



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



**INPE- 15658-NTC/378**

**CICLONE EXTRATROPICAL OCORRIDO EM MAIO  
DE 2008 (SC E RS): GÊNESE, EVOLUÇÃO E AVALIAÇÃO DAS  
CONSEQUENTES INUNDAÇÕES COM O AUXÍLIO DE  
GEOTECNOLOGIAS**

Tania Maria Sausen  
Camila Cossetin Ferreira  
Manoel de Araújo Sousa Júnior  
Marco Antonio Fontoura Hansen  
María Silvia Pardi Lacruz  
Silvia Midori Saito

**INPE  
São José dos Campos  
2009**

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio  
We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



## **AGRADECIMENTOS**

A equipe do GEODESASTRES-SUL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) deseja agradecer a colaboração das seguintes instituições e pessoas:

- Comissão Municipal de Defesa Civil de Novo Hamburgo;
- Coordenadoria da 3ª REDEC/RS na pessoa do Cap. Sérgio Henrique Bittencourt;
- Defesa Civil de Santa Catarina;
- Defesa Civil do Rio Grande do Sul;
- Equipe do projeto Controle de Enchentes no Vale do Rio dos Sinos, representada pelo Geólogo Antonio Carlos Simões Pires Geske e engenheiros Ricardo Aoki e Paulo Giacomazzi;
- Secretaria Municipal de Águas e Esgotos de SEMAE de São Leopoldo

## RESUMO

O alerta meteorológico emitido pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, no dia 30 de abril de 2008, informava sobre a possibilidade de formação de um ciclone extratropical na noite de sexta-feira (02/05/2008) a domingo (04/05/2008), o qual afetaria o litoral sul de Santa Catarina e o leste e nordeste do Rio Grande do Sul. A previsão era de ventos superiores a 100 km/h, elevados índices de precipitações acumuladas, descargas elétricas e mar bastante agitado, com ondas de 4 a 5 m. Este é um fenômeno freqüente nesta região, mas devido a um bloqueio atmosférico, que impediu seu deslocamento, este ciclone permaneceu próximo a costa causando muitos prejuízos. Em função disto a equipe do Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos (GEODESASTRES-SUL) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passou a monitorar as imagens de satélite, de observação da Terra e meteorológicas, prevendo a possibilidade de fazer uma análise e diagnóstico do evento e conseqüentes danos, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O objetivo deste trabalho é analisar a gênese e avaliar o evento do ciclone extratropical de maio de 2008 e de seus conseqüentes danos, por meio do uso de geotecnologias, como suporte para medidas preventivas e mitigadoras na região afetada. Para tal forma utilizados dados meteorológicos de precipitação, ventos, imagens do satélite GOES, CBERS 2, LANDSAT e dados SRTM, o software SPRING e dados de GPS. A área de estudo compreende a porção sul do litoral do estado de Santa Catarina e a porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, onde 33 municípios decretaram situação de emergência em função dos prejuízos ocasionados pelo ciclone extratropical, principalmente nos dias 2 e 3 de maio de 2008. As geotecnologias mostraram-se bastante adequadas para analisar a gênese e monitoramento do ciclone extratropical ocorrido nestes dois estados bem como avaliar as conseqüentes inundações ocorridas no RS e SC e na bacia do rio dos Sinos.

## LISTA DE FIGURAS

3.1 - Imagem do sensor <i>MODIS</i> do satélite <i>TERRA</i> (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nesta figura estão salientados também os municípios de Ermo e Turvo, em SC e Novo Hamburgo, no RS, áreas mais afetadas pelas inundações do evento analisado.	17
3.2 - Recorte da imagem <i>MODIS/TERRA</i> (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, onde aparece em destaque o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.	18
3.3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul e América do Sul.	19
3.4 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos gerado a partir do mosaico <i>SRTM</i> .	21
3.5 - Mapa da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com a localização de parte dos municípios que compõem esta bacia.	23
3.6 - Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Fonte: Hansen (2007), adaptado de Caldasso et al. (2000).	29
4.1- Fotografia de detalhe da régua limnimétrica instalada no dique da Av Duque de Caxias, junto a Estação Rodoviária de São Leopoldo, RS.	39
5.1 - Pontos de coleta das fotografias georreferenciados na imagem <i>TM/LANDSAT 5</i>	44
5.2 - Imagem <i>MODIS/TERRA</i> (bandas 1, 4, 3), de 6 de maio de 2008 (a), com sem os limites dos municípios e a direita (b) os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo).	47
5.3 - Mosaico ortorretificado de imagens <i>ETM/LANDSAT GeoCover 2000</i> com o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, em amarelo.	48
5.4 - Imagem <i>CCD/CBERS</i> , órbita/ponto 157/133, de 10 de maio de 2008 (a) e órbita/ponto 156/133, de 13 de maio de 2008 (b), com a área de sobreposição de 15% assinalada.	49
5.5 - Imagens <i>CCD/CBERS</i> (bandas 3, 4, 2), de 19/03/2008, pré-ciclone (a) e de 10/05/2008, pós-ciclone (b).	49
5.6 - Recorte da imagem <i>CCD/CBERS</i> da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com a localização dos trechos do rio onde foram feitas as medidas nas secções transversais da mancha de inundação e os respectivos municípios.	50
5.7 - Mosaico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos gerado a partir de imagens <i>TM/LANDSAT 5</i> , bandas 4, 5 e 3.	51
5.8 - Mosaico de toda a área afetada pelas inundações nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com o relevo realçado, gerado a partir de dado <i>SRTM</i> com resolução espacial de 90 m e com azimute de elevação solar de 135° de azimute.	53
5.9 - Grade refinada com 20 m de resolução gerada por interpolação bicúbica, visualizada em forma de imagem <i>SRTM</i> da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.	54
5.10 - Rede de drenagem bacia hidrográfica do rio dos Sinos, extraída das imagens <i>SRTM</i> , com a utilização do programa <i>HAND</i> , com 20 m de resolução.	55
5.11 - Bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com grade <i>SRTM</i> as cotas altimétricas, a mancha de inundação, em azul e as áreas urbanas, em vermelho.	56
5.12 - Esquema das curvas de nível da bacia hidrográfica do rio dos Sinos geradas a partir de dados <i>SRTM</i> com 20 m.	57
6.1 - Carta sinótica do dia 30 de abril de 2008 às 12z.	62

6.2 - Carta sinótica do dia 01 de maio de 2008 às 00z (a); e as 12z (b).	63
6.3 - Carta sinótica do dia 02 de maio de 2008 às 00z (a); e 12z (b).	64
6.4 - Imagem do satélite GOES 10, com a cobertura de nuvens: a) 01 de maio de 2008, 21h00min; b) 02 de maio de 2008, 3h00min; e c) 02 de maio, 9h00min.	65
6.5 - Carta sinótica do dia 03 de maio às 00z (a); e 12z (b).	66
6.6 - Carta sinótica do dia 03 de maio às 18z.	67
6.7 - Imagens do satélite <i>GOES 10</i> , onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e a temperatura do topo das nuvens (b), no dia 01 de maio às 21 horas, quando o ciclone extratropical já estava em formação.	68
6.8 - Imagens do satélite GOES 10, onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 02 de maio às 3 horas e às 9 horas, respectivamente, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.	69
6.9- Imagens do satélite <i>GOES 10</i> , onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 02 de maio às 21 horas, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.	70
6.10 - Imagens do satélite <i>GOES 10</i> , onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 03 de maio, as 03 e 09 horas, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.	71
6.11 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 01 de maio de 2008.	72
6.12 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 02 de maio de 2008.	73
6.13- Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 03 de maio de 2008.	74
6.14 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 04 de maio de 2008.	75
6.15 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 05 de maio de 2008.	76
6.16 - Vento registrado no aeroporto de Porto Alegre, nos dias 02, 03, 04 de maio de 2008.	77
6.17 - Vento registrado no aeroporto de Florianópolis, nos dias 02, 03, 04 de maio de 2008.	78
6.18 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 01 de maio de 2008.	79
6.19 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 02 de maio de 2008.	80
6.20 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 03 de maio de 2008.	80

6.21- Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 04 de maio de 2008.....	81
6.22 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> , para o dia 05 de maio 2008.....	82
6.23 - Precipitação acumulada (mm), estimada por dados do satélite GOES 12, para os dias 01 (a) e 02 (b) de maio de 2008, respectivamente.....	83
6.24 - Precipitação acumulada (mm), estimada por satélite, para os dias 03 (a) e 04 (b) de maio de 2008, respectivamente.....	84
6.25 - Precipitação acumulada (mm), estimada por satélite, para o dia 05 de maio.....	84
6.26 - Precipitação horária e acumulada em Porto Alegre, nos dias 02, 03, 04 e 05 de maio (INMET).....	85
6.27- Precipitação horária e acumulada em Florianópolis nos dias 02, 03, 04 e 05 de maio (INMET).....	86
6.28- Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 02 de maio de 2008.....	94
6.29 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 03 de maio de 2008.....	95
6.30 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 04 de maio de 2008.....	96
6.31 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 05 de maio de 2008.....	97
6.32 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 06 de maio de 2008.....	98
6.33 - Mapa de isoietas com o somatório das precipitações ocorridas na bacia do rio dos sinos no período de 02 de 06 de maio de 2008.....	99
6.34 - Hietograma e hidrograma da bacia contribuinte do rio dos Sinos, na altura da cidade de São Leopoldo. Linha horizontal azul clara cessa bombeamento para abastecimento público (estiagem) e linha horizontal laranja representa o nível de alerta de cheia (inundação).....	100
6.35 - Localização da régua limnimétrica junto a ponte 25 de Julho, na Av. Duque de Caxias, próximo a Estação Rodoviária da cidade de São Leopoldo, RS. Coordenadas Geográficas: 29°45'35,48"S e 51° 8'54,22"O. Datum: <i>WGS84</i> .....	102
6.36 - Nível d'água do rio dos Sinos na régua limnimétrica localizada na ponte 25 de Julho, São Leopoldo, RS.....	103
6.37 - Ponto de coleta das fotografias (em vermelho) das Figuras 37a, b, c, d, a montante da ponte 25 de Julho, na cidade de São Leopoldo, RS. Coordenadas Geográficas: 29°45'31,61"S e 51° 8'52,89"O. Datum: <i>WGS84</i> .....	104
6.38 - Ponto de coleta das fotografias na margem direita do rio dos Sinos, situado a montante da ponte 25 de julho, ao longo e após o evento.....	105
6.39 - Fotomontagem das áreas inundadas próximos ao rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, no período do pico da onda de cheia, no dia 08 de maio de 2008, 16h22min. Nível: 5,55 m.....	106
6.40 - Fotomontagem ilustrando o nível da água baixo do rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, após a inundação, no dia 22 de maio de 2008, 16h29min. Nível máximo: 0,80 m.....	107
6.41 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 7, 2, 1), de 9 de abril de 2008, pré-ciclone.....	109
6.42 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 7, 2, 1) de 6 de maio de 2008, pós-ciclone.....	110

6.43 - Imagem diferença entre as imagens pré e pós-ciclone (Banda 2 do MODIS/TERRA), com a lâmina de água para os dias 9 de abril de 2008 (azul claro) e 6 de maio de 2008 (azul escuro). .....	111
6.44- Extensão da lâmina de água para os municípios em situação de emergência e afetados, calculada a partir das imagens MODIS/TERRA.....	113
6.45 - Imagem <i>MODIS/TERRA</i> da bacia hidrográfica do rio dos Sinos pré (a) e pós-ciclone (b), na imagem do dia 06 de maio é possível ver a área inundada na planície fluvial do rio.....	115
6.46 - Imagem sombreada da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com iluminação a 135° de azimute, gerada a partir de dados do <i>SRTM</i> . .....	116
6.47 - Esquema da imagem sombreada, com iluminação a 135° de azimute, da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerada a partir de dados <i>SRTM</i> , com a informação sobre o relevo. A seta azul localiza o rio Rolante, a laranja o rio Paranhana, a vermelha as nascentes do rio dos Sinos, as setas verde-claras salientam as áreas de escarpas na borda da bacia.....	117
6.48 - Recorte (a) da Figura 6.50 no curso superior do rio dos Sinos, onde se observa o padrão de drenagem dendrítico.....	122
6.49 - Recorte (b) da Figura 6.50 mostrando detalhes da rede de drenagem do rio dos Sinos com alguns arroios de primeira ordem marcados com setas. ....	123
6.50 - Mapa de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerado a partir de dados <i>SRTM</i> .....	124
6.51 - Imagem sombreada a 135° de azimute, gerada a partir do recorte do mosaico <i>SRTM</i> integrada com a drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. ....	126
6.52 - Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerados a partir de dados <i>SRTM</i> combinado com a mancha de inundação obtida por meio de imagens <i>CCD/CBERS 2B</i> . ....	128
6.53 - Localização das nove secções transversais onde foram realizadas as medidas da largura da lâmina de água, por meio da imagem <i>CCD/CBERS</i> (bandas 3, 4, 2), de 10 de maio de 2008.....	129
6.54 - Recorte de imagem <i>CCD/CBERS 2B</i> , banda 4, do dia 10 de maio de 2008, onde é salientada a planície fluvial (em preto) e a ombreira (seta vermelha) do rio dos Sinos próxima as cidade de Parobé, Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo.....	131
6.55- Imagens <i>CCD/CBERS 2B</i> antes (a) e durante (b) o evento de inundação, na altura dos municípios de Campo Bom e Novo Hamburgo, mostrado a mancha de inundação, o limite da área urbana e o dique. ....	132
6.56 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerado a partir de dados <i>SRTM</i> . ....	133
6.57 - Classificação do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos a partir da imagem <i>TM/LANDSAT 5</i> . ....	136
6.58- Mosaico de imagem <i>CCD/CBERS 2B</i> , Banda 3, do dia 19 de março de 2006, onde a área urbana está salientada (em tons de cinza claro) e com a mancha de inundação sobreposta (em azul escuro). ....	140
6.59- Recorte da imagem <i>CCD/CBERS 2B</i> , Banda 3, do dia 19 de março de 2006, onde está salientada a área urbana com a mancha de inundação sobreposta. ....	141
6.60 - Casas de Novo Hamburgo como consequência da inundação do rio dos Sinos provocada pelo ciclone extratropical em maio de 2008. ....	142

6.61- Pessoas sendo resgatadas pela Defesa Civil de Novo Hamburgo durante o evento de inundação provocado pelo ciclone extratropical de maio de 2008.....	142
6.62 - Esquema com a combinação da imagem de relevo, áreas urbanas e mancha de inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. ....	143
6.63 - Em vermelho diques de proteção contra cheias, em azul o curso do rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo.....	144
6.64 - Imagem TM/LANDSAT 5, bandas 2,3 e 5, com localização dos diques de proteção contra cheias, na cidade de São Leopoldo (setas azuis) e Novo Hamburgo (seta amarela). ....	145
6.65 - Modelo de Elevação do Terreno gerado a partir de cartas topográficas da Divisão do Serviço Geográfico do Exército. Escala 1:50.000, referente a região das cidades Campo Bom, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Esteio e Canoas. .	146
6.66 - Dique separando a rodoviária de Leopoldo à esquerda e o rio dos Sinos à direita. a) Comparação dos dias 08 de maio (cota do rio com 5,55 m); e b) 22 de maio (cota do rio com 0,80 m), coordenadas geográficas: 29°45'35,42"S e 51°08'53,61"O, Datum: WGS84. ....	147
6.67 - Dique de proteção contra cheias resguardando a cidade de São Leopoldo (à leste) contra a inundação do rio dos Sinos, provocada pela passagem do ciclone extratropical. ....	148
6.68 - Dique de proteção contra cheias resguardando a cidade de São Leopoldo (à leste) contra a inundação do rio dos Sinos, provocada pela passagem do ciclone extratropical. ....	148
6.69- Recorte da imagem <i>MODIS/TERRA</i> (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, do estado de Santa Catarina com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), com destaque para Turvo e Ermo, os mais atingidos. ....	151
6.70 - Recorte da imagem <i>MODIS/TERRA</i> (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, do estado de Rio Grande do Sul, com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), com ênfase para Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo.....	152
6.71 - Inundação no bairro Cristal, em Porto Alegre, RS.....	153
6.72 - Mapa esquemático dos municípios da bacia hidrográfica do rio dos Sinos afetados (em amarelo) e que decretaram situação de emergência (em vermelho), superpostos à mancha de inundação (em azul) e a área urbana (em verde).....	154
6.73- Os mais de 170 mm de chuva que caíram até a tarde de domingo causaram o fechamento da BR-101. O rio Três Forquilhas, em Torres, transbordou e avançou sobre a rodovia. ....	157
6.74- Área inundada no município de Taquara, RS. ....	158
6.75- Alagamento no município de Santa Antônio da Patrulha e Osório, como consequência das chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical. ....	158
6.76- Alagamento na cidade de Osório, como consequência das chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical. Os alagamentos ocorreram nos bairros centro, Porto, Vila Popular e Laranjeiras. Na área central, perto da Prefeitura, Câmara de Vereadores, Fórum e Rodoviária a água tomou grande extensão das vias, tornando-as praticamente intransitáveis.....	159

6.77- Alagamento e destruição no bairro Olaria Barrinha, no município de Campo Bom, no vale do rio dos Sinos.....	159
6.78- Casa totalmente destruída em Ermo, SC.....	161

## LISTA DE TABELAS

6.1 - Dados de índices pluviométricos para o município de Osório,.....	87
6.2 - Dados de índices pluviométricos para o município de.....	88
6.3 - Dados de precipitação pluviométrica de Três Coroas e Igrejinha.....	89
6.4 - Dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Nova Hartz e Araricá.....	90
6.5 - Dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Saporanga .....	91
6.6- Dados de precipitação pluviométrica de Ivoti e Estância Velha .....	91
6.7- Dados de precipitação pluviométrica de Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio .....	92
6.8 - Data e horário do decreto de emergência dos municípios do Rio Grande do Sul.....	101
6.9 - Cálculo da extensão lâmina de água para os períodos pré e pós-ciclone para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul .....	113
6.10 - Caracterização dos aspectos texturais da imagem sombreada, a partir do <i>SRTM</i> ....	118
6.11 - Medidas transversais da lâmina d'água de inundação na planície fluvial do rio dos Sinos .....	129
6.12 - Área das classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos	135
6.13- Coeficientes de escoamento determinados em função do tipo do solo, declividade e cobertura vegetal. ....	138
6.14- População afetada - Rio Grande do Sul .....	155
6.15- Classificação dos prejuízos nos municípios do Rio Grande do Sul .....	156
6.16- Classificação dos prejuízos nos municípios de Santa Catarina.....	160

