

## Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS

Guilherme Garcia de Oliveira<sup>1</sup>  
Adriana de Fátima Penteado<sup>2</sup>  
Dejanira Luderitz Saldanha<sup>1</sup>  
Jurandyr Luciano Sanches Ross<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/CEPSRM  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale – C. Postal 15044 – Porto Alegre – RS, Brasil.  
g.g.oliveira10@gmail.com & dejanira.saldanha@ufrgs.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo - USP.  
Av. Professor Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária.  
Caixa Postal 05508-000 – São Paulo – SP, Brasil.  
adripnt@usp.br & juraross@usp.br

**Abstract.** The aims of this work is to analyze the distribution of areas susceptible to flooding in the Sinos River Basin's, located at northeastern state of Rio Grande do Sul, with a population of approximately 975,000 inhabitants, this concentrated in the lower third of the basin. The methodology is based on proposal of Saldanha et al. (1996), who used Landsat images to the delimitation of spots of flooding, from Dias et al. (2004) and Oliveira (2007), who produce mappings of areas of flooding with intersection of digital databases. Firstly, one period of normal rain and other of above average of raining were researched by analysis of historical of rainfall in the area. Secondly, Landsat 5's images were selected from the corresponding periods of rainfalls for the classification of patches of water on surface. The imaging radar (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM) served as a source of information altimetric. The main results are: the area with water on the surface was 7 times higher than in the period considered normal, only 4.4% of the total area of the basin is considered with high susceptibility to flooding (slope below 2% and lower altitudes than 10 meters, simultaneously), these areas are located in the river main course, precisely where is concentrated the local population. Through the obtained data, is possible a more appropriate planning for the areas where the population is reached, and the development of actions that can mitigate future floods, through the estimate of the proportion that they can achieve.

**Palavras-chave:** Floods, population concentration, geoprocessing, inundações, concentração populacional, geoprocessamento.

### 1. Introdução

Segundo Sausen (2008), o meio ambiente da Terra está em mudança contínua devida à evolução natural e às atividades humanas. Para compreender o complexo inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é necessário observa-los em diferentes escalas temporais e espaciais. A observação por meio de satélites é uma das maneiras mais efetivas e econômicas, e permite coletar os dados necessários para monitorar e modelar estas mudanças.

As inundações são eventos naturais que ocorrem devido ao extravasamento das águas do leito menor de um rio. São mais afetadas pelas inundações as áreas localizadas em relevos planos e rebaixados, como as planícies fluviais, onde há acumulação de água e de sedimentos. As atividades humanas, no entanto, podem aumentar a frequência destes eventos, já que promovem a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo (Enomoto, 2004).

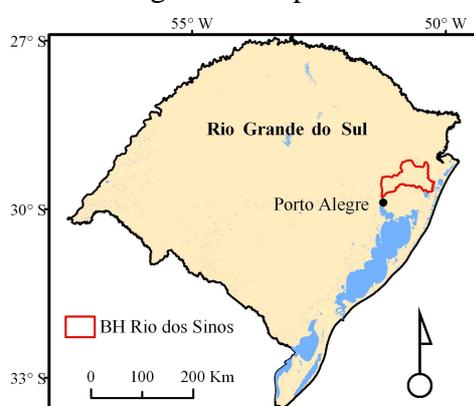
O mapeamento das áreas suscetíveis às inundações é importante para a leitura e compreensão destes episódios, e pode auxiliar no planejamento de modo a amenizar os danos materiais e sociais. Além disso, os mapas de inundação constituem-se poderosas ferramentas para o controle e a prevenção dos eventos de inundações.

Atualmente, em virtude da capacidade de armazenamento e análise de informações geográficas, o geoprocessamento surge como um recurso dinâmico que aumenta as alternativas de mapeamento e análise espacial de dados geográficos. O geoprocessamento

compreende uma técnica de realização de levantamentos, análises e cruzamentos de informações georreferenciadas, visando o planejamento e o gerenciamento de um espaço específico e, apóia-se na cartografia digital para a manipulação de dados (Fitz, 2000).

