

Estimativa de áreas impermeáveis utilizando imagens de satélite e classificação *fuzzy* na bacia hidrográfica do arroio Dilúvio - Porto Alegre/RS.

Assessment of sealed-surface areas using a fuzzy classification process in satellite images of the arroio Dilúvio basin - Porto

Alegre,RS, Brazil.

Cesar Augusto Alves ¹

Alfonso Riso ²

Franz Semmelmann ³

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPARM/UFRGS, Porto Alegre, RS

¹cesaralv@ppgiph.ufrgs.br, ²risso@iph.ufrgs.br, ³frasesm@terra.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta uma proposta metodológica, para obter-se uma estimativa de áreas impermeáveis dentro de uma bacia urbana utilizando imagens Landsat. O método utiliza os intervalos espectrais disponíveis nos sensores do satélite Landsat 7 ETM+ para identificar os alvos no solo através do comportamento espectral dos mesmos. Para a estimativa foi utilizado um classificador baseado na teoria *fuzzy*, ele faz parte de um conjunto de classificadores não-rígidos do programa *Idrisi 32*, e chama-se *Fuzclass* (*Fuzzy Set Membership classification*). O resultado dessa estimativa de área impermeável dentro da bacia hidrográfica do arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) utilizando a classificação *Fuzclass* é comparada com uma classificação booleana *Maxver* (Máxima Verossimilhança) da mesma área. Conforme os resultados apresentados pode-se dizer que houve um avanço na qualidade da estimativa de áreas impermeáveis utilizando-se o classificador *Fuzclass*.

ABSTRACT: In this work a fuzzy classification method for Landsat image classification in an urban watershed is presented. Spectral intervals as furnished by Landsat 7 ETM+ data were employed to characterize ground features of urban areas with regard to their spectral response. In an attempt to improve the results of standard classification procedures the *Idrisi 32*, *Fuzzy Set Membership classification - Fuzclass* - was applied. An evaluation of impermeabilized areas obtained by this method reveals improvement of information quality regarding the results of the maximum likelihood - *Maxver* - classification of the same area. An evaluation of surface-sealed areas by this method reveals improvement of estimates when compared to those of the maximum likelihood - *Maxver* - classification and confirm advantages in using the *Fuzclass* classification process.

1. INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento populacional e a concentração em torno dos centros urbanos, acarretam, entre outras modificações, a transformação na cobertura do solo. Esse solo que em seu estado natural permitia a infiltração da água, neste outro momento apresenta-se como uma superfície impermeável, trazendo como consequência um aumento na quantidade e na velocidade do escoamento superficial da água da

chuva. Essas superfícies impermeáveis apresentam um processo dinâmico nas suas modificações, e uma rápida e eficiente ferramenta utilizada para identificar as modificações ocorridas na cobertura do solo são as de imagens de satélite. O satélite Landsat tem como vantagens na sua utilização: o baixo custo de suas imagens em relação aos outros satélites e a disponibilidade comercial de suas imagens. Apresenta também uma resolução espectral boa, o que permite a utilização de seus intervalos espectrais (bandas) para identificar os

alvos da superfície do solo. As classificações espectrais de imagens mais usuais utilizam modelos booleanos, onde cada *pixel* (célula) da imagem pertence ou não a determinada classe, ocasionando erros em áreas onde o *pixel* é composto por mais de uma classe. Neste trabalho foi utilizado um classificador baseado na teoria *fuzzy*, que subdivide o *pixel* em graus de possibilidade de ocorrência da classe. Em uma classificação de incertezas *fuzzy*, os possíveis resultados da função de pertinência estarão no intervalo (0,1), sendo que o valor zero indica que o *pixel* não pertence a classe amostrada, e o valor um indica que o *pixel* pertence totalmente à classe. O classificador utilizado chama-se *Fuzclass* (*Fuzzy Set Membership classification*) e faz parte de um conjunto de classificadores não-rígidos disponíveis no programa de geoprocessamento *Idrisi 32*.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para estimativa, utilizando uma classificação *fuzzy*, das áreas impermeáveis dentro de uma bacia urbana, visando auxiliar estudos hidrológicos através da obtenção do parâmetro quantidade de área impermeável na bacia hidrográfica.

A área de estudo é a bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, localizada no município de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul. A bacia hidrográfica do arroio Dilúvio tem uma área de drenagem de aproximadamente 80 km², com um relevo caracterizado por cadeias de morros que atingem até 300 m de altitude. Apresenta-se de forma quase retangular no sentido oeste-leste, com a cabeceira localizada no município de Viamão.

O curso principal da bacia é o arroio Dilúvio com 12 km de extensão, que corta grande parte da cidade e tem grande importância na drenagem da mesma.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Materiais utilizados no trabalho:

- Imagem do satélite Landsat 7 ETM+, órbita 221 ponto 81 de 24 de fevereiro de 2000.
- Imagem do satélite QuickBird, fusão das bandas 1,2 e 3 com a banda pancromática, com resolução espacial de 0,61 m, 29872 GII de agosto de 2003.
- GPS ProMARK X-CM da Magellan.