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO.....	16
2.1 Objetivos específicos.....	16
3. ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.1 Bacia hidrográfica do rio dos Sinos.....	18
4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	30
4.1 Dados meteorológicos.....	30
4.2 Imagens de satélite.....	32
4.2.1 Imagens do satélite <i>GOES 10</i> .....	32
4.2.2 Imagens do sensor <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)</i> .....	32
4.2.3 Imagens do sensor CCD do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres- <i>CBERS 2B</i> .....	34
4.2.4 Imagens do sensor <i>TM</i> do satélite <i>LANDSAT 5</i> .....	35
4.2.5 Imagens do sensor <i>Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)</i> .....	36
4.3 Dados de campo.....	38
4.4 Equipamentos.....	39
4.5 Sistemas de processamento.....	39
4.6 Mapas e cartas.....	40
5. METODOLOGIA.....	41
5.1 Análise dos dados meteorológicos.....	41
5.1.1 Análise das cartas sinóticas e imagens do satélite <i>GOES 10</i> .....	41
5.1.2 Mapas de vento e precipitação.....	41
5.1.3 Gráficos de intensidade do vento e precipitação horária e acumulada.....	42
5.1.4 Mapas de precipitação acumulada.....	42
5.1.5 Mapas de isoietas.....	42
5.2 Coleta e análise dos dados de campo.....	43
5.2.1 Dados limnimétricos.....	43
5.2.2 Elaboração do hietograma e hidrograma.....	45
5.3 Processamento e análise dos dados <i>MODIS/TERRA, CCD/CBERS 2B e TM/LANDSA 5</i> .....	46
5.3.1 Imagens <i>MODIS</i> .....	46
5.3.2 Imagens <i>CCD/CBERS 2B</i> .....	47
5.3.3 Imagens <i>TM/LANDSAT 5</i> .....	50
5.4 Processamento das imagens <i>SRTM</i> .....	52
5.4. Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.....	54
5.4.1 Mapa hipsométrico.....	55
5.4.2 Mapa de declividade.....	58
5.5 Análise dos relatórios de Avaliação de Danos - AVADAN.....	60
6. RESULTADOS.....	61
6.1 Análise do desenvolvimento do ciclone extratropical ocorrido na região Sul do Brasil - 2 a 5 de maio de 2008.....	61
6.1.1 Carta sinótica.....	61
6.1.2 Imagens do satélite <i>GOES 10</i> .....	67
6.1.3 Dados de reanálise do <i>NCEP/NCAR</i> .....	72

6.1.4 Dados do METAR.....	76
6.1.5 Mapas de precipitação acumulada.....	78
6.1.6 Mapas de precipitação acumulada utilizando o hidroestimador.....	82
6.1.7 Gráficos de precipitação horária e acumulada.....	85
6.1.8 Análise dos dados pluviométricos.....	86
6.1.9 Mapas de isoietas.....	93
6.2 Análise das imagens dos satélites <i>MODIS/TERRA, TM/LANDSAT 5, CCD/CBERS 2B</i> e dados <i>SRTM</i> .....	107
6.2.1 Inundações em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.....	108
Estados.....	113
Santa Catarina.....	113
6.2.2 Inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.....	114
6.3 Avaliação dos danos humanos e físico-ambientais.....	149
6.3.1 Santa Catarina.....	150
6.3.2 Rio Grande do Sul.....	152
6.4 Danos físicos-ambientais.....	155
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	162
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

## 1. INTRODUÇÃO

O termo ciclone refere-se a uma distribuição de pressão atmosférica na qual há uma baixa pressão central em relação às áreas circundantes. Os ciclones geralmente estão associados a chuva e nebulosidade, devido a convergência do ar ocasionada pelas áreas de baixa pressão. A circulação em torno do centro de um ciclone se dá no sentido horário no Hemisfério Sul e sentido anti-horário no Hemisfério Norte.

Ciclones formados em regiões de latitudes médias e altas (entre 30° e 60°) são conhecidos como extratropicais. Geralmente eles possuem caráter migratório propagando-se até baixas latitudes, associados comumente às frentes frias e ondas baroclínicas (na instabilidade baroclínica, que é o mecanismo de sustentação dessas ondas a densidade depende da temperatura e pressão) em altos níveis da troposfera.

Os ciclones extratropicais ocasionam mudanças no tempo em diversas regiões, produzindo cobertura de nuvens e chuvas leves ou até mesmo fortes ventanias e temporais, e em geral têm um diâmetro de 1.500 a 5.000 km.

O alerta meteorológico emitido pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, no dia 30 de abril de 2008, informava sobre a possibilidade de formação de um ciclone extratropical na noite de sexta-feira (02/05/2008) a domingo (04/05/2008), o qual afetaria o litoral sul de Santa Catarina e o leste e nordeste do Rio Grande do Sul. A previsão era de ventos superiores a 100 km/h, elevados índices de precipitações acumuladas, descargas elétricas e mar bastante agitado, com ondas de 4 a 5 m. Este é um fenômeno freqüente nesta região, mas devido a um bloqueio atmosférico, que impediu seu deslocamento, este ciclone permaneceu próximo a costa causando muitos prejuízos.

Em função disto a equipe do Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos (GEODESASTRES-SUL) do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passou a monitorar as imagens de satélite, de observação da Terra e meteorológicas, prevendo a

possibilidade de fazer uma análise e diagnóstico do evento e conseqüentes danos, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As geotecnologias representadas pelo tripé imagens de satélite (de observação da Terra e meteorológicas), Sistemas de Informações Espaciais (SIE) e Sistemas de Posicionamento Global (GPS), aliadas aos dados coletados em campo, são ferramentas poderosas para análise de eventos de caráter dinâmico como o ciclone extratropical, ocorrido no Sul do Brasil, bem como para a avaliação de seus conseqüentes danos.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é analisar a gênese, a evolução e avaliar os conseqüentes danos do evento do ciclone extratropical de maio de 2008, por meio do uso de geotecnologias, como suporte para medidas preventivas e mitigadoras na região afetada.

### **2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- caracterizar, por meio de dados meteorológicos, a gênese deste fenômeno ocorrido na região Sul do Brasil;
- criar um banco de dados para suporte a análise e avaliação dos danos causados pelo ciclone extratropical;
- avaliar o potencial das imagens *MODIS*, *LANDSAT*, *CBERS* e *SRTM* para estudos de eventos de inundação causados por ciclones extratropical e de seus conseqüentes danos; e
- integrar imagens de satélite (de observação da Terra e meteorológicas), Sistemas de Informações Espaciais, dados de GPS e dados de campo para avaliação de danos em eventos de inundação causados por ciclone extratropical.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a porção sul do litoral do estado de Santa Catarina e a porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul, onde 33 municípios decretaram situação de emergência em função dos prejuízos ocasionados pelo ciclone extratropical, principalmente nos dias 2 e 3 de maio de 2008 (Figura 3.1).

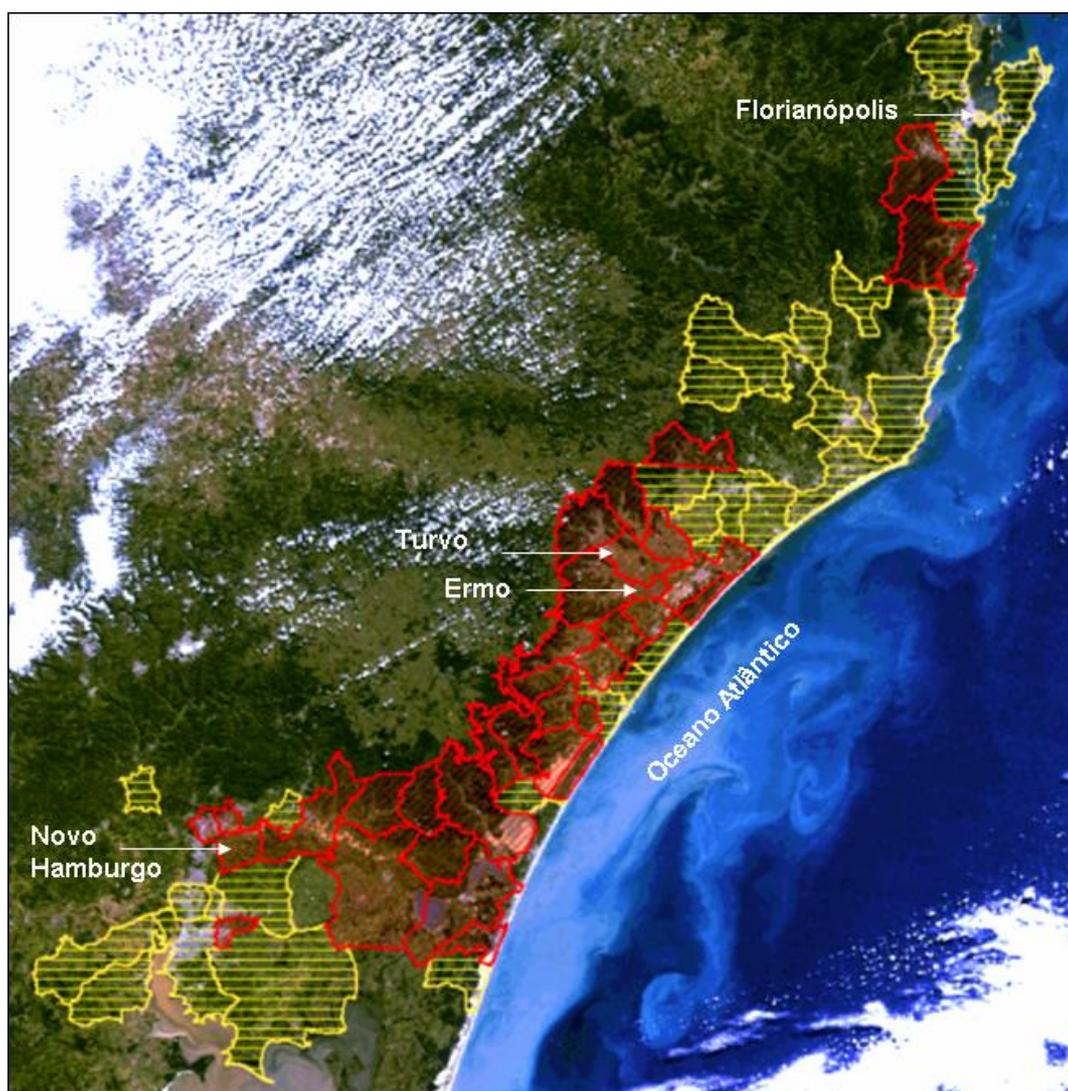


Figura 3.1 - Imagem do sensor *MODIS* do satélite *TERRA* (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nesta figura estão salientados também os municípios de Ermo e Turvo, em SC e Novo Hamburgo, no RS, áreas mais afetadas pelas inundações do evento analisado.

Posteriormente, devido ao fato do rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul, ter provocado uma grande inundação em vários municípios de sua bacia hidrográfica – Novo Hamburgo, São Leopoldo, Carará, Osório, Santo Antônio da Patrulha e Campo Bom, foi dada maior ênfase a esta área neste estudo (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, onde aparece em destaque o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

### **3.1 Bacia hidrográfica do rio dos Sinos**

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos fica no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 29° e 30° de latitude Sul, tendo uma área total de 3.627,50 km<sup>2</sup> de acordo com o cálculo feito por meio da imagem *CCD/CBERS*. É delimitada a leste pela Serra Geral, a oeste e ao norte, pela bacia do rio Caí, e ao sul pela bacia do rio Gravataí. Ela corresponde a 4,5% da bacia hidrográfica do lago Guaíba e 1,5% da área total do Rio Grande do Sul (Figura 3.3).

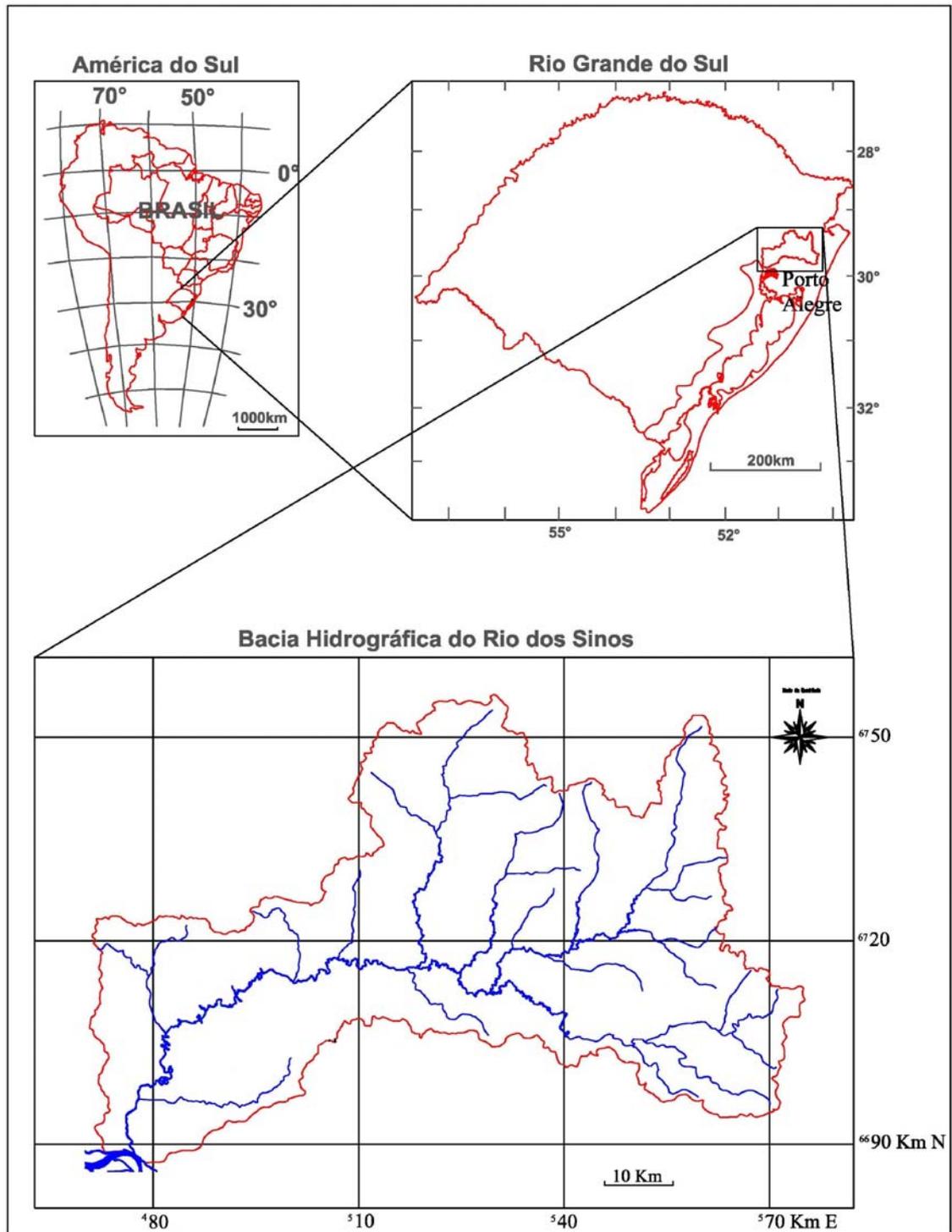


Figura 3.3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul e América do Sul.

O principal curso d'água desta bacia é o rio dos Sinos o qual percorre uma extensão aproximada de 190 km. A precipitação pluviométrica anual da bacia é de 1.350 mm. Suas

nascentes estão localizadas na Serra Geral, no município de Caraá, a cerca de 600 m de altitude, correndo no sentido leste-oeste até a cidade de São Leopoldo e na área metropolitana de Porto Alegre, muda sua direção para norte-sul, desembocando, posteriormente, no delta do rio Jacuí entre as ilhas Grande dos Marinheiros e das Garças, a uma altitude de 12 m.

No mapa hipsométrico apresentado na Figura 3.4, pode se observar que as altas altitudes da bacia hidrográfica do rio dos Sinos ocupam basicamente as bordas da bacia em sua porção nordeste onde estão as nascentes dos rios, os canais de primeira ordem e o divisor de águas. A maior parte do curso do rio dos Sinos está localizada entre as altitudes de 50 a 12 m.

Os principais formadores do rio dos Sinos são os rios Rolante, da Ilha e Paranhana, além de diversos arroios. O rio Paranhana recebe águas transpostas da bacia do Caí, das barragens do Salto, Divisa e Blang. A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está dividida em três sub-trechos distintos:

- O trecho superior - no mapa hipsométrico aparece em cor vermelho à laranja escuro, com cerca de 25 km, se desenvolve entre a cota 600-1.000 m até a cota 60 m, com alta declividade;
- O trecho médio - no mapa hipsométrico aparece em cor laranja claro à amarelo, com declividade média e extensão de aproximadamente 125 km, recebe o rio Paranhana, que drena uma área de 580 km<sup>2</sup>; o rio Rolante, o qual drena uma área de 500 km<sup>2</sup>, e o rio da Ilha com uma área drenada de 330 km<sup>2</sup>, possuindo alto índice pluviométrico. Estes três rios são os afluentes mais importantes na definição do regime hídrico do rio dos Sinos; e
- O trecho inferior - no mapa hipsométrico em cor verde claro à azul escuro é caracterizado por declividades suaves a quase nulas, próximas a cidade de Campo Bom, ocorrendo alguns trechos de contra-declives, característica de rio de planície, com formação de meandros e zona de sedimentação.

