

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

### **APLICAÇÃO DE ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO NA DETERMINAÇÃO DA COBERTURA DE SOLOS**

*Leandro Guimarães Bais Martins<sup>1</sup> & Rodrigo de Melo Porto<sup>2</sup>*

**RESUMO:** O modelo hidrológico é uma ferramenta desenvolvida pela ciência para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica. Entretanto, a determinação de parâmetros hidrológicos para o uso de modelos é uma tarefa complexa e que envolve muitas incertezas. Com o avanço tecnológico, sensoriamento remoto e SIG tornaram-se poderosas ferramentas de apoio em estudos hidrológicos. Imagens de satélite de alta resolução espacial permitem hoje, a partir de processamento digital de imagens, a determinação de parâmetros hidrológicos referentes a uso e ocupação do solo em nível de lote, reduzindo consideravelmente as incertezas devido à subjetividade proveniente dos métodos tradicionais de estimativa. Desta forma, os valores estimados para variáveis referentes ao uso do solo tornam-se mais acurados e podem ser obtidos mais rapidamente. Este trabalho apresenta a aplicação, em três etapas, do método de classificação automática supervisionada de imagens chamado Análise Orientada a Objeto (AOO) na bacia hidrográfica do córrego do Gregório, para a determinação da composição da cobertura de solo urbano em nível de lote, para fins hidrológicos. Por fim, pôde-se obter o valor de área que as coberturas de solo predominantes ocupam na bacia hidrográfica, que foram convertidos em quatro parâmetros amplamente usados em modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão.

**ABSTRACT:** Hydrological models are tools developed by science to improve the understanding and represent the behavior of a hydrograph basin. However, hydrological parameters determination is a complex task, which involves many uncertainties. Due to the technological improvement, remote sensing and GIS became powerful tools to support hydrological studies. Nowadays, through digital processing, high resolution satellite images allows the determination of hydrological parameters related to land use and land cover in urban areas, reducing uncertainties due to the subjectivity from the traditional methods. Thus, estimated values to land-use parameters became more accurate and quickly obtained. This article presents the application, in three steps, of an automated supervised classification method called Object Based Analysis in the Gregório Stream Basin, to determine the land-cover composition in lot scale. As a result, it was possible to obtain the value of the covered area of each predominant land-cover in the basin, which was converted into four parameters widely used in rainfall-runoff hydrological models.

**Palavras-Chave:** hidrologia urbana; parâmetros hidrológicos; processamento de imagens

### **INTRODUÇÃO**

Estudos hidrológicos envolvendo processos naturais complexos – como precipitação, escoamento superficial e infiltração – dependem de um grande número de fatores e de suas interações, o que dificulta sua análise quantitativa (PORTO, 1998). O modelo hidrológico é uma

---

<sup>1</sup>) Escola de Engenharia de São Carlos. Av. Trabalhador São-carlense, 400. Caixa Postal 359. São Carlos - SP/Brasil, CEP 13566-590. 3373-9552. leandro@sc.usp.br

<sup>2</sup>) Escola de Engenharia de São Carlos. Av. Trabalhador São-carlense, 400. Caixa Postal 359. São Carlos - SP/Brasil, CEP 13566-590. 3373-9517. rodrigo@sc.usp.br

ferramenta desenvolvida pela ciência para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e pode ser definido como “uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes em alguma parte da superfície do solo ou subsolo” (MAIDMENT, 1993). A bacia hidrográfica é um sistema que, a partir da entrada de um estímulo (precipitação), responde através de uma saída (vazão escoada no exutório). Por representarem a bacia, os modelos hidrológicos funcionam da mesma maneira, respondendo através de uma saída (resultados) aos estímulos de entrada (parâmetros hidrológicos) (TUCCI, 2006).

Atualmente, os modelos hidrológicos são ferramentas fundamentais na área da drenagem urbana. Para países com escassez de dados fluviométricos, como o Brasil, os modelos do tipo chuva-vazão são essenciais para a estimativa de vazões em projetos de macrodrenagem urbana. Estes possibilitam a previsão de vazões em uma bacia hidrográfica a partir de séries de precipitações e de parâmetros hidrológicos específicos. Um dos modelos que mais se popularizaram entre os projetistas esta o método do *Soil Conservation Service* (SCS), no qual o escoamento superficial é estimado baseado na capacidade de infiltração dos solos de uma bacia hidrográfica. A popularidade do método está diretamente ligada a sua simplicidade, dependendo basicamente de apenas de três variáveis: precipitação, umidade antecedente do solo e do complexo hidrológico solo-cobertura (SARTORI, *et al.* 2005).

Nos modelos do tipo chuva-vazão, as vazões são obtidas de maneira indireta, ou seja, calcula-se a vazão a partir de dados de precipitação e parâmetros físicos da bacia hidrográfica (FERRAZ *et al.*, 1999). Estes parâmetros físicos podem ser, por exemplo, área das bacias, declividade de talwegues, tempo de concentração, comprimento dos talwegues e uso e ocupação do solo, entre outros. Dentre estes, o parâmetro que mais se destaca é o uso e ocupação do solo, seja na forma de um parâmetro que representa o complexo solo-cobertura ou na simples forma de percentual de áreas impermeáveis. Diversos pesquisadores (CAMPANA, 1992; GERMANO *et al.*, 1998; TUCCI e COLLISCHONN, 2000; ALLASIA, 2002; SILVEIRA, 2010; SHINMA, 2011; MARTINS, 2012) apontam parâmetros de uso e cobertura de solo como os mais sensíveis e importantes em modelos do tipo chuva-vazão, como o método Racional (parâmetro C), método SCS (parâmetro CN) e o modelo SWWM (parâmetro Área Impermeável). Desta forma, ao se trabalhar com estes modelos chuva-vazão, a determinação deste parâmetro torna-se uma tarefa delicada e de suma importância para a precisão dos resultados almejados.

A determinação dos parâmetros de cobertura de solo, geralmente, se dá com base nas informações disponíveis em mapas de uso e ocupação do solo, fotografias aéreas, imagens de satélite de baixa resolução, entre outras, combinadas com mapas de caracterização do tipo de solo (TASSI *et al.*, 2006). Porém, esta análise ocorre muitas vezes de maneira visual ou adotando-se um

valor pré-estabelecido segundo determinado critério, no qual se assume um valor pré-estabelecidos para áreas comerciais, residenciais, industriais, entre outras. Mesmo com uma análise criteriosa, utilizando-se tais métodos o parâmetro obtido pode não ser adequado para a região em estudo devido à não linearidade e heterogeneidade das regiões urbanas, além da grande sensibilidade dos modelos a esses parâmetros, nos quais pequenos erros podem afetar o resultado final das simulações.

