

Uso da técnica de fotogrametria digital na análise temporal da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas urbanas

Fabrizia Gioppo Nunes¹

¹Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA
Caixa Postal 131 - Goiânia – GO, Brasil
fabrizia@iesa.ufg.br

Abstract. The purpose of this work was evaluating the temporal and spatial variation of the impermeabilization in urban hydrographic basins. In order to do that, land cover maps of 1962, 1980, 2000 and 2007 were confectioned by digital photogrammetry technique and the “Stereo Analyst” function employing Erdas Imagine 8.6[®] software. When this technique is aggregated to other information sources as cadastral maps, it has been used as an important tool to several studies in urban environmental due the richness of details that can be extracted from vertical aerial photography. In this work, the concept of impermeabilization was defined in accordance with agglomeration of habitation patterns and characteristics of soil occupation, which were determined from several thematic sets of coverage land surface applying Soil Conservation Service (SCS) method, as described by Tucci et al. (1995). As a result, permeable and impermeable areas in a hydrographic basis were studied. This procedure developed from digital photogrammetry showed to be a practicable alternative to analyze spatial and temporal impermeabilization distributions in urban hydrographic basins.

Key words: impermeable surfaces, photogrammetry, mapping; urbanization, impermeabilização, urbanização.

1. Introdução

O trabalho apresenta os resultados da aplicação da técnica de fotogrametria digital, realizada durante a análise temporal e espacial da impermeabilização do solo em uma bacia hidrográfica urbana. Esta técnica associada a outras fontes de informações, como os mapas cadastrais, têm sido de grande valor para a análise dos ambientes urbanos, implicando no aumento da qualidade e detalhamento dos arranjos habitacionais extraídos de fotografias aéreas verticais. A visão tridimensional das fotografias aérea melhora a identificação de elementos como prédios, casa, arruamento e áreas verdes, uma vez que proporciona a sensação de volume e profundidade.

No presente trabalho, o conceito de impermeabilização foi definido conforme os diferentes padrões de aglomerados habitacionais e do tipo de uso e ocupação do solo, determinados a partir das classes temáticas de cobertura superficial do terreno, usadas no Método do Soil Conservation Service (SCS) e, descritas por Tucci et al. (1995).

A impermeabilização intensiva do solo provoca vários efeitos sobre o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. Estes efeitos são ocasionados a partir do aumento do escoamento médio superficial, tendo como principais consequências, citadas por Tucci e Clarke (1998) o aumento das enchentes, redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo, aumento da produção de sedimentos e materiais sólidos, degradação da qualidade das águas fluviais e contaminação dos aquíferos. Essas modificações nas bacias hidrográficas urbanas são oriundas das obras de engenharia que têm revestido grande parte de suas superfícies de drenagem através de edificações, pavimentações, arruamentos, calçadas, aterros, canalização dos corpos d’água, entre outras construções urbanas.

A impermeabilização desempenha um papel fundamental com relação ao uso do solo, vazão superficial, remoção d’água em profundidade, microclima local, mas também na drenagem de águas superficiais e, portanto, necessita da análise de sua distribuição espacial como mencionada por Pilz e Strobl (2007). Tendo em mente este princípio, o presente estudo teve como objetivo a análise temporal e espacial do processo de impermeabilização do solo da bacia hidrográfica do rio Atuba, a partir da confecção de mapas de cobertura superficial do

terreno em quatro períodos distintos de urbanização: a) início da década de 60, ano de 1962, quando a bacia estava quase que em seu estado natural; b) ano de 1980, início do processo de urbanização; c) ano 2000, período em que se observa uma intensificação no aumento das regiões urbanas e; d) ano de 2007 período que se aproxima da situação atual.

2. Bacia do rio Atuba

A bacia hidrográfica do rio Atuba possui uma área total de 127,43 km², situada no Primeiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas de 25° 17' 00" e 25° 30' 00" de latitudes sul; 49° 17' 00" e 49° 10' 00" de longitudes oeste. Suas nascentes encontram-se no município de Colombo na região Serrana do Açungui, com altitude aproximada de 1.000m, no sentido N – S até chegar à sua foz no rio Iguaçu, a 875m de altitude no município de São José dos Pinhais, como o ilustrado na Figura 1.