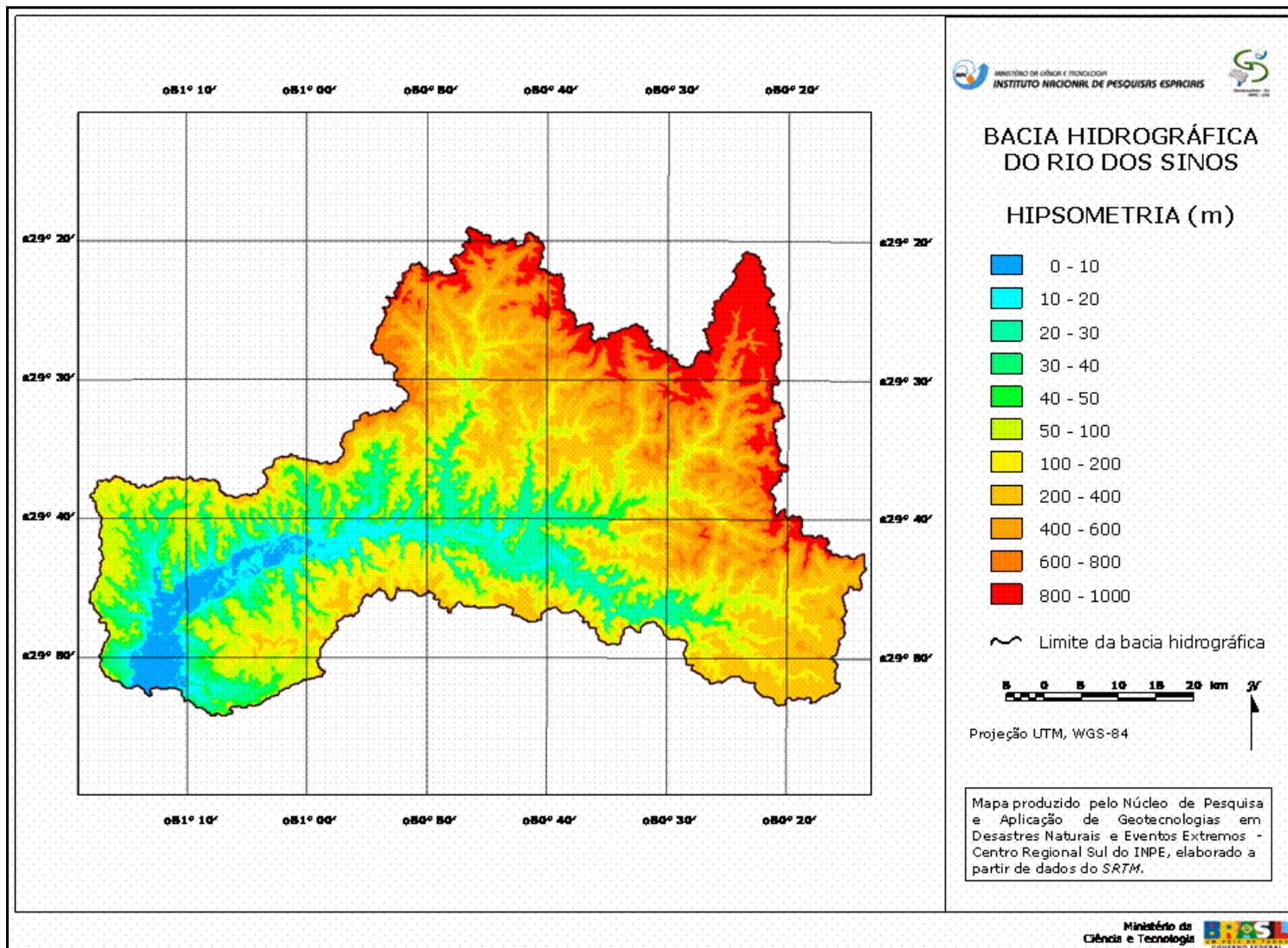


Figura 3.4 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos gerado a partir do mosaico *SRTM*.

Os trechos superior e médio do rio dos Sinos têm escoamento regular por jusante e o trecho inferior sofre influência do delta do rio Jacuí, podendo existir represamento e até mesmo refluxo.

A bacia é habitada por 1,2 milhões de pessoas, representando 17% da população total do estado, concentrada em apenas 3,5% do seu território; 90,6% da população da bacia dos Sinos ocupam as áreas urbanas e 9,4% estão nas áreas rurais (MARCA D'ÁGUA, 2008; COMITESINOS, 2008; IBGE, 2008).

A cobertura vegetal da bacia está muito reduzida e os remanescentes localizam-se, predominantemente, nas nascentes do rio dos Sinos e seus formadores. A porção superior do rio dos Sinos (de Caraá até Rolante) apresenta vegetação ciliar e pequenos banhados. São áreas com baixa densidade populacional, pequenas propriedades rurais, cuja agricultura é diversificada (arroz, cana de açúcar e hortaliças, etc.). A pecuária também é pouco desenvolvida, mas é possível encontrar pequenas criações de gado leiteiro, suínos e aves.

Na porção média do rio dos Sinos, entre as cidades de Taquara e Sapiranga, a densidade populacional aumenta, mas estas não estão localizadas próximas às margens. Esta porção do rio não apresenta uma característica tão rural como a porção superior. O principal afluente do rio dos Sinos, na porção média é o rio Paranhana, que drena municípios como Taquara, Igrejinha, Três Coroas e parte de Gramado e Canela.

O trecho inferior do rio dos Sinos, entre as cidades de Campo Bom até a foz no delta do rio Jacuí apresenta grande concentração populacional e industrial, e seus principais arroios formadores drenam grandes centros urbanos, como a cidade de Campo Bom (arroio Schmidt), Novo Hamburgo (arroios Pampa e Luiz Rau), São Leopoldo (arroio Peão e canal João Corrêa), Estância Velha e Portão (arroio Portão e Estância Velha), Sapucaia do Sul (arroio José Joaquim) e Esteio e a zona norte de Canoas (arroio Sapucaia), (FEPAM, 2008)

De acordo com o IBGE (2008a) e o Comitesinos (2008) a bacia hidrográfica do rio dos Sinos inclui total ou parcialmente 32 municípios. A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) inclui 21 dos 32 municípios. Os municípios estão assim divididos:

- curso superior: Caraá, Canela, Gramado, Osório, Riozinho, Santo Antônio da Patrulha e São Francisco de Paula;
- curso médio: Araricá, Glorinha, Igrejinha, Nova Hartz, Parobé, Rolante, Santa Maria do Herval, Sapiranga, Taquara e Três Coroas; e
- curso inferior: Cachoeirinha, Canoas, Capela de Santana, Campo Bom, Dois Irmãos, Estância Velha, Esteio, Gravataí, Ivoti, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Portão, São Sebastião do Caí, Sapucaia do Sul e São Leopoldo (Figura 3.5).

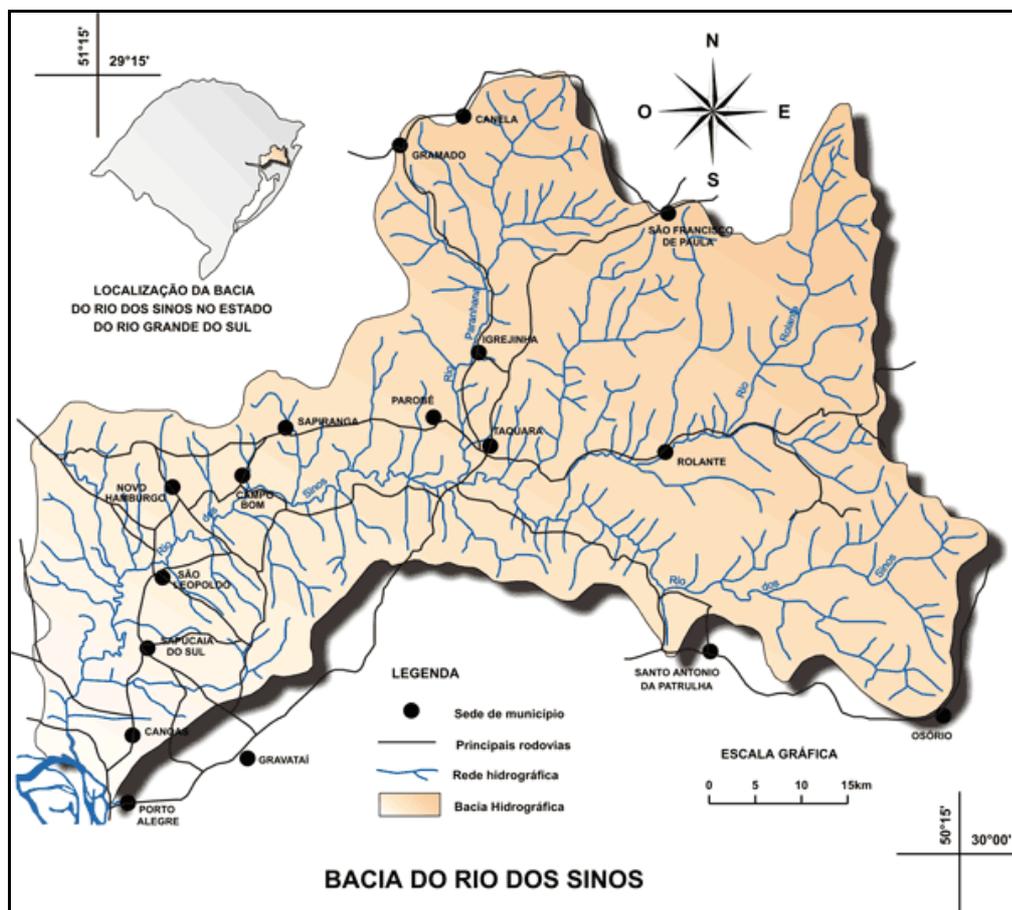


Figura 3.5 - Mapa da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com a localização de parte dos municípios que compõem esta bacia.

Fonte: <http://www.marcadagua.org.br/imagens/sinosg.gif>.

Na parte superior da bacia são desenvolvidas atividades agrícolas em pequenas propriedades. Em direção à jusante, a densidade populacional e a urbanização aumentam, assim como a concentração industrial destacando-se o setor coureiro-calçadista. Apenas 9,4% da população residente na bacia hidrográfica do rio dos Sinos é considerada rural e a densidade populacional chega a atingir os 2.468 hab/km<sup>2</sup>.

De acordo com as cartas de Geomorfologia do IBGE (2003a), folhas Caxias do Sul e Gravataí da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, está sobre uma bacia com coberturas sedimentares onde curso do rio dos Sinos corre sobre depósitos sedimentares.

O alto curso da bacia está sobre coberturas sedimentares pertencentes a região geomorfológica Planalto das Araucárias e a unidade geomorfológica Patamares da Serra Geral. Os relevos encontrados nestas áreas são modelados de dissecação fluvial, com formas de relevo de topos convexos e rampas inclinadas, esculpidas em rochas ígneas vulcânicas, apresentando eventual controle estrutural, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagens de primeira ordem apresentando com densidade de drenagem média, aprofundamento médio das incisões e com forte predisposição a erosão. Isto ocorre principalmente na região do município de Caraá.

Já na região de Taquara, Igrejinha e Três Coroas estas formas de modelado de dissecação apresentam relevo de topos estreitos, alongado com rampas suavemente inclinadas. A densidade de drenagem média, com médio aprofundamento das incisões e forte predisposição à erosão. Nas formas de topos tabulares a densidade de drenagem é média, com fraco aprofundamento das incisões e forte predisposição à erosão.

No médio curso da bacia hidrográfica do rio dos Sinos são encontradas coberturas sedimentares pertencentes à Região Geomorfológica da Depressão Central Gaúcha, correspondente a Depressão do Rio Jacuí. Isto vai desde a altura de Santo Antônio da Patrulha, passando por Parobé, Araricá, Sapiranga e depois seguindo para o baixo curso da bacia englobando áreas dos municípios de Estância Velha, Campo Bom, Portão, Novo, Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Canoas.

Na margem direita do rio dos Sinos predominam modelados de dissecação com formas de relevo de topos convexos, em geral esculpidos em rochas ígneas extrusivas e eventualmente também sedimentos, algumas vezes denotando controle estrutural. A densidade de drenagem é média, o aprofundamento das incisões muito fraco e com forte predisposição a erosão. Já na margem esquerda, predominam também relevo com formas de topos convexos, porém com densidade de drenagem fina, com aprofundamento das incisões muito fraco e média predisposição a erosão.

No curso inferior observa-se entre Sapucaia do Sul e Canoas a presença de terraços lacustres (em formas de meia lua); depósitos sedimentares pertencente a Região Geomorfológica da Planície Costeira Interna com a Unidade Geomorfológica da Planície Lagunar; e acumulação lacustre de forma plana, suavemente inclinada apresentando ruptura de declive em relação ao rio dos Sinos situadas em nível inferior. Trata-se de feições entalhadas devido às variações de nível da lâmina d'água provocadas por mudanças nas condições de escoamento. Predisposição a erosão variando de fraco a médio.

Os rios dos Sinos, Rolante, Paranhana, Arroio Grande (da Ilha) fluem desde Caraá até a divisa de São Leopoldo e Sapucaia do Sul sobre depósitos sedimentares pertencentes à Região Geomorfológica Planície Costeira Interna, na Unidade Geomorfológica da Planície Litorânea Interna. Os relevos variam desde áreas de acumulação coluvial ou de enxurrada, terraços fluviais de formas planas levemente inclinadas até planícies fluviais sujeitas a inundações periódicas, correspondendo as várzeas atuais.

Com relação aos solos da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, de acordo com as cartas de Solos do IBGE (2003b), na área de cabeceira da bacia, predomina Terra Roxa estruturada distrófica e álica A moderado (TRe6), textura muito argilosa e média argilosa, sobre relevos ondulados e fortemente ondulados, e Terra Roxa Estruturada Distrófica e Álica A moderado (TRe7), textura muito argilosa fase pedregosa. Estes tipos solos são encontrados também ao longo da planície fluvial entre as cidades de Santo Antônio da Patrulha e Sapiranga, na margem esquerda do rio.

No restante da bacia predomina solos Podzólico Vermelho-Amarelo álico (PVA7, PVA8 e PVA9), com textura média/argilosa relevo suavemente ondulado e ondulado, e textura média/argilosa com relevo ondulado e fortemente ondulado. Já nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVD1), têm-se textura média/argilosa e média/argilosa cascalhosa e relevo suavemente ondulado.

Na planície fluvial desde a cidade Caraá até próximo de Sapiranga, têm-se Cambissolos eutróficos Ta gleico A chernozêmico com textura argilosa e relevo plano a suavemente ondulado e Gleissolo eutrófico Ta A moderado, textura argilosa relevo plano.

Da cidade de Sapiranga até Porto Alegre têm-se predomínio de Planossolo eutrófico (PLE2) Ta A moderado, com textura arenosa/média e média/argilosa e Gleissolo eutrófico Ta A moderado com textura média a argilosa e relevo plano, segundo classificação da Embrapa (1999).

A Figura 3.6 apresenta o mapa de Geologia da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Neste mapa são apresentadas oito unidades geológicas assim distribuídas em três compartimentos da bacia:

- limite superior da bacia e área de cabeceiras: são rochas pertencentes à Formação Serra Geral, com efusivas ácidas de coloração cinza avermelhada do fácies Caxias, tendo na base rochas básicas de cor cinza escuro pertencentes ao fácies Gramado, caracterizando um ambiente vulcânico. Trata-se de rochas ígneas vulcânicas, impermeáveis com sistema de porosidade secundária, o que facilita o rápido escoamento superficial da águas e com boa resistência a erosão, predominam incisões verticais;
- limite médio ao inferior da bacia: são rochas da Formação Botucatu, com arenitos eólicos finos a médios, róseo avermelhados, bem selecionados, bimodais, com estratificações cruzadas tangenciais e plano-paralelas de médio a grande porte, caracterizando um ambiente desértico, com grandes dunas. Trata-se de rocha sedimentar clástica ou detrítica ou mecânica permeáveis, que

facilitam o processo de infiltração, através da porosidade primária. Em alguns locais, logo abaixo dos derrames vulcânicos, por metamorfismo de contato, transforma-se em rocha parametamórfica quartzito adquirindo características impermeáveis. Outra particularidade, que faz com que a permeabilidade varie é o grau de cimentação inter-poros. Nas encostas ocorrem os depósitos colúvio-aluvionares constituídos por conglomerados, diamictitos, arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados. Nos locais mais elevados, onde se situam as texturas mais grosseiras existe uma grande permeabilidade e o meio funciona como um aquífero livre. Estes depósitos, nos locais mais baixos ocasionam a impermeabilização auxiliando no escoamento superficial. Os depósitos aluvionares, nas porções mais próximas da foz ocasionam a deposição de material de textura mais fina responsável pela impermeabilização da recarga de aquíferos livres. Estas rochas são facilmente erodidas, principalmente quando ultrapassa a zona de metamorfismo de contato e nos locais que apresenta menor quantidade de cimento.

- limite inferior da bacia: são rochas das formações Pirambóia e Rio do Rasto. A Formação Pirambóia está representada por arenitos finos a médios, de origem fluvial de canal e planície de inundação. São de coloração avermelhada, com intercalações de folhelhos, arenitos argilosos e, mais restritamente, por arenitos conglomeráticos. Trata-se de rocha sedimentar clástica e o seu grau de porosidade é variável em função do aspecto textural, advindo de cada um dos paleo-ambientes. Como apresenta siltes e argilas em sua matriz de areias finas, mais o material cimentante e os sedimentos aluvionares finos ocasiona a impermeabilização, facilitando escoamento superficial. A Formação Rio do Rasto está representada por arenitos finos, bem selecionados, lenticulares, siltitos e argilitos de colorações esverdeadas, bordos ou avermelhados, com laminações paralelas e cruzadas acanaladas. Trata-se de rocha sedimentar clástica, de ambiente paleo-lacustre alimentado por pequenos cursos d'água. Sobre estes ambientes, os depósitos palustres de turfeiras, onde se tem uma mistura de matéria vegetal heterogênea com areias, siltes e argilas plásticas e

intercalações localizadas de diatomitos atribuem impermeabilidade ao meio. São locais de banhados, que funcionam como um regulador lento e gradual da descarga das drenagens permanentes que alimentam o canal do rio dos Sinos, em condições de baixa pluviosidade na bacia. A Formação Pirambóia é mais erodível e do rio do Rasto é menos erodível, sendo mais impermeável.