Atualmente, com o avanço tecnológico, os *softwares* do tipo SIG tem sido importantes aliados em estudos hidrológicos, nos quais são usados, na maioria dos casos, na caracterização geomorfológica das bacias hidrográficas. O principal material de apoio nestes casos são os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que nada mais são do que uma representação matemática da distribuição espacial das cotas altimétricas do terreno estudado (FERRAZ, 1999), e são em maioria obtidos ou por sensoriamento remoto ou por digitalização de plantas e dados altimétricos (CHAGAS *et al.*, 2010). Estes permitem a automatização do delineamento das bacias hidrográficas, a partir do qual é possível a obtenção de parâmetros hidrológicos como área, comprimento e declividade de talwegues e toda a rede de drenagem das bacias. Existem hoje diversas fontes nas quais é possível a obtenção de MDE de forma gratuita, onde podem ser citadas as cartas planimétricas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (BRANDÃO *et al.*, 2009).

Outro produto de sensoriamento remoto com grande potencial para apoio em estudos hidrológicos são as imagens de satélite, que podem fornecer dados importantes sobre o uso e a ocupação do solo nas bacias hidrográficas. Existem trabalhos utilizando imagens de satélite em estudos hidrológicos desde os anos 70, como por exemplo Jackson *et al.* (1977), Ragan e Jackson (1980) e Harvey e Solomon (1984), nos quais concluiu-se que para grandes bacias hidrográficas o uso destas imagens produziu resultados aceitáveis e promissores. Entretanto os trabalhos eram realizados com imagens dos satélites da época, como o Landsat 1 e 2, com resoluções espaciais de 79m e 75m. Atualmente, é comum a utilização de imagens de satélite de resolução média, em média próxima a 15m, para a classificação de grandes bacias hidrográficas, nas quais os níveis de detalhamento são baixos e limitam-se à simples detecção da mancha urbana, tanto pela baixa resolução das imagens utilizadas como pelas limitações das técnicas de classificação utilizadas. Ribeiro e Kux (2009) afirmam que, apesar do avanço na resolução das imagens de satélite nos últimos anos, a maioria das técnicas de extração de informações baseiam-se ainda em métodos desenvolvidos nos anos 70, como a classificação *pixel-a-pixel*.

A disponibilidade de imagens de alta-resolução tem motivado e aumentado a busca pela automação de extração de feições cartográficas (MOKHTARZADE e ZOEJ, 2007). Nos últimos

anos, no uso de imagens de alta resolução espacial em estudos sobre diversas problemáticas urbanas tem sido objeto de estudos em todo o mundo (GONÇALVES, 2007; MOKHTARZADE e ZOEJ, 2007; CERQUEIRA E ALVES, 2010). Estes estudos atualmente buscam o levantamento de dados em nível de lote, identificando os objetos que os compõem de forma acurada. Para tanto, várias abordagens tem sido propostas e testadas na classificação de áreas urbanas. Neste contexto, a Análise Orientada a Objetos é considerada uma técnica bem estabelecida, eficaz e prática de classificação de áreas urbanas (CENTENO e MIQUELES, 2004; HEROLD *et al.*, 2003; HOFFMAN, 2001; PINHO, 2004). Logo, este trabalho propõe a classificação de uma imagem de alta resolução espacial aplicado à área de drenagem urbana, tendo por objetivo classificar, por meio da técnica de Análise Orientada a Objetos (AOO), uma imagem de satélite de alta resolução espacial da bacia hidrográfica do córrego do Gregório para quantificar os tipos de cobertura predominantes na área de estudo. São dados ainda exemplos de como utilizar os dados deste trabalho na obtenção de alguns parâmetros de uso de solo. Acredita-se que a metodologia deste trabalho pode ser reproduzida em qualquer outra área, desde que se disponha dos materiais necessários para tal.

## ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos foi a bacia hidrográfica do córrego do Gregório. Esta unidade é uma das principais bacias da cidade de São Carlos/SP (Figura 1), estado de São Paulo, Brasil. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (DAAE, 2006), o Estado de São Paulo está dividido em 22 unidades de gestão de recursos hídricos (UGRHI), dentre os quais a área de estudos faz parte da UGRHI 13 (Bacia Tietê/Jacaré). A bacia do Gregório se encontra em crescente processo de urbanização, e foi escolhida para este estudo por possuir parcelas urbanas e rurais, além de ter sido objeto de estudos de diversos outros pesquisadores, os quais estimaram parâmetros de cobertura de solo por métodos diferentes dos apresentados por este trabalho, possibilitando comparações. A bacia do córrego do Gregório tem aproximadamente 18,9km<sup>2</sup> e perímetro de 22,4km, com nascente a leste da cidade, na chácara Recanto Feliz, localizada nas coordenadas 47°46'03" de longitude e 22°01'49" de latitude (ESTEVES; MENDIONDO, 2003; BAIIO, 2009). O córrego corre no sentido oeste em uma extensão aproximada de 8,6km até desembocar no córrego Monjolinho.

