

## Estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena em Santa Maria, RS

Janete Terisnha Reis<sup>1</sup>, Waterloo Pereira Filho<sup>2</sup>,  
André Luiz Lopes da Silveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
IPH/Universidade Federal do RioGrande do Sul, Porto Alegre, RS

<sup>2</sup>Departamento de Geociências/CCNE  
Universidade Federal de Santa Maria, RS  
e-mail: reis.janete@gmail.com

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo estimar a área impermeável e estabelecer sua relação com a densidade habitacional nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, em Santa Maria – RS. Para estabelecer esta relação, realizou-se a classificação supervisionada e visual da imagem Ikonos. As calçadas, ruas pavimentadas, construções, estacionamentos e coberturas de concreto foram considerados como áreas impermeáveis. Para tanto, as duas classificações mostraram diferenças na identificação das áreas impermeáveis, pois, em ambos os procedimentos, identificou-se maior presença de área impermeável do que permeável, favorecendo o desencadeamento de impactos ambientais urbanos. A curva de tendência entre a densidade da população e área impermeável pode ser aceita, apesar de apresentar pequena variação de sua inclinação. Essa variação ocorreu devido ao crescimento vertical da cidade, principalmente no bairro centro. A relação entre a densidade populacional e área impermeável, obtida a partir dos dados da imagem de satélite, constitui-se em uma metodologia apropriada para o levantamento de áreas impermeáveis.

**Palavras-chave:** área impermeável, densidade habitacional, geoprocessamento.

### Summary

This research aims to estimate the impermeable area and identify its relationship with the dwelling density in the Cadena watershed in Santa Maria – RS. For establishing this relation, images from Ikonos satellite

were automatically and visually classified. Sidewalks, pavement streets, building, parking and concrete covering were considered as impermeable areas. The impermeable areas were bigger than the permeable ones in the studied area and it favors the negative impacts. The tendency curve between population density and impermeable area may be acceptable although it presents a little slope shift due to urban vertical growth in downtown neighborhood. The automatic and visual classification showed different outcomes as the impermeable areas. However, the relation obtained between dwelling density and impermeable area by satellite images still constitutes in the more suitable methodology to the identification of impermeable areas.

**Keywords:** Impermeable Area, Dwelling Density, Geo Processing.

## 1. Introdução

A densidade habitacional é um parâmetro utilizado para o planejamento urbano. O planejamento urbano é implementado por meio do plano diretor da cidade e a densidade habitacional é o parâmetro de planejamento para cada subdivisão da cidade (e bacia). Essa densidade é implementada através de restrições: índice de ocupação e índice de aproveitamento. O primeiro estabelece a área ocupada em planta e o segundo refere-se ao *solo criado*, ou seja, à relação entre a área construída e a área do terreno (TUCCI, 1997). Dessa forma, a densidade de ocupação do solo, nas suas várias modalidades, constitui-se em um elemento fundamental a ser considerado no planejamento urbano. Então, quais as densidades apropriadas para áreas habitacionais no meio urbano?

Quanto ao significado de densidade habitacional, encontra-se uma divergência de opiniões. Conforme Jacobs (1961), as “densidades são muito baixas, ou muito altas, quando frustram a diversidade da cidade ao invés de estimulá-la”. Para tanto, a densidade habitacional correta depende do uso e ocupação do solo e de como ocorre esse comportamento com o meio. Desse modo, para o planejamento urbano, consideram-se importantes as informações referentes à distribuição da população no solo urbano, sua quantificação e caracterização socioeconômica, a qual é possível de ser analisada por meio da diferenciação que o espaço construído apresenta.

Os ambientes urbanos apresentam características peculiares, resultado da transformação das feições naturais de um determinado lugar. O conhecimento detalhado do ambiente urbano é importante para o planejamento da realidade do local. Desse modo, o uso do solo urbano reflete a relação sociedade e natureza, influenciada pela estrutura social complexa. De acordo com Santos (1996), quatro são as categorias de análise do espaço urbano que devem ser considerados entre si: a forma, a estrutura, o processo e a função. Estes caracterizam quatro termos disjuntivos associa-

dos, representando realidades espaciais, considerando as relações dialéticas entre elas.

O mapeamento cartográfico via Sistema de Informações Geográficas (SIGs) é indispensável para a análise espacial de uma Bacia Hidrográfica. No entendimento de Campos e Studart (2003, p. 99), SIG é “um sistema computacional de ajuda à aquisição, armazenamento, análise e apresentação de dados geográficos. Esses dados geográficos podem ser naturais (rios, lagos, relevo, vegetação) ou antrópicos (reservatórios, estradas, cidades)”.

O sensoriamento remoto é outro recurso essencial na detecção e no controle de situações desfavoráveis ao meio ambiente. Por meio de imagens de satélite, é possível fazer um levantamento preciso da situação, ocupação e transformação do meio ambiente (ASSAD e SANO, 1998). Para a extração das informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem no seu comportamento (NOVO, 1992).