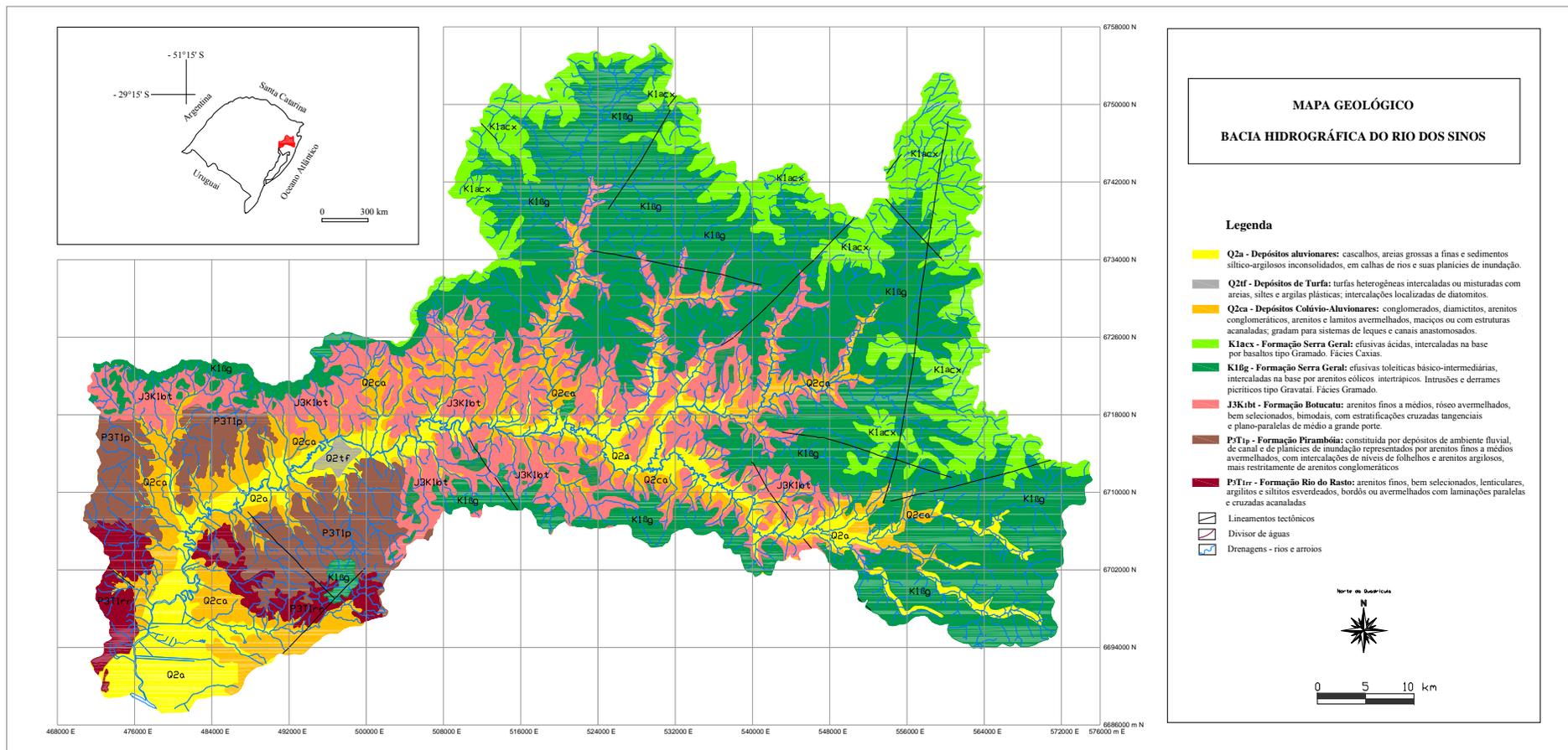


Figura 3.6 - Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.  
 Fonte: Hansen (2007), adaptado de Caldaso et al. (2000).

## 4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O GEODESASTRES-SUL tem por missão desenvolver metodologias e estudos sobre desastres naturais e eventos extremos, com o auxílio de geotecnologias. Para que as metodologias desenvolvidas em seus estudos possam ser acessíveis e utilizadas por outras instituições, mesmo aquelas que não possuam grandes orçamentos, procura-se fazer uso de dados e programas de computador gratuitos ou acessíveis na internet, o máximo possível, sem comprometer a qualidade dos resultados. Esta foi a filosofia adotada nesta pesquisa. A seguir são listados os materiais e equipamentos utilizados na realização deste estudo:

### 4.1 Dados meteorológicos

Para este estudo foram coletados os seguintes dados meteorológicos:

- cartas sinóticas provenientes do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dos dias 30 de abril; 01, 02, 03 e 04 de maio de 2008, horário GMT para monitorar e analisar o desenvolvimento do ciclone extratropical nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, disponível em <http://tempo1.cptec.inpe.br/>;
- dados de precipitação, direção, intensidade do vento e média diária, provenientes de reanálise atmosférica do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)* disponibilizados pela *National Oceanic Atmospheric Administration Program Links NOAA Research Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division (NOAA/OAR/ESRL PSD)* do período de 01 a 05 de maio de 2008, para monitorar e analisar o comportamento e magnitude dos ventos e chuvas causados pelo ciclone extratropical nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, disponível em <http://www.cdc.noaa.gov/>;

- dados de precipitação acumulada estimados pelo hidroestimador obtidos no CPTEC/INPE, para o período de 01 a 05 de maio de 2008, para monitorar o comportamento e magnitude das chuvas ocorridas nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, provocadas pelo ciclone extratropical, disponível em [http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/);
- dados de precipitação, direção e intensidade do vento coletados nos aeroportos de Porto Alegre e Florianópolis, provenientes do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), e da REDEMET (Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica, (<http://www.redemet.aer.mil.br/>), para o período de 02 a 05 de maio de 2008, para monitorar o comportamento e magnitude das chuvas ocorridas nas cidades de Florianópolis e Santa Catarina, por ocasião do ciclone extratropical, disponível em <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>;
- dados de índices pluviométricos, da rede da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, obtidos de pluviômetros tipo cunha, com capacidade de 130 mm, com divisões de 2,5 mm, área de captação de 15 cm<sup>2</sup>, com erro em torno de 10%, com obtenção de um dado diário, às 8 horas da manhã, para o período de 02 a 06 de maio de 2008, para a construção de tabelas com dados de precipitação diária nos municípios formadores da bacia hidrográfica do rio dos Sinos e imediações e para a elaboração dos mapas de isoietas, disponível em [http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro\\_consulta.asp](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta.asp);
- dados referentes à média diária de precipitação de 11 municípios dos postos pluviométricos da bacia contribuinte a cidade de São Leopoldo, a saber: São Leopoldo, Novo Hamburgo, Estância Velha, Sapiranga, Araricá, Nova Hartz, Igrejinha, Três Coroas, Gramado, São Francisco de Paula e Caraá utilizados na elaboração do hietograma e hidrograma, disponível em [http://www2.defesacivil.rs.gov.br/ estatistica/pluviometro\\_consulta.asp](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta.asp);

## 4.2 Imagens de satélite

Logo após a ocorrência do ciclone extratropical foi feito um levantamento das imagens meteorológicas e de Observação da Terra disponíveis para o período pré e pós-evento. Dessa maneira foram selecionadas as seguintes imagens:

### 4.2.1 Imagens do satélite *GOES 10*

O satélite *GOES 10* possui cinco canais espectrais sendo um Visível (0,55-0,75  $\mu\text{m}$ ), três canais Infravermelhos (3,8-4,0  $\mu\text{m}$ , 10,2-11,2  $\mu\text{m}$ , 11,5-12,5  $\mu\text{m}$ ) e o canal de Vapor de Água (6,5-7,0  $\mu\text{m}$ ). No canal Visível, a resolução é 1 km. Nos canais Infravermelhos, a resolução é de 4 km. No canal Vapor d'água, a resolução é de 8 km. Este satélite é controlado pela *NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)*, dos Estados Unidos e são geradas as imagens a cada 15 minutos para toda a América do Sul e estão disponíveis para *download* na *webpage* do CPTEC/INPE: <http://satelite.cptec.inpe.br/>

Para este estudo foram utilizadas as seguintes imagens *GOES 10*:

- imagens do satélite *GOES 10* dos dias 02 e 03 de maio de 2008, às 00, 06, 12 e 18 GMT para monitoramento e análise da evolução do ciclone extratropical, disponível em [http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_anteriores.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp);

### 4.2.2 Imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*

O sensor *MODIS* é um dos cinco sensores a bordo dos satélites *AQUA* e *TERRA* do Sistema de Observação da Terra *EOS (Earth Observing System)* da *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*.

Este sensor opera com 36 bandas espectrais cobrindo desde a região do visível até o infravermelho do espectro eletromagnético, e gera imagens com diferentes resoluções espaciais: 250 m para as bandas 1 e 2, 500 m para as bandas 3 a 7 e 1.000 m para as outras

29 bandas. Cada cena gerada por este sensor cobre uma faixa de 2330 km de largura (NASA, 2008).

Entre as principais vantagens deste sensor para estudos de desastres naturais estão:

- ampla cobertura espectral - as bandas deste sensor abarcam toda faixa ótica do espectro eletromagnético, proporcionando maior informação sobre os alvos analisados;
- alta resolução temporal - permite acompanhar diariamente eventos, quase em tempo real;
- pelo fato deste sensor estar a bordo de dois satélites, é possível obter duas imagens ao dia, com horários distintos, do mesmo local, ideal para os estudos de eventos dinâmicos;
- média resolução espacial - permite monitorar grandes áreas com poucas imagens (cada cena cobre uma faixa de 2.330 km de largura); e
- gratuidade dos dados - eles estão disponíveis para *download* nos endereços <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> e <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>.

Para este estudo foram utilizadas as seguintes imagens *MODIS*:

- conjunto de bandas FAS\_Brazil5 do *MODIS/TERRA*, *true color*, bandas 1, 4, 3, resolução 250 m, 09 de abril de 2008 (2008100), pré-evento e 06 de maio de 2008 (2008127), pós-evento, para monitoramento dos episódios de inundação nos estados de Santa Catarina Rio Grande do Sul provocados pelo ciclone extratropical, disponível em [http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=FAS\\_Brazil5](http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=FAS_Brazil5);
- conjunto de bandas FAS\_Brazil5 do *MODIS/TERRA*, bandas 7, 2, 1, resolução 250 m, 9 de abril de 2008 (2008100), pré-evento e 6 de maio de 2008, pós-evento, para monitoramento dos episódios de inundação nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul provocados pelo ciclone extratropical, (2008127), disponível em [http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=FAS\\_Brazil5](http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=FAS_Brazil5).

#### **4.2.3 Imagens do sensor CCD do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres- *CBERS 2B***

Os satélites *CBERS* foram desenvolvidos dentro de uma parceria entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. O lançamento do *CBERS 2B* ocorreu no dia 19 de setembro de 2007, a partir da base de lançamento de Taiyuan, na China. Ele foi construído para dar continuidade ao programa de imageamento do país, às aplicações espaciais, e não interromper os projetos de milhares de instituições e usuários do Programa *CBERS*.

O *CBERS 2B* carrega a bordo três sensores ópticos: a Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (*WFI*); Câmera Pancromática de Alta Resolução (*HRC*) e a Câmera Imageadora de Alta Resolução (*CCD*), cujos dados foram utilizados nesta pesquisa, opera desde o visível até o infravermelho próximo e possui uma banda pancromática, tem uma resolução espacial de 20 m e imageia uma faixa de 113 km de largura, e possui resolução temporal de 26 dias.

Entre as principais vantagens do sensor *CCD* para estudos de desastres naturais são:

- cobertura espectral - as bandas deste sensor abarcam toda a faixa óptica do espectro eletromagnético, proporcionando maior informação sobre os alvos analisados, sendo que a banda 4, do infravermelho próximo é bastante adequada para o mapeamento de corpos de água e áreas inundadas;
- resolução temporal - permite a construção de séries históricas dos eventos, uma vez que é possível obter uma nova imagem do mesmo local e com as mesmas características a cada 26 dias;
- resolução espacial - permite monitorar a área onde ocorreu o evento com maior detalhamento que nas imagens *MODIS*, com 250 m, uma vez que têm resolução espacial de 20 m; e

- gratuidade dos dados - eles estão disponível para *download* no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

Para este estudo foram utilizadas as seguintes imagens *CCD/CBERS 2B*:

- imagens *CCD/CBERS 2B*, órbita/ponto 156/133, bandas 1, 2, 3, 4, de 22 de março de 2008, pré-evento e de 13 de maio de 2008, pós-evento, para monitoramento dos episódios de inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>; e
- imagens *CCD/CBERS 2B*, órbita/ponto 157/133, bandas 1, 2, 3, 4, de 19 de março de 2008, pré-evento e de 10 de maio de 2008, pós-evento, para monitoramento dos episódios de inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

#### **4.2.4 Imagens do sensor *TM* do satélite *LANDSAT 5***

O Programa *LANDSAT* é o mais antigo programa de satélite de Observação da Terra do mundo. O primeiro satélite da série foi lançado em 1972, sendo que até o momento já foram lançados sete satélites. Os dados *LANDSAT* utilizados neste estudo são do sensor *Thematic Mapper (TM)* do *LANDSAT 5*, lançado em 03 de janeiro de 1984. Ele carrega a bordo dois sensores o *Multispectral Sensor System (MSS)* e o *Thematic Mapper (TM)*.

Este último sensor opera em sete faixas do espectro eletromagnético, indo do visível ao infravermelho termal. A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m e para a banda 6 (infravermelho termal) é de 120 m.

Entre as principais vantagens deste sensor para estudos de desastres naturais estão:

- cobertura espectral - as bandas deste sensor abarcam toda a faixa óptica do espectro eletromagnético, proporcionando maior informação sobre os alvos analisados, sendo que as bandas 4, 5 e 7 do infravermelho próximo e médio são adequadas para o

mapeamento de corpos de água, áreas inundadas, relevo, geologia e vegetação e as bandas 2 e 3, para uso e cobertura do solo e caracterização de áreas urbanas;

- resolução temporal - permite a construção de séries históricas dos eventos, uma vez que é possível obter uma nova imagem do mesmo local e com as mesmas características a cada 16 dias;
- resolução espacial - permite monitorar a área onde ocorreu o evento com maior detalhamento que nas imagens *MODIS* (250 m), uma vez que têm resolução espacial de 30 m; e
- gratuidade dos dados - eles estão disponível para *download* no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

Para este estudo foram utilizadas as seguintes imagens *TM/LANDSAT 5*:

- imagens *TM/LANDSAT 5*, órbita/ponto 221/080, bandas 3, 4, 5, de 09 de março de 2008, para caracterização do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>;
- imagens *TM/LANDSAT-5*, órbita/ponto 221/081, bandas 3, 4, 5, de 09 de março de 2008, para caracterização do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>;
- mosaico ortorretificado de imagens *ETM/LANDSAT-GeoCover 2000*, do ano de 2000, S-22-25\_2000, resolução 14,25 m, para georreferenciamento das imagens *LANDSAT* e *CBERS*, disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>;

#### **4.2.5 Imagens do sensor *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)***

Os dados da SRTM são resultado de um projeto cooperativo entre a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)*, *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* e *Agenzia Spaziale Italiana (ASI)* com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria. O *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* da NASA, na Califórnia, é o responsável pela pesquisa de qualidade dos dados produzidos, a NGA promove processamentos adicionais para gerar produtos de mapeamento e o *United States Geological Survey (USGS)* provê o arquivamento final e a distribuição dos dados do SRTM (CREPANI e MEDEIROS, 2008).

Estes dados foram adquiridos durante uma missão do *Space Shuttle Endeavour*, no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de 57°, num total 14 Terabytes de dados, dando origem a um modelo digital tri-dimensional da Terra entre as latitudes 60°N e 58°S.

Entre as principais vantagens deste sensor para estudos de desastres naturais estão:

- cobertura espectral - este sensor opera na faixa das microondas, não sofrendo pois, restrições com relação a cobertura de nuvens, como é o caso dos sensores da faixa óptica do espectro eletromagnético. Em eventos de inundação em geral a cobertura de nuvens é um fator restritivo para o uso de imagens de satélites. As imagens de sensores de microondas também são muito úteis para estudos do relevo, geomeorfologia, solos, corpos de água, áreas inundadas e alagadas;
- alta resolução espacial - possui uma resolução espacial de 90 m para todo o globo e 10 m para os Estados Unidos da América; e.
- gratuidade dos dados - eles estão disponível para *download* no endereço [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/).

Para este estudo foram utilizadas as seguintes imagens SRTM:

- Imagens *SRTM*, resolução espacial de 90 m, para caracterização dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul em termos de relevo, rede de drenagem, hipsometria e declividade; e para a delimitação das áreas inundadas provocadas pelo ciclone extratropical, disponível em <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm/index.shtml>.

### 4.3 Dados de campo

Para a realização desta pesquisa foram coletados os seguintes dados de campo:

- relatórios de Avaliação de Danos (AVADAN) fornecidos pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, para a avaliação da vulnerabilidade a desastres naturais dos municípios atingidos pelo ciclone extratropical;
- dados de níveis da água do rio dos Sinos, coletados pela equipe do GEODESASTRES-SUL, na régua limnimétrica junto a ponte 25 de julho, na Av. Duque de Caxias, próximo a Estação Rodoviária da cidade de São Leopoldo (Figura 3.7), nos dias 02, 03, 04, 05 de maio às 13h00min, no dia 06 à 10h50min, no dia 07 de maio às 13h21min, no dia 08 de maio às 13h00min e 16h25min, dia 09 de maio às 13h00min e 15h00min, e no dia 10 às 16h31min, no dia 11 de maio às 15h10min, no dia 12 às 11h20min e no dia 22 de maio às 16h29min, para a elaboração do hidrograma e de montagem fotográfica para o monitoramento do evento de inundação;
- dados de níveis da água do rio dos Sinos, coletados pela SEMAE do município de São Leopoldo, no ponto de captação de água da cidade, no período de 13 a 21 de maio, para complementar os dados do hidrograma;
- fotografias dos locais de inundação no rio dos Sinos, tomadas no entorno da ponte 25 de Julho na Av. Duque de Caxias, na cidade de São Leopoldo, nos mesmos dias de coleta dos níveis da água acima mencionados; e

- pontos georreferenciados dos locais de coleta dos níveis da água, do rio dos Sinos e onde foram obtidas as fotografias acima mencionadas, para a localização dos referidos dados nas imagens de satélite.



Figura 4.1- Fotografia de detalhe da régua limnimétrica instalada no dique da Av Duque de Caxias, junto a Estação Rodoviária de São Leopoldo, RS.

#### **4.4 Equipamentos**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- GPS Garmin III Plus, acoplado com DGPS;
- máquina fotográfica digital; e
- trena.

#### **4.5 Sistemas de processamento**

Os sistemas utilizados para o processamento das imagens digitais e para a geração e cruzamento dos diferentes planos de informação foram:

- SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, versão 4.2., disponível em <http://www.dpi.inpe.br>;

- ENVI - *The Environment for Visualizing Images*, versão 4.1;
- IDL – *Interactive Data Language*, versão 6.1; e
- GRIDZO, *Gridding/Contouring program*, versão 6.0.

#### **4.6 Mapas e cartas**

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes mapas:

- carta de Solos, folhas Caxias do Sul-SH.22-V-D e Gravataí-SH.22-X-C, escala 1:250.000, IBGE, 2003a, disponível em: [http://www.ibge.gov.br/mapas\\_ibge/tem.php](http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem.php); e
- carta de Geomorfologia, folhas Caxias do Sul-SH.22-V-D e Gravataí-SH.22-X-C, escala 1:250.000, IBGE, 2003b, disponível em: [http://www.ibge.gov.br/mapas\\_ibge/tem.php](http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem.php).

