600.000\text{m}^2$ para foto e $433.479.960.000\text{m}^2$ para CBERS).



Quadro 2. 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

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) que, 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 quantificação ou obtenção de uma imagem Landsat-7/ETM.

Outro ponto 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. Esta dificuldade diminui significativamente na interpretação das fotografias aéreas de detalhe.

A 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. Na classificação, sempre que se percebeu erro nos resultados, foi feita edição e correção do uso. 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 3) 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 4) e das fotografias aéreas. Ao comparar a diferença na geometria das manchas que representam a mesma ocupação pode-se ter uma idéia da diferença dos resultados obtidos em cada tipo de sensor.

Notam-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 com o mapa de polígonos fotointerpretado da mesma. Aproximando a sobreposição dos limites dos polígonos com a classificação dos pixels observa-se que classes de uso pertencentes a um polígono entraram na classificação e quantificação de outro. Este erro demandou trabalhoso processo de edição dos polígonos, para que a quantificação dos graus de cobertura impermeabilizada não fosse distorcida.

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 decorrente 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-detelhe 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 2) 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.

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.

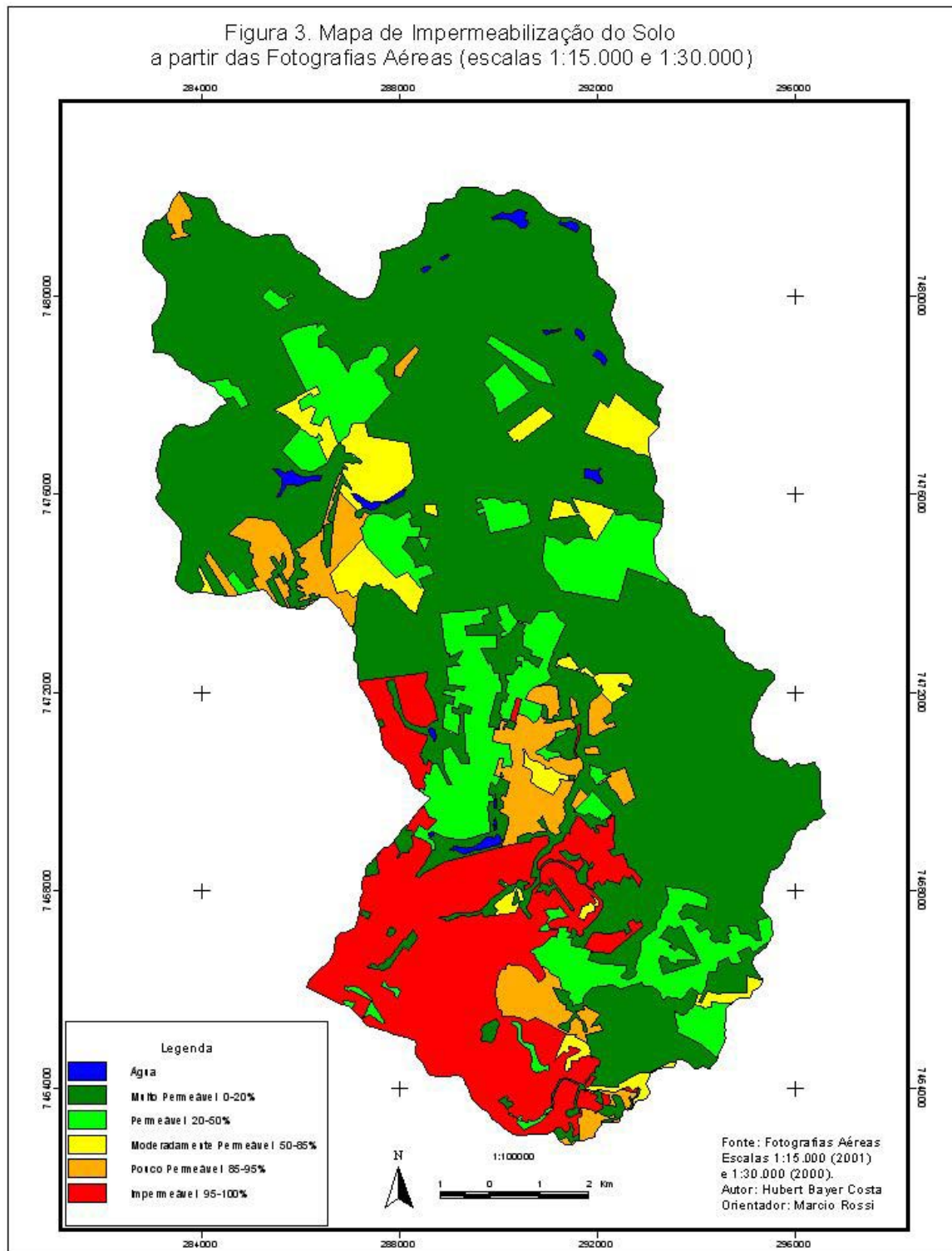
É recomendável que, para uma análise da evolução das manchas, sejam utilizadas imagens tomadas a partir do mesmo sensor com escalas e resoluções aproximadas. Dentre os sensores utilizados para os mapeamentos produzidos neste projeto, as fotografias aéreas de detalhe (1:15.000 ou maior) se mostraram mais 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, válidas para os mapas de ambos sensores:

Quadro 3. faixas percentuais de impermeabilização das classes mapeadas.