- Programa Idrisi 32 versão 32.2.

Classificação da imagem Landsat 7 ETM+ pela Máxima Verossimilhança (MAXVER)

A primeira classificação realizada na imagem foi através da Máxima Verossimilhança (MAXVER), que é uma das técnicas de classificação supervisionada mais utilizadas em dados de sensoriamento remoto segundo Richards e Jia [5]. Esse método de classificação é considerado rígido, ou seja, cada *pixel* (célula) da imagem, pertence a apenas uma classe. A imagem Landsat 7 ETM+ foi classificada por essa técnica utilizando quatro (4) classes: água, urbano, solo exposto e vegetação. A maneira utilizada para estimar a superfície impermeável através dessa técnica foi considerar a classe “urbano” como sendo área impermeável.

Classificação da imagem Landsat 7 ETM+ utilizando o classificador *Fuzclass* (*Fuzzy Set Membership classification*)

O classificador *Fuzclass* (*Fuzzy Set Membership classification*) é baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy*, e está implementado no programa *Idrisi 32* e produz um conjunto de imagens (uma para cada classe) que expressa a pertinência de cada classe em cada *pixel*. Os *pixels* na imagem classificada apresentam níveis dentro do intervalo de 0 a 1. As imagens produzidas pelo módulo *Fuzclass*, representam a possibilidade de presença da classe no *pixel* (PPCP), ou seja, a possibilidade de existir a classe dentro do *pixel*. Segundo Campana [2] é preciso reconhecer a diferença que existe entre conjuntos *fuzzy* e teoria da probabilidade. Seja a seguinte definição: *x* é um número pequeno, onde a categoria “número pequeno” está representando um conjunto de números reais positivos. Essa definição está indicando uma distribuição de possibilidades ao invés de uma distribuição de probabilidade de *x*. A imprecisão de afirmações como por exemplo: alto, baixo, bom, ruim, péssimo, etc, pode ser expressa através de um número que exprime a “possibilidade” da afirmação estar correta.

Para obter-se qualidade nessa classificação é necessário a identificação dos *pixels* puros na imagem a ser classificada, ou seja, *pixels* que sejam compostos por apenas uma classe. Essa identificação é realizada através de saídas de

campo com GPS, para determinação das coordenadas dos alvos escolhidos. Esses alvos devem ter uma área de acordo com o tamanho do *pixel* da imagem a ser classificada. No caso de uma imagem Landsat os alvos devem ter área superior a 900 m². Os alvos utilizados como áreas impermeáveis são telhados e superfícies totalmente impermeáveis (asfalto, concreto, telha de amianto, telha de barro).

Após a identificação da posição dos alvos na imagem digital, os polígonos das áreas de interesse foram delimitados utilizando a ferramenta *digitize* do programa *Idrisi 32*. A caracterização espectral dos materiais impermeáveis foi realizada através das bandas 1 a 5 e 7 dos sensores do satélite Landsat 7 ETM+. As assinaturas espectrais são geradas utilizando as informações contidas nas bandas escolhidas para a classificação conforme Eastman [3]. Para a classificação através do módulo *Fuzclass* foram utilizadas quatro (4) classes: impermeável (amostras coletadas em campo), solo exposto, vegetação e água. As imagens geradas para cada classe a partir da classificação *fuzzy*, apresentam um intervalo de possibilidade de presença da classe no *pixel* (PPCP) que podem variar de 0 a 1 (fig. 1). A escolha do intervalo a ser utilizado para representar a classe é definida pelo usuário. Porém, esta tarefa nem sempre é fácil, pois é difícil propor funções de pertinência, mesmo para fatos bem conhecidos numa análise visual. Na prática, quando se tem uma correlação muito forte entre as características dos objetos a serem relacionados, a classificação *fuzzy* é muito problemática conforme Foody (1995); Foody e Arora (1996) em Ribeiro *et al.* [4].

No módulo *Fuzclass* a função de pertinência utilizada é uma função sigmoideal crescente do tipo:

$$\mu = \cos^2 a$$

onde

$$\alpha = (1 - (x - \text{point } a)/(\text{point } b - \text{point } a)) * \pi/2$$

sendo os *point* a e b = pontos de inflexão da curva.

quando $x > \text{point } b$, $\mu = 1$

Para a escolha do intervalo de PPCP que represente um resultado mais próximo da verdade de campo, é necessário utilizar amostras de áreas conhecidas da superfície do terreno. O intervalo de PPCP utilizado para representar a classe “impermeável” foi definido através de duas áreas

teste de 1km X 1km (fig. 2). Essas áreas são recortes de uma imagem do satélite QuickBird, de alta resolução espacial (0,61 m). Esses recortes representam a cobertura do terreno e podem ser denominados imagens de controle (fig. 3 e 4). Sobre as imagens de controle são digitalizados polígonos das áreas impermeáveis, e através de técnicas de geoprocessamento é realizado o cruzamento desses polígonos com recortes da mesma área da imagem classificada.