Nesse contexto, as inovações tecnológicas e os avanços científicos surgidos, para a espacialização das geoinformações, levantamento do uso e ocupação do solo são de extrema importância para um melhor gerenciamento e na busca de um impacto ambiental positivo, contribuindo positivamente aos estudos ambientais. Considera-se impacto ambiental positivo quando a ação resulta na melhoria da qualidade de um determinado fator ou parâmetro ambiental (KAERCHER et al. 2009).

Partindo desse pressuposto, o trabalho objetiva estimar a área impermeável e estabelecer sua relação com a densidade habitacional dos bairros que abrangem a sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, em Santa Maria – RS – e estabelecer uma relação entre classificação supervisionada e visual, por meio da imagem Ikonos, para identificar bairros de diferentes densidades habitacionais.

### *1.1 Trabalhos relacionados à área impermeável e densidade habitacional*

Falar em área impermeável e urbanizada é remeter-se de forma indireta à problemática da drenagem urbana, que afeta a maioria das cidades brasileiras. Uma das principais consequências é o aumento no pico do escoamento superficial e a frequência das inundações, além, de outros impactos mencionados (CAMPANA e TUCCI, 1994). Para tanto, faz-se necessário um planejamento urbano integrado.

Vários trabalhos foram desenvolvidos sobre a densidade habitacional e a área impermeável, entre os quais merece destaque a Estimativa de Área Impermeável de Macro-Bacias Urbanas, abordado por CAMPANA e TUCCI (1994). Os autores utilizaram um algoritmo mate-

mático fuzzy para estimar áreas impermeáveis de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba. Estabeleceram uma relação entre a área impermeável e a densidade habitacional e desenvolveram uma curva média para macro - bacias urbanas brasileiras.

Desse modo, os trabalhos de estimativa de área impermeável se resumem em dois segmentos: pelo uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento. Nesses segmentos, podem ser citados os trabalhos de: Stankowski (1972); Gluck e MacCuen (1975); Ragan e Jackson (1980) e Bondelid *et al.* (1981); Mota e Tucci (1984); Tucci *et al.* (1989); Campana e Tucci (1992); Ridd (1995); Civco e Hurd (1997); Gonçalves *et al.* (2001); Wu e Murray (2003); Baptista (2003); Alves (2004); Esteves (2006) e; Gonçalves (2007). Este último contribuiu para o referencial teórico-metodológico do presente trabalho. O autor estimou a fração de área impermeável a partir da classificação da imagem de alta resolução espacial obtido pelo Satélite Quickbird. Assim, estabeleceu uma relação com a densidade habitacional em alguns bairros da cidade de Porto Alegre.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

O estudo abrange uma área total de 3.737, 924 ha, correspondendo a dezesseis bairros de Santa Maria, com uma população total de 163.524 habitantes. A população total do município, conforme o último censo demográfico, IBGE (2000), corresponde a 243.392 habitantes, sendo 230.464 na área urbana, perfazendo o total de 94,69%, e 12.928 habitantes na área rural. A sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena localiza-se no município de Santa Maria, porção central do rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas Latitude Sul 29° 38' 53" e 29° 45' 55" e longitude Oeste 53° 46' 44" e 53° 51' 44" (Figura 1).

Para determinar a área impermeável, foram utilizados ferramentas e procedimentos operacionais de geoprocessamento e sensoriamento remoto (Spring, Imagem Satélite, etc) que serviram de base para a identificação do uso e a ocupação do solo. As informações dos tipos de uso do solo foram extraídas da imagem Ikonos com base nas bandas 1, 2 e 3, com resolução espacial de um (1) metro, resultante da fusão da banda pancromática de 2004. Os intervalos espectrais das bandas utilizadas são: Pan 0,45-0,90  $\mu\text{m}$ , azul 0,45-0,52  $\mu\text{m}$ , verde 52-60  $\mu\text{m}$ , vermelho 0,63-0,69  $\mu\text{m}$  e infra-vermelho próximo 0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ .

O Arroio Cadena é a principal bacia que drena a cidade de Santa

Maria, nasce e se desenvolve dentro de área urbanizada e sua rede de drenagem está bastante modificada da original, devido ao desvio e a canalização do leito original.

Com relação à drenagem urbana, Santa Maria apresenta sérios problemas de características do meio físico devido à baixa infiltração do solo. Os problemas de alagamentos na cidade são decorrentes principalmente de fatores antrópicos de ocupação urbana desordenada.

## 2.2 Área impermeável e densidade habitacional

*Seleção dos bairros:* dentro do perímetro urbano de Santa Maria, foram selecionados bairros com diferentes tipos de uso e ocupação, a saber, residencial, comercial e comercial-residencial.