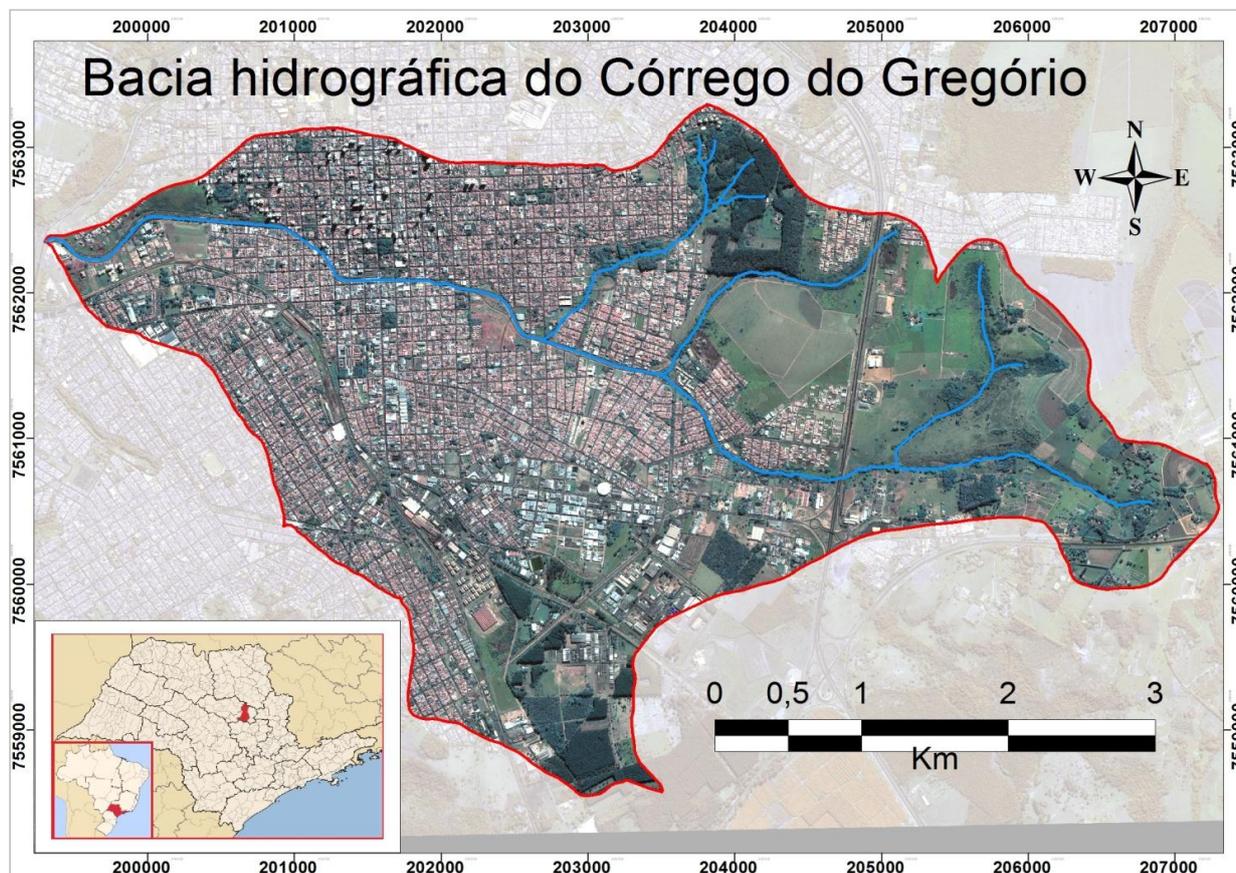


Figura - 1 - Limite da bacia hidrográfica do córrego do Gregório na imagem de satélite de alta resolução, São Carlos, SP

## MATERIAIS UTILIZADOS NO TRABALHO

Para a classificação da bacia hidrográfica, foi utilizada uma imagem de satélite de alta resolução espacial (0,52m), além de uma planta planialtimétrica, a qual permitiu a divisão da área de estudos em 12 sub-bacias. Foram utilizados também 2 *softwares*: um para o pré-processamento da imagem e trabalhos em ambientes SIG (ArcGIS 9.3) e outro para a classificação automática supervisionada pelo método da análise orientada a objetos (Definiens Developer 8.0). A imagem de alta resolução é proveniente do satélite *Worldview II*, registrada em 11 de junho de 2011, com resolução espacial de 0,52 metros contendo as bandas RGB e infravermelho próximo (bandas 1, 2, 3 e 4). A imagem original cobre toda a bacia hidrográfica do córrego do Gregório, a bacia do córrego do Mineirinho e praticamente toda bacia do córrego do Monjolinho. A imagem possui como interferências uma suave angulação – devido à posição do satélite não ser completamente ortogonal ao alvo no momento da captura – e uma parcela considerável de sombras.

## METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais e procedimentos metodológicos utilizados para a realização deste trabalho. O processo de classificação da imagem de satélite dividiu-se em 3 etapas principais: (1) Segmentação; (2) Introdução do conhecimento humano (ou treinamento do *software*) e; (3) Classificação. Entretanto, antes do início das etapas propostas, foi necessário que se definisse quais os tipos de cobertura de solo seriam identificados, considerando-os como alvos da classificação (Tabela 1). A escolha dos alvos se deu após a observação da imagem para reconhecimento das coberturas mais frequentes – mesmo que não fossem encontradas em toda a área da bacia hidrográfica – apoiada também por alguns testes de facilidade de identificação utilizado o *software* Definiens. Desta maneira, escolheu-se ao todo 8 tipos de cobertura de solo.

Tabela 1 - Tipos de coberturas escolhidas para a Análise Orientada a Objeto

Tipos de coberturas (alvos)	Coberturas enquadradas		
<b>Telhados</b>			
	Telhado cerâmico claro e escuro	Telhados metálicos brancos	Quadras poliesportivas coloridas
<b>Cinzas</b>			
	Asfalto claro e escuro	Pavimentos e lajes de concreto	Telhados de amianto/zinco ou metálicos cinzas
<b>Culturas Perenes</b>			
	Plantações de árvores pequenas em linha e pomares		
<b>Vegetação rasteira</b>			

	Gramíneas e vegetação baixa, não arbórea		
<b>Vegetação arbórea</b>			
	Florestas e bosques	Árvores em área urbana	Reservas naturais
<b>Solos</b>			
	Solo exposto e sem vegetação	Solos preparados para agricultura	Ruas e estradas de terra e areia
<b>Sombras</b>			
	Áreas de coloração negra		
<b>Entulhos</b>			
	Depósitos de lixo		Depósitos a céu aberto

Algumas coberturas como água, veículos automotores, cemitérios, entre outros, não foram considerados alvos urbanos tanto pela difícil identificação nas imagens quanto pela baixa taxa de ocorrência ou ausência dos mesmos na área de estudos. Foram tomadas as devidas precauções para que as coberturas enquadradas sob um mesmo tipo tivessem características hidrológicas – em relação à parcela de escoamento que produzem – semelhantes, evitando assim distorções significativas na caracterização hidrológica da cobertura de solo da bacia.

Após a definição das coberturas que seriam classificadas no trabalho de processamento digital da imagem, iniciaram-se os trabalhos de classificação da imagem de satélite divididos nas 3 etapas apresentadas na figura 2.

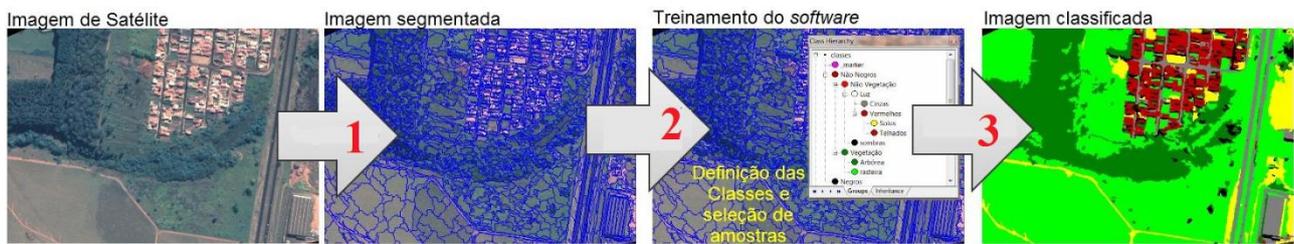


Figura - 2 - Etapas da classificação da imagem: (1) Segmentação; (2) Introdução do conhecimento Humano; (3) Classificação.