## **5. METODOLOGIA**

A seguir são apresentadas a análise dos dados meteorológicos, a coleta e a análise dos dados de campo, o processamento e a análise dos dados *MODIS/TERRA*, *CCD/CBERS 2B* e *TM/LANDSAT 5*, o processamento das imagens *SRTM* e a análise dos relatórios de avaliação de danos - AVADAN.

### **5.1 Análise dos dados meteorológicos**

Para o acompanhamento do ciclone extratropical, que afetou os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul foram utilizados dados meteorológicos nas seguintes etapas do estudo:

#### **5.1.1 Análise das cartas sinóticas e imagens do satélite *GOES 10***

A identificação do sistema, que posteriormente deu origem ao ciclone extratropical, foi feita por meio das cartas sinóticas de pressão a superfície. Estas cartas permitem saber quais sistemas meteorológicos atuam numa grande área e influenciando o tempo nas regiões de interesse. Neste processo também foram utilizadas imagens do satélite *GOES 10*, o qual tem órbita geostacionária e resolução espacial de 1 km, sendo principalmente usado nas áreas de meteorologia e agrometeorologia.

#### **5.1.2 Mapas de vento e precipitação**

Por meio dos dados de reanálise do NCEP/NCAR foram gerados os mapas de precipitação acumulada e média diária direção da intensidade do vento, do dia 01 a 05 de maio de 2008, no *software Grid Analysis and Display System (GrADS)*. Estes dados são uma combinação de dados de modelos, satélites meteorológicos e observações *in situ* e são disponibilizados em tempo quase real, numa grade regular global de resolução de 2,5°x2,5°. Estas características facilitam o estudo de desastres naturais, especialmente no Brasil, devido à grande extensão territorial e a esparsa rede de estações meteorológicas.

### **5.1.3 Gráficos de intensidade do vento e precipitação horária e acumulada**

A partir dos dados de precipitação e intensidade do vento coletados nos aeroportos de Porto Alegre e Florianópolis, durante o período de atuação do sistema, plotaram-se gráficos da precipitação horária e acumulada e da intensidade do vento registrada em superfície, para um melhor acompanhamento temporal do evento.

### **5.1.4 Mapas de precipitação acumulada**

Foram analisados os mapas da precipitação acumulada pelo hidroestimador no período de 01 a 05 de maio de 2008. Estes dados têm uma resolução de aproximadamente 16 km<sup>2</sup>, mais alta que a resolução dos dados de *NCEP*, por isso para comparação com os dados observados em campo são mais adequados.

O hidroestimador é um método inteiramente automático, que utiliza uma relação empírica exponencial entre a precipitação (estimada por radar) e a temperatura de brilho do topo das nuvens (extraídas do canal infravermelho do satélite *GOES-12*), gerando taxas de precipitação em tempo real. Através da tendência de temperatura da nuvem (e informações de textura) é utilizado um ajuste da área coberta pela precipitação. Os produtos mostrados no *site* do INPE/CPTEC exibem a precipitação estimada na imagem *GOES* mais recente recebida pela Divisão de Satélites Ambientais-DSA e a precipitação acumulada durante o período entre 12h00min do dia anterior e 12h00min do dia atual. A ausência de produtos em uma determinada hora ou em um determinado dia é consequência da falta de imagens *GOES*.

### **5.1.5 Mapas de isoietas**

Para compreender a dinâmica do evento ciclônico e analisar com mais detalhes, a inundação provocada por este na bacia hidrográfica do rio dos Sinos foram elaborados mapas de isoietas desta bacia, a partir de dados pluviométricos da rede da Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul, com pontos de coletas georreferenciados e com o emprego do

*software Gridzo*, versão 6.0 da *Rockworks* utilizando, para 22 municípios, o interpolador por krigagem.

Os municípios localizados na bacia hidrográfica do rio dos Sinos considerados são em ordem alfabética: Araricá, Caraá, Estância Velha, Esteio, Igrejinha, Ivoti, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Osório, Santo Antônio da Patrulha, São Francisco de Paula, São Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul e Três Coroas.

Foram utilizados dados dos municípios Dois Irmãos, Gramado, Morro Reuter, Nova Petrópolis, Picada Café e Porto Alegre que fazem parte do entorno da bacia. Estes dados auxiliaram no adensamento dos índices pluviométricos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, para se obter maior fidedignidade da espacialização das chuvas na interpolação de todos os dados.

Seis mapas foram elaborados para o período de 02 a 06 de maio de 2008 e um com o somatório de todas as precipitações coletadas no período mencionado.

Para a consistência dos dados pluviométricos coletados foi feita uma comparação com as informações divulgadas pela MetSul em sua *homepage* (<http://www.metsul.com>), referente ao período do ciclone extratropical. Com base nesta comparação, os dados de oito municípios foram desprezados, pois neles não havia consistência dos dados de precipitação, a saber: Alvorada, Bom Princípio, Campo Bom, Capela de Santana, Glorinha, Portão, Salvador do Sul e Taquara.

## **5.2 Coleta e análise dos dados de campo**

A coleta e análise dos dados de campo seguiram os seguintes passos:

### **5.2.1 Dados limnimétricos**

A régua limnimétrica localizada junto a ponte 25 de julho, na Av. Duque de Caxias, próximo a Estação Rodoviária da cidade de São Leopoldo foi selecionada por ser a mais representativa para o monitoramento da inundação, pois a da SEMAE ficou submersa.

Estes dados foram utilizados para o monitoramento do pico de cheia, nesta área da bacia hidrográfica do rio dos Sinos e para a construção de um hidrograma.

Fotografias foram feitas dos locais mais representativos da inundação na cidade de São Leopoldo, onde o evento teve maior período de permanência em relação a montante. Estas fotografias foram coletadas nos mesmos dias em que se obtiveram os dados limnimétricos, mencionados no item. 3.3, em locais próximos a régua limnimétrica, tomando o cuidado do observador se posicionar sempre na mesma direção da primeira fotografia coletada naquele local, de tal modo que se pudesse ter o acompanhamento através de uma seqüência da subida e descida do nível d'água do rio dos Sinos.

Posteriormente estas fotografias foram sobrepostas a uma imagem pancromática do *Google Earth*, para os dias 08 de maio de 2008 (pico máximo de inundação) e comparativamente com o dia 22 de maio de 2008, quando o nível d'água do rio estava baixo. As fotografias coletadas foram georreferenciadas com o uso do receptor GPS/DGPS, para a localização dos referidos dados nas imagens de satélite (Figura 5.1).

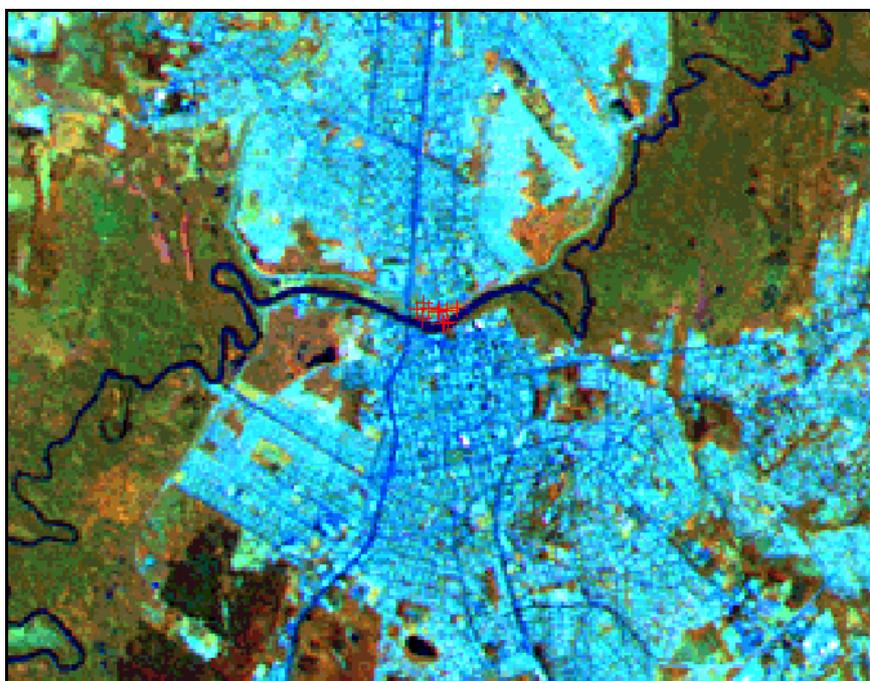


Figura 5.1 - Pontos de coleta das fotografias georreferenciados na imagem *TM/LANDSAT 5*  
Fonte: <http://www.dgi.inpe.br>

## **5.2.2 Elaboração do hietograma e hidrograma**

O hietograma é um gráfico de barras cuja abscissa representa a escala de tempo e a ordenada, a altura da precipitação. Ele representa a distribuição da intensidade de precipitação ao longo do tempo. A leitura de um hietograma é feita pela altura de precipitação que correspondente a cada barra diária. É a precipitação total que ocorreu durante aquele intervalo de tempo.

Para a elaboração do hietograma foram obtidos dados referentes à média diária de chuvas dos postos pluviométricos de 11 municípios da bacia contribuinte à cidade de São Leopoldo. Estes dados foram plotados em gráfico de barras inversas, com as alturas das precipitações, para que pudesse ser combinado com o hidrograma. Com isto obteve-se o comportamento das chuvas ao longo do tempo, na bacia contribuinte à cidade de São Leopoldo.

O hidrograma é a representação gráfica da variação de uma bacia em relação ao tempo. Ele pode ser entendido como a resposta de uma bacia hidrográfica a uma dada precipitação. Nesta o escoamento varia com o tempo, em função da variação da precipitação e das características físicas da própria bacia. Este escoamento, em geral, ocorre pelo excesso de chuva sobre a capacidade de infiltração das características da superfície da bacia e pela contribuição do lençol subterrâneo.

Em geral, as chuvas que ocorrem na porção mais a montante da bacia (cabeceiras) levam um tempo maior para alcançarem a saída desta, ao contrário das que ocorrem a jusante (próximo a foz do rio), que alcançam mais rápido a saída da bacia. O hidrograma varia em função das características climáticas (altura e intensidade da chuva, evapotranspiração) e fisiográficas (solo, litologia, relevo, cobertura) da bacia aliado a velocidade de escoamento da água (TUCCI, 1993).

A partir do início do sistema ciclônico passou-se a monitorar o nível d'água do rio dos Sinos na régua limnimétrica da Av. Duque de Caxias. Para a elaboração do hidrograma foram coletados dados limnimétricos do período de 02 a 10 de maio de 2008, que coincidiam com o pico de cheia e nos dias 12 a 22 de maio 2008. No dia 19 de maio igualou o nível d'água, na régua limnimétrica, referente ao período anterior a ocorrência do ciclone extratropical e no dia 22 de maio estava com 0,6 m abaixo.

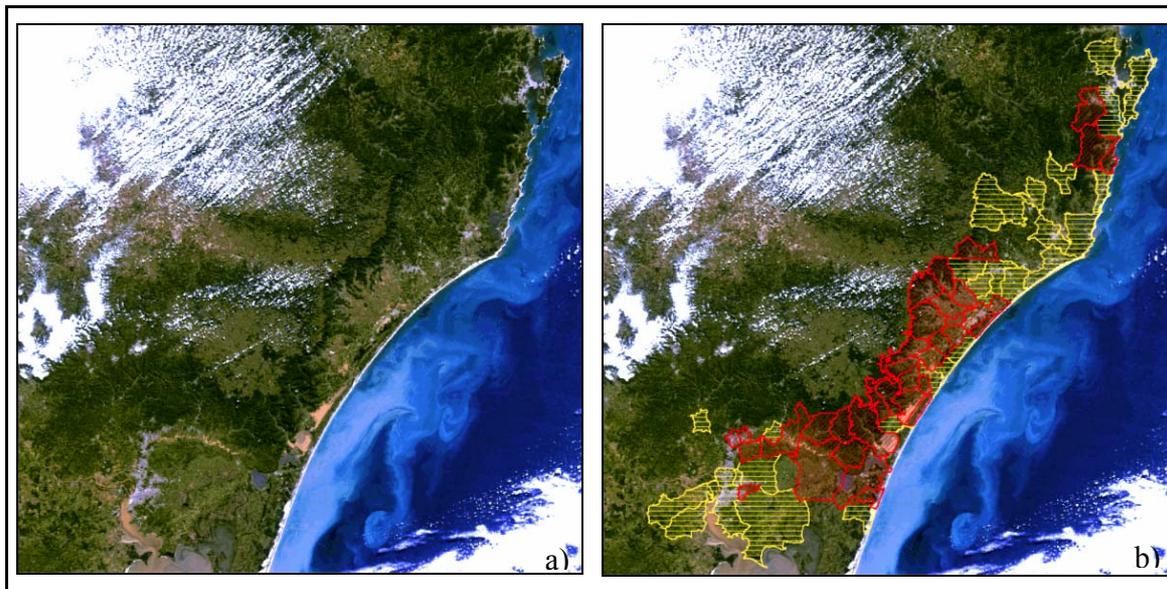
### **5.3 Processamento e análise dos dados *MODIS/TERRA*, *CCD/CBERS 2B* e *TM/LANDSAT 5***

Para o processamento e análise das imagens de observação da Terra foram seguidos os seguintes passos:

- inicialmente foi criado um banco de dados contendo dois projetos. O primeiro, denominado Projeto Geral, corresponde a toda a área afetada pelo ciclone extratropical, que abrange municípios localizados no litoral sul do estado de Santa Catarina e nordeste do estado do Rio Grande do Sul. As imagens *MODIS* pré-evento e pós-evento em formato geoTiff foram inseridas no Projeto Geral; e
- posteriormente foi criado o segundo projeto, denominado Projeto rio dos Sinos, correspondente à bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Neste projeto foram inseridas as imagens *CCD/CBERS 2B*.

#### **5.3.1 Imagens *MODIS***

Para visualizar os limites dos municípios que decretaram situação de emergência e foram afetados, sobrepôs-se os limites dos referidos municípios nas imagens *MODIS/TERRA*, fazendo uso das informações de limites municipais, na escala 1:500.000, obtidas do IBGE (<http://www.ibge.gov.br>). Estas informações foram importadas para o *SPRING*, como plano de informação cadastral (Figuras 5.2).



Figuras 5.2 - Imagem MODIS/TERRA (bandas 1, 4, 3), de 6 de maio de 2008 (a), com sem os limites dos municípios e a direita (b) os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo).

Em seguida foram processadas diferentes bandas do sensor *MODIS/TERRA*, com o intuito de conhecer as dimensões das lâminas de água, antes e depois da passagem do ciclone extratropical. Desta forma, foi realizado um programa em linguagem de programação *Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL)*, disponível no SPRING, que permitiu efetuar a razão entre as bandas 1 e 2, pré e pós-evento. A imagem resultante ressaltou com clareza a lâmina de água.

Utilizando-se estes planos de informação foi realizado um cruzamento com as informações de limites dos municípios que decretaram situação de emergência e afetados, para obter informação da extensão da lâmina d'água pré e pós-evento por estado e por municípios.

### 5.3.2 Imagens CCD/CBERS 2B

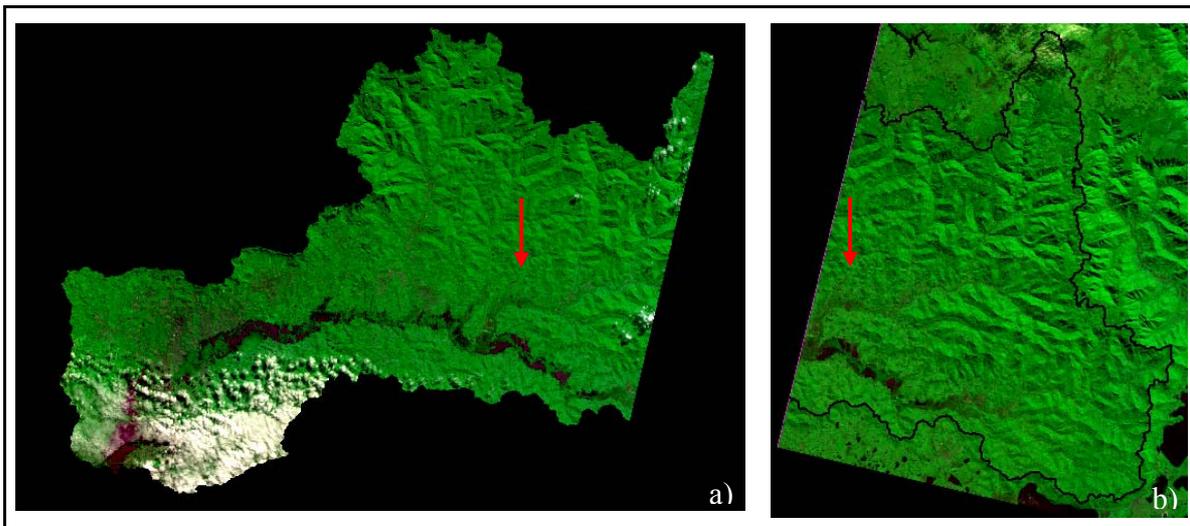
Para o registro das imagens *CCD/CBERS 2B* referentes ao Projeto rio dos Sinos, pré-evento e pós-evento, bandas 1, 2, 3 e 4, foi utilizado como referência, o mosaico ortorretificado de imagens *ETM/LANDSAT GeoCover 2000* (Figura 5.3).



Figura 5.3 - Mosaico ortorretificado de imagens ETM/LANDSAT GeoCover 2000 com o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, em amarelo.

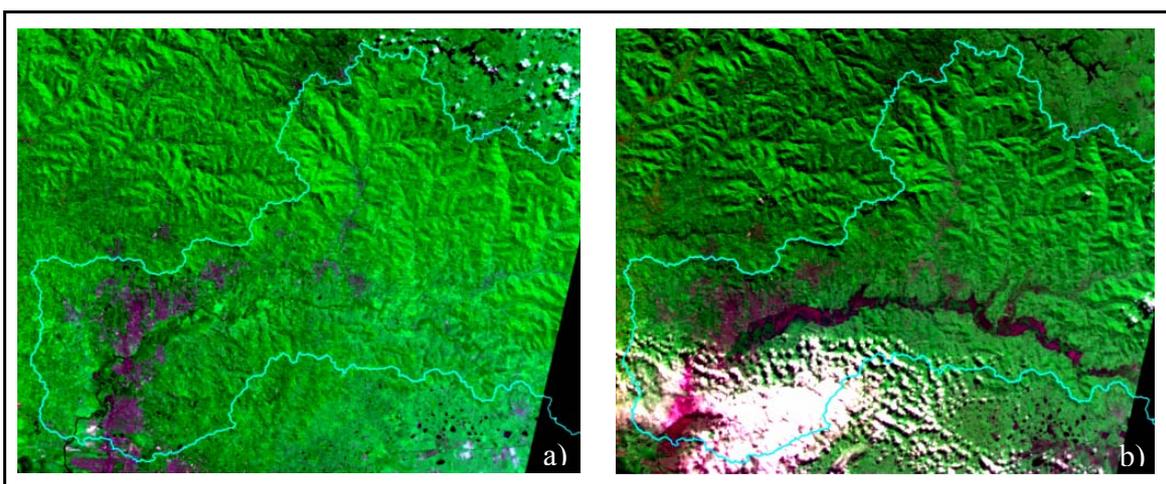
Foram adquiridos vários pontos de controle, bem distribuídos pelas imagens que foram inseridas no Projeto utilizando um polinômio de primeiro grau sem correção do sistema, com erro menor do que 0,8 pixels, para cada uma das imagens.