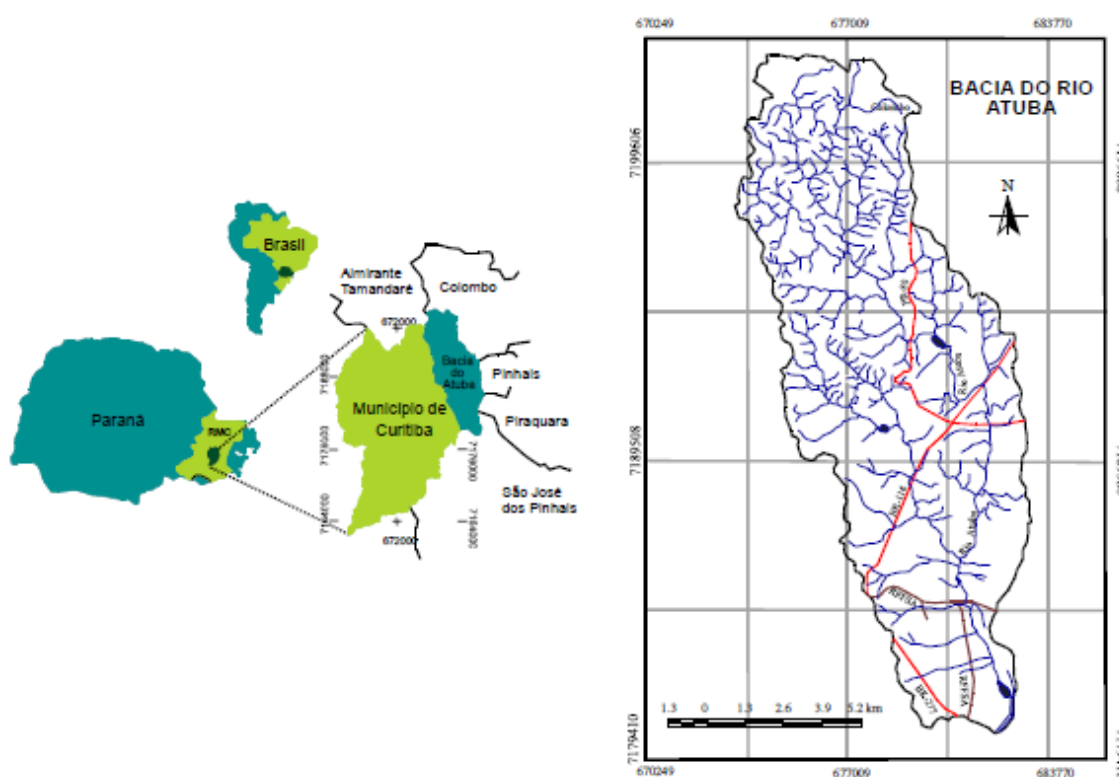


Figura 1. Localização da área de estuda – bacia hidrográfica do rio Atuba.

Como principais características geomorfológicas tem-se a presença das maiores declividades em suas cabeceiras, onde se verificam os afluentes de pequenas extensões. As menores declividades encontram-se na região do baixo curso, sobre os terrenos encharcados, com rios de longas extensões.

Durante a avaliação dos impactos da urbanização em Curitiba e região metropolitana a SEPL e PROSAM (1996) utilizando dados de bacias rurais e urbanas para fazerem uma correlação entre vazão média, enchente e a área da bacia, concluíram que as bacias mais urbanizadas da região são as do Belém, Atuba e Palmital, em ordem de ocupação. A bacia do rio Atuba, como a maioria das bacias hidrográfica brasileira em fase de urbanização, possui forte urbanização na sua parte mais central e adensamento tanto para montante como para jusante, apresentando grande parte do seu médio e baixo curso canalizado com trechos retificados.