Comparação dos resultados das classificações MAXVER e FUZCLASS

A sobreposição das áreas estimadas como impermeáveis através do módulo *crossstab* nas duas classificações realizadas (*Maxver* e *Fuzclass*), dentro da bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, foi a maneira utilizada para avaliar a potencialidade das duas classificações.

3. RESULTADOS

As figuras 5 e 6 apresentam o resultado do cruzamento entre as áreas impermeáveis nos recortes das duas imagens (controle e classificada), utilizando o intervalo de PPCP que melhor coincidiu com a imagem de controle (0,82 a 0,99). As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados do cruzamento em números de *pixels* coincidentes.

A área impermeável dentro da bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, estimada através da classificação pela Máxima Verossimilhança (*Maxver*), foi de 47 864 629 m², ou seja, aproximadamente 60% da área total da bacia que é de 80 km². A área impermeável nessa classificação é representada pela classe “urbano” (fig. 7).

A área impermeável estimada utilizando o classificador *Fuzclass* (*Fuzzy Set Membership classification*) na bacia do arroio Dilúvio, com um intervalo de possibilidade de presença da classe no *pixel* (PPCP) de 0,82 a 0,99 apresentou uma área 20 592 043 m², o que representa aproximadamente 25% do total da área da mesma (fig. 8). Segundo Santos *et al.* [6] a primeira avaliação das áreas impermeáveis na bacia do arroio Dilúvio é derivada do levantamento aerofotogramétrico, realizado no período de 1972 a 1973, reportado em Alvarez e Sanchez [1] onde os mesmos relatam que a área impermeável da bacia é da ordem de 15% na década de 70. Posteriormente Campana [2] estimou a área impermeável da bacia em 40%,

utilizando um classificador *fuzzy* e imagens de satélite do ano de 1990.

A figura 9 apresenta a sobreposição das áreas impermeáveis nas duas classificações (*Maxver* e *Fuzclass*). A comparação entre as duas classificações demonstra que o classificador *Fuzclass* especifica com critério mais apurado a área impermeável, ocasionando uma redução no número de pixels considerados impermeáveis. Isto acontece devido ao intervalo de PPCP utilizado (0,82 a 0,99), que limita a possibilidade para a classificação da classe no *pixel* em 82% ou seja, o procedimento considera como impermeável somente os pixels que tiverem uma possibilidade de pertencer a classe acima desse percentual.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho é possível concluir que:

- A classificação *Maxver* tende a superestimar superfícies impermeáveis em áreas urbanas.
- Na classificação *Fuzclass* a escolha do intervalo de possibilidade de presença da classe no *pixel* (PPCP) a ser utilizado na classificação da imagem é fator determinante para definição da classe na área de estudo. Essa escolha deve ser suportada por calibração feita em fonte auxiliar.
- O número de imagens de controle utilizadas no trabalho não foi suficiente para a escolha de um intervalo de PPCP que representasse a área impermeável em toda a bacia.
- O resultado da classificação da área impermeável na bacia hidrográfica do arroio Dilúvio, apresentado na classificação *Fuzclass*, para o ano de 2000, divergiu dos resultados apresentados por Santos *et al* [6], possivelmente devido à escolha do grau de inclusão de *pixels* na classe.

Dilúvio. Relatório Final IPH-UFRGS. Porto Alegre. RS. 1979.

2. Campana, N. A. *Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas*. Tese de Doutorado. IPH/UFRGS. Porto Alegre. 1995.
3. Eastman, J. R. *Guide to Gis and Image Processing*. Volume 2. *Idrisi 32* release 2. Clark Labs. Worcester. MA. U.S.A. 2001.
4. Ribeiro, S. R. A., Santos, D. R., Centeno, J. S. *Aplicação da metodologia de dados orientado a objeto na classificação de uma área urbanizada, utilizando uma imagem digital obtida por meio da tecnologia do laser scanner*. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática*. Presidente Prudente. SP. 2002.
5. Richards, J. A. e Jia X. *Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction*. Terceira edição. Springer – Verlag. 1999.
6. Santos, R. J. L., Tucci C. E. M., Silveira A. L. L., Filho, A. S. M. *Evolução da urbanização na bacia do arroio Dilúvio – RS*. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. Belo Horizonte. 1999.