Aliadas ao geoprocessamento, as imagens de sensores remotos são constantemente utilizadas para a espacialização de fenômenos naturais e reconhecimento de padrões. Podem-se observar bons resultados da aplicação destas técnicas na obtenção de mapas de inundação, como os revelados por Saldanha et al. (1996), Dias et al. (2004) e Oliveira (2007).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos, a partir da utilização de imagens obtidas por sensores remotos e do manuseio de ferramentas de geoprocessamento. A bacia está localizada a nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Mapa 1) e abrange total ou parcialmente 32 municípios em uma área de 3.800Km<sup>2</sup>. Possui população aproximada de 975.000 habitantes, concentrada no terço inferior da mesma. A bacia compreende também uma importante área de concentração urbana e industrial da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA).



Mapa 1. Situação da Bacia do Rio dos Sinos em relação ao RS.

A nascente do rio dos Sinos localiza-se no município de Carará, em altitudes superiores a 600 metros, correndo no sentido leste-oeste até a cidade de São Leopoldo, onde muda para a direção norte-sul, desembocando no delta do rio Jacuí, no município de Canoas, numa altitude de apenas 5 metros (SEMANN, 2006).

As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, com leve concentração nos meses mais frios, quando ocorre a entrada de massas de ar frias e úmidas vindas do Oceano Atlântico Sul. Devido a isso, as enchentes e inundações podem ocorrer em qualquer período do ano, tornando-se um problema frequente na área de estudo, principalmente em virtude do processo histórico de ocupação nas planícies de inundação do rio dos Sinos.

Segundo PROTEGER (1994), o extravasamento do rio dos Sinos, entre os municípios de Parobé e Campo Bom (curso médio), oscila em até 1 km e, em Novo Hamburgo e São Leopoldo, chega a 2,5 km. Em Canoas, o extravasamento pode chegar a 6 km no bairro Matias Velho, próximo à foz do rio.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais: a) imagem de radar, sensor *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado pela Embrapa; b) imagens do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 221, pontos 080 e 081, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Datas: 08/09/1993 e 01/10/2007; c) série de chuvas das estações Glorinha e Nova Palmira, operadas pela Companhia de Recursos Minerais (CPRM); d) softwares *ENVI 4.3* (processamento de imagens) e *ArcGis 9.2* (outros processos).

## 2.2. Métodos

A metodologia adotada tem como base a proposta de Saldanha et al. (1996), que utilizou imagens Landsat para a delimitação de manchas de inundação, de Dias et al. (2004) e Oliveira (2007), que desenvolveram critérios e pesos para o cruzamento de bases digitais para elaboração de mapas de risco e suscetibilidade às inundações, respectivamente.

### 2.2.1. Análise dos dados pluviométricos

As estações pluviométricas Glorinha e Nova Palmira foram selecionadas de acordo com a disponibilidade de dados e a localização em relação à bacia do rio dos Sinos. A análise da série histórica permitiu selecionar imagens Landsat que representassem um período de chuvas acima da média e um período normal. Para fins deste trabalho, foi considerado como período pluviométrico normal todo mês com variação de no máximo 20% com relação à média.

De acordo com os dados pluviométricos e o objetivo do trabalho, selecionou-se as cenas Landsat, como revelam as Tabelas 1 e 2: a) 08/09/1993 – período normal de chuvas; b) 01/10/2007 – período de chuvas acima da média.

**Tabela 1. Variação pluviométrica entre 09/1993 e a média de chuvas do mês.**

| Estações     | Pluviosidade (mm)<br>Série Histórica (mês 09) | Pluviosidade (mm)<br>Registrada em set/1993 | Variação (%) |
|--------------|---|---|--------------|
| Glorinha     | 121   | 96,9  | -20,0        |
| Vila Palmira | 139   | 120,4                                       | -13,4        |

**Tabela 2. Variação pluviométrica entre 09/2007 e a média de chuvas do mês.**

| Estações     | Pluviosidade (mm)<br>Série Histórica (mês 09) | Pluviosidade (mm)<br>Registrada em set/2007 | Variação (%) |
|--------------|---|---|--------------|
| Glorinha     | 121   | 188,2                                       | 55,5         |
| Vila Palmira | 139   | 250,6                                       | 80,3         |

### 2.2.2. Processamento digital de imagens

A etapa de processamento digital das imagens compreendeu o registro entre as quatro imagens Landsat (duas de cada data de passagem), o registro da imagem SRTM – Modelo Digital de Elevação (MDE) com as imagens de satélite e a classificação digital das imagens Landsat para reconhecimento das áreas de lâmina d'água.