3. Técnica de Fotogrametria Digital

Na restituição das fotografias aéreas para a confecção das cartas de cobertura superficial do terreno, foi utilizada a técnica de fotogrametria digital, trabalhada pela equipe do Laboratório de Fotogrametria do Centro de Geotecnologia da Universidade de Siena. A referida técnica foi realizada através de um conjunto de equipamento e acessórios de foto restituição digital denominado pela equipe de estereorrestituídor digital. Estes acessórios foram implementados através do uso combinado de um catalizador gráfico do tipo *Stereo Ready* e de um sistema composto de uma tela polarizadora ativa e de um óculos anaglífico.

Todo o procedimento de restituição foi executado através do modo *Stereo Analyst*, utilizando a função piramidal do software Erdas Imagine 8.6[®], que permitiu a visão estereoscópica das fotografias aéreas de diferentes datas de aquisição. Este procedimento foi dividido em três fases de elaboração: 1) fase de orientação das fotografias aéreas, subdividida em orientação interior e orientação exterior; 2) fase de aerotriangulação e 3) fase de restituição dos elementos observados nas fotografias aéreas.

A orientação interior consistiu na associação das características geométricas de cada uma das fotografias aéreas, com o sistema de câmera fotográfica que as adquiriram. De acordo com Jensen (2009), isto significa estabelecer a relação entre o sistema de coordenadas internas da câmera com o sistema de coordenadas do pixel da imagem. Nesta fase foram atribuídas informações sobre a distância focal e do sistema de coordenadas fotográficas paralelas às fotografias aéreas, através do posicionamento x,y das marcas fiduciais, utilizando a função *Ortho Base* do software Erdas, ilustrado na Figura 2.

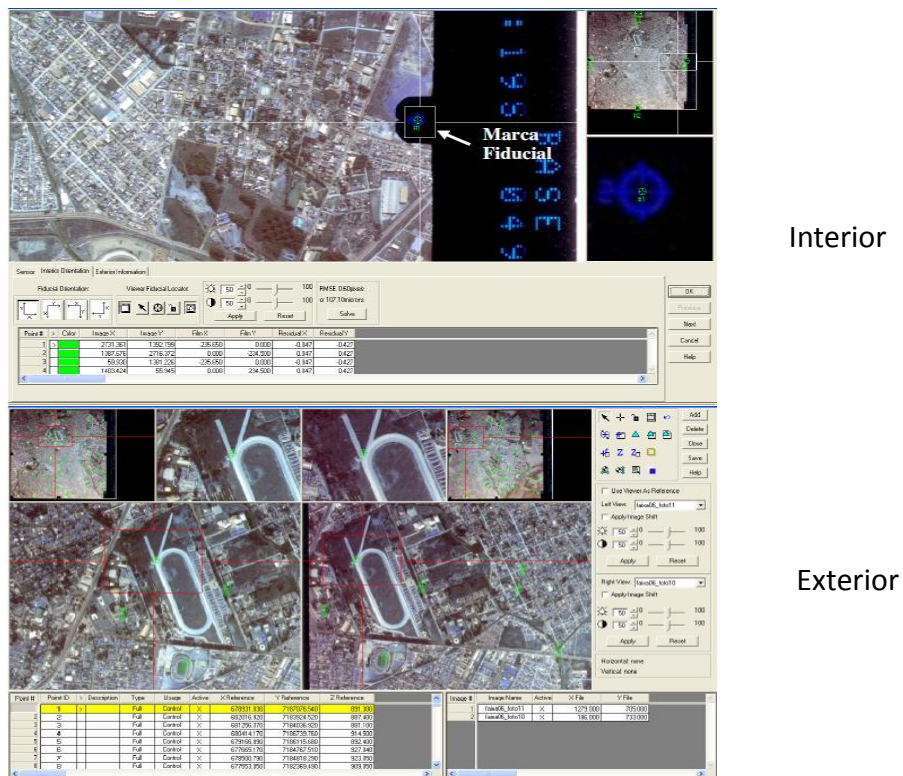


Figura 2. Posicionamento das marcas fiduciais para a realização da orientação interior e atribuição das coordenadas x,y,z de GCPs no procedimento de calibração e de georreferenciamento das fotografias aéreas.