UFRGS
BIBLIOTECA IPH

REFERÊNCIAS

1. Alvarez, C., Sanchez, O. J. *Estudos hidrológicos da urbanização da bacia do arroio*

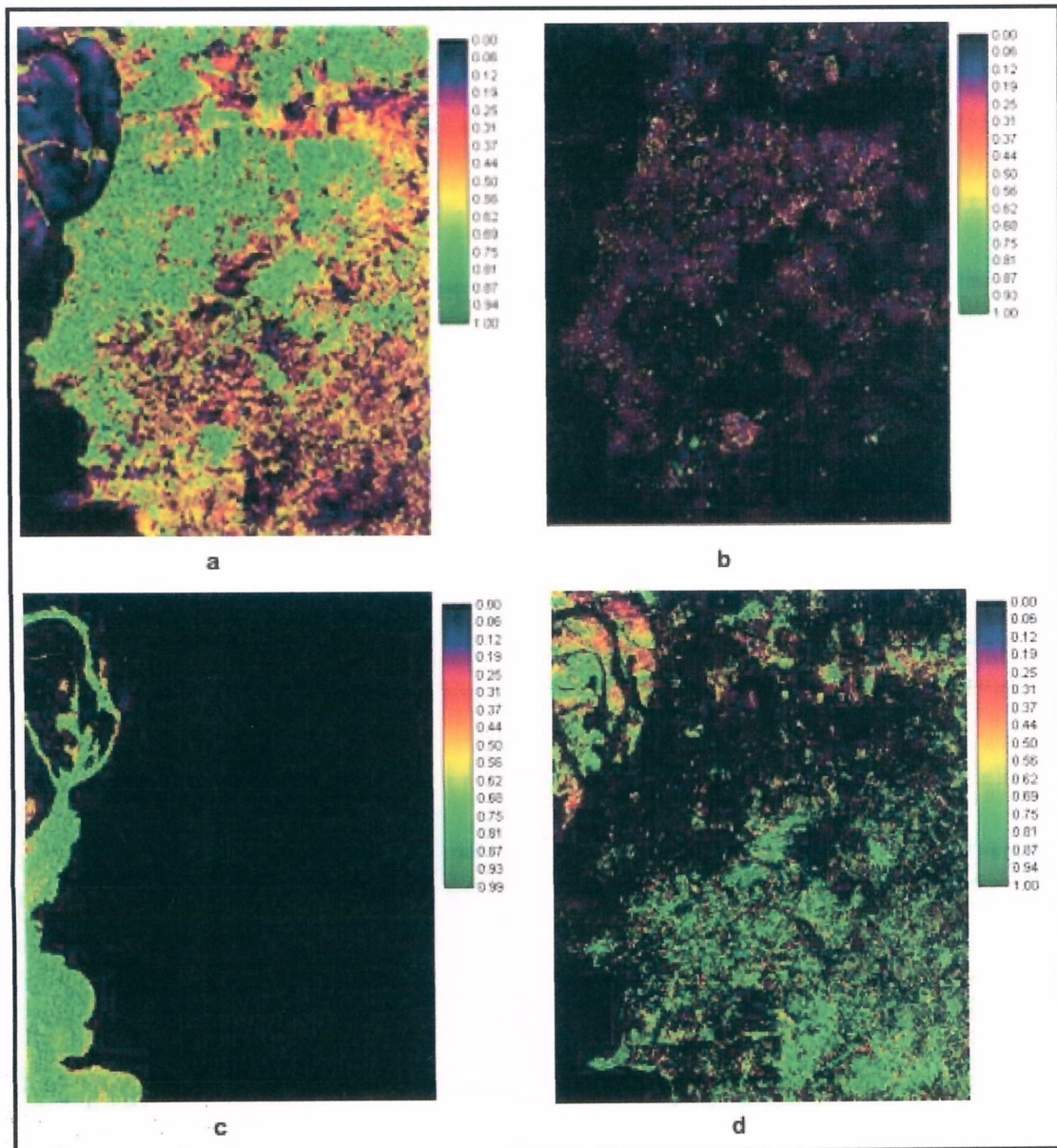


Figura 1. Imagens resultantes da classificação *fuzzy* através do módulo *Fuzclass* do programa *Idrisi 32*, utilizando as bandas 1 a 5 e 7 do sensor Landsat 7 ETM+ mês de fevereiro do ano de 2000, para as classes: a) impermeável; b) solo exposto; c) água; d) vegetação. Escala aproximada 1: 450 000.