O registro foi realizado a partir de pontos semelhantes nas quatro cenas, com o objetivo de ajustar as imagens para que os dados extraídos sejam concatenados e sobrepostos para análise espacial. Em seguida, foi realizado o registro entre as cenas Landsat, já registradas, e o MDE, a partir de feições identificáveis nas bases, principalmente confluência de rios.

A classificação das imagens de satélite teve como objetivo delimitar áreas de lâmina d'água nas cenas de 1993 e 2007. Para tanto, utilizou-se a banda 5 (infra-vermelho médio), pois, nesta banda, os corpos d'água se destacam por apresentarem valores baixos de contadores digitais, diferentes da grande maioria dos alvos presentes nas cenas.

Foi utilizado o classificador não-supervisionado *Isodata*, segundo os seguintes parâmetros: a) classes: de 10 a 15; b) interações: 3; c) ponto de corte (%): 3; d) número mínimo de pixels na classe: 5; e) desvio padrão máximo da classe: 1. As áreas de lâmina d'água foram rotuladas nas primeiras categorias, que em seguida foram agrupadas em apenas uma. Essa categoria temática, em formato matricial *raster*, foi convertida para o formato vetorial *shape*, para realização da edição das manchas mal classificadas. Quando identificadas, estas eram excluídas do arquivo vetorial.

Por fim, foi realizada uma análise espacial comparativa entre as áreas de lâmina d'água em 1993 e 2007. Foram executadas ferramentas de medição de área para verificar a variação de água em superfície em períodos normais e de cheias.

### 2.2.3. Extração de informações da imagem SRTM

A imagem SRTM é utilizada em trabalhos científicos como fonte de informações altimétricas de qualidade para escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 (Valeriano, 2008). A escolha da imagem SRTM, como superfície digital, se fundamenta pela qualidade dos seus dados, além de apresentar a vantagem de ser disponibilizada gratuitamente. Com base nessa imagem, se extraiu as curvas de nível e declividades. As curvas foram geradas com equidistância de 20 metros e a base de declividades foi classificada em quatro categorias, de acordo com Lepsch et al. (1991): a) de 0 a 2%; b) de 2 a 5%; c) de 5 a 10%; d) acima de 10%.

### 2.2.4. Geração da base de suscetibilidade a inundações

A suscetibilidade a inundações de uma determinada área está diretamente relacionada a aspectos de geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo e hidrografia, conforme Oliveira (2007) e Dias et al. (2004). No entanto, para a finalidade do presente estudo, foram utilizadas somente as bases de altimetria e de declividades (fatores mais determinantes), resultando em um mapeamento de suscetibilidade às inundações simplificado.

O cruzamento da altimetria e da declividade foi realizado através da técnica de álgebra de mapas, ferramenta utilizada para gerar um novo mapa a partir de operações lógicas entre bases. Para tanto, o MDE também foi classificado com os seguintes intervalos: a) até 10m; b) de 10 a 25m; c) de 25 a 50m; d) acima de 50m. Assim, tanto a base de declividades quanto a de altimetria foram segmentados em quatro classes. Após o cruzamento foram estabelecidas cinco classes de suscetibilidade a inundações, como apresentada a Tabela 3.

**Tabela 3. Classes de suscetibilidade a inundações e suas características**

| <b>Classes de suscetibilidade a inundações</b> | <b>Características Combinadas</b>                       |
|--|---|
| Alta   | Altimetria: de 0 a 10m.<br>Declividade: de 0 a 2%.      |
| Média – Alta                                   | Altimetria: de 0 a 10m.<br>Declividade: de 2 a 5%.      |
|  | Altimetria: de 10 a 25m.<br>Declividade: de 0 a 2%.     |
| Média  | Altimetria: de 0 a 10m.<br>Declividade: de 5 a 10%.     |
|  | Altimetria: de 10 a 25m.<br>Declividade: de 2 a 5%.     |
|  | Altimetria: de 25 a 50m.<br>Declividade: de 0 a 2%.     |
| Baixa  | Altimetria: de 10 a 25m.<br>Declividade: de 5 a 10%.    |
|  | Altimetria: de 25 a 50m.<br>Declividade: de 2 a 10%.    |
| Muito Baixa                                    | Altimetria: acima de 50m.<br>Declividade: acima de 10%. |