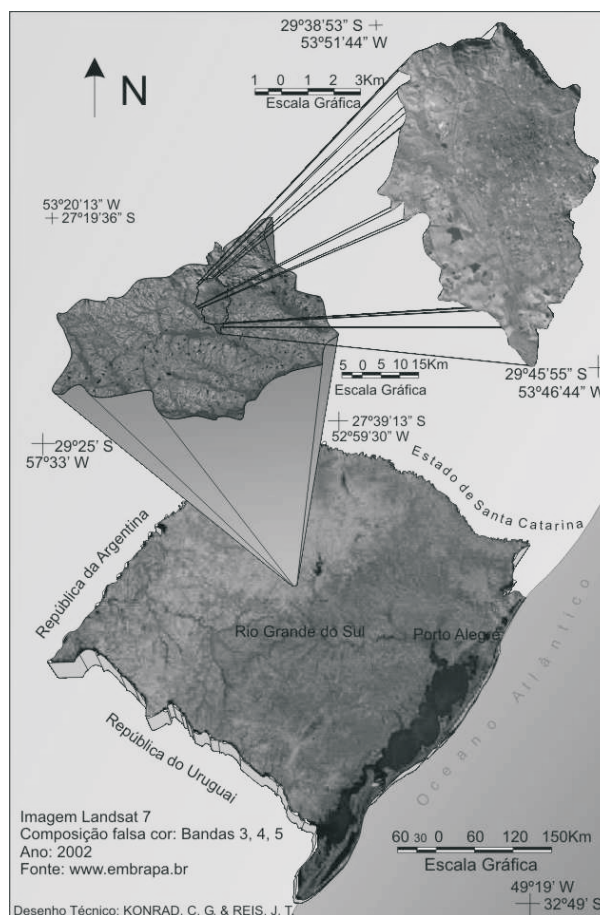


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Reis, 2006.

Na Classificação da imagem do Ikonos, foram criados os planos de informações (PIs) para cada bairro, atendendo os tipos de usos do solo identificados na imagem Ikonos.

*Delimitação dos Bairros:* o critério utilizado para a delimitação dos bairros foi o estabelecido pela Prefeitura Municipal de Santa Maria, entre as quais, foram selecionados dezesseis bairros, ou seja, os que apresentam interseção com a sub-bacia. Os planos de informações foram processados no programa Spring 4.3.3 (CÂMARA *et al.* 1996).

Para a classificação da imagem Ikonos, utilizou-se a classificação supervisionada e a classificação visual. Na classificação supervisionada, o analista fornece amostras das categorias pertinentes ao enfoque do trabalho que está sendo realizado. A partir dessas amostras, são estimados os parâmetros que definem cada classe e que serão utilizados na classificação. Nesta classificação utilizou-se do método de máxima verossimilhança (máxima verossimilhança pixel a pixel). Esse método pressupõe a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. De acordo com LIU (2006), a máxima verossimilhança é o método de classificação supervisionada mais utilizado no processo de identificação e delineamento de classes.

*Delimitação das classes de usos:*

- 1) *vegetação:* (árvores; gramado/campo);
- 2) *Solo exposto;*
- 3) *Área pública:* (passeios, ruas pavimentadas e água);
- 4) *Área Privada:* (edifícios, estacionamentos, cobertura de concreto).

A determinação das áreas impermeáveis consiste:

- Classe 1 e 2  $\Rightarrow$  0 – Área permeável;
- Classe 3 e 4  $\Rightarrow$  1 – Área impermeável.

Dessa forma, obteve-se a área total de cada bairro e os valores de 0 e 1 correspondentes aos tipos de usos das classes estabelecidas, determinando o percentual de área impermeável de cada bairro. Para determinar o total de área impermeável, foram somados os valores das classes (3 e 4) de área impermeável (1) de cada bairro.

A partir dessa classificação, foram gerados os percentuais de área impermeável nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, tanto na forma visual como pela classificação supervisionada. A área impermeável foi contemplada através da soma das classes de área pública e da área privada, extraídas pela imagem Ikonos de 2004. Dessa forma, a primeira classe se refere aos passeios e ruas pavimentadas e a segunda aos edifícios, estacionamentos, cobertura de concreto.

Na classificação visual, foram definidas as classes e os diferentes tipos de usos do solo de forma visual. Assim, digitalizou-se via computador os diferentes usos, definindo as classes mencionadas anteriormente,

como vegetação, solo exposto, área privada e área pública e seguidamente foram atribuídas cores para cada classe de uso.

A classificação visual foi realizada para os bairros Nossa Senhora das Dores e Caturrita, com base no levantamento do uso e ocupação do solo. Esses bairros atendem aos critérios pré-estabelecidos, uma vez que apresentam diferentes densidades habitacionais.