UFRGS
BIBLIOTECA IPH

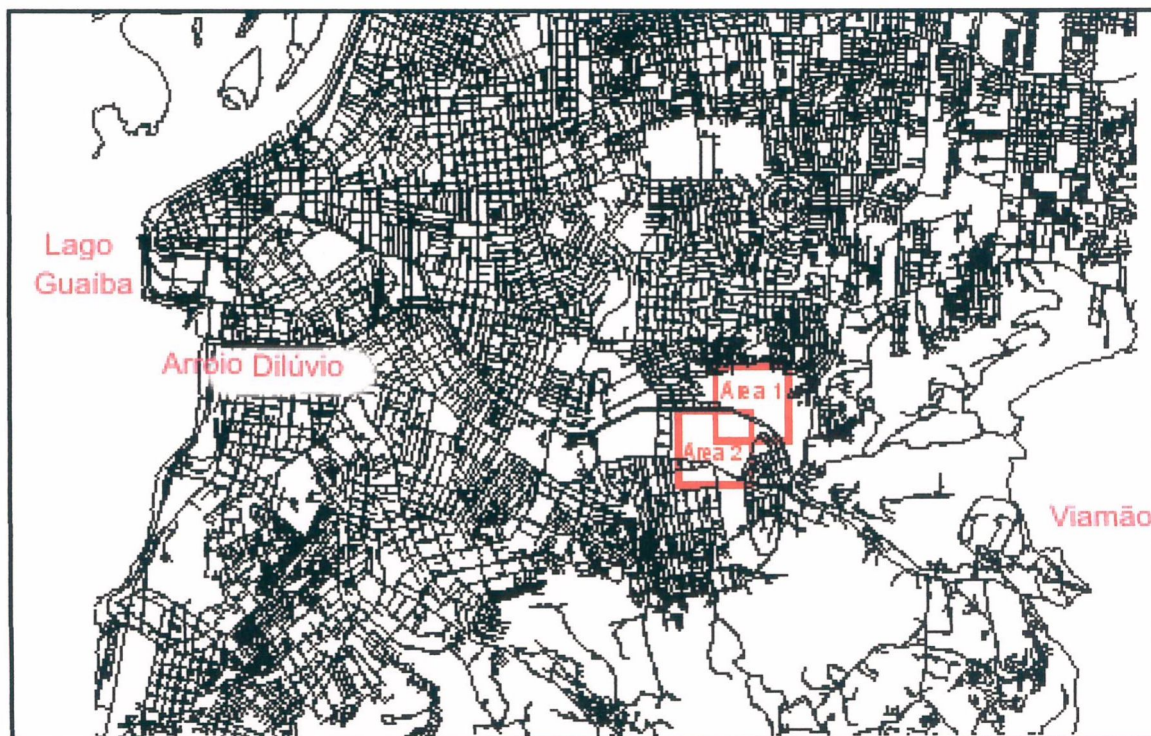


Figura 2. Localização das imagens de controle I e 2 dentro da cidade de Porto Alegre. Escala aproximada 1:100 000.



Figura 3. Imagem de controle da área 1.

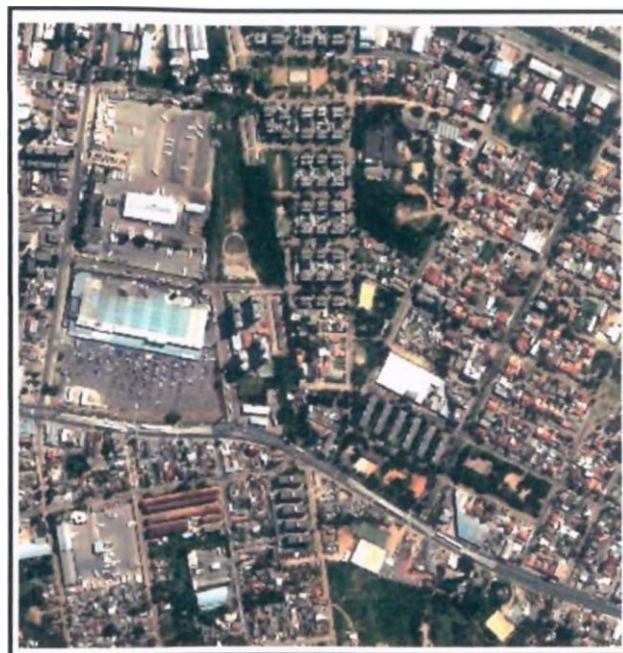


Figura 4. Imagem de controle da área 2.