Durante a orientação interior também foram atribuídos os parâmetros geodésicos de georreferenciamento como tipo da projeção, *datum*, fator de escala do meridiano central, longitude do meridiano central e latitude de origem da projeção.

A orientação exterior é o ajustamento das coordenadas das fotografias aéreas em relação a um sistema de coordenadas terrestre, ou seja, o seu posicionamento global. Nesta fase as fotografias aéreas foram georreferenciadas através da colocação de GCPs (*ground control points*) distribuídos sobre as mesmas, tendo como base de referimento, cartas topográficas da COMEC registradas no formato digital. Os GCPs foram lançados em regiões visíveis e coincidentes com as cartas topográficas como: cruzamentos de estradas, confluências de rios, curvas de estradas, edificações e feições geomorfológicas salientes, ilustrados na Figura 2.

Com a ortorretificação realizada na fase de orientação exterior, obteve-se a rotação e o ajuste das fotografias para um sistema de coordenadas (x,y,z), utilizando-se de equação matemática contida no Interpolador Bilinear do próprio *software*. Finalizada esta fase de orientação das fotografias aéreas, executou-se a aerotriangulação das mesmas para que as coordenadas (x,y,z) fossem determinadas para todos os pixels dos pares de estereoscopia utilizados.

Inicialmente foram restituídas as vias de acesso e a redes de drenagem principais, para serem utilizadas como referências, na foto interpretação das classes temáticas da cobertura superficial do terreno. As classes temáticas verificadas da Tabela 1, foram estipuladas conforme os diferentes padrões de aglomerados urbanos e do tipo de uso e ocupação do solo, que determinaram as áreas permeáveis e impermeáveis da bacia do rio Atuba. Os diferentes padrões de aglomerados urbanos foram identificados através do adensamento das edificações, observando sempre o percentual da impermeabilização e dos espaços livres existentes entre os diferentes tipos de construções.

Tabela 1. Classes de cobertura superficial do terreno.

Classes Temáticas
1- Edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com cerca de 85% de impermeabilização.
2- Edificação não muito densa: zonas residenciais adjacentes ao centro, de menor densidade de habitação que as regiões centrais, com cerca de 65% de impermeabilização.
3- Edificações com superfícies livres: zonas residenciais com cerca de 38% de impermeabilização.
4- Edificações com muitas superfícies livres: zonas residenciais com construções esparsas com cerca de 30% de impermeabilização.
5- Zonas industriais e comerciais: áreas industriais e barracão de comércios com cerca de 72% de impermeabilização.
6- Campo e áreas verdes: parques, jardins, campos de esportes, áreas cultivadas e áreas com gramados.
7- Zonas florestais e vegetação densa: área com vegetação de porte arboreo natural ou reflorestadas em boas condições.
8- Corpos d'água: lagos artificiais ou naturais.

Fonte: Método do SCS in. Tucci et al. (1995).

4. Resultados e Discussão

Como resultado final, obteve-se a confecção dos mapas de cobertura superficial do terreno dos anos de 1962, 1980, 2000 e 2007, que permitiram a quantificação da impermeabilização do solo ao longo dos quatro períodos analisados, Figura 3.