### 2.2.1 Área impermeável

A área impermeável foi determinada pela equação:

$$A_i = A\alpha + A\beta \quad (1)$$

Em que:  $A\alpha$  refere-se ao percentual de Área Pública, ou seja, o percentual da área por *vias e ruas* públicas pavimentadas;  $A\beta$  refere-se ao percentual de Área Privada, ou seja, a área de construções privadas (*edifícios, estacionamentos, cobertura de concreto*).

A soma das duas classes definiu o percentual de área impermeável de cada Plano de Informação, calculado no programa utilizado (Spring 4.3.3). O Spring foi utilizado para classificação das imagens, extraindo informações das áreas impermeáveis e permeáveis, resultando nos mapas vetoriais e matriciais (*Raster*) completando o banco de dados geográfico.

### 2.2.2 Densidade habitacional

Para definir o número da densidade habitacional por hectare foram utilizados os dados fornecidos pela Prefeitura Municipal e pelo censo demográfico (IBGE, 2000).

Posteriormente, realizou-se o cálculo através da equação:

$$D_h = NH/A \quad (2)$$

$D_h$  = Densidade habitacional

$NH$  = Número de Habitantes/ha

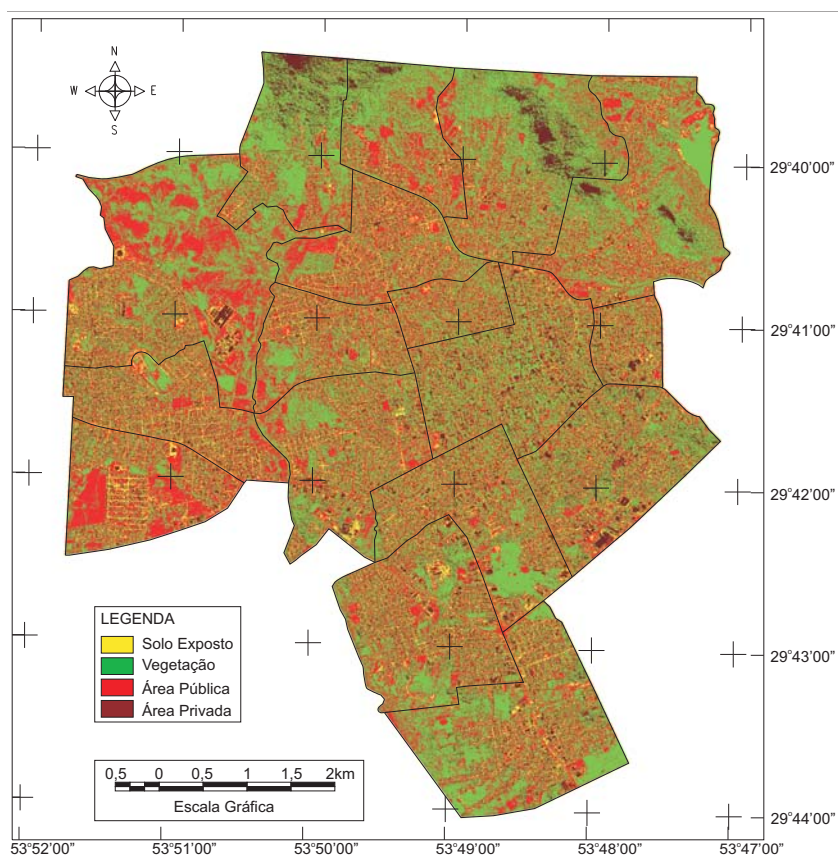
$A$  = Área Total do Bairro/ha.

A partir desse cálculo, obteve-se a densidade habitacional por hectare (Pessoa/ha) de cada bairro da sub-bacia do arroio Cadena de Santa Maria –RS.

Metodologicamente, o estudo contemplou o percentual de impermeabilidade urbana nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, através da determinação da classificação de forma visual e supervisionada, além de uma breve discussão sobre os diferentes percentuais de impermeabilidade apresentadas entre as classificações.

### 3. Análise dos resultados

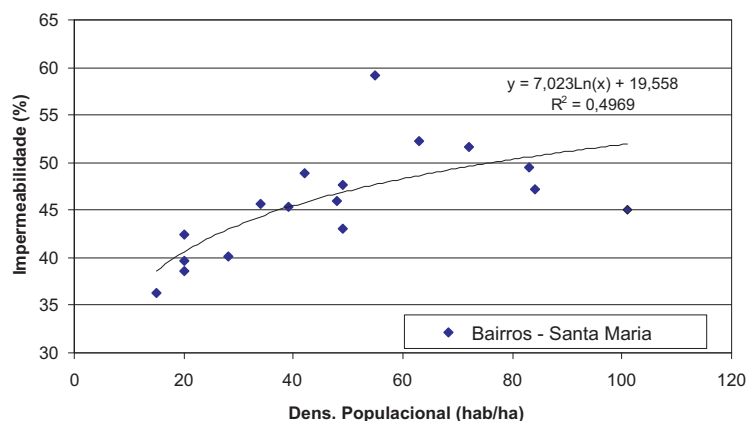
A urbanização produz grande impermeabilidade do solo. Esta relação pode ser obtida relacionando a área impermeável ( $A_i$ ) e a densidade habitacional ( $D_h$ ). Nesta relação, a  $A_i$  apresentou uma variação entre 36,22 % e 59,2 % e a  $D_h$  entre 101 e 15 hab/hectare pela classificação supervisionada na área de estudo (Figura 2).



