

Uso de geotecnologias para análise e avaliação dos prejuízos causados pelas inundações no Rio Grande do Sul – Setembro de 2009 a Janeiro de 2010

Tania Maria Sausen

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS
Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e
Eventos Extremos - GEODESASTRES-SUL
Caixa Postal 5021 - CEP: 97105-970, Santa Maria, RS, Brasil (tania@dsr.inpe.br)

Maria Silvia Pardi Lacruz
Campus Brasil-CRECTEALC¹
(lacruz@dsr.inpe.br)

Anderson Shpor Nedel¹
Silvia Midori Saito¹
Roberta Madruga¹
Edgar da Rosa Lima Junior¹
Bolsista CNPq-PCI
(anderson.nedel; silvia.saito; edgar.junior@crs.inpe.br)¹
(robertamadrua@terra.com.br)¹

Maria Isabel da Silva Galvão
Universidade Federal de Santa Maria
Graduanda de Geografia
isabel_gringa@yahoo.com.br

Abstract. The objective of this paper is to present the use of geotechnologies for flooding monitoring and damage assessment in Rio Grande do Sul state in the period of November/2009 to January/2010. Three river basins were analyzed: Jacuí, Ibicuí and Uruguai. It was created a data base in the SPRING. In this study were used 28 *MODIS* images to monitor the flooding and to characterize the area affected by this natural disaster. In order to do this the images were processed using the Principal Components. The SRTM data was used to create the declivity map, and the MODIS Image from November 29.2009 were used to developed the land use and cover maps from the three river basins. Additionally were considered the precipitation data in the period, land use, river flow and height and data collect from Civil Defense and AVADAN. Besides using the information from Civil Defense and AVADAN were created the maps about the economical, social, material and environmental damages. At the end of the study it was possible to identify the areas affected by flooding, to calculate the flooding area, to identify that the rice crops were the agricultural area affected most by the flooding, and to calculate the economical, social and environmental damages

Palavras-chave: flooding, remote sensing, Geographic Information System, database, damage, inundações, sensoriamento remoto, Sistema de Informação Geográfica, banco de dados, danos

1.Introdução

As inundações são um dos mais devastadores desastres naturais no mundo, afetando mais vítimas e causando mais danos à propriedade, do que qualquer outro fenômeno. Além dos danos materiais, em um evento de inundação deve-se considerar também o impacto causado na vida da população, a morte provocada por afogamento,

as enfermidades contagiosas tais como diarreia, leptospirose, dermatites, a má qualidade da água para abastecimento humano e os efeitos psicológicos nas populações afetadas.

Os dados de sensoriamento remoto desempenham um papel importante na reconstrução da história recente da superfície da terra e na previsão de eventos de desastres como este. Eles permitem obter, rapidamente, informações sobre grandes áreas por meio de sensores, que operam em várias bandas espectrais, e que estão a bordo de satélites ou aeronaves. Os que estão a bordo de satélites têm a capacidade de obter dados de toda a superfície da Terra em poucos dias e de repetir a obtenção destes na mesma área em intervalos regulares, criando séries temporais, possibilitando assim, o monitoramento do fenômeno sendo esta uma informação de extrema importância no caso de estudos de inundação.

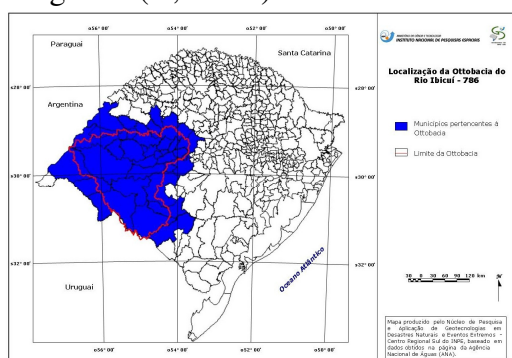
Os mapas gerados a partir de imagens de satélite podem ser utilizados por uma variedade de usuários para localizar rapidamente as áreas afetadas pela inundação, determinar com precisão e calcular a extensão da área inundada, caracterizar os efeitos e a dinâmica da inundação e auxiliar na localização de rotas de fugas e de locais para abrigar a população afetada. (A.T. Jeyaseelan, 1999).