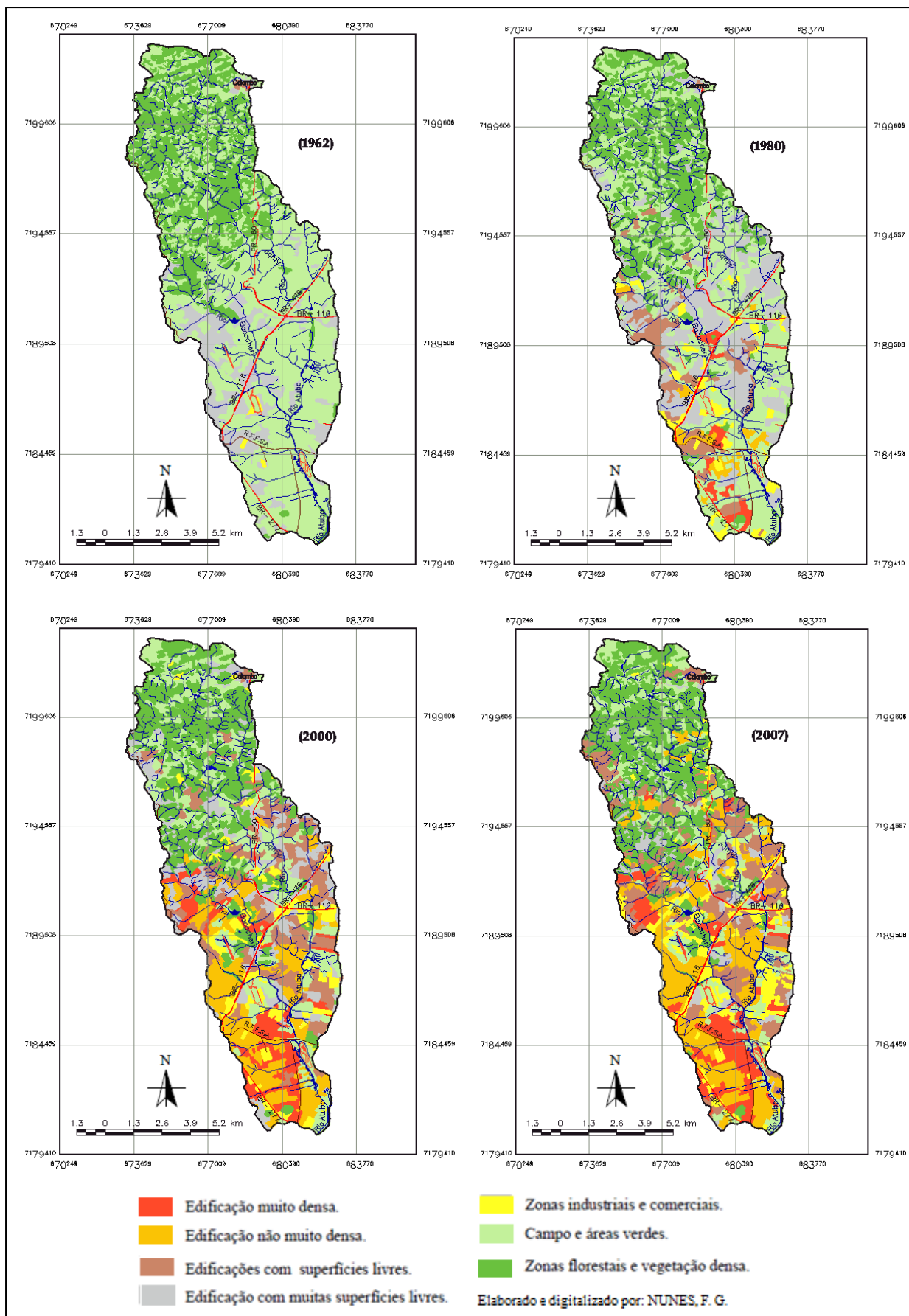


Figura 3. Mapas da cobertura superficial do terreno da bacia hidrográfica do rio Atuba.

Para tal operação foi executado o cálculo de áreas e verificada a percentagem de cada polígono, que representam nos quatro mapas as classes de cobertura superficial do terreno. Visando ainda, o melhor detalhamento durante a quantificação das superfícies permeáveis e impermeáveis da bacia estudada, para cada classe de cobertura superficial do terreno foi realizada a separação do percentual de áreas pertencentes às superfícies permeáveis do total pertencente às superfícies impermeáveis, demonstradas na Tabela 2. A análise do mapeamento das coberturas superficiais teve como critério básico, que nenhuma das classes de edificações analisadas possui cem por cento de suas áreas impermeáveis, ou seja, o total de áreas impermeáveis não é equivalente ao total de áreas urbanizadas.

Tabela 2. Cálculo das áreas das classes de cobertura superficial do terreno da bacia hidrográfica do rio Atuba dos anos (1962, 1980, 2000 e 2007).