**Figura 2.** Classificação do uso e ocupação do solo na sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria - RS. Fonte: Imagem Ikonos, 2004.

A classe de usos denominada vegetação apresentou 93% de exatidão. A curva de tendência entre a densidade habitacional e o percentual de área impermeável nos bairros da sub-bacia em estudo são apresentados na Figura 3, pela equação de ajuste  $Y = 7,023 \ln(x) + 19,558$  e  $R^2 = 0,4969$ . A taxa de impermeabilidade está representada no eixo Y e a densidade habitacional no eixo X





**Figura 3.** Tendência da relação população-impermeabilidade na sub-bacia Hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria, RS. (As letras *a* e *b* representam respectivamente, maior índice de impermeabilidade no bairro Parque Pinheiro Machado e densidade habitacional, no bairro Centro).

A curva de tendência apresenta uma mudança de inclinação em função do índice de verticalização na ocupação urbana, indicado pela *letra b*, esse fato é observado principalmente no bairro Centro, uma vez que a densidade habitacional apresenta sua maior ocorrência entre os bairros em estudo. A área de concentração de comércio também contribuiu na distorção da curva, assim como os tipos de usos.

Para determinar a taxa de impermeabilidade e densidade habitacional em outros bairros, que não foram relacionados no presente trabalho, pode ser usada a equação  $y = 7,023\text{Ln}(x) + 19,558$ ;  $R^2 = 0,4969$ ; a qual pode servir de modelo, caso haja necessidade de dados urgentes.

Neste trabalho, a distorção de alguns dados nos bairros Centro, em função da verticalização, e Parque Pinheiro Machado, por apresentar característica residencial-industrial, a curva foi ajustada tentando evitar a distorção dos valores apresentados por esses bairros. Além disso, ao ajuste da curva deve ser atribuído um pequeno grau de erro.

O bairro Centro apresentou a maior densidade habitacional entre os 16 bairros analisados de 101 hab/ha, e com 45% de área impermeável (Tabela 1). Por dedução, o bairro centro teria maior percentual de área impermeável, o que não foi confirmado pelos dados. Esse fato pode ser atribuído pela presença do Parque e da praça central, ou seja, a presença de vegetação (área verde) considerada permeável.

O bairro de menor densidade habitacional de Santa Maria é o Caturrita, com 15 habitantes por ha, o qual recebeu um estudo mais específico atendendo aos objetivos deste trabalho. Posteriormente, seguem os

bairros Perpétuo Socorro, Chácara das Flores e Tomazzetti com 20 habitantes por ha, porém, com taxa de impermeabilidade diferenciada 38,58%, 42,43% e 39,64%, respectivamente.

**Tabela 1.** Índice de impermeabilidade na bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria, RS.

Ordem	Bairros	Densidade Habitacional (hab/ha)	Área Impermeável (%)
1	Centro	101	45,00
2	Itararé	28	40,11
3	N. S. das Dores	83	49,51
4	N. S. Rosário	84	47,20
5	P. Socorro	20	38,58
6	C. das Flores	20	42,43
7	Salgado Filho	72	51,70
8	Passo d'Areia	49	47,72
9	Caturrita	15	36,22
10	J. Kubitschek	63	52,26
11	Patronato	39	45,38
12	Uberlândia	34	45,65
13	Medianeira	49	43,00
14	N. S. Lourdes	48	45,95
15	Tomazzetti	20	39,64
16	P. P. Machado	55	59,20

Obs: N. S. = Nossa Senhora; P= Perpétuo; C= Chácara; J= Juscelino; PP= Parque Pinheiro.

#### 4. Discussão e interpretação dos dados

As classificações supervisionada e visual apresentaram diferenças no que concerne aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo (Tabela 2). Partindo do princípio que a classificação visual apresenta maior confiabilidade, desde que o analista tenha um conhecimento da área e uma percepção visual, pode-se destacar o aumento da área impermeável da classificação visual para a supervisionada, no bairro Nossa Senhora das Dores.