Antes da segmentação da imagem, optou-se por dividir a bacia hidrográfica do córrego do Gregório em sub-bacias. A divisão fez-se necessária por dois motivos principais. Primeiramente, como a bacia hidrográfica possui parcelas urbanas (que possui elementos menores e mais detalhes) e rurais (objetos maiores e com menos detalhes), esta apresenta características muito diferentes ao longo de sua extensão. Desta forma, a divisão em áreas menores dividiu também a bacia em regiões mais homogêneas. Por fim, a segmentação de uma área grande exigiria também um poder computacional muito grande e um elevado tempo de processamento, além de dificultar os trabalhos de inspeção da qualidade de resultados e a exportação destes para outras plataformas (por se tratar de um volume de dados muito grande). Portanto, a bacia do Gregório foi dividida manualmente com o auxílio da planta planialtimétrica e gerou 12 sub-bacias, que foram numeradas de 1 a 12. O resultado é apresentado na Figura 3.

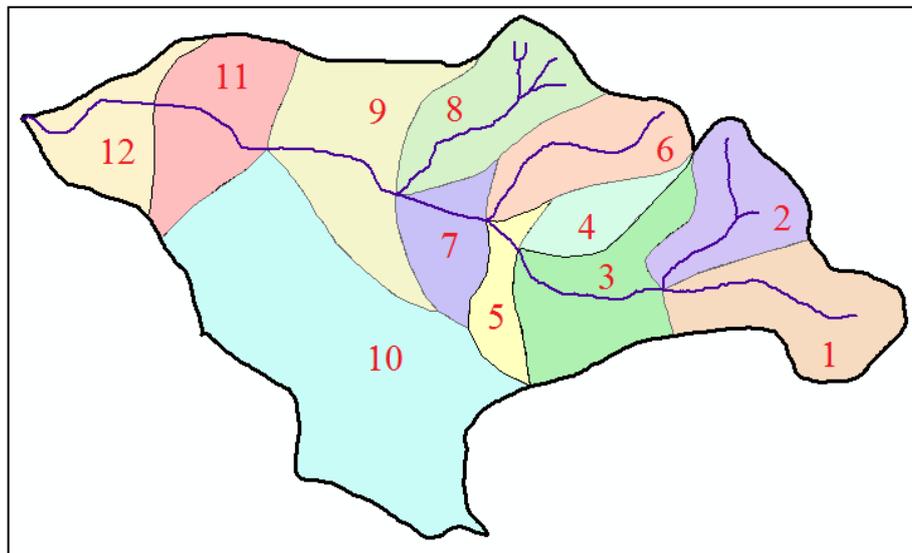


Figura 3 – Divisão das 12 sub-bacias do córrego do Gregório

Dividida a bacia, iniciou-se o processo de segmentação, que visa separar os elementos da imagem em grupos homogêneos, chamados objetos, baseados em propriedades como níveis de cinza, textura, cor etc. Durante o processo, o software utilizado permitiu a atribuição de valores a dois parâmetros: escala (define qual o menor objeto a ser detectado, em *pixels*) e cor/textura (define

se será priorizada a textura ou a cor na segmentação da imagem). Foram testados diferentes valores para este parâmetro até que fossem obtidos os melhores resultados (aferidos visualmente) na separação dos objetos da imagem. No parâmetro escala (que varia de 5 a 250 *pixels* por objeto) predominaram valores baixos, que variaram de 25 a 35 em todas as bacias. Esse valor baixo deve-se à alta resolução espacial e da heterogeneidade da área de estudo, que contém um número grande de objetos pequenos. No fator escala predominou o valor de 0,9 (o fator varia de 0,1 a 0,9, no qual valores baixos priorizam textura e valores altos priorizam cor), mostrando que melhores resultados foram alcançados ao se priorizar a cor. Isto ocorre pois, em objetos pequenos (com cerca de 35 *pixels*), não fica evidente nenhuma textura. Detalhes do resultado da segmentação serão apresentadas na figura 5.

Tabela 2 - Valores de segmentação utilizados em cada sub-bacia do córrego do Gregório

Sub-bacia	Fator escala	Cor/Textura
1	25	0,90
2	35	0,90
3	25	0,90
4	25	0,85
5	25	0,90
6	35	0,90
7	25	0,90
8	25	0,90
9	25	0,90
10	25	0,90
11	25	0,80
12	25	0,90

Concluída a segmentação, iniciou-se o processo de classificação das 12 sub-bacias do córrego do Gregório, que tem por objetivo gerar um mapa vetorial da cobertura de solo da bacia. Para tanto, uma vez que as sub-bacias possuem composições distintas entre si, foi necessária a escolha de quais das 8 classes compunham cada sub-bacia. Assim que definidas as classes de cada bacia, estas foram dispostas em cadeias hierárquicas (Figura 4).

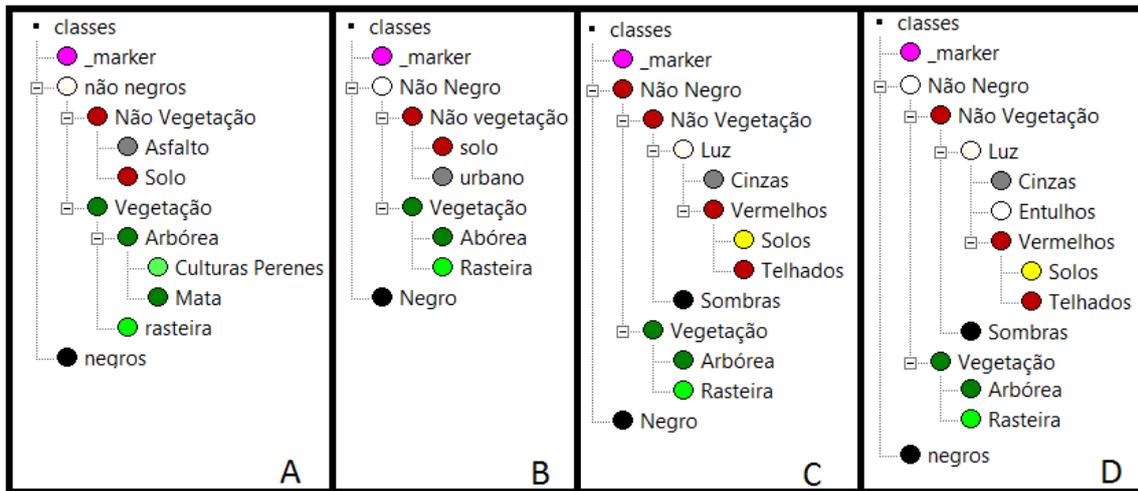


Figura 4 - Hierarquias de classe para classificação de cobertura. O quadro A foi utilizado para a sub-bacia 1; o B para a sub-bacia 2; o C para as sub-bacias 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 12; o D para a sub-bacia 11, a única que possuía a cobertura entulhos