O estado do Rio Grande do Sul tem sofrido nos últimos anos vários episódios de inundação, principalmente na bacia dos rios Jacuí, Ibicuí e em alguns trechos do rio Uruguai. No período de setembro de 2009 a dezembro de 2010, ocorreram chuvas intensas no estado que causaram grandes prejuízos a infra-estrutura, a economia, social e ambiental. Os municípios mais afetados estavam localizados nas bacias hidrográficas dos rios Jacuí, Uruguai, Ibicuí e Vacacaí-Vacacaí-Mirim.

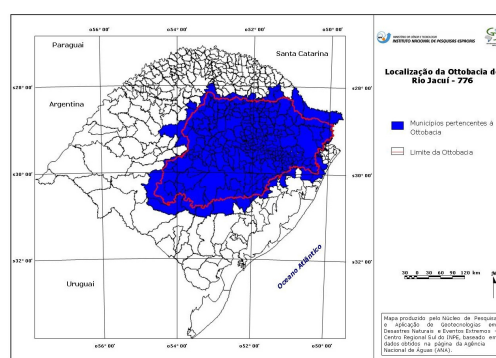
Em função do exposto e atendendo a um pedido da Defesa Civil do Estado REDEC III o GEODESASTRES-SUL desenvolveu este estudo que tem como objetivo fazer uma análise e avaliação dos prejuízos causados pelas inundações no Rio Grande do Sul no período Setembro de 2009 a Janeiro de 2010 utilizando geotecnologias, com vistas a obter subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas.

2. Materiais e metodologia

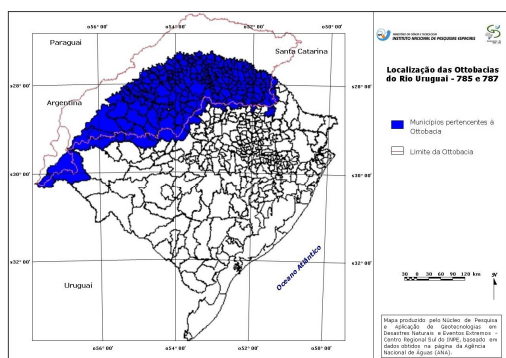
Neste estudo foi adotado para a delimitação das bacias hidrográficas o método de Otto Pfafstetter (Ottobacias), utilizado pela ANA, que é detentora da principal base de dados relativa aos recursos hídricos no Brasil e usa este sistema de classificação. As bacias analisadas são a dos Rios Ibicuí, Jacuí e Uruguai, cuja localização pode ser vista na Figura 1 (A, B e C).



a) Ottobacia nível 3, código 786, dos Rios Ibicuí e Santa Maria



b) Ottobacia nível 3, código 776, do Rio Jacuí



c) Ottobacia nível 3, códigos 785 e 787, do Rio Uruguai

Figura 1: Delimitação das bacias hidrográficas analisadas pelo de Otto Pfafstetter

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais:

a) *Dados de precipitação*: para o período de setembro/2009 e janeiro/2010 (gráficos das médias horárias e mensais, anomalias mensais e a média climatológica 61/90) foram obtidas na homepage do INMET (<http://www.inmet.gov.br>);

b) *Temperatura da Superfície do Mar do Pacífico Equatorial*-para analisar a influência de fenômenos climáticos como de El Niño e La Niña foram extraídas do *Climate Prediction Center (CPC)*, da *NOAA* (<http://www.cpc.noaa.gov/>)

c) *Gráficos dos totais acumulados de precipitação*- para os meses de novembro/2009 e janeiro/2010 para comparar os valores observados com os registros registrados em anos anteriores, foram feitos no *Microsoft Excel 7*. Os gráficos com as chuvas acumuladas em 24 horas foram obtidos do *INMET*.