Para cobrir a área total da bacia hidrográfica do rio dos Sinos são necessárias duas imagens contíguas do sensor *CCD/CBERS 2B*, porém com órbitas distintas (Figuras 5.4). Devido à diferença de três dias na data de aquisição de cada uma delas (órbita/ponto 156/133 dos dias 22/03/2008 e 13/05/2008 e órbita/ponto 157/133 dos dias 19/03/200 e 10/05/2008) e a cobertura de nuvem, não foi gerado um mosaico a partir destas imagens, o que permitiria cobrir toda a área da bacia, para os períodos pré e pós-evento. Esta diferença de data na aquisição das imagens, conseqüentemente gera diferenças nas informações para alvos dinâmicos como inundações. Como as imagens contíguas têm 15% de recobrimento, optou-se por utilizar apenas as imagens da órbita/ponto 157/133, que cobre toda a área afetada pela inundação no rio dos Sinos, para os períodos pré e pós-evento, sem prejuízo dos resultados.



Figuras 5.4 - Imagem CCD/CBERS, órbita/ponto 157/133, de 10 de maio de 2008 (a) e órbita/ponto 156/133, de 13 de maio de 2008 (b), com a área de sobreposição de 15% assinalada.

Para delimitar a lâmina d'água no rio dos Sinos foram utilizadas imagens *CCD/CBERS 2B* pré e pós-evento de 19/03/2008 e 10/05/2008 (Figuras 5.5). O processamento consistiu na determinação da mancha de inundação na imagem pós-evento a partir de um processo de fatiamento dos valores digitais da banda 4 (infra-vermelho próximo), por ser a que apresenta melhor discriminação de água (Figura 5.6). Todos os pixels com valores variando de 190 a 200 foram classificados como água, no período pós-evento, caracterizando assim a mancha de inundação.



Figuras 5.5 - Imagens CCD/CBERS (bandas 3, 4, 2), de 19/03/2008, pré-ciclone (a) e de 10/05/2008, pós-ciclone (b).

A partir da delimitação da mancha de inundação foram realizadas medidas transversais ao longo do canal do rio dos Sinos, com o intuito de verificar a largura atingida pelo rio no período de inundação (Figura 5.6).

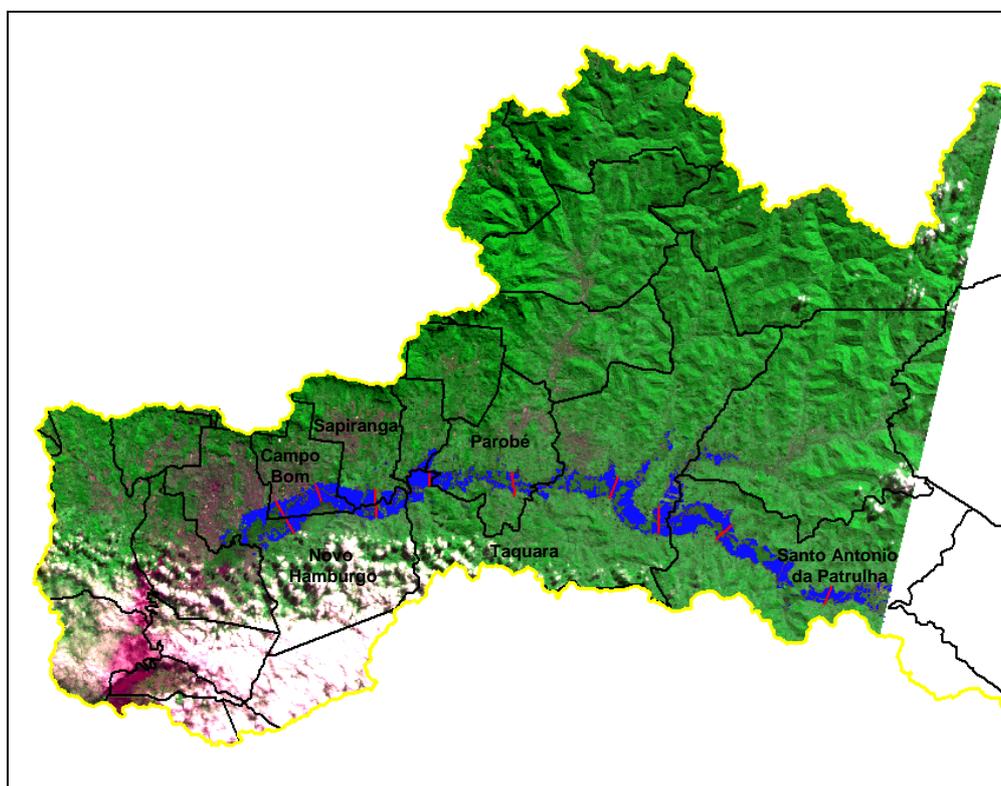


Figura 5.6 - Recorte da imagem CCD/CBERS da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com a localização dos trechos do rio onde foram feitas as medidas nas secções transversais da mancha de inundação e os respectivos municípios.

A cena *CCD/CBERS 2B* pré-evento foi segmentada utilizando como limiar de similaridade 8 e 20 para limiar de área, para a delimitação das áreas urbanas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Foi utilizada esta imagem por apresentar menor cobertura de nuvens. A partir daí fez-se a classificação das áreas urbanas utilizando um critério de classificação supervisionada por regiões.

### 5.3.3 Imagens *TM/LANDSAT 5*

As duas imagens *TM/LANDSAT 5* utilizadas para gerar a classificação de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, foram registradas tomando como referência

o mosaico ortorretificado de imagens *ETM/LANDSAT GeoCover 2000*, para o qual foram adquiridos vários pontos de controle para cada uma das imagens. Posteriormente, estas foram inseridas no Projeto rio dos Sinos utilizando um polinômio de primeiro grau sem correção do sistema, com erro menor do que 0,8 *pixels*, para ambas as imagens. Em seguida fez-se o mosaico das imagens e o recorte das mesmas de acordo com o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 5.7).

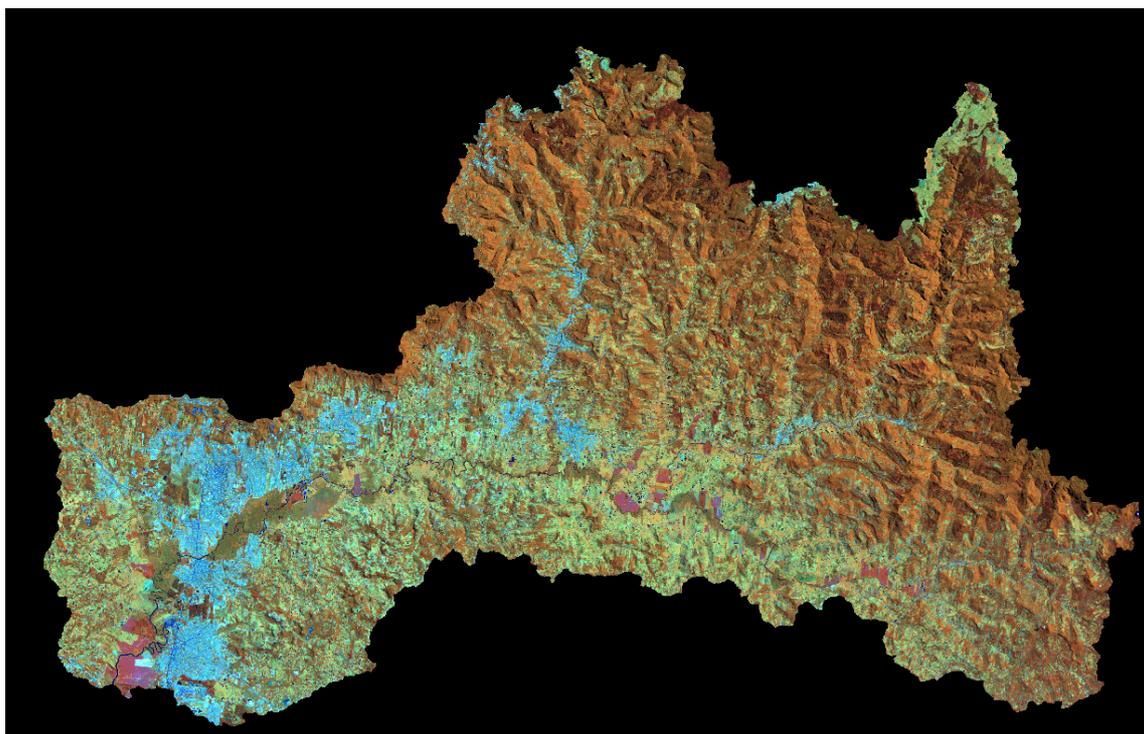


Figura 5.7 - Mosaico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos gerado a partir de imagens TM/ LANDSAT 5, bandas 4, 5 e 3.

O mosaico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos foi segmentado utilizando como limiar de similaridade 10 e limiar de área 20. Após a segmentação foi realizada uma classificação supervisionada por regiões utilizando como critério de agrupamento de classes a medida de distância de *Battacharya*. Foram definidas as seguintes classes temáticas de uso e cobertura do solo:

- mata;
- banhado;
- campo nativo;
- eucalipto;

- arroz;
- pastagem/agricultura;
- solo exposto;
- área urbana; e
- água.

Algumas destas classes apresentaram falta de precisão, devido à grande semelhança da resposta espectral, sendo necessário fazer a edição de alguns dos temas. As classes temáticas que apresentaram maior confusão foram mata e eucalipto, arroz e eucalipto em etapa inicial de crescimento. Adicionalmente, algumas áreas com sombra de relevo foram classificadas erroneamente como água. Após a classificação e edição foi gerado o plano de informação com a classificação de uso e cobertura do solo atualizado.

#### **5.4 Processamento das imagens SRTM**

A imagem do *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* foi usada para complementar as informações coletadas nas imagens *MODIS/TERRA* e *CCD/CBERS 2B* no estudo das inundações provocadas pelo ciclone extratropical. Para isto foram feitos os seguintes passos:

Primeiramente fez-se um mosaico com dado *SRTM* de toda a área afetada pelas inundações nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com resolução espacial de 90 m, sobre este mosaico foi gerada a imagem para realçar o relevo, com azimute de elevação solar de 135° (Figura 5.8).

Posteriormente fez-se um recorte deste mosaico, delimitando-se a bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Para isto utilizou-se o programa *Height Above the Nearest Drainage (HAND)*, (Rennó et al. 2008) que busca de forma automática os limites da bacia de acordo com os valores do Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model-DEM*), que é uma representação matemática da distribuição espacial das variações de altitude em uma determinada área. O programa HAND foi implementado em *Interactive Data Language (IDL)*.

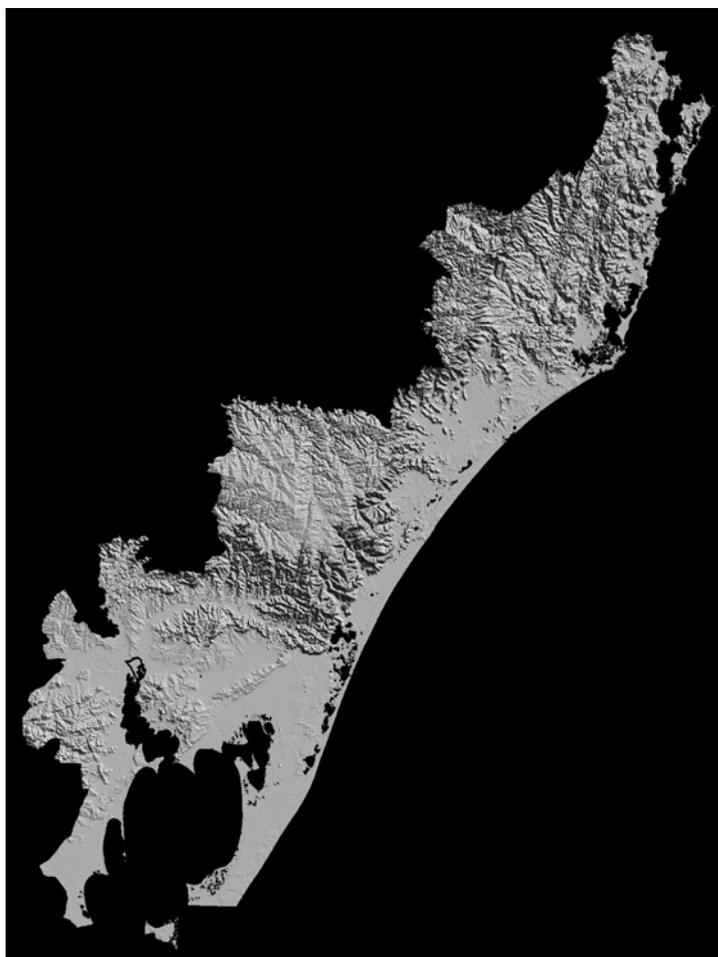


Figura 5.8 - Mosaico de toda a área afetada pelas inundações nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com o relevo realçado, gerado a partir de dado SRTM com resolução espacial de 90 m e com azimute de elevação solar de 135° de azimute.

Após o recorte, devido ao fato de que a área de interesse era menor, apenas a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, fez-se necessário gerar uma grade refinada com resolução espacial de 20 m, já que originalmente o dado SRTM, tem resolução espacial de 90 m, para que se pudessem analisar as informações contidas neste dado com mais detalhamento. Para isto foi utilizado o interpolador bicúbico do *software SPRING*, versão 4.2. A partir desta grade refinada foram extraídas informações sobre o limite da bacia, rede de drenagem, relevo, hipsometria e declividade (Figura 5.9).

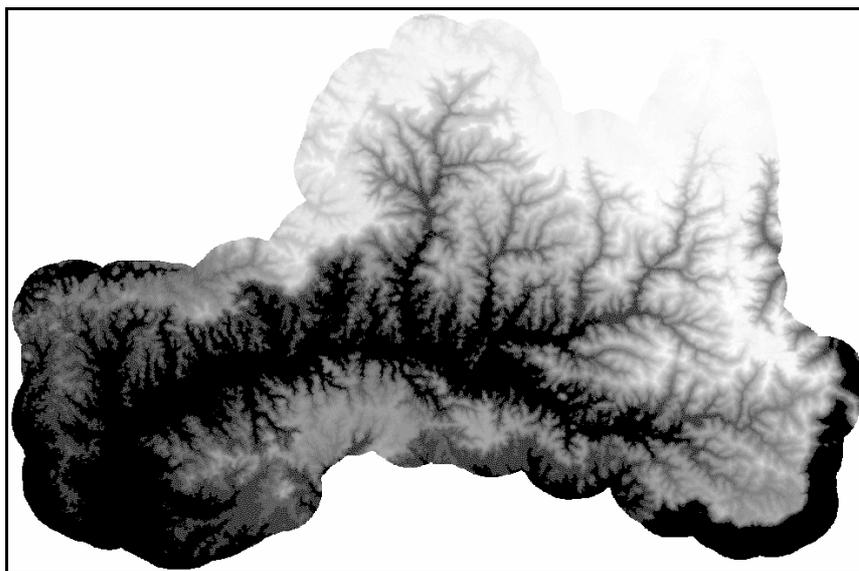


Figura 5.9 - Grade refinada com 20 m de resolução gerada por interpolação bicúbica, visualizada em forma de imagem SRTM da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

#### **5.4. Extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos**

Para a extração da rede de drenagem de toda a bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 5.10) foi usado também o programa *HAND*, que utiliza um algoritmo, que faz uma correção nos dados do SRTM e gera um novo *Digital Elevation Model (DEM)*. Este novo modelo destaca as feições do relevo que tem melhores características para ocorrência de um canal de drenagem e onde isto não é possível caracterizar com precisão, ele faz uma interpolação considerando os canais próximos, obtendo assim toda a rede de drenagem da área considerada. Utilizando esta metodologia obteve-se a rede de drenagem para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Posteriormente esta rede de drenagem foi integrada a mancha de inundação e as áreas urbanas da bacia, caracterizadas e classificadas nas imagens *CCD/CBERS 2B*, conforme mencionado anteriormente, tendo sido então calculada a área de cada uma delas nas imagens pós-evento.

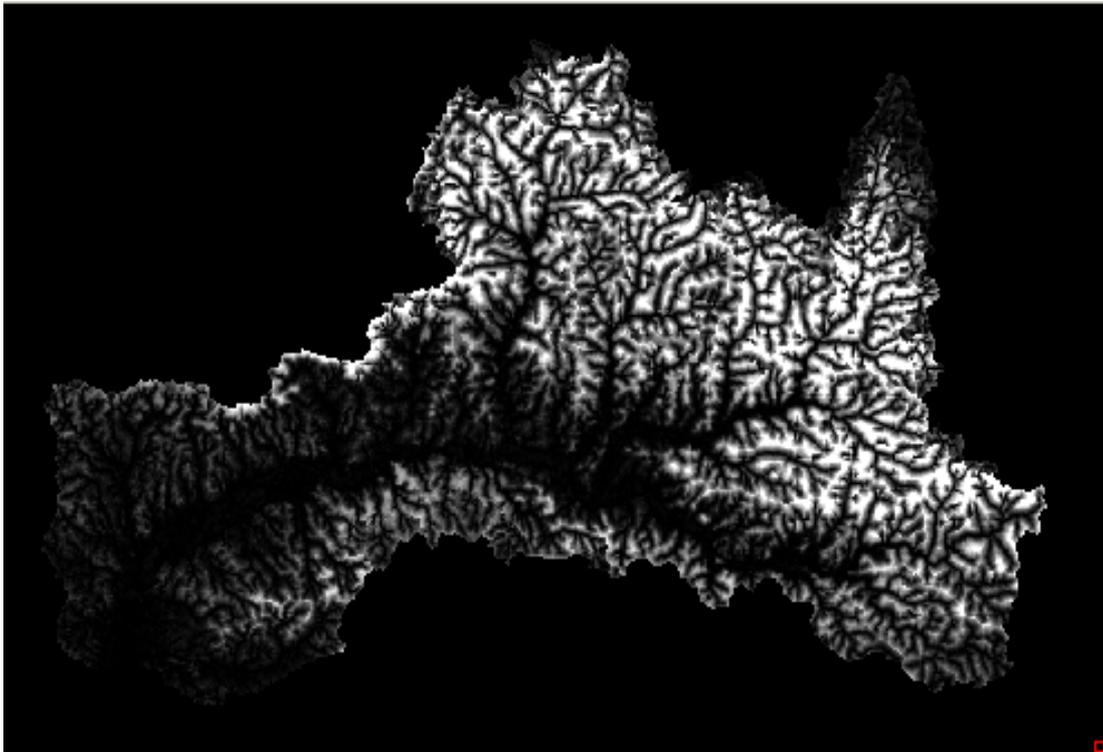


Figura 5.10 - Rede de drenagem bacia hidrográfica do rio dos Sinos, extraída das imagens *SRTM*, com a utilização do programa *HAND*, com 20 m de resolução.