Descrição das Classes		Área na bacia do Rio Atuba (km ² /Anos)							
		1962		1980		2000		2007	
Edificação muito densa.	permeável impermeável	0,03	0,20	0,47	3,17	1,43	9,56	1,75	11,68
		0,17		2,69		8,13		9,93	
Edificação não muito densa.	permeável impermeável	0,00	0,00	0,97	2,79	6,51	18,60	8,47	24,20
		0,00		1,81		12,09		15,73	
Edificações com superfícies livres.	permeável impermeável	0,16	0,26	5,58	9,02	11,03	17,79	13,08	21,10
		0,10		3,42		6,76		8,02	
Edificação com muitas superfícies livres.	permeável impermeável	11,02	15,75	18,91	27,02	10,67	15,25	5,42	7,73
		4,72		8,10		4,57		2,31	
Zonas industriais e comerciais.	permeável impermeável	0,06	0,24	1,31	4,68	2,30	8,23	2,83	10,11
		0,17		3,37		5,92		7,28	
Campo e áreas verdes		76,54		53,63		27,11		22,61	
Zonas florestais e vegetação densa.		34,36		27,05		30,75		29,94	
Corpos d'água.		0,06		0,06		0,06		0,06	
Área total das classes.	permeável impermeável	122,20	127,43	107,95	127,43	89,812	127,43	84,1	127,43
		5,16		19,416		37,48		43,27	

Os mapas de cobertura superficial do terreno revelam que a bacia hidrográfica do rio Atuba sofreu um grande processo de urbanização, no período compreendido entre 1980 a 2007. A partir do ano de 1980 verificou-se um acelerado adensamento das áreas edificadas, com a transformação da classe de edificações com muitas superfícies livres para as classes de urbanização mais densas, como as classes de: edificação muito densa, edificação não muito densa e edificações com superfícies livres.

As áreas compreendidas por edificações com muitas superfícies livres que possuíam 15,75km², ou seja, 12,35% de toda a área da bacia em 1962, no ano de 1980 aumentam para 27,2km² com 21,2% da área. No ano de 2000, esta classe diminui para 15,25km² com 11,95% e, em 2007, diminui mais ainda para 7,73 km² com 6,06% de toda a bacia, cedendo espaço para as demais categorias de classes mapeadas.

As edificações com superfícies livres, no ano de 1962 compreendiam 0,26km², contabilizando apenas 0,21% da bacia do rio Atuba. Em 1980 esta classe cresce para 9,02km² com um percentual de 7%. No ano de 2000 aumenta para 17,79km² com 14% da área, apresentando em 2007, 21,10 km² equivalendo a 16,56% de toda a bacia.

A classe de edificação não muito densa surge somente a partir de 1980, somando uma pequena área de 2,79km² que representava somente 2,2% da área de estudo. Em 2000 essa classe aumenta acentuadamente, passando para 18,60km², ocupando 14,6% da área. No ano

de 2007 continua-se verificando a expansão desta classe por todo o médio e baixo curso da bacia, com um total de 24,20 km², equivalendo a 19% de toda a área analisada.

Na classe de edificação muito densa, também se observa o seu acréscimo no decorrer dos anos analisados. Em 1962 esta classe ocupava 0,20km², ou seja, 0,16%. Em 1980 aumenta para 3,17km² com 2,5%, em 2000 para 9,56km² com um total de 7,5% e, em 2007, para 11,68 com 9,16% de toda a área analisada.

A classe de zonas industriais e comerciais compreendia 0,24 km² com 0,19% da área em 1962. No ano de 1980 esta classe aumentou para 4,68 km², chegando a atingir 3,68% de toda a bacia. Em 2000 eleva-se para 8,23 km² correspondendo a um total de 6,45% da bacia, alcançando em 2007 uma área de 10,11 km², com 7,93%.