d) *Dados de vazão e cotas da bacia do rio Ibicuí nas estações*: Azevedo Sodré, no rio Cacequi; Jaguarí no rio Jaguarí; Alegrete no rio Ibirapuitã; Vila Clara no rio Toropí; Manoel Viana no rio Ibicuí; obtidos na homepage da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br>);

e) *Imagens do sensor MODIS dos satélites TERRA e AQUA*-obtidas da página do *MODIS Rapid Response System* (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>). Foram coletadas 154 imagens do satélite TERRA (manhã) e 154 do Aqua (tarde), para o período analisado. As imagens MODIS do banco de dados correspondem basicamente ao satélite TERRA, porém, em alguns casos que estas apresentavam muita cobertura de nuvens, se utilizaram também as imagens do satélite AQUA (identificadas com um A). Foram selecionadas as melhores imagens, sem cobertura de nuvens num total de 28, a saber: Ano 2009-31 de agosto; 05 (A), 15, 21 e 26 de setembro; 03 de outubro; 01, 02, 09, 17 e 29 de novembro; 01 (A), 03 (A), 04, 05, 13, 15, 18 e 19 de dezembro. Ano 2010:-01, 03, 07, 14 e 21 de janeiro e 03 de fevereiro;

e) *Dados SRTM*-com 90 metros de resolução espacial da área em estudo foram obtidas da página http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America;

f) *Dados do AVADAN*-Os dados referentes aos danos e prejuízos dos municípios afetados pelas inundações organizados pela Defesa Civil/RS. Esses dados foram sintetizados a partir das informações contidas no formulário de Avaliação de Danos (AVADAN), onde os municípios informam a área afetada, os danos humanos, materiais e ambientais, os prejuízos econômicos e sociais. Ainda segue anexo um mapa ou croqui da área afetada, bem como fotografias dos principais danos.

A metodologia utilizada neste estudo seguiu as seguintes etapas:

a) *Montagem do banco de dados básico*-no software *SPRING* versão 5.1.4, e Delimitação das bacias de drenagem e dos municípios abrangidos por elas;

b) *Processamento dos dados SRTM no software ENVI*-com o intuito de gerar o mosaico da área em estudo que permitiu a obtenção do mapa de declividade do estado,

após foi gerada uma imagem sombreada que permitiu destacar as feições de relevo e as estruturas presentes na área.

c) *Determinação das Áreas Inundadas*-montou-se uma seqüência completa da dinâmica da inundação, com as imagens *MODIS* para o período de 31 de agosto de 2009 a 14 de janeiro de 2010. Para o cálculo das áreas inundadas foram selecionadas as imagens que representavam melhor os diferentes estágios da inundação e com a menor cobertura de nuvens, a saber: 31/08/2009, considerada como a situação normal; 05/09/2009, começo da inundação; 29/11/2009, máximo de inundação do período; 05/12/2009, nova inundação (segunda máxima); 14/01/ 2010, nova inundação antes da volta à normalidade dos níveis dos rios.

d) *Análise por componentes principais*-Para cada conjunto das cinco bandas disponíveis para cada data foi aplicada à transformação por componentes principais. As imagens resultantes permitiram destacar bem as informações contidas nas imagens em geral e as áreas inundadas. Para todas as datas, as duas primeiras componentes principais representavam pelo menos 96% da informação contida nas cinco bandas. A Tabela 1 mostra a variância em porcentagem de cada componente principal para cada data.

Tabela 1. Variância das componentes principais para cada data analisada.