Este fato se deve à confusão nas classes de uso, e visualmente notou-se grande presença de sombra que pode ser caracterizada como área privada, além da sombra das árvores em área privada, a vegetação particu-

larmente sofreu uma redução na classificação supervisionada. O solo exposto por apresentar semelhança com os telhados das casas, também apresentou diferenças significativas: de 10,58% da classificação supervisionada reduziu para 1,85% na classificação visual.

A área impermeável resultante de 49,51% pela classificação supervisionada passou para 87,25% na classificação visual. Nesse caso, a maior confiabilidade na classificação visual se deve à pequena proporção de vegetação no bairro Nossa Senhora das Dores e por localizar-se na proximidade do bairro Centro, além de ser um bairro estritamente residencial e comercial. Para obter maior precisão, o recomendado é realizar trabalho de campo para averiguar os resultados obtidos.

**Tabela 2.** Índice de impermeabilidade do solo pela classificação supervisionada e visual do bairro Nossa Senhora das Dores, Santa Maria - RS.

Usos	Classificação Supervisionada		Classificação Visual	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Vegetação	26,88	36,23	8,08	10,90
Solo exposto	10,58	14,26	1,37	1,85
Área pública	22,57	30,43	11,59	15,65
Área privada	14,15	19,08	53,01	71,60
Total	74,19	100,00	74,05	100,00

As classes definidas para estimar a área impermeável, ou seja, as correspondentes à área pública e área privada demonstram maior percentual de uso do solo urbano na área privada desse bairro (Figura 4).

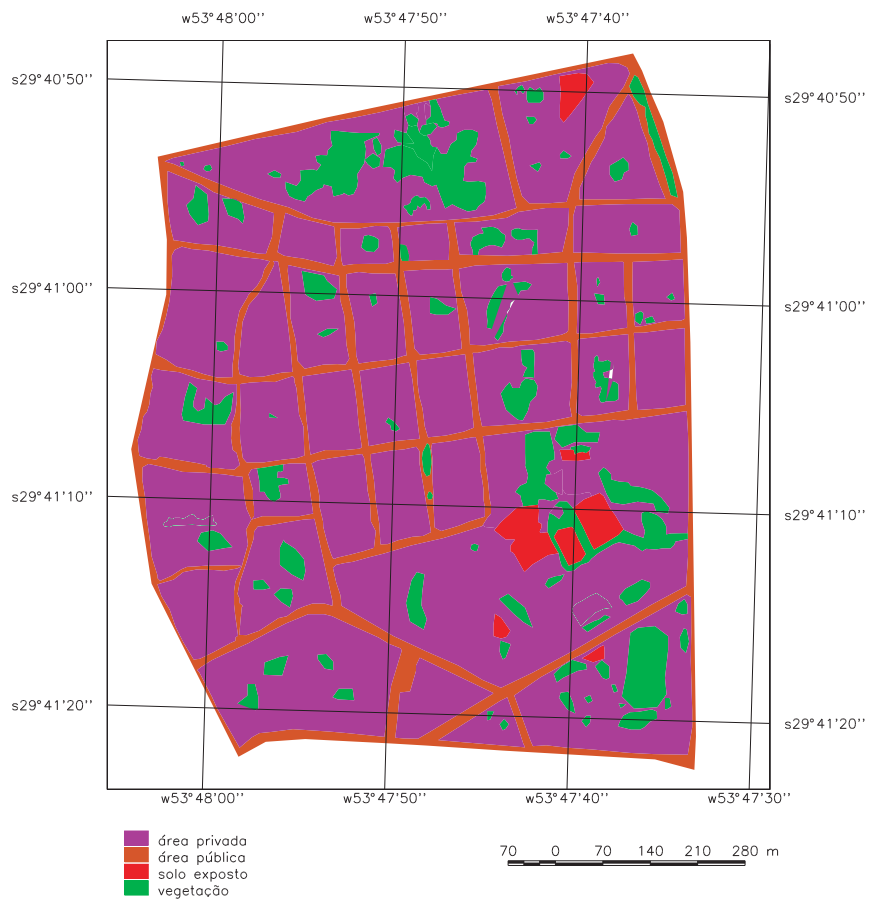
No bairro Caturrita, tanto a classificação visual como a supervisionada apresentaram diferenças nos usos do solo, (Tabela 3). A área impermeável obtida pela classificação supervisionada foi de 36,23% e pela classificação visual de 17,69%. Observa-se que pela classificação visual teve-se a diminuição de área impermeável e aumento da permeabilidade, com uma representatividade de 63,77% passou para 82,31%.

As classes definidas pelo mapeamento visual demonstraram que a impermeabilidade do solo no bairro Caturrita é superior na área privada, embora a presença de vegetação, caracterizada como área permeável, apresenta 74%, ou seja, 64% da área do bairro (Figura 5).

Nesse entendimento, no bairro Nossa Senhora das Dores teve um aumento de área impermeável pela classificação visual e no bairro

Caturrita um percentual inferior de área impermeável, analisando-se a referida classificação.