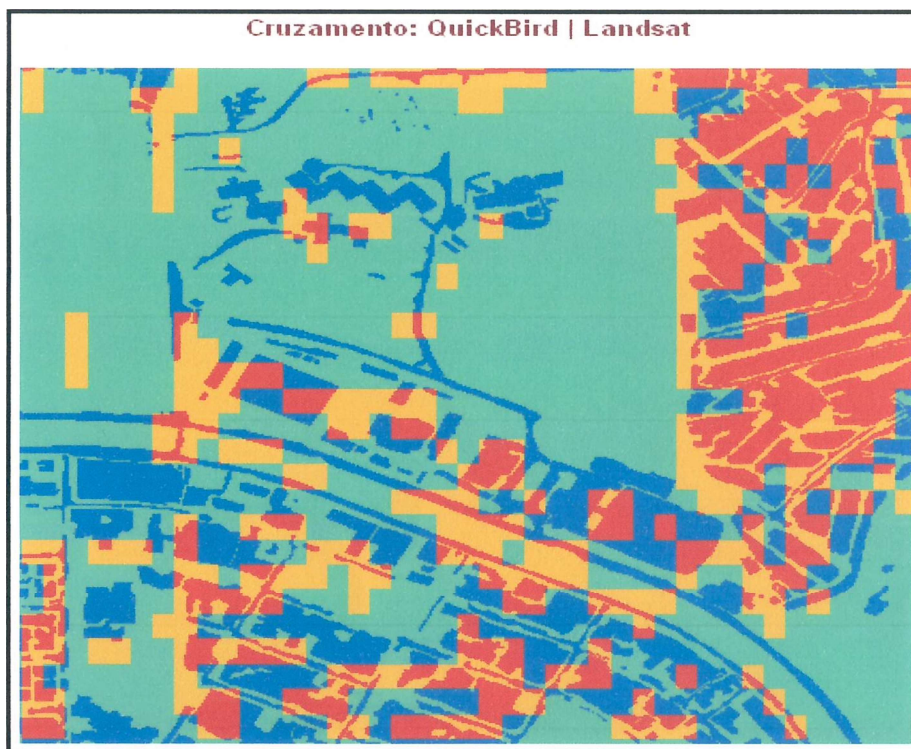


Figura 5. Cruzamento entre as imagens: Landsat 7 ETM+ (classificada) e QuickBird (interpretada visualmente) para identificação das classes permeável e impermeável na área 1. (Intervalo de PPCP utilizado na imagem Landsat 7 ETM+ foi de 0,82 a 0,99). A cor vermelha representa a coincidência da classe impermeável nas duas imagens.

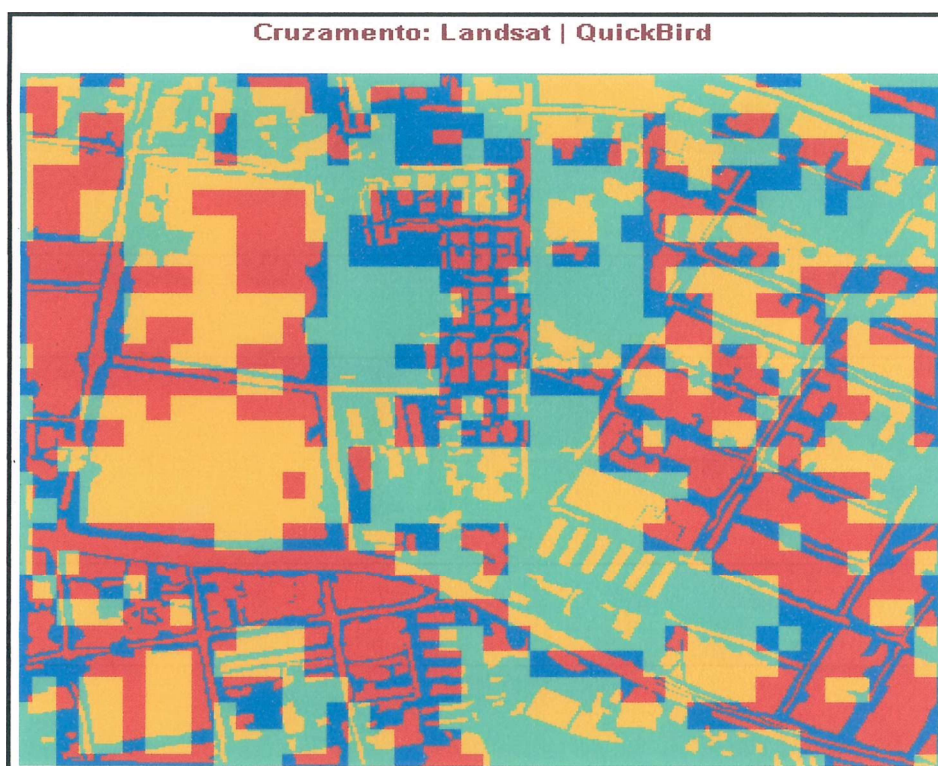


Figura 6. Cruzamento entre as imagens: Landsat 7 ETM+ (classificada) e QuickBird (interpretada visualmente) para identificação das classes permeável e impermeável na área 2. (Intervalo de PPCP utilizado na imagem Landsat 7 ETM+ foi de 0,82 a 0,99). A cor vermelha representa a coincidência da classe impermeável nas duas imagens.

Tabela 1. Cruzamento entre as imagens: Landsat 7 ETM+ (classificada) e QuickBird (interpretada visualmente) para identificação das classes permeável e impermeável na área 1. Resultado em número de *pixels* coincidentes. (Intervalo de PPCP utilizado: 0,82 a 0,99).

Cross-tabulation of Landsat (columns) against Quickbird (rows)			
	Permeável	Impermeável	Total
Permeável	1333516	452334	1785850
Impermeável	525100	467939	993039
Total	1858616	920273	2778889

Proportional Crosstabulation			
	Permeável	Impermeável	Total
Permeável	0.4799	0.1628	0.6426
Impermeável	0.1890	0.1684	0.3574
Total	0.6688	0.3312	1.0000

Tabela 2. Cruzamento entre as imagens: Landsat 7 ETM+ (classificada) e QuickBird (interpretada visualmente) para identificação das classes permeável e impermeável na área 2. Resultado em número de *pixels* coincidentes. (Intervalo de PPCP utilizado: 0,82 a 0,99).