	31/08/2009	05/09/2009	29/11/2009	05/12/2009	14/01/2010
CP1	81,12	77,75	82,29	81,48	71,05
CP2	16,25	19,11	13,79	15,41	26,33
CP3	2,23	2,74	3,47	2,64	1,96
CP4	0,25	0,30	0,37	0,37	0,59
CP5	0,14	0,11	0,08	0,10	0,07

As duas primeiras componentes principais resultantes para cada data foram classificadas por limiares, dependendo das feições de interesse. Assim, foi possível discriminar e classificar em todas as datas a água sem sedimentos; já as classes água com sedimentos e áreas encharcadas foram identificadas para algumas das datas. Posteriormente, as classes discriminadas água sem sedimentos, água com sedimentos e áreas encharcadas foram agrupadas em uma única classe de áreas afetadas por inundação.

Com o intuito de conhecer a extensão da inundação para cada data, foram delimitadas sessões transversais nos rios Ibicuí e Jacuí e realizadas as medidas de largura da mancha de inundação, nestas sessões

e) *Mapeamento de uso do solo das três Ottobacias*-foi utilizada a imagem *MODIS* do dia 29/11/2009 e o aplicativo computacional *SPRING*. Primeiramente foi feita a classificação supervisionada por pixel da imagem, onde foi utilizado o classificador *Maxver*, cujo limiar de aceitação foi de 99,9%. Em seguida foi feito o mapeamento de classes onde foi possível quantificar o uso e ocupação do solo em cada classe, sendo as principais os corpos d'água, solo exposto e urbano, agricultura e pastagem,

f) *Análise dos dados de precipitação e Construção dos gráficos e análise dos dados de vazão e cota dos rios da bacia di Ibicuí;*

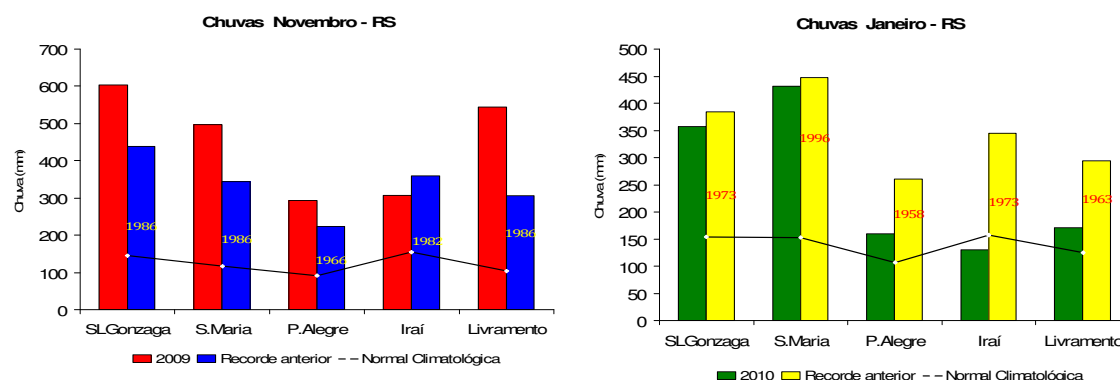
g) *Análise dos prejuízos provocados pelas inundações*-foi feita a partir da sistematização de dados contidos nos *AVADAN*. A classificação empregada para a hierarquização dos prejuízos é a preconizada pela Defesa Civil que relaciona o montante dos prejuízos com o PIB municipal. As classes empregadas são as seguintes: Nível D: Prejuízo > 30% PIB; Nível C: 10 % < Prejuízo ≤ 30% PIB; Nível B: 5% < Prejuízo ≤ 10% PIB; Nível A: Prejuízo ≤ 5% PIB. Para a classificação dos prejuízos ambientais, econômicos, sociais e materiais foi utilizada a divisão por quartis, de modo que o valor máximo de prejuízo de cada tema foi dividido por quatro. Em seguida foram elaborados

mapas temáticos, utilizando o SPRING 5.1.4, de acordo com o tipo e a classificação do prejuízo.