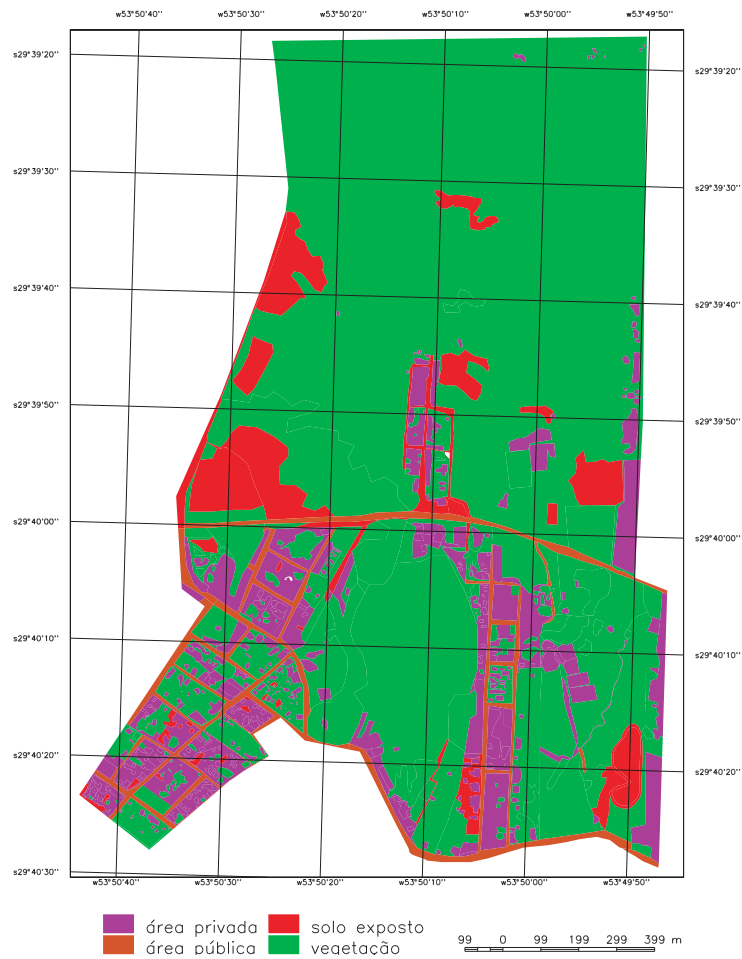
Para tanto, a área impermeável estimada na cidade de Santa Maria, mais precisamente nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, assemelha-se com a realidade que ocorre na maioria das cidades brasileiras, analisados pelos autores mencionados anteriormente e, em virtude do aumento da urbanização do solo, apresenta uma série de impactos ambientais que alteram as características originais dos sistemas hídricos.



**Figura 4.** Classificação do uso e ocupação do solo no bairro Nossa Senhora das Dores, Santa Maria, RS.

**Tabela 3.** Índice de impermeabilidade do solo pela classificação supervisionada e visual do bairro Caturrita, Santa Maria, RS.

Usos	Classificação supervisionada		Classificação visual	
	Áreas(ha)	%	Área (ha)	%
Vegetação	131,69	60,80	176,72	74,64
Solo exposto	6,42	2,97	18,15	7,67
Área pública	43,18	19,94	9,97	4,21
Área privada	35,29	16,29	31,90	13,48
Total	216,59	100,00	236,74	100,00



**Figura 5.** Classificação do uso e ocupação do solo no bairro Caturrita, Santa Maria, RS.

## 5. Considerações finais

As classificações, supervisionada e visual apresentaram diferenças quanto à análise do uso e ocupação do solo. A área caracterizada pela impermeabilidade nos bairros da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena é superior à área permeável. E, no entanto, a vegetação no bairro Caturrita é superior na classificação visual do que na classificação supervisionada.

O uso da imagem Ikonos no estudo das áreas impermeáveis requer um estudo de campo. Embora a resolução espacial seja bastante precisa, os resultados apresentaram diferenças significativas entre as duas classificações realizadas.

A classificação supervisionada apresentou confusões com várias classes de usos e, no entanto, visualmente percebeu-se que a sombra dos edifícios e a sombra das árvores foram classificadas de forma não coerente. De maneira geral, as copas das árvores eram inferiores e onde havia sombra era área privada.

A relação da densidade habitacional com a área impermeável pela classificação supervisionada causou distorção da curva, em virtude da verticalização na ocupação da população urbana no bairro Centro.

A ocupação e impermeabilização da superfície urbana favorecem aos impactos verificados na atualidade, todavia o planejamento integrado, tendo como unidade de estudo a bacia hidrográfica, faz-se necessário. Pode-se afirmar que o presente estudo é uma demonstração objetiva das vantagens de se utilizar tecnologias relativas aos Sistemas de Informações Geográficas, para determinar impactos ambientais causados por um adensamento urbano, bem como a impermeabilização sem o devido planejamento. Para tanto, recomenda-se que os estudos dessa temática devem ser revisados a campo e analisados com precisão.