#### 5.4.1 Mapa hipsométrico

A partir do novo *DEM* e considerando as cotas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 5.11) foram geradas as curvas de nível para toda a bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Figura 5.12), considerando os seguintes intervalos:

- intervalos de 5 m em 5 m para curvas de nível variando de zero a 30 m;
- intervalos de 10 m em 10 m, para curvas de nível variando de 30 a 100 m;
- intervalos de 50 m em 50 m para curvas de nível variando de 100 a 300 m; e
- intervalos de 100 m em 100 m para curvas de nível variando de 300 a 1000 m

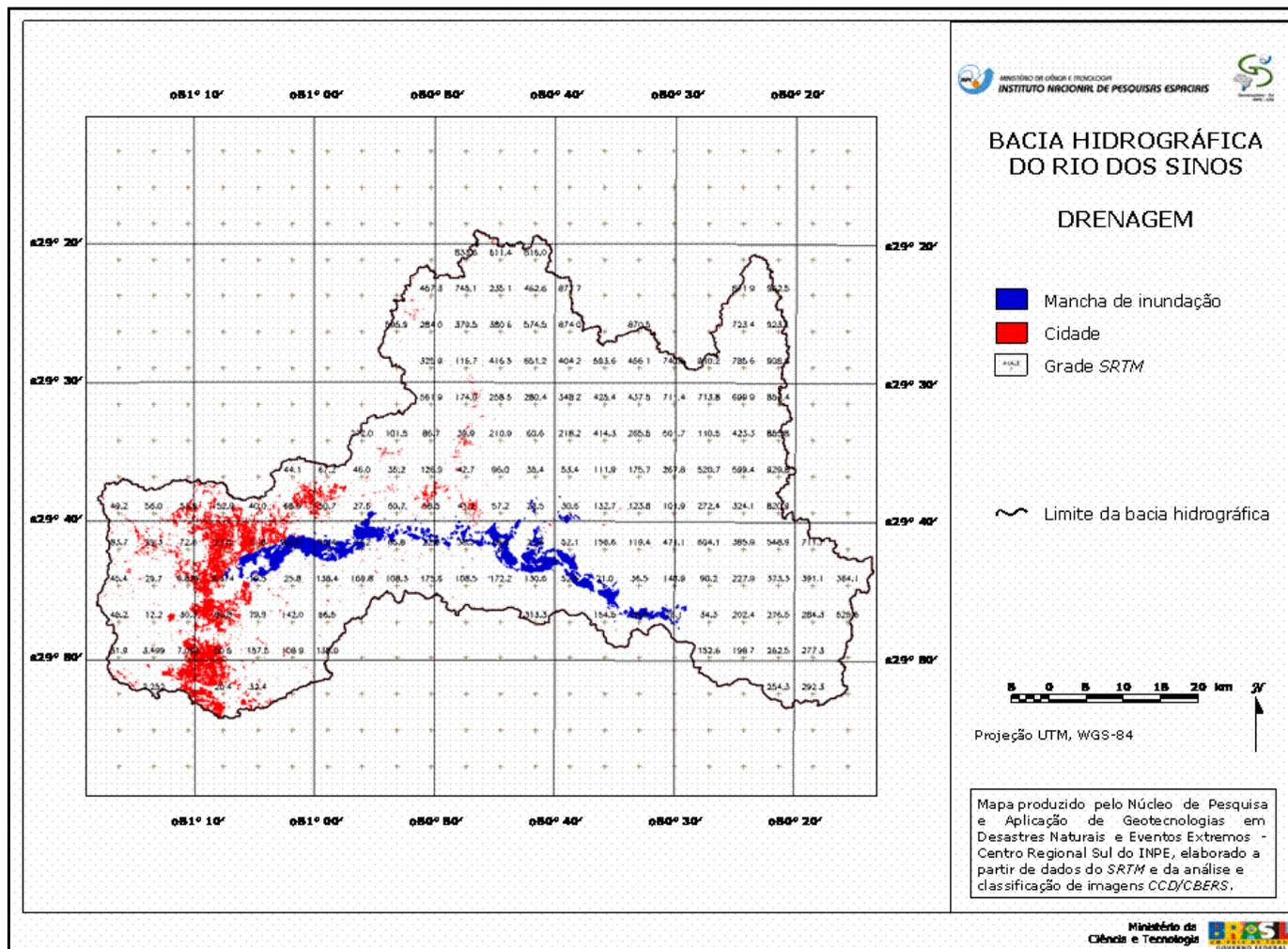


Figura 5.11 - Bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com grade SRTM as cotas altimétricas, a mancha de inundação, em azul e as áreas urbanas, em vermelho.

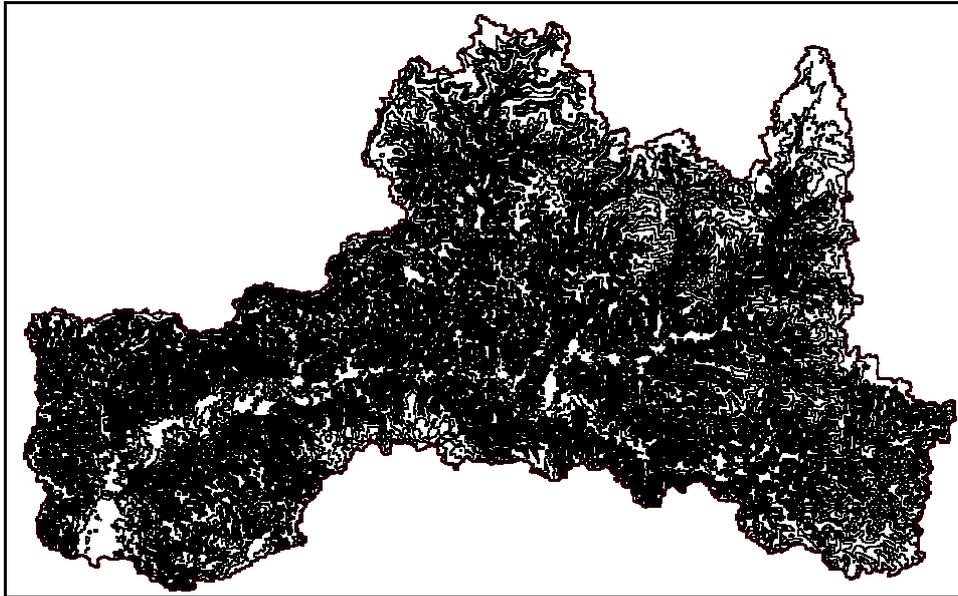


Figura 5.12 - Esquema das curvas de nível da bacia hidrográfica do rio dos Sinos geradas a partir de dados SRTM com 20 m.

Em seguida para a geração do mapa hipsométrico foi utilizado o *software SPRING*, versão 4.2, onde foi definido um conjunto de classes e a estas foram atribuídos valores que correspondem às altitudes do relevo. Utilizando a programação em *LEGAL* foi feito um processo de fatiamento no qual foram considerados o valor da cota inicial, final e o intervalo de distribuição dos valores das fatias, associando-se depois estas as classes de declividade definidas.

O critério adotado para gerar as classes seguiu uma escala não linear, e foram priorizadas as áreas com menor variação de altitude, pois são as áreas que foram mais afetadas pela inundação. Foram definidos os seguintes intervalos para as classes deste mapa:

- intervalos de 10 m em 10 m para as cotas de 0 m a 100 m;
- intervalos de 100 m em 100 m para as cotas de 100 m a 200 m;
- intervalos de 200 m em 200 m para as cotas de 200 m a 600 m; e
- intervalos de 600 m a 1.000 m foi utilizado um único valor.

### **5.4.2 Mapa de declividade**

Foi confeccionando um mapa de declividade, com o objetivo de caracterizar a declividade da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, fator importante para a análise do escoamento superficial das águas, bem como para determinar o gradiente do rio e para verificar também se o uso e cobertura do solo, nesta bacia estão adequadas as suas declividades.

A declividade é definida como a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte, quanto maior a declividade de um relevo maior o seu potencial de escoamento superficial das águas com maior velocidade e poder erosivo. Em relevos com alta declividade, as águas das chuvas escoam mais rapidamente para os canais dos rios e estes por sua vez, tem maior poder de erosão e transporte, assim como de escoamento, nestes locais dificilmente ocorrem inundações.

Contrariamente, quanto menor a declividade menor o potencial de escoamento superficial e, conseqüentemente menor a capacidade de erosão dos rios e de escoamento, nestes locais a tendência é haver um acúmulo das águas e a deposição do material transportado pelos rios, o que facilita a ocorrência de inundações. Assim, em estudos de eventos de inundação, a declividade é um fator extremamente importante.

De acordo com De Biasi (1992) “a definição das classes de declividades poderá ter um caráter eminentemente particular, ou seja, o autor escolhe as classes que ele necessita para seu trabalho, mas, é recomendável que se utilize o que já está estabelecido por lei para os diferentes usos e ocupação territorial”. Para tal ele propõe uma chave de definição das classes de declividade, em porcentagem estabelecida e que considerada os limites que obedecem à legislação já existente quanto ao uso e ocupação do solo. Estes mesmo limites são considerados no Código Florestal-Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1995, por JARDIM (1995), MARCELINO (2003), CORSEUIL e CAMPOS (2007), a saber:

0-5% - Limite urbano – industrial, utilizados internacionalmente, bem com em trabalhos de planejamento urbano efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e da Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S. A.

(EMPLASA). Áreas favoráveis à ocupação e usos diversos, com exceção daquelas definidas como áreas de preservação e com risco de inundação;

5 – 12% - Este limite possui algumas variações quanto ao máximo a ser estabelecido (12%), variando entre 10% e 13%. Esta faixa define o limite máximo do emprego da mecanização na agricultura. São áreas que apresentam pouca restrição de uso e ocupação. Exigindo práticas simples de conservação do solo.

12 – 30% - O limite de 30% é definido Lei Federal nº 6.766/79 como o limite máximo para urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento deverá ser feito por meio de exigências específicas. São áreas que devem ser evitadas para fins de ocupação, uma vez que é necessária a adoção de medidas preventivas de riscos geoambientais. A partir desta faixa é necessário realizar cortes e aterros para a instalação de edificações. São necessárias medidas complexas de conservação do solo.

30 - 47% - O Código Florestal, fixa o limite de 25° (47%), como limite de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas. Lei nº 4.771/65, de 15/09/65. Esta é uma área inadequada à instalação de edificações e uso agrícola, e limite máximo para corte florestal. Risco de escorregamentos por indução antrópica.

47% - O artigo 10 do Código Florestal prevê que na faixa situada entre 25° (47%) a 45° (100%), "não é permitida a derrubada de florestas, somente sendo tolerada a extração de toros, quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes". Áreas inadequadas a qualquer forma de uso e ocupação do solo, geralmente definidas como áreas de preservação florestal. Riscos de escorregamentos naturais.

O mapa de declividade foi gerado a partir das imagens *SRTM*, onde é possível obter-se informações de altimetria do terreno. Estes dados de altimetria foram divididos em classes de declividade por meio do processo de fatiamento no *SPRING 4.2*. Para a definição dos critérios adotados para a determinação das classes de declividade foram considerados os

intervalos sugeridos por Florenzano (2008), Corseuil e Campos (2007) e EPAMIG (2008), por serem os mais adequados as características da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, a saber:

- 0% a 2%: muito baixa - relevo plano;
- 2% a 6%: baixa - relevo suave ondulado;
- 6% a 20%: média - relevo ondulado;
- 20% a 45%: alta - relevo forte ondulado; e
- acima de 45%: muito alta - relevo montanhoso.

### **5.5 Análise dos relatórios de Avaliação de Danos - AVADAN**

Para a avaliação de danos foram utilizados os dados dos relatórios de Avaliação de Danos (AVADAN), dos municípios que decretaram situação de emergência dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Tais documentos são preenchidos em um prazo máximo de 120 horas após a ocorrência do desastre, por equipe habilitada do próprio município. Os relatórios contêm informações sobre danos humanos, como desalojados, desabrigados, afetados, enfermos e feridos, classificados por idade; danos materiais em edificações, infraestrutura pública; danos ambientais e prejuízos econômicos na agricultura, pecuária, indústria e serviços.

A comparação dos danos humanos entre os municípios foi feita utilizando o total da população afetada e a população total, no ano de 2007, segundo o IBGE (2008). Dessa maneira, foi calculada a porcentagem da população afetada, desabrigada e desalojada de cada município. Já para a análise dos danos materiais, foi realizada a soma de todos os prejuízos ocorridos e desse total, o quanto representou do PIB (Produto Interno Bruto) do município (IBGE, 2008). Assim foi possível comparar os danos entre os municípios e sua representatividade perante a economia local.

A classificação dos danos materiais foi estabelecida a partir do critério adotado pela Defesa Civil o qual relaciona o montante total de prejuízos em relação ao PIB, e utiliza quatro classes: Nível IV (Prejuízo > 30% PIB), Nível III ( $10\% < \text{Prejuízo} \leq 30\%$  PIB), Nível II ( $5\% < \text{Prejuízo} \leq 10\%$  PIB) e Nível I ( $\text{Prejuízo} \leq 5\%$  PIB).

## **6. RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises realizadas e da integração dos dados meteorológicos, das informações obtidas das imagens de satélite, dados de campo e dos AVADANS.

### **6.1 Análise do desenvolvimento do ciclone extratropical ocorrido na região Sul do Brasil - 2 a 5 de maio de 2008**

Segundo o alerta meteorológico emitido pela Secretaria Nacional de Defesa Civil na quarta-feira, dia 30 de abril de 2008 havia a possibilidade de formação de um ciclone extratropical de sexta-feira (02 de maio de 2008) a domingo (04 de maio de 2008), o qual afetaria o litoral sul de Santa Catarina e o leste e nordeste do Rio Grande do Sul. Em função disto foi feito um monitoramento da previsão do tempo emitida pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE, bem como das imagens do satélite *GOES 10*.

Neste item será feita uma análise da formação e evolução do ciclone extratropical que afetou os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no início mês de maio de 2008 utilizando dados de várias fontes.

#### **6.1.1 Carta sinótica**

A análise dos campos de pressão na carta sinótica permitiu identificar como o sistema ciclônico se formou sobre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, através destas cartas observou-se a configuração de um cavado nas isóbaras (linhas de mesma pressão, na carta sinótica, na cor amarela). Um cavado é uma área alongada de pressão atmosférica relativamente mais baixa, que pode ser a extensão de um ciclone e é, geralmente, associado a mau tempo, assim como o próprio ciclone.

A Figura 6.1 apresenta a carta sinótica do dia 30 de abril de 2008, no horário das 12z, observa-se a atuação da alta pós-frontal sobre parte do centro-sul do continente com um núcleo de 1.025 hPa posicionado sobre o centro da Argentina, parte do Uruguai e do RS.