A criação da hierarquia é necessária pois o software DEFINIENS distingue as coberturas de solo separando-as de duas em duas, como por exemplo, separando inicialmente o que é vegetação de não vegetação. A partir disto, pode-se separar a classe ‘vegetação’ em ‘arbórea’ e ‘rasteira’. Desta forma, toda a classificação deve ser dada separando-se as coberturas de duas em duas, nas quais as novas classes devem sempre pertencer a uma classe superior (como as classes ‘arbórea’ e ‘rasteira’ pertencem à classe ‘vegetação’). Para a definição de cada classe, eram escolhidas aproximadamente 40 amostras bem distinguíveis e representativas deste tipo de cobertura para que estas servissem de área de treinamento para o *software*. Esta etapa é definida como a introdução do conhecimento humano ao processo de classificação, e dá ao processo o nome de classificação automática ‘supervisionada’. O software interpreta as amostras e define quais objetos pertencem a cada classe de cobertura, enquadrando todos os segmentos da imagem em alguma classe de cobertura e, ao fim do processo de classificação, cada objeto presente na imagem está associado a um tipo de cobertura de solo.

Após a classificação das 12 sub-bacias, os resultados foram exportados para o *software* SIG, onde foram calculadas as áreas de cada cobertura nas sub-bacias por somatório simples. Desta forma, pode-se chegar ao resultado parcial do trabalho, onde as áreas de cada cobertura de solo foram quantificadas em função das 8 classes de cobertura pré-determinadas.

Com o intuito de exemplificar a utilidade dos dados gerados por sensoriamento remoto, os valores de área de coberturas foram convertidos para quatro parâmetros bastante utilizados em hidrologia e drenagem urbana, sendo estes CN (método SCS), C (método Racional), Área Impermeável total (AI) e Grau de Vegetação (GV). As metodologias propostas para a obtenção dos dois primeiros parâmetros podem ser obtidas em Tucci (2000).

Para a determinação de CN, supôs-se que os solos que compunham a bacia hidrográfica eram todos do tipo hidrológico B. Desta forma, o valor do parâmetro para cada cobertura foi obtido nas tabelas apresentadas em TUCCI (2000). Para o método Racional os valores de C para cada cobertura foram obtidos em tabelas apresentadas em ASCE (1969). Para os parâmetros AI e V foi necessária apenas a identificação de quais coberturas se enquadravam nas classes coberturas impermeáveis e vegetação. A tabela 3 apresenta os valores utilizados durante a obtenção dos parâmetros hidrológicos.

Tabela 3 – Valores dos diferentes parâmetros adotados para cada tipo de cobertura de solo

Tipos de coberturas (alvos)	CN para solos B	C	Áreas Impermeáveis	Vegetação
Telhados	98	0,85	Sim	Não
Cinzas	98	0,86	Sim	Não
Culturas Perenes	78	0,10	Não	Sim
Vegetação rasteira	61 – 69*	0,13	Não	Sim
Vegetação arbórea	55	0,20	Não	Sim
Solos	82	0,40	Não	Não
Sombras	-	-	-	-
Entulhos	82	0,40	Não	Não

\* 61 para áreas rurais e 69 para áreas urbanas

É importante destacar que as sombras da imagem de satélite não são, na realidade, um tipo de cobertura de solo. Estas são interferências provocadas pela angulação do Sol no momento da captura da imagem. Portanto, as sombras não recebem nenhum valor na obtenção de nenhum parâmetro, tendo sua área desconsiderada durante os cálculos dos parâmetros, ou seja, a área de cada sub-bacia passa a ser  $A = A_{total} - A_{sombras}$ . Desta forma, ao se desconsiderar esta parcela nos cálculos, comete-se um erro que varia proporcionalmente à área de sombras, ou seja, quanto maior a área de sombras, maior o erro. Entretanto, este método busca minimizar erros, pois desconsiderar a área de sombras equivale a atribuir à esta um valor de parâmetro igual ao valor médio deste parâmetro na sub-bacia.

Para o cálculo dos parâmetros CN e C, utilizou-se o método das médias ponderadas, que faz a somatória do produto da área de cada cobertura pelo valor do seu parâmetro (C ou CN) e divide pela área total das sub-bacias. Para AI e V os valores são apresentados em percentual de áreas impermeáveis ou vegetação em relação à área total.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados das metodologias utilizadas. O processo de segmentação dividiu a imagem em segmentos, que nada mais são do que pequenos polígonos, no

qual cada um representa um objeto diferente. A figura 5 mostra detalhes do resultado da segmentação das bacias 1 (bacia rural) e 7 (bacia urbana). Não será apresentada a imagem da segmentação completa pois os segmentos são muito pequenos para serem distinguidos na imagem completa da bacia hidrográfica.

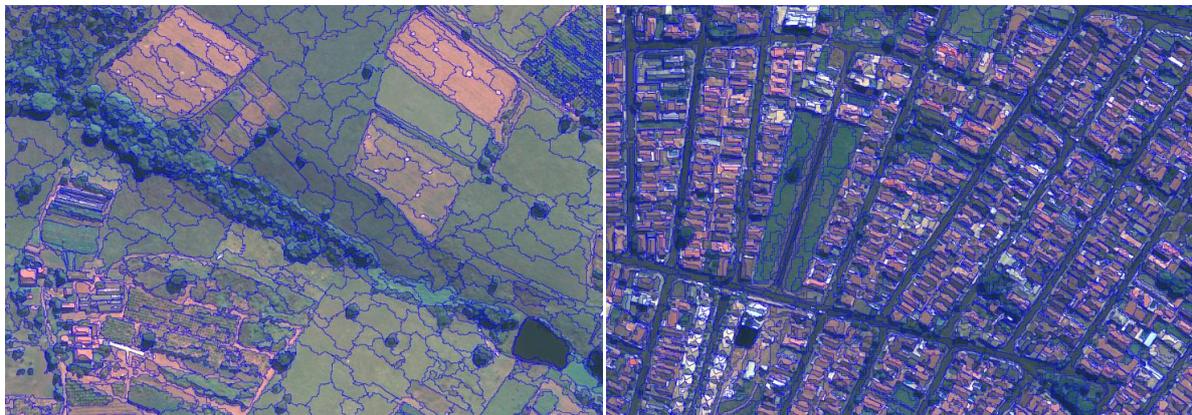


Figura 5 - Segmentação de uma área rural (bacia 1) e uma área urbana (bacia 7)