## 6. Referências

ALVES, C. A. **Estimativa da área impermeável dentro da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio (Porto Alegre/RS) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** f. 99, 2004. Dissertação (Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 99, 2004.

ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas – Aplicações na agricultura.** 2 ed. Ver. E ampl. Brasília: EMBRAPA – SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998.

BAPTISTA, G. M. M. Análise comparativa entre os dados do sensor CCD do CBERS e os do LANDSAT 7 ETM+ para a região de Brasília. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR).** Belo

Horizonte. Brasil. 2003.

BONDELID, T.R., JACKSON, T.J., MCCUEN, R.H., SING, P.V. **Estimating Runoff Curve Numbers Using Remote Sensing Data.** Applied Modeling in Catchment Hydrology. Water Resources Publication, U. S.A. 1981.

CAMPANA, N. A., HAERTEL, V. e TUCCI, C. E. M. **Estimativa de Áreas Impermeáveis Através de Sensoriamento Remoto.** RBE, Caderno de recursos Hídricos, v.10, n.2, 1992. p. 51-59.

CAMPANA, N. e TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas.** Caderno de Recursos Hídricos. V12, nº2. 1994.

CAMPOS, N.; STUDART. **Gestão das Águas: princípios e práticas.** Porto Alegre: ABRH, 2003.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling.** J. Computers and Graphics. v. 20, n. 3, 1996. p. 395-403.

CIVCO, D. L., HURD, J. D. Impervious Surface Mapping for the State of Connecticut. Proceedings of the 1997 ASPRS **Annual Conference**, 1997, Seattle, WA, 3: 1997.

ESTEVEZ, R. L. **Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto.** 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.

GLUCK, W. R. e McCUEN, R.H. **Estimating Land Use Characteristics for Hydrologic Models.** Water Resources Research, v.11 n.1, 1975.

GONÇALVES, L., *et al.* Exploração de imagens de alta resolução do satélite Ikonos. VI Encontro de utilizadores de Informação Geográfica - ESIG. Portugal. 2001.

GONÇALVES, L. S. **Estimativa da Relação Densidade Habitacional X Área Impermeável Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto Com Imagem de Alta Resolução Espacial.** Porto Alegre, 2007. Disponível em [http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP\\_23/HIDP\\_23.html](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/HIDP_23/HIDP_23.html). Acessado em: 15 de novembro 2007.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. Censo demográfico, 2000. Porto Alegre/RS.

JACOBS, J. **The Death and Life of Great American Cities.** Penguin Books, London, 1961.

KAERCHER, A, R. C. S. SCHNEIDER A, R. A. KLAMT A, W. L. T. SILVA, W. L. SCHMATZA. **Impactos ambientais e a produção de biodiesel em escala piloto**. Key Elements For A Sustainable World: Energy, Water And Climate Change São Paulo – Brazil – May 20th-22nd – 2009.

LIU, W. T. **Aplicações em sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP. 2006.

MOTA, J. C. & TUCCI, C. E. M. **Simulation of the Urbanization effect in Flow**. Hidrological Sciences Journal, v. 29, n.2, Junho, 1984.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2ed. São Paulo: Edgard blucher Ltda. 1992.

RAGAN, R. M. & JACSON, T. V. **use of satellite data in urban hydrologic models**. Journal of the Hydraulic Divison, Proceedings, ASCE. V. 101, n.12, 1980.

REIS, J. T. **Influência do uso e ocupação da terra no ecossistema aquático da sub-bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, em Santa Maria- RS**. 2006. 121p. Dissertação (Mestrado em Geomática). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

RIDD, M. K. Exploring a V – I – S (vegetation – impervious surface – soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. **International Journal of Remote Sensing**. Volume 16. n° 12. 1995.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 3ed. São Paulo: Hucitec, 1996. (Estudos Urbanos).

STANKOWSKI, S. J. **Population Density as an Indirect Indicator of Urban and Suburban Land-Surface Modifications**. Geological Survey Professional Paper, 800-B. p. 219-224. 1972.

TUCCI, C. A. M., BRAGA, JR. B. P. F. & SILVEIRA, A. **Avaliação do Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas**. RBE, (Caderno de Recursos Hídricos) v. 7, n. 1. 1989.

TUCCI, C. A. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Conceções**. RBRH, (Revista Brasileira de Recursos Hídricos) v. 2, n. 2. 1997.

WU, C., MURRAY A. T. **Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis**. Remote Sensing of Environment. n°. 84. 2003.

Submetido em: 06/março/2010

Aceito em: 21/fevereiro/2011