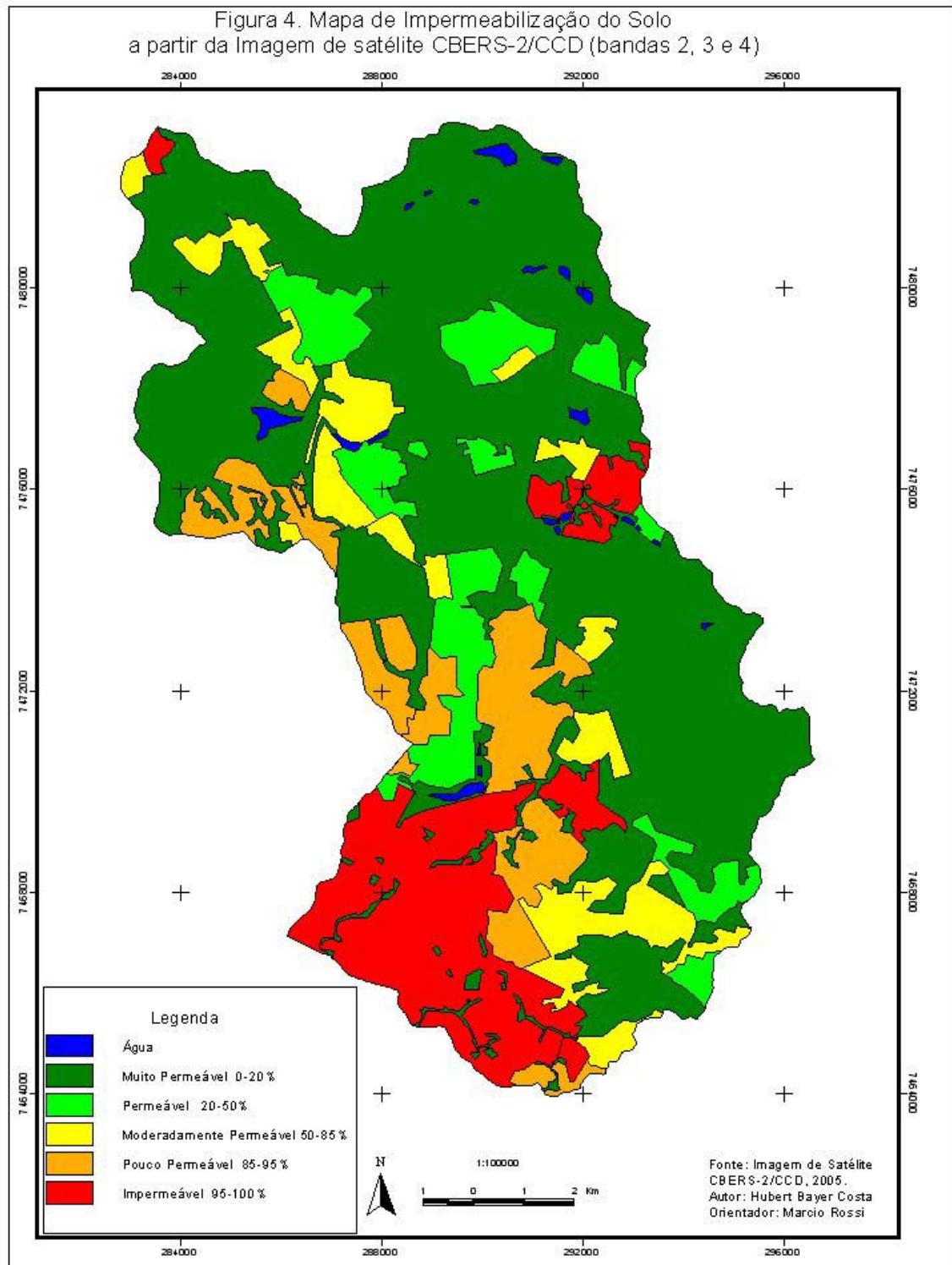
Classe	%
muito permeável	0-20
permeável	20-50
moderadamente permeável	50-85
pouco permeável	85-95
impermeável	>95



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

Quadro 4. quantificação dos graus de impermeabilização das fotografias aéreas.

Amostra	1	2	3	4	5	6
Muito Permeável	2%	0%	5%	2%	4%	0%
Permeável	37%	34%	22%	26%	33%	31%
Mod. Permeável	58%	83%	73%	80%	65%	77%
Pouco Permeável	94%	90%	86%	88%	89%	88%
Impermeável	99%	99%	98%	97%	95%	98%



Quadro 5. Quantificação dos graus de impermeabilização da imagem CBER-2/CCD

%	Classe
00,00 - 11,19	muito permeável
17,49 - 58,94	permeável
59,90 - 85,11	moderadamente permeável
89,91 - 96,10	pouco permeável
94,91 - 98,53	Impermeável

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. 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.

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 confirmou que a distribuição da cobertura 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 com 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.

Utilização de Múltiplos sensores e escalas na fotointerpretação deste tipo de mapeamento auxiliam na identificação dos usos da terra e maior precisão no 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.

REFERÊNCIAS

- 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.IN: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2002. Universidade do Maranhão. Anais, Volume 2. São Luís, MA.(CD-ROOM)
- 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
- 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.
- LEMONS, 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**, nº14 (2001) 47-58. São Paulo.
- OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Características Morfológicas, Analíticas, Limitações E Aptidão Agrícola Dos Solos Da Quadrícula De Campinas**. Campinas, I A Campinas, 1980.
- SOUZA, Aricles Pólo. Potencial erosivo das precipitações - uma contribuição metodológica.IN: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Universidade Federal de Santa Maria-RS, 2004.(CD-ROOM)
- SPURR, S. H. **Photogrammetry and Photointerpretation**. 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 nº. 01/02952-1. Instituto Agrônomo (IAC), com participação efetiva da UNICAMP, Prefeitura do Município de Campinas, Universidade de Brasília e Instituto Florestal. 2001.