3. Resultados:

As precipitações observadas ao longo dos meses de Setembro/2009 a Janeiro/2010 apresentaram grandes volumes acumulados e atingiram várias regiões do estado do Rio Grande do Sul causando enchentes em diversas cidades. Os totais precipitados oscilaram entre valores próximos a média a acima da média climatológica - com acumulados que a ultrapassaram quatro vezes. Os meses mais chuvosos foram Novembro e Janeiro. As estações meteorológicas automáticas do *INMET* chegaram a registrar em novembro 670 mm de chuva em São Luiz Gonzaga, região noroeste do RS. No mês de Janeiro, segundo mais chuvoso, essa mesma localidade registrou 400 mm, quando o esperado para o mês eram 150 mm (aproximadamente).

As Figuras 2 (A e B) mostra os volumes acumulados das precipitações em novembro/2009 e janeiro/2010 para algumas cidades do RS, bem como, suas médias climatológicas e seus respectivos recordes observados em anos anteriores, nas mesmas estações meteorológicas, nos mesmos meses (novembro e janeiro). Na maioria delas as chuvas ocorridas foram superiores aos valores já registrados no RS no mês de novembro, desde 1950. Os totais acumulados no mês de novembro de 2009 foram os maiores registrados nos últimos 60 anos. As regiões mais afetadas foram Missões, Depressão Central e Campanha, representadas pelas cidades de São Luiz Gonzaga, Santa Maria e Santana do Livramento, respectivamente.



A

B

Figura 2 – Totais acumulados de chuva em novembro no RS (A) e Totais acumulados de chuva em janeiro no RS (B), comparado com os maiores valores observados em anos anteriores. Fonte: INMET

Em janeiro os totais acumulados não chegaram a ultrapassar os máximos já observados em anos anteriores (El Niño), porém, estes também superaram em algumas vezes a média climatológica principalmente nas regiões das Missões e Central.

A Depressão Central e a Campanha foram as áreas mais afetadas pelas inundações dos rios Ibicui, Santa Maria, Jacui, Pardo e Vacacaí. Dentre os 258 municípios afetados pelas inundações, 202 decretaram Situação de Emergência-SE. Em novembro, 77 municípios situados principalmente na metade sul do estado, decretaram SE, entre os dias 23 a 27. Em dezembro, as inundações afetaram 49 municípios em especial no noroeste gaúcho e em janeiro de 2010, as ocorrências nos 76 municípios concentraram-se entre os dias 4 a 8 e resultaram em 5 óbitos, devido à queda de uma ponte no município de Agudo.

A Figura 3 mostra o resultado da classificação da imagem de 31 de agosto de 2009 com o nível normal dos rios e a Figura 4 apresenta a área afetada pela inundação

em seu pico máximo no dia 29 de novembro de 2009. De acordo com as medidas feitas nas sessões transversais alguns trechos do rio Jacuí chegaram a atingir 7.137,39m de largura em 29 de novembro de 2009. Este mesmo trecho do rio apresentou 6.506,12m em 05 de dezembro de 2009 e 5.543,46m em 14 de janeiro de 2010.

A Figura 5 apresenta as curvas de vazão e cota do rio observadas na bacia do rio Ibicuí no período de novembro de 2009 a janeiro de 2010, período em que estes valores apresentaram os seus máximos.