Segmentada a imagem e definidas as classes que compunham cada bacia, foi feita a seleção de aproximadamente 40 amostras de cada classe (Figura 6A). Após a seleção das amostras de todas as classes, é feita automaticamente a classificação de toda a sub-bacia (Figura 6B). A qualidade do resultado foi aferido apenas visualmente, sempre que era concluída a classificação de uma sub-bacia. Na maioria dos casos, um resultado ruim de classificação era decorrente de confusão espectral durante o processo, o que levava o software a classificar um objeto como sendo de uma classe diferente daquela à qual ele pertencia como, por exemplo, classificar um telhado de cerâmica como sendo da classe solos. Esses erros eram decorrentes, na maioria dos casos, de uma seleção de amostras insatisfatória, tanto pela seleção de um número insuficiente de amostras quanto pela seleção de amostras pouco representativas. Quando o resultado da classificação apresentava muitos erros, todo o processo de seleção de amostras e classificação foram refeitos. Quando eram detectados poucos erros, estes eram corrigidos manualmente.

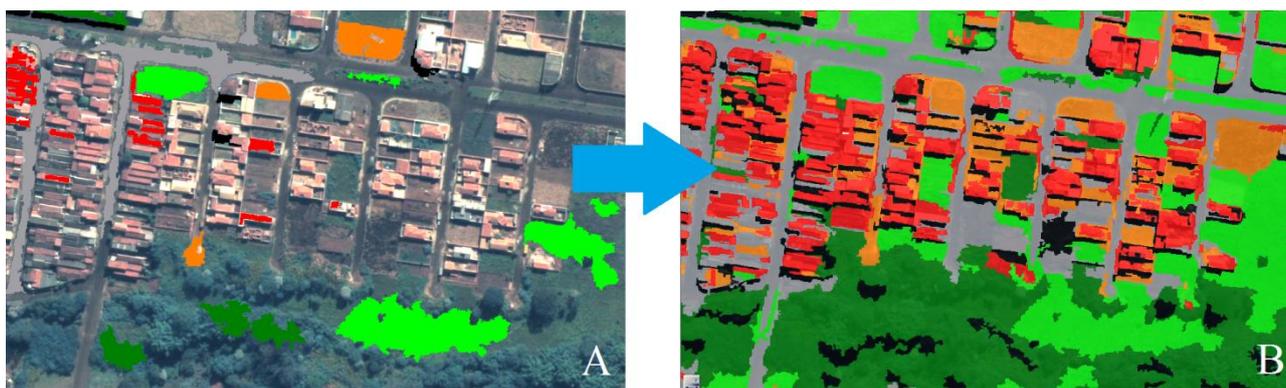


Figura 6 – Detalhes da seleção de amostras das classes (A) e da classificação final (B)

O processo apresentado na figura 6 foi realizado para cada uma das 12 sub-bacias hidrográficas e, ao fim, toda a bacia do córrego do Gregório foi classificada, com o resultado apresentado na figura 7.

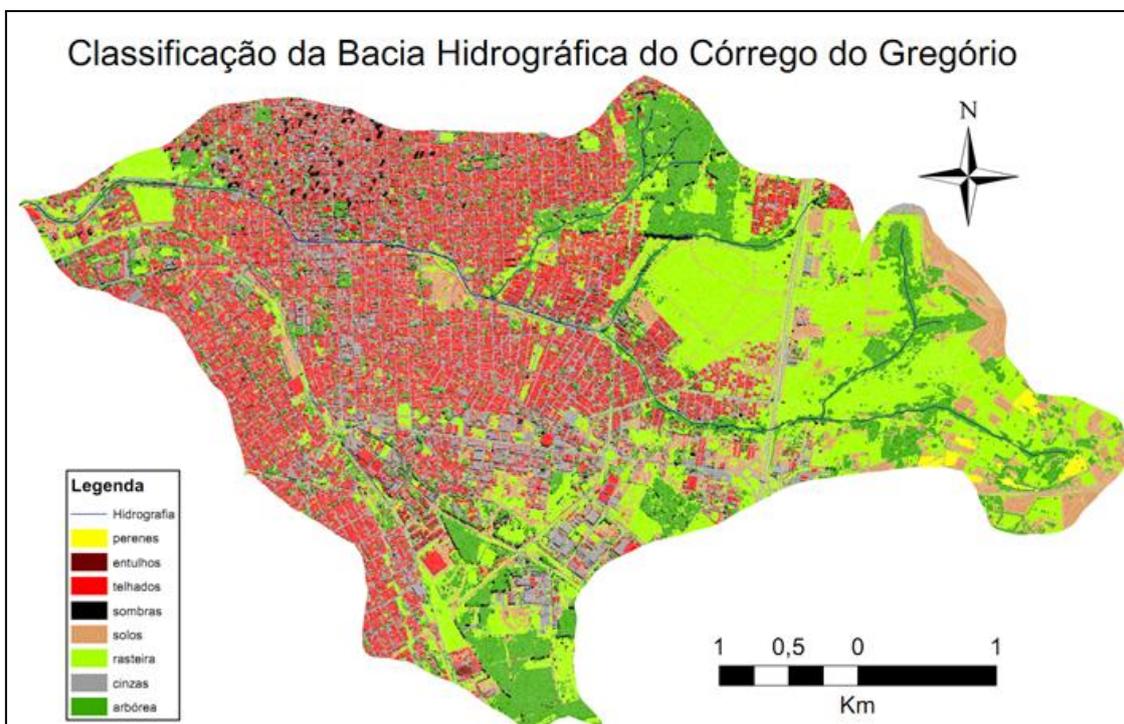


Figura 7 – Resultado da classificação por AOO na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório

Concluída a classificação, os resultados foram exportados para o SIG, onde foi calculada a área dos polígonos que representavam os objetos para que fossem obtidos os valores de área total de cada cobertura nas sub-bacias e na bacia hidrográfica inteira. Esses são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Área de cada cobertura nas 12 sub-bacias hidrográficas