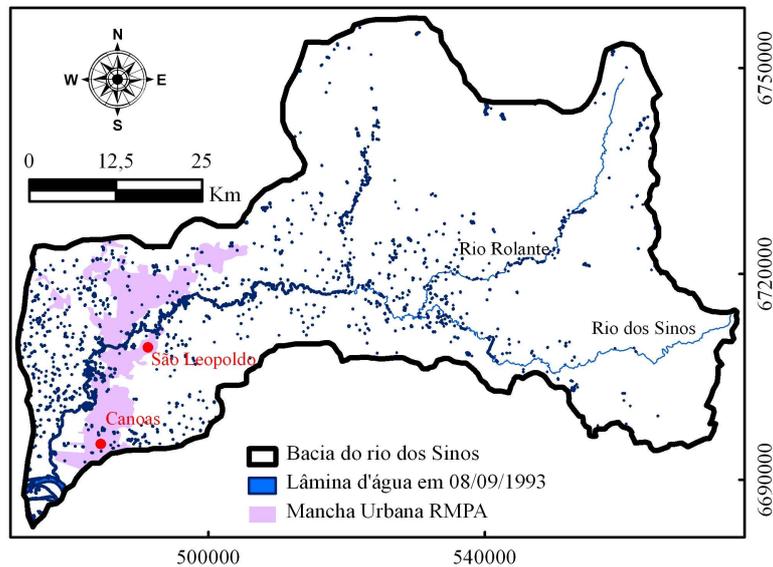
### 2.2.5. Cruzamento das áreas de lâmina d'água com a base de suscetibilidade

Nesta etapa, foi realizado o cruzamento das áreas de lâmina d'água com a base de suscetibilidade às inundações, com a finalidade de investigar as relações entre as duas informações. O cruzamento dessas informações permite reconhecer padrões de distribuição das inundações de acordo com a suscetibilidade (relação declividade/altimetria).

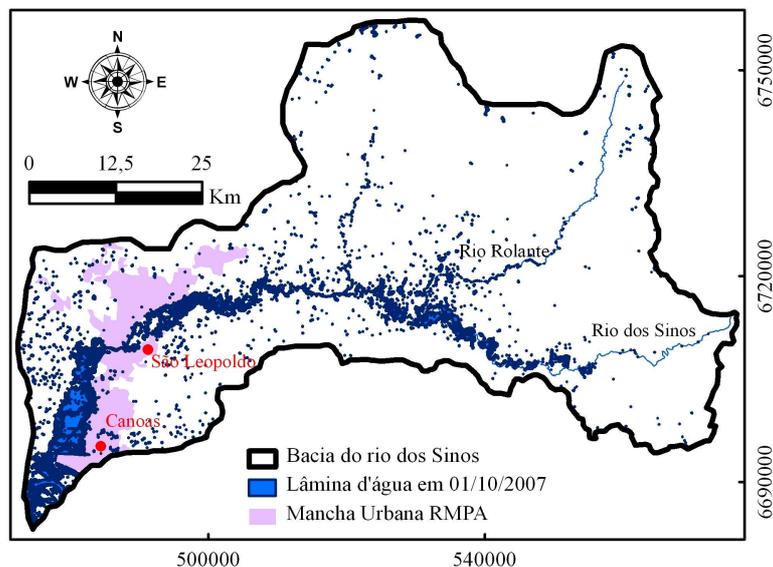
## 3. Resultados e discussões

### 3.1. Espacialização das áreas inundadas

A espacialização das áreas inundadas consiste na primeira análise dos resultados e teve como base o mapeamento das manchas de água, em períodos pluviométricos diferentes, realizado por meio de classificação das imagens de satélite. Os Mapas 2 e 3 revelam as áreas de lâmina d'água em 1993 (período normal) e em 2007 (período de chuvas acima da média).



Mapa 2. Lâmina d'água em período normal de chuvas.



Mapa 3. Lâmina d'água em período de chuvas acima da média.

A maior parte das áreas inundadas está localizada ao longo do rio principal, o rio dos Sinos, principalmente no seu curso inferior, porção sudoeste da bacia. Nessa parte do curso do rio, a planície de inundação (área plana, de altimetria baixa, às margens do rio) tem mais de 6 quilômetros de extensão, com altitudes inferiores a 10 metros.

Verifica-se significativa área inundada nas proximidades da confluência dos rios dos Sinos (curso médio) e Rolante (foz), na porção centro-sul da bacia. Trata-se de uma área plana com mais de 2 quilômetros de extensão em torno do rio com altitude média de 25 metros.