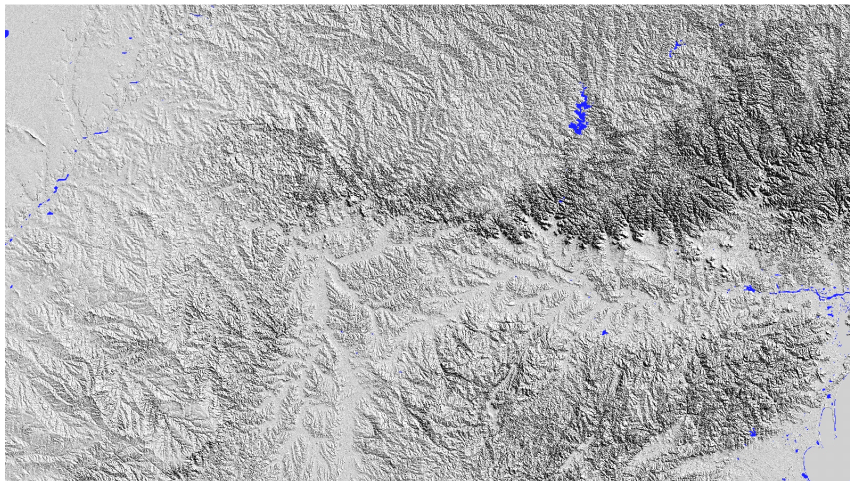


Figura 3 – Imagem sombra de relevo com drenagem classificada em cor azul, do dia 31 de agosto de 2009, antes do início da inundação

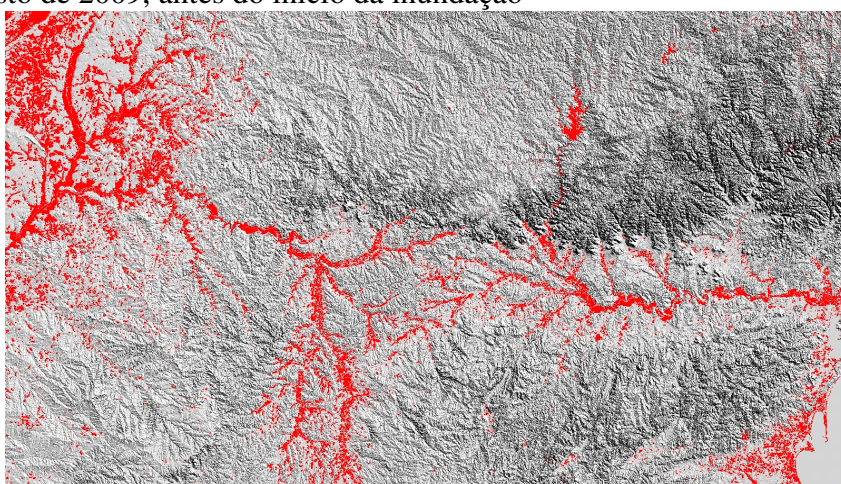


Figura 4 – Imagem sombra de relevo com as áreas afetadas pela inundação, imagem de 29 de novembro de 2009.

A Figura 6 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo da Ottobacia do Rio Ibicuí, código 786, onde se observa que o tipo de uso e ocupação de maior relevância são as áreas de agricultura e pastagem. A predominância deste uso se reforça devido ao fato de a economia do Rio Grande do Sul ser baseada principalmente no setor agropecuário. A predominância da cultura do arroz é característica nas áreas afetadas pelas inundações sendo as mais afetadas por este tipo de desastre, uma vez que a maioria delas está localizada nas várzeas dos rios Jacuí e Ibicuí e seus afluentes, o que obrigou a realização de quatro semeaduras, no período analisado neste estudo.