Sub-bacia	Área de cada tipo de cobertura (m <sup>2</sup> )								Área Total
	Arbórea	Rasteira	Telhados	Cinzas	Solos	Sombras	Perenes	Entulhos	
1	455.521,50	734.576,50	-	30.581,25	351.748,75	-	76.052,00	-	1.648.480,00
2	341.184,25	582.434,50	-	13.937,25	267.321,75	-	-	-	1.204.877,75
3	285.382,50	575.492,75	142.151,75	252.324,00	228.168,50	83.142,25	-	-	1.566.661,75
4	28.036,25	437.469,50	36.590,50	37.644,00	41.828,00	11.066,75	-	-	592.635,00
5	65.924,00	127.006,00	104.712,50	130.453,75	57.532,50	42.662,50	-	-	528.291,25
6	261.008,25	656.887,00	96.377,75	66.919,25	121.874,25	60.156,50	-	-	1.263.223,00
7	61.346,50	66.137,00	294.444,00	284.717,50	34.996,75	87.083,00	-	-	828.724,75
8	591.954,50	221.189,50	358.328,50	168.012,25	49.911,00	96.914,00	-	-	1.486.309,75
9	237.832,25	70.501,00	807.361,75	662.005,50	78.624,00	174.998,25	-	-	2.031.322,75
10	983.061,25	856.376,00	1.184.582,00	1.361.327,00	330.560,50	441.348,50	-	8.509,75	5.165.765,00
11	211.948,00	51.900,25	527.238,50	522.364,50	33.447,25	172.079,50	-	-	1.518.978,00
12	207.987,75	264.958,00	219.852,50	196.267,00	65.460,00	96.134,50	-	-	1.050.659,75
<b>Gregório</b>	<b>3.731.187,00</b>	<b>4.644.928,00</b>	<b>3.771.639,75</b>	<b>3.726.553,25</b>	<b>1.661.473,25</b>	<b>1.265.585,75</b>	<b>76.052,00</b>	<b>8.509,75</b>	<b>18.885.928,75</b>

Os resultados apresentados na tabela 4 tem grande valor em estudos hidrológicos. Para exemplificar a utilização destes dados em estudos hidrológicos, elaborou-se a tabela 5, na qual os dados foram convertidos em 4 parâmetros hidrológicos amplamente usados e necessários em vários modelos hidrológicos.

Tabela 5 – Valores de 4 parâmetros hidrológicos obtidos por sensoriamento remoto

Bacias	CN	C	Áreas Impermeáveis	Grau de Vegetação
1	65	0,22	1,86%	72,19%
2	64	0,22	1,16%	76,66%
3	73	0,38	26,59%	58,03%
4	67	0,25	12,76%	80,04%
5	83	0,52	48,43%	39,73%
6	71	0,27	13,57%	76,30%
7	91	0,71	78,09%	17,19%
8	74	0,44	37,88%	58,53%
9	91	0,72	79,15%	16,61%
10	83	0,55	53,89%	38,93%
11	90	0,71	77,93%	19,59%
12	79	0,48	43,59%	49,55%
<b>Gregório</b>	79	0,48	42,55%	47,54%

Desta forma, torna-se evidente que os dados obtidos por sensoriamento remoto tem finalidade prática em hidrologia, além de serem facilmente manipulados e convertidos em diversos parâmetros importantes, como os apresentados na tabela 5. O método SCS é o método mais popular dentre os profissionais da área de drenagem urbana no Brasil e o parâmetro CN, além do mais sensível, é o parâmetro mais difícil de ser obtido de forma precisa. Segundo Campana e Tucci (1994), o valor de áreas impermeáveis em ambientes urbanos é de grande importância pois faz parte da estrutura de muitos dos modelos hidrológicos de simulações empregados em ambiente urbano, principalmente em macrodrenagem. Desta forma, além de ser fácil de ser aplicada, a AOO produz resultados satisfatórios que diminuem as incertezas ligadas à obtenção de parâmetros relacionados à cobertura do solo.

Através dos valores das áreas de cada cobertura obtidas por Análise Orientada a Objetos, para parâmetros de cobertura do solo, é possível a obtenção de valores mais precisos do que aqueles que seriam obtidos por estimativa através dos métodos tradicionais (MARTINS, 2012). Desta forma, os resultados obtidos pela AOO foram considerados muito satisfatórios e, portanto, a utilização destes em projetos de drenagem urbana é apropriada. Acredita-se que, na área de drenagem urbana, a AOO represente um grande avanço na extração de informações a partir de imagens de alta resolução, e que a metodologia apresentada neste trabalho possa ser reproduzida em outras bacias hidrográficas com resultados igualmente satisfatórios.

Por fim, a manipulação do resultado da AOO em ambiente SIG permite a criação de mapas temáticos, nos quais é possível que se destaque determinadas características como áreas

impermeáveis ou áreas de vegetação. Além disso, pode-se apresentar valores de parâmetros hidrológicos de maneira mais dinâmica, como em graduação de cores. Desta forma, pode-se facilitar a identificação de áreas de interesse, como áreas críticas na geração de escoamento, áreas com alta permeabilidade ou com excesso de terrenos ociosos. Alguns exemplos de mapas temáticos são apresentados na figura 8.