Nos cursos superiores dos rios Rolante e dos Sinos, onde o leito dos rios estão mais encaixados em seus vales, a declividade média é de aproximadamente 37,5%, caracterizando uma encosta íngreme, sem ocorrência de inundação, Nessas áreas, os problemas com as fortes chuvas estão relacionados com os deslizamentos de terra.

Ao analisar a localização das manchas de lâmina d'água em conjunto com as imagens de satélite, se constata que muitas áreas inundadas estão muito próximas à malha urbana de alguns municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). Por esse motivo, constantemente, a população residente nestas áreas sofrem com os eventos de inundação, o que reforça a importância de estudos para a atenuação dos problemas.

### 3.2. Quantificação e distribuição das áreas inundadas

Na bacia do rio dos Sinos, a variação da área de água em superfície (lâmina d'água), entre uma época de chuvas normais e outra de chuvas mais intensas, é significativa, como mostra a Tabela 4. A área ocupada por água no período de pluviosidade alta foi 7 vezes maior.

**Tabela 4. Lâmina d'água em set/1993 & 2007**

| Data de aquisição da imagem Landsat | Pluviosidade | Área (Km <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|--------------|-------------------------|
| 08/09/1993                          | Normal       | 15,85                   |
| 01/10/2007                          | Alta         | 112,81                  |

Ao conjugar as áreas com água em superfície no período chuvoso com as bases de declividade e altimetria, se constatou que 93% destas áreas estão localizadas em declividades inferiores a 5%, sendo que a maior parte está distribuída em declividades de até 2%. Quanto à altimetria, as áreas inundadas se situam predominantemente em altitudes inferiores a 25 metros. As Tabelas 5 e 6 apresentam a proporção de área de lâmina d'água em relação às declividades e à altimetria, respectivamente.

**Tabela 5. Lâmina d'água por declividades**

| Classes | Declive (%) | Área de lâmina d'água (Km <sup>2</sup> ) | %    |
|---------|-------------|--|------|
| 1       | < 2         | 87,48                                    | 77,6 |
| 2       | 2 a 5       | 17,37                                    | 15,4 |
| 3       | 5 a 10      | 5,45                                     | 4,8  |
| 4       | > 10        | 2,51                                     | 2,2  |

**Tabela 6. Lâmina d'água por altimetria**

| Classes | Altimetria (m) | Área de lâmina d'água (Km <sup>2</sup> ) | %    |
|---------|----------------|--|------|
| 1       | < 10           | 74,65                                    | 66,2 |
| 2       | 10 a 25        | 28,00                                    | 24,8 |
| 3       | 25 a 50        | 6,98                                     | 6,2  |
| 4       | > 50           | 3,18                                     | 2,8  |

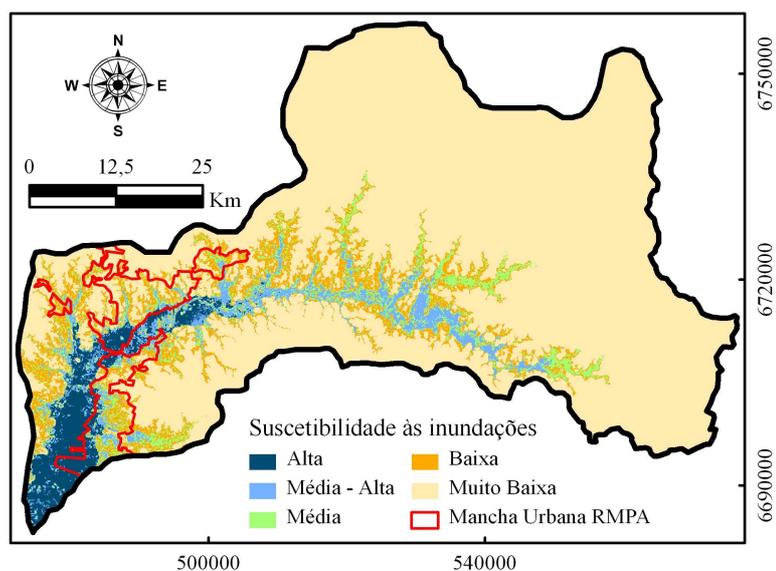
A presença de lâminas d'água em declividades superiores a 10% se deve a: a) imperfeições da imagem SRTM, o que acarretaria em problemas na base de declividade; b) pequenos deslocamentos das bases derivadas do MDE com relação as áreas de lâminas d'água; c) confusão entre água e sombra, oriunda do processo de classificação.