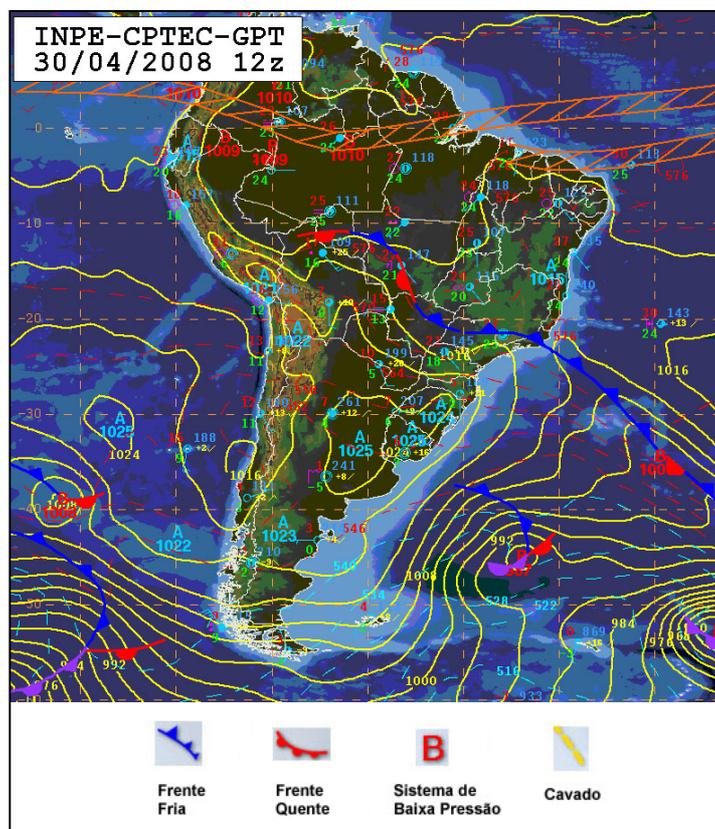
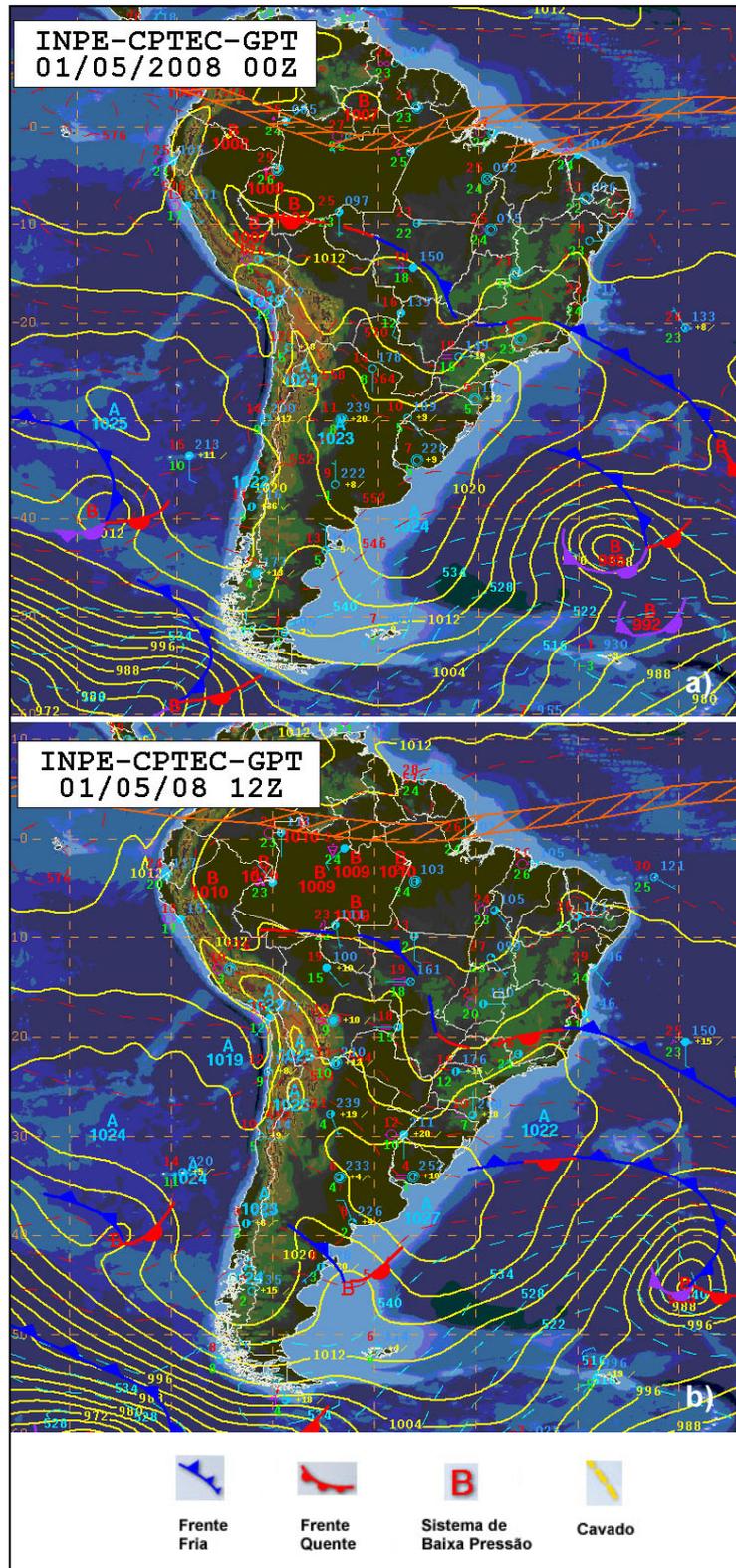


Figura 6.1 - Carta sinótica do dia 30 de abril de 2008 às 12z.

Na carta das 00z, do dia 01 de maio (Figura 6.2a) observa-se ainda a atuação da alta pós frontal, o ciclone extratropical, ainda não havia se formado, mas o comportamento das isóbaras indicava a possível formação de um cavado invertido. O mesmo acontecendo para a carta sinótica do mesmo dia, às 12z (Figura 6.2b).

No dia 02 de maio, às 00z (Figura 6.3a) pode-se perceber a formação do cavado invertido, marcado pela linha amarela pontilhada, a partir dele, posteriormente, originou-se o ciclone extratropical. Na carta das 12z (Figura 6.3b), observa-se o centro de baixa sobre o Sul do Brasil (vórtice na porção norte do Rio Grande do Sul), representado pela letra "B" (em vermelho), esse sistema de baixa é resultante do aprofundamento do vórtice ciclônico em médios e altos níveis da troposfera.



Figuras 6.2 - Carta sinótica do dia 01 de maio de 2008 às 00z (a); e as 12z (b).

O sistema de baixa pressão estava localizado na fronteira entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, na altura das cidades de Nonoai e Erval Grande (RS) e Chapecó (SC).

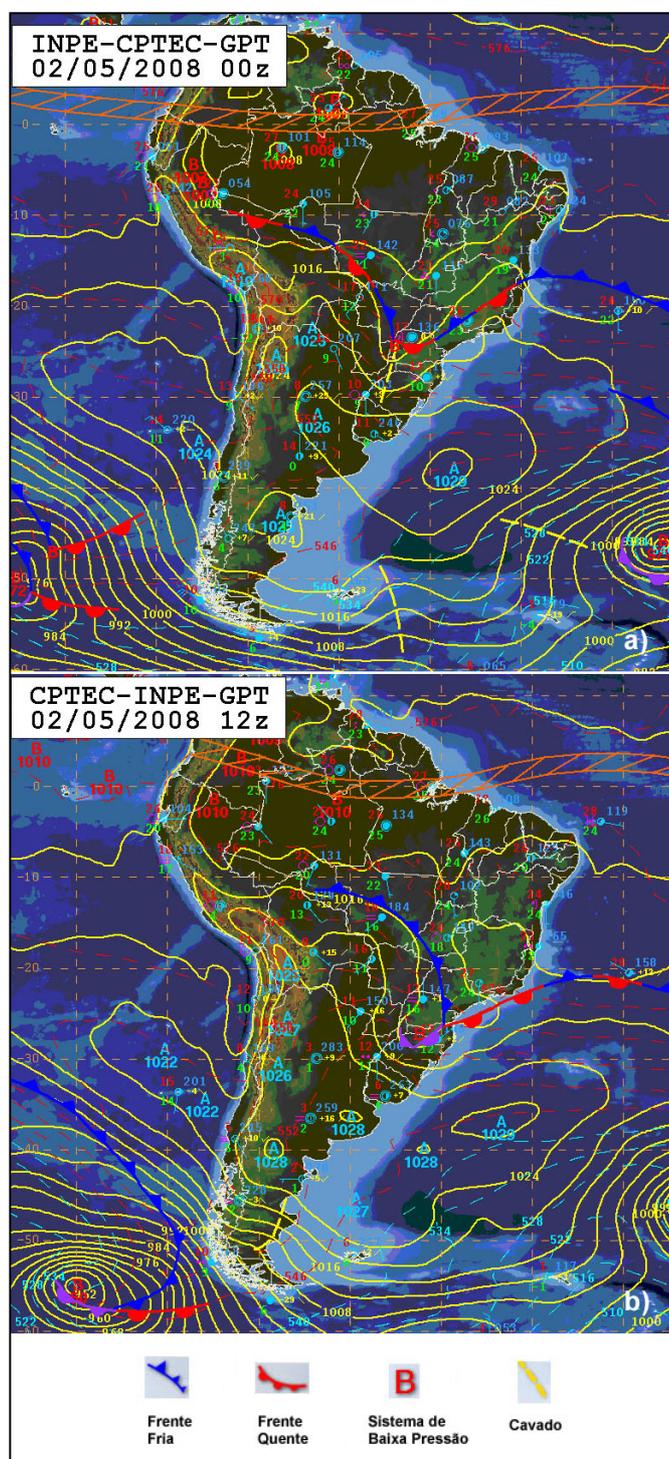


Figura 6.3 - Carta sinótica do dia 02 de maio de 2008 às 00z (a); e 12z (b).

Nas imagens do satélite *GOES 10* (Figuras 6.4a, b, c), do dia 02 observa-se a presença de muita nebulosidade associada a passagem desse sistema. Devido à formação do ciclone ocorreram temporais, principalmente no nordeste do Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina.

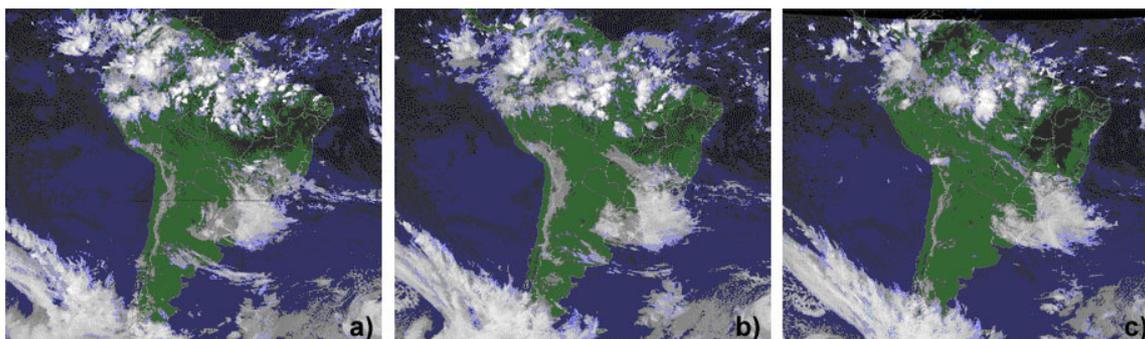
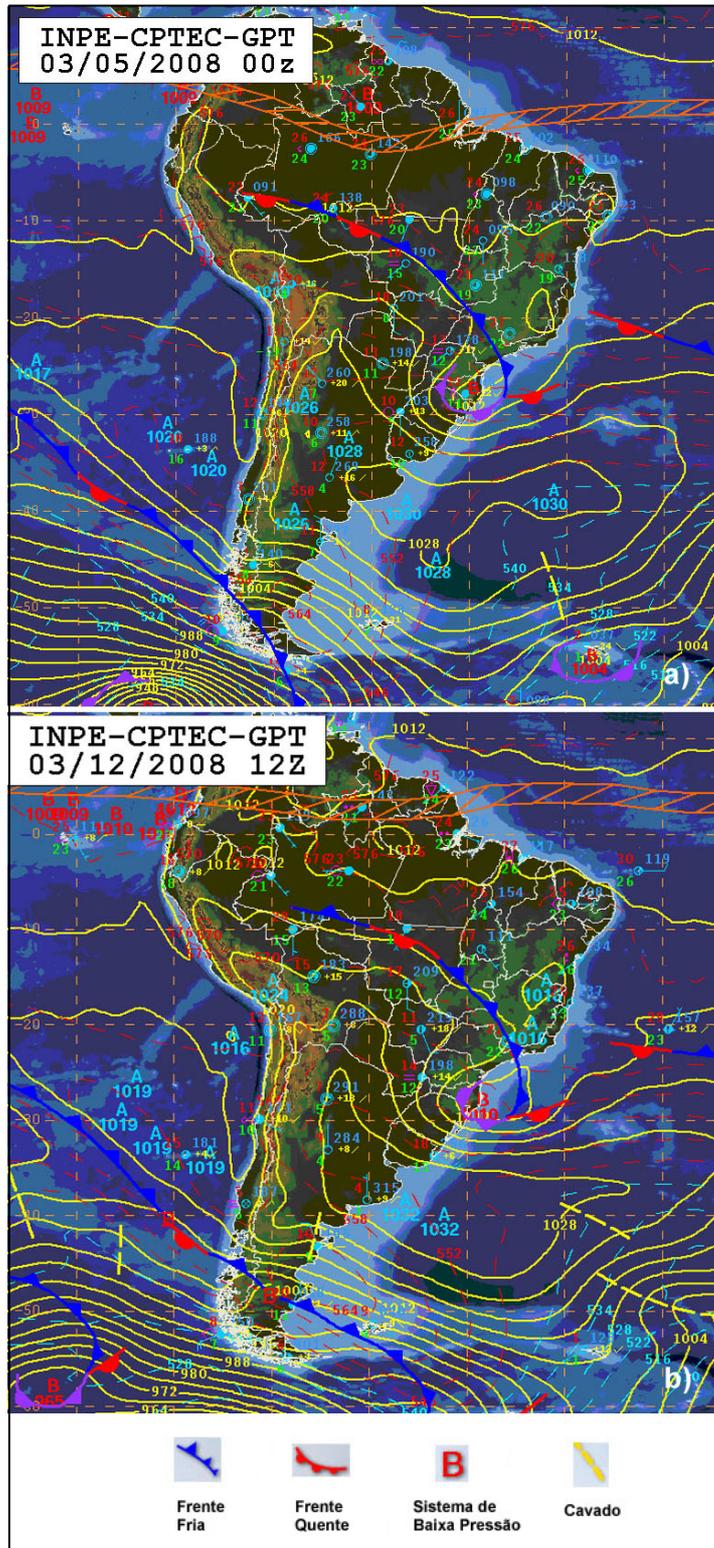


Figura 6.4 - Imagem do satélite GOES 10, com a cobertura de nuvens: a) 01 de maio de 2008, 21h00min; b) 02 de maio de 2008, 3h00min; e c) 02 de maio, 9h00min.

Na Figura 6.5a observa-se que no dia 03 de maio, às 00z, a região de baixa pressão já havia se deslocando em direção a faixa leste de Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul, sendo estas duas regiões as que sofreram os maiores danos. A atuação deste sistema causou e continuaria causando condição adversa de tempo nestas regiões, onde foram registrados ventos intensos ocasionando transtornos e prejuízos. Na carta sinótica das 12z (Figura 6.5b), pode-se observar que a área de baixa pressão estava no litoral de Santa Catarina deslocando-se gradativamente em direção ao oceano Atlântico, diminuindo assim a sua influência sobre o tempo nos dois estados do extremo Sul do Brasil.



Figuras 6.5 - Carta sinótica do dia 03 de maio às 00z (a); e 12z (b).

Às 18z (Figura 6.6) observa-se que o centro de baixa pressão se deslocou para o oceano afastando-se do continente. Apesar de ainda exercer influência no tempo da região, gradativamente este centro foi se deslocando em direção ao mar. Já no dia 04 de maio, o ciclone extratropical estava centrado a leste de Santa Catarina sobre o oceano Atlântico.

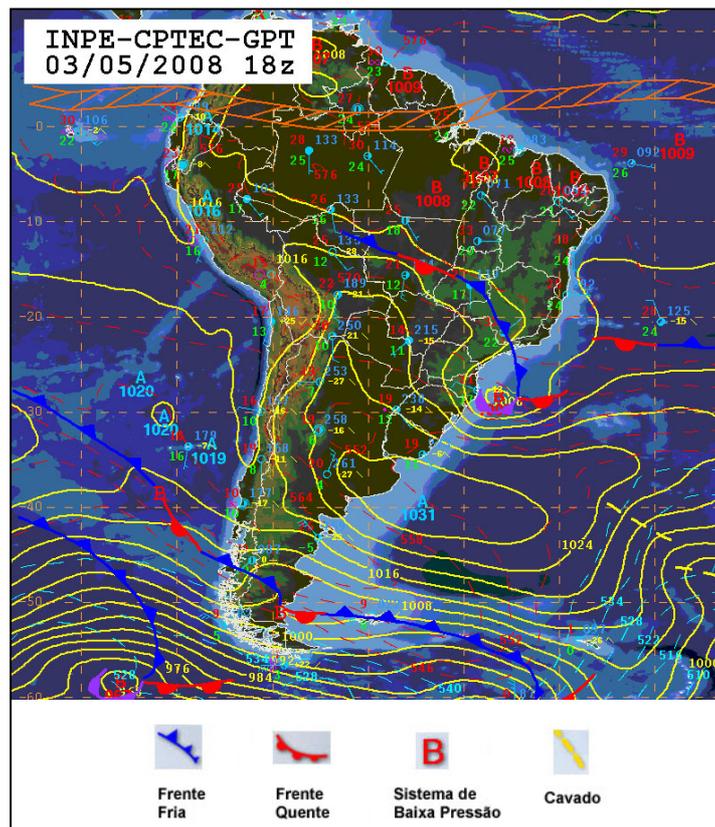
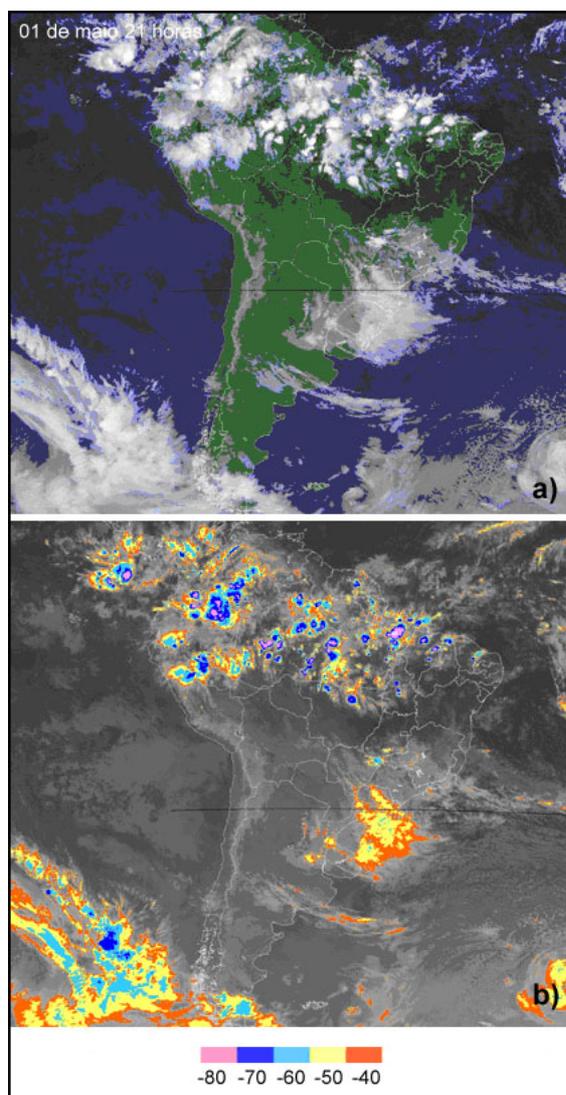


Figura 6.6 - Carta sinótica do dia 03 de maio às 18z.

### 6.1.2 Imagens do satélite *GOES 10*

Nas imagens de satélite *GOES 10*, do dia 01 de maio, às 21 horas, se observa muita nebulosidade na região Sul do Brasil (Figura 6.7a). As imagens realçadas-coloridas (Figura 6.7b) mostram a temperatura do topo das nuvens, sendo as temperaturas mais baixas indicativas de regiões de precipitação mais intensa, nestas observa-se uma grande concentração de nuvens no nordeste e em todo o litoral gaúcho, chegando a fronteira com o Uruguai, praticamente em todo o estado de Santa Catarina e em quase todo o litoral e parte do interior do Paraná. Os topos destas nuvens apresentam a coloração laranja, amarelo e azul claro correspondendo a temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente,

sendo estas últimas às áreas de precipitação mais intensa. As menores temperaturas ocorreram em áreas correspondentes ao litoral sul de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul e na altura da área metropolitana de Porto Alegre.