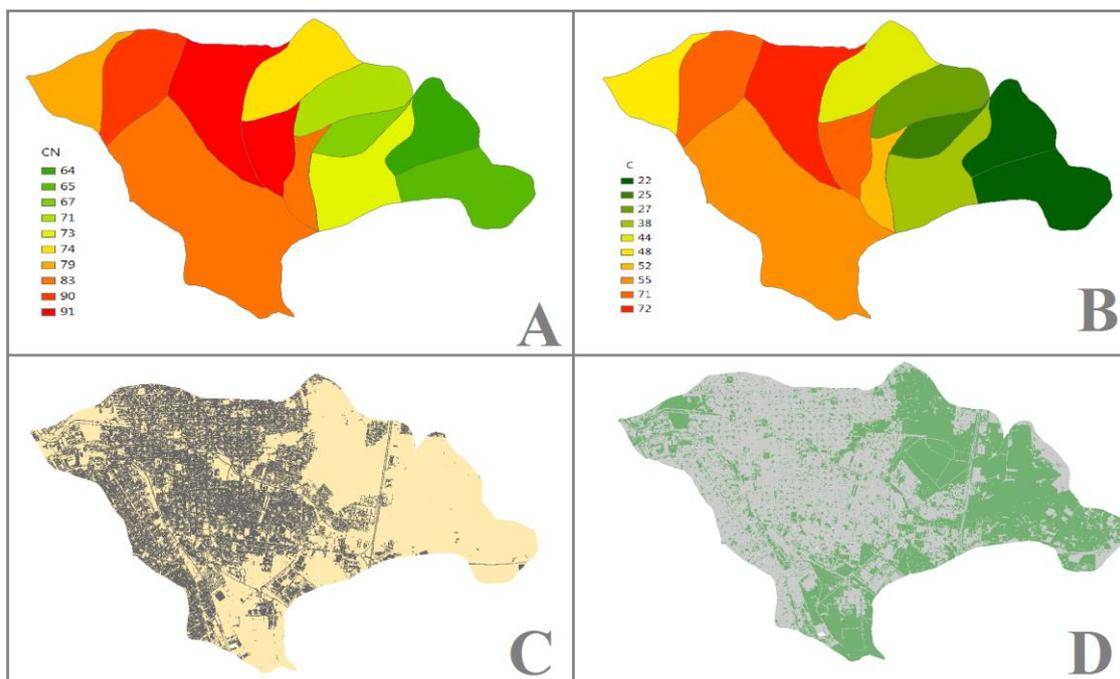


Figura 8 – Mapas temáticos da bacia do Gregório com: (A) Valores de CN em cores; (B) Valores de C em cores; (C) Destaque para áreas impermeáveis em cinza; (D) Destaque para áreas de vegetação em verde.

## CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho, conclui-se que a classificação de áreas urbanas pelo método da Análise Orientada a Objetos apresenta bons resultados e estes são uma importante fonte de dados para estudos hidrológicos. A metodologia utilizada neste trabalho é de fácil reprodução em outras áreas, desde que se tenha material compatível como, por exemplo, uma imagem de satélite de alta resolução espacial e um *software* para a AOO.

A obtenção dos parâmetros de cobertura de solos por meio de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens reduz a subjetividade envolvida na estimativa pelos métodos tradicionais, reduzindo as incertezas envolvidas em simulações hidrológicas.

Por fim, o resultado do processo de AOO gera dados preciosos, que se bem manipulados podem auxiliar no uso de diversos modelos hidrológicos. Além disso, a elaboração de mapas temáticos que podem auxiliar na identificação de feições específicas da área estudada ou apresentar

de forma mais dinâmica os resultados obtidos. O resultado deste trabalho pode ainda ser utilizado em muitas outras áreas do conhecimento além de hidrologia urbana como, por exemplo, engenharia de transportes, arquitetura e urbanismo, estudos de caráter social e de gerenciamento urbano.

## BIBLIOGRAFIA

ALLASIA, D. G., (2002). *“Impacto das incertezas no custo de uma rede de macrodrenagem”* UFRGS, Dissertação. 152p.

ASCE – American Society of Civil Engineer. (1969). *“Methodologies for flow prediction in urban Storm drainage systems”* Department of Civil Engineer. 150p.

BRANDÃO, T. F.; SANTOS, R. L. (2009). *“O uso de Imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial)”* In Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. pp. 4663-4670.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C.E.M. (1994). *“Estimativa de área Impermeável de macro bacias urbanas”* Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2, pp.79-94.

CENTENO, J.; MIQUELES, A. (2004). *“Extraction of buildings in Brazilian urban environments using high resolution remote sensing imagery and laser scanner data”* In Anais do XX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, Instambul. pp. 589 - 692.

CHAGAS, C. S., FERNANDES FILHO, E. I., ROCHA, M. F., CARVALHO JUNIOR, W., SOUZA NETO, N. C. (2010). *“Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos”* . Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, pp.218-226.

FERRAZ, F. F. B.; MILDE, L. C. E.; MORTATTI, J. (1999). *“Modelos hidrológicos acoplados a sistemas de informações geográficas: um estudo de caso”* Revista de Ciência & Tecnologia, v.14, pp.45-56.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (1998) *“Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3 n.4, pp. 103-120

GONÇALVES, R. M.; CORTES, J. B. R.; SCHMIDT, M. A. R.; SCHIMALSKI, M. B. (2007). *“Classificação hierárquica e fuzzy de imagens de alta resolução”* In Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. pp. 547-554

HARVEY, K. D.; SOLOMON, S. I. (1984). *“Satellite remotely-sensed land use data for hydrologic modelling”* Canadian Journal of Remote Sensing, v.10, n.1.

HEROLD, M.; LIU, X.; CLARKE, K. C. (2003). *“Spatial metrics and image texture for mapping urban land use”* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.69, n.9, pp. 991-1001.

- HOFMANN, P. (2001). “*Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis - an example from Cape Town (South Africa)*” In Anais do II International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, Regensburg. pp. 107-118.
- JACKSON, T. J.; RAGAN, R. M.; FITCH, W. N. (1977). “*Test of landsat-based urban hydrologic modeling*” Journal of Water Resources Planning Management. v.103, n.1, pp. 141-158.
- MAIDMENT, D. R. (1993). “*GIS and hydrology modeling*” In GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. *Environmental Modeling with GIS*. (1993). New York: Oxford University Press, pp.147-167.
- MARTINS, L. G. B. (2012). “*Determinação de parâmetros hidrológicos por técnicas de sensoriamento remoto em macrodrenagem urbana*” EESC/USP, Dissertação, 113p.
- MOKHTARZADE. M.; ZOEJ, M. J. V. (2007). “*Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks*” International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.9, n.1, pp. 32-40.
- PINHO, C. M., KUX, H. (2004). “*Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP, Brasil*” In Anais do XI Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, Santiago.
- PORTO, R. L. L. (1998). “*Escoamento superficial direto*” In TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. *Drenagem urbana*. 1998.
- RAGAN, R. M.; JACKSON, T. J. (1980). “*Runoff synthesis using Landsat and SCS model*” Journal of Hydraulic, v.106, n.5, pp. 667-678.
- RIBEIRO, B. M. G.; KUX, H. J. H. (2009) “*Classificação orientada a objeto para mapeamento do uso do solo – Métodos de análise de expansão urbana*” In Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. pp.7893-7900.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. (2005) “*Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos parte 1: Classificação*” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.4, pp. 5-18.
- SILVEIRA, G. M. “*Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta*” POLI/USP, Dissertação. 243p.
- TASSI, R.; ALLASIA, D. G. MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. (2006) “*Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS*” In Anais do I Simpósio de recursos Hídricos do Sul-Sudeste.
- TUCCI, C. E. M. (2000) “*Hidrologia: ciência e aplicação*” Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000. 944p.
- TUCCI, C. E. M. (2006) “*Modelos hidrológicos*” Porto Alegre: ABRH, 2006. 678p.
- TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. (2000) “*Drenagem urbana e controle de erosão*” In: TUCCI, C. E. M. *Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre UFRGS. 2000