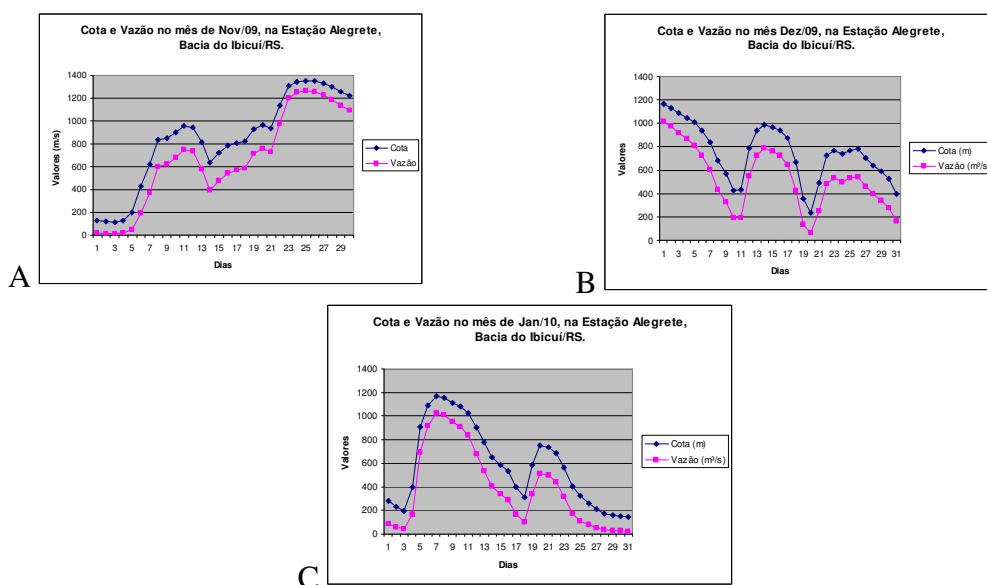
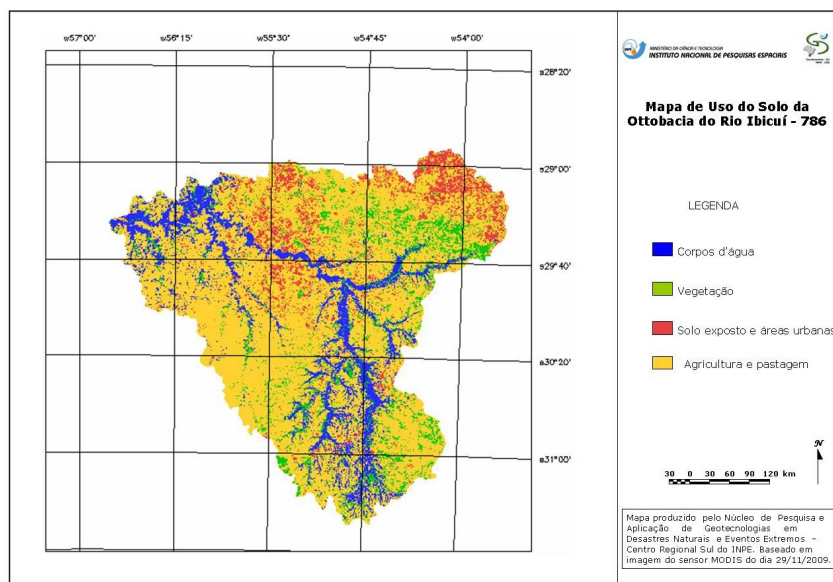


Figura 5 -Curvas de cota e vazão no rio Ibirapuitã, afluente do Ibicuí, na estação Alegrete nos meses de novembro (A) e dezembro (B) de 2009 e janeiro (C) de 2010.



A Figura 6-Mapa de uso e cobertura do solo da Ottobacia do Rio Ibicuí, código 786

A Figura 7 apresenta o mapa com a distribuição dos prejuízos provocados pelas inundações de acordo com o PIB dos municípios. Os prejuízos econômicos foram os que mais ocasionaram perdas aos municípios afetados pelas inundações, representando 47% do valor total, seguido dos prejuízos sociais que totalizaram 34%.

Em novembro/2009 73 municípios foram afetados e os prejuízos da ordem de R\$ 595 milhões; em dezembro/2009 foram 46 municípios afetados com prejuízos de R\$ 225 milhões. Em janeiro/2010 68 municípios foram afetados e os prejuízos foram de R\$ 368 milhões. Com relação aos prejuízos materiais (estragos em edificações públicas ou particulares, residências, comércios, escolas, postos de saúde, infra-estrutura pública, estradas e pavimentação) 181 municípios tiveram perdas de até R\$ 8.750.000,00. Santa Rosa foi o município que teve maior perda, com aproximadamente R\$ 33 milhões.