Nos anos de 2000 e 2007 os campos e áreas verdes diminuíram acentuadamente, passando a ocupar somente 27,10km², ou seja, 21,27% e 22,61km² com 17,74% respectivamente. Nota-se que esta classe aparecia bem distribuída por toda a bacia nos anos de 1962 e 1980, restringe-se, a partir de 2000, quase que no seu total às regiões do alto e médio curso da bacia.

A classe de zonas florestais e vegetação que em 1962 apresentava uma área de 34,36km² com um percentual de 26,96%, em 1980 diminui para 27,05km², ou seja, para 21,25% de área ocupada. No ano de 2000 observa-se uma ligeira regeneração das zonas florestais e vegetação densa, passando esta classe, a possuir 30,74km² com 24,12% de toda a área. Já no ano de 2007, ocorre uma pequena queda na área total dessa classe para 29.94 km² com 23,49%, ou seja, os poucos remanescentes de florestais e vegetação de porte arboreo da bacia do rio Atuba, mantiveram-se praticamente preservados nos últimos sete anos.

5. Conclusão

O uso da técnica de fotogrametria digital mostrou ser uma boa alternativa para o estudo da distribuição temporal e espacial da impermeabilização do solo na bacia hidrográfica do rio Atuba, permitindo acompanhar a evolução urbana, através da identificação e quantificação dos diferentes tipos de arranjos habitacionais, dentro de uma longa série histórica e consistente de dados de 45 anos de análise.

Dentro do perímetro da bacia hidrográfica do rio Atuba é verificada a presença de algumas áreas preservadas com espécies vegetais da Floresta Ombrófila Mista ou de Florestas Secundárias. Estas áreas encontram-se principalmente na região de suas nascentes, e mais ao seu interior, em áreas de preservação natural como os parques municipais do Bacacheri, da Barreirinha e do Museu de História Natural do Capão da Imbuia. A manutenção destes parques contribuíram para preservação e regeneração da classe de zonas florestais e vegetação densa, observadas no mapa de cobertura superficial do solo do ano de 2000.

Apesar da existência das áreas de preservação, a bacia hidrográfica do rio Atuba, como um todo, vem sofrendo um intenso processo de ocupação urbana, com forte urbanização na sua parte mais central e a jusante, e com elevada densificação em direção a montante. Este fato vem a demonstrar que o processo de urbanização na bacia do rio Atuba, como na maioria das bacias brasileiras localizadas em regiões metropolitanas, vêm ocorrendo, via de regra, na direção de jusante para montante.

Com a quantificação das áreas permeáveis e impermeáveis do terreno, pode-se concluir que a área da bacia hidrográfica do rio Atuba, sofreu um grande processo de impermeabilização urbana ao longo dos quatro anos analisados. Em 1962 as áreas permeáveis que ocupavam 95,9% da bacia, reduziram-se para 85,3% em 1980 e para 70% em 2000. Ao mesmo tempo, as áreas impermeáveis que ocupavam somente 4,5% em 1962, aumentaram para 14,5% em 1980 e para 30% em 2000. Verificando-se este mesmo ritmo de adensamento

urbano para o ano de 2007, tem-se a elevação das áreas impermeáveis para 34% com a consequente diminuição das áreas permeáveis para 66% de toda a bacia.

6. Agradecimentos

Ao Centro di Geotecnologie della Università degli Studi di Siena pelos conhecimentos e equipamentos utilizados durante a aplicação da técnica de fotogrametria digital.

7. Referências Bibliográficas

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Pilz, H.; Strobl, J. Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: Blaschke, T.; Kux, H. (Org.). **Sensoriamento remoto e SIG avançados**. 2^a ed. São Paul: Oficina de Texto, 2007. cap. 15, p. 162-171.

SEPL.; PROSAM. Parque e controle de cheias do Alto Iguaçu: estudos hidrológicos - hidrodinâmicos do rio Iguaçu. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral e Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba, 1996.

Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M.T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1995. 428 p.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. Impactos das mudanças da cobertura no escoamento. In: I - Fórum Geo-Bio Hidrologia. Instituto de Pesquisa Hidráulica – IPH – UFRGS. **Anais**. Curitiba, 1998. Artigo, p. 77 – 103.