As áreas de água em superfície, em locais de altitude superior a 50 metros, representam, em predomínio, açudes, lagos e barragens artificiais, geralmente localizadas em propriedades

rurais, nas áreas mais planas do topo do Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. São corpos d'água identificados na imagem Landsat com pouco mais de dois pixels (~1800m<sup>2</sup>).

### 3.3. Suscetibilidade às inundações

A base de suscetibilidade às inundações, obtida a partir do cruzamento das declividades com as altitudes, revela as áreas onde predomina a acumulação de água e as ocorrências de inundações em períodos de chuvas intensas, conforme apresenta o Mapa 4.



Mapa 4. Suscetibilidade às inundações

A maior parte da bacia (~85,6%) tem de baixa a muito baixa suscetibilidade a inundações, sendo caracterizada por valores elevados de declividade e de altimetria. Apenas 166 Km<sup>2</sup> (~4,4%) é considerada área de alta suscetibilidade a inundações (declividades inferiores a 2% e altitudes menores que 10 metros simultaneamente). Nesta última classe, a área ocupada por lâmina d'água em 01/10/2007 foi de 64,59 Km<sup>2</sup>, conforme apresenta a Tabela 7.

É muito provável que a área de inundação após esse evento tenha sido ainda maior, já que a coleta da imagem foi realizada seis dias após o evento pluviométrico, tempo superior ao de concentração na bacia, não representando assim o ponto máximo de inundação. É provável também que algumas áreas inundadas nesta data não tenham sido mapeadas por estarem mascaradas na imagem pela presença de vegetação.

Tabela 7. Lâmina d'água por suscetibilidade a inundações

| Suscetibilidade a inundações | Área de lâmina d'água(Km <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|---|
| Alta                         | 64,59 (57,26%)                          |
| Média – Alta                 | 27,45 (24,33%)                          |
| Média                        | 11,98 (10,62%)                          |
| Baixa                        | 4,42 (3,92%)                            |
| Muito Baixa                  | 4,37 (3,87%)                            |

As áreas de lâmina d'água em 01/10/2007 localizadas nas classes de média à alta suscetibilidade totalizaram 92,2%. São áreas situadas entre 0 e 10m com declividades entre 0 e 10%, entre 10 e 25m com declividades entre 0 e 5% e, entre 25 e 50m com declividades

entre 0 e 2%. Uma pequena parcela das áreas de lâmina d'água estão inseridas nas classes de baixa e muito baixa suscetibilidade a inundações, basicamente representada por lagos e açudes artificiais localizados nos topos de morros mais planos.

#### **4. Considerações finais**

A partir dos resultados obtidos no trabalho, observa-se que existe boa relação entre a base de suscetibilidade a inundações e a distribuição das áreas inundadas. Além disso, para a escala de análise, as imagens (Landsat e SRTM) se mostraram eficazes e satisfizeram os objetivos. Pretende-se em futuros trabalhos ampliar a escala de análise de modo a observar com maiores detalhes a variação e a distribuição de água em superfície entre períodos de chuvas normais e acima da média. Também seria relevante realizar o mapeamento de uso e ocupação do solo para verificar as áreas inundadas em cada categoria de utilização do solo, a fim de espacializar áreas de emergência em caso de episódios pluviométricos mais acentuados.

#### **5. Referências**

DIAS, J. E. *et al.* Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda/RJ. In: SILVA, J. X. da, ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 143-177.

ENOMOTO, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FITZ, P. R. Cartografia Básica. Canoas : La Salle, 2000. 171 p.

LEPSCH, I. F. *et al.* Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: SBCC, 1991. 175p.

OLIVEIRA, G. G. Mapa de suscetibilidade a inundações da Sub-Bacia do Arroio da Areia/RS. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia/UFRGS. Porto Alegre, 2007.

PROTEGER – Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre. Áreas de inundação, Alagamento e Banhados. Metroplan, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 1994. 50p.

SALDANHA, D. L. *et al.* Mapeamento e Avaliação das áreas inundáveis do Rio dos Sinos através da utilização de imagens TM-Landsat 5. In: Revista de Geografia da UNESP, v.13. São Paulo: Editora Unesp, 1996. p. 127-144.

SEMMAM – Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Subsídios para o Diagnóstico Técnico sobre o município de São Leopoldo. Primeira etapa do Plano Diretor. Aspectos Ambientais. São Leopoldo: SEMMAM, 2006. 59 p.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.