Cross-tabulation of Landsat (columns) against Quickbird (rows)			
	Permeável	Impermeável	Total
Permeável	835472	516536	1352008
Impermeável	685113	741768	1426881
Total	1520585	1258304	2778889

Proportional Crosstabulation			
	Permeável	Impermeável	Total
Permeável	0.3006	0.1859	0.4865
Impermeável	0.2465	0.2669	0.5135
Total	0.5472	0.4528	1.0000

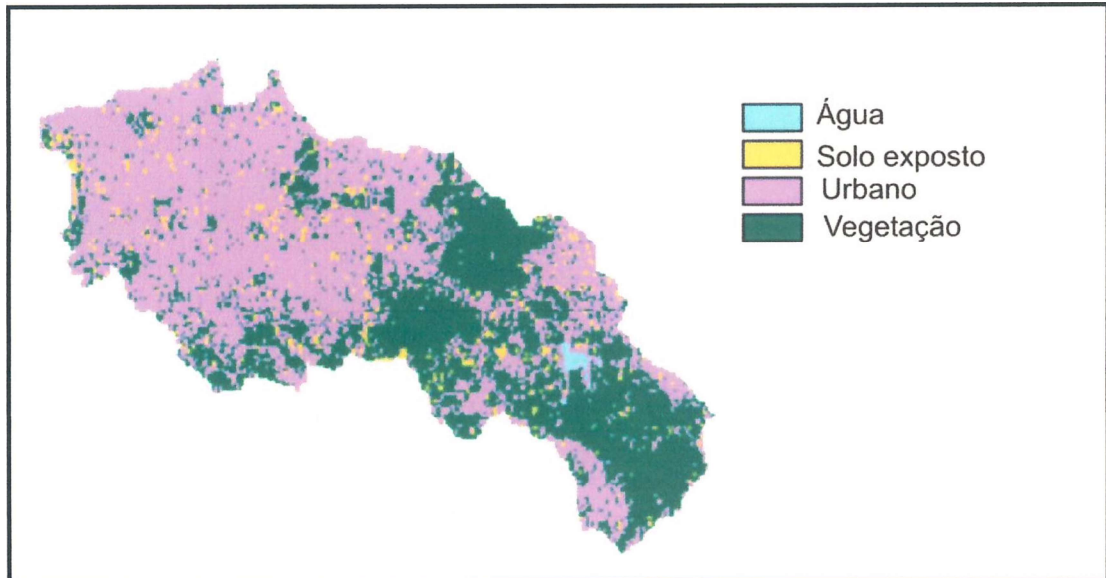


Figura 7. Classificação *Maxver* da área dentro da bacia do arroio Dilúvio utilizando quatro(4) classes: água, vegetação, solo exposto e urbano. Escala aproximada: 1: 190 000.