Já com relação aos prejuízos ambientais, que são os danos causados aos recursos naturais (água, solo, ar, flora e fauna) 113 municípios não registraram nenhuma perda e

81 municípios situados principalmente na porção sudeste do Rio Grande do Sul tiveram perdas de até R\$ 2.750.000,00.

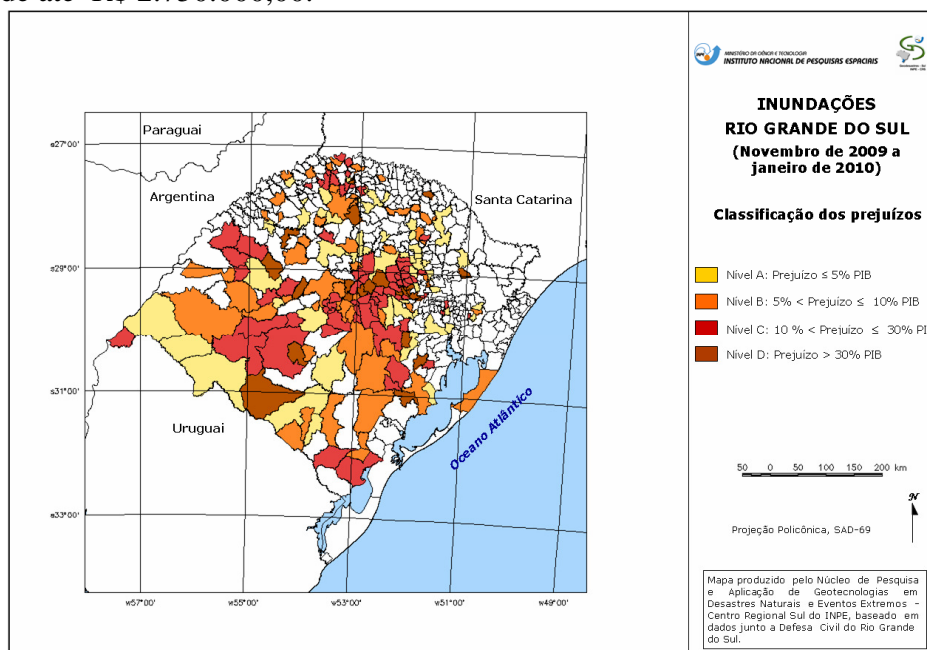


Figura 7-Mapa com a distribuição dos prejuízos provocados pelas inundações de acordo com o PIB dos municípios

4.Considerações finais

As inundações que afetaram mais de 960 mil pessoas no RS e ocasionaram prejuízos de mais de 3 bilhões de reais evidenciaram a vulnerabilidade de diversos municípios gaúchos. Esse valor certamente foi muito maior tendo em vista que é referente apenas a perda sofrida pelos municípios que decretaram SE. As chuvas de grande intensidade que acabam provocando inundações no Estado são normais em período de El Niño e podem ser previstas, por meio de modelos de previsão de tempo, e são anunciadas com antecedência por instituições como o INPE/CPTEC e o INMET, assim basta levar em conta esta previsão para desenvolver ações de planejamento e prevenção.

As inundações são fenômenos recorrentes e normais de um rio, e são agravadas pela falta de planejamento adequado para o uso e ocupação do solo. Com isto recursos direcionados à recuperação dos municípios atingidos deixam de ser aplicados em setores essenciais, como saúde, habitação e educação, ou até mesmo para a prevenção de desastres naturais

As geotecnologias permitem que se faça a prevenção, monitoramento e avaliação deste tipo de fenômeno, bem como se constituem em ferramentas importantes para o adequado planejamento do uso e ocupação do solo, para a tomada de decisão e estabelecimento de políticas públicas que permitiria minimizar os efeitos nefastos deste tipo de desastres, como constatado neste estudo.

5.Referência

A.T. Jeyaseelan, Droughts & Floods Assessment USING REMOTE SENSING AND GIS, *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, pp. 291-313, <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-14.pdf>, acesso em 15 de setembro de 2010, 1999