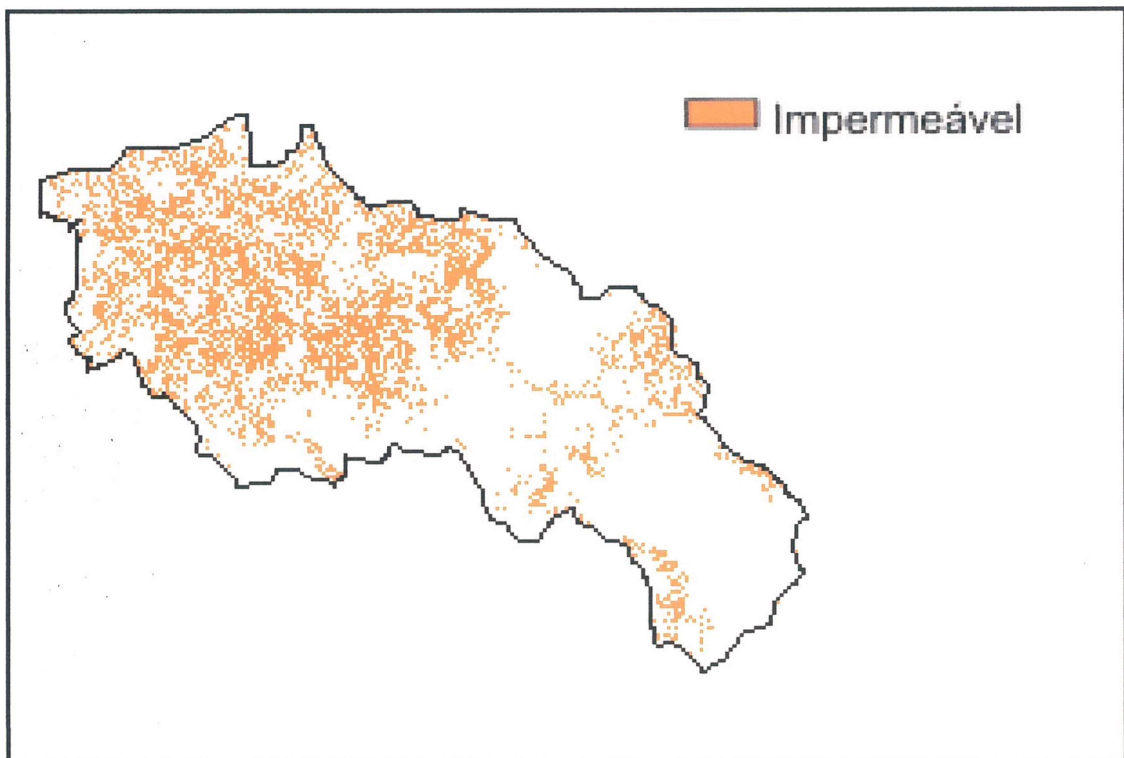


Figura 8. Classificação *Fuzclass* para área impermeável na bacia do arroio Dilúvio no ano de 2000, utilizando um intervalo de PPCP de 0,82 a 0,99. Escala aproximada: 1: 140 000.

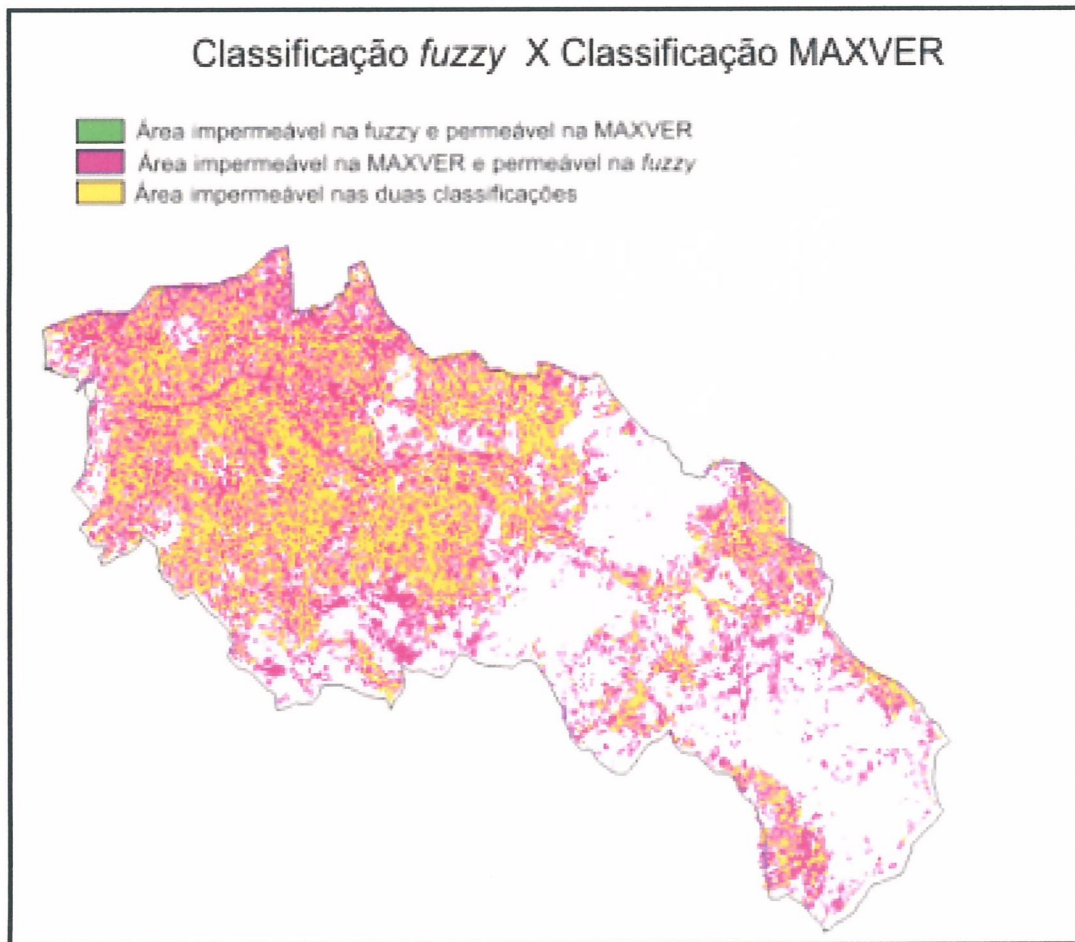


Figura 9. Sobreposição das estimativas para áreas impermeáveis das classificações Máxima Verossimilhança (*Maxver*) e *fuzzy* (*Fuzclass*), na bacia hidrográfica do arroio Dilúvio. Escala aproximada: 1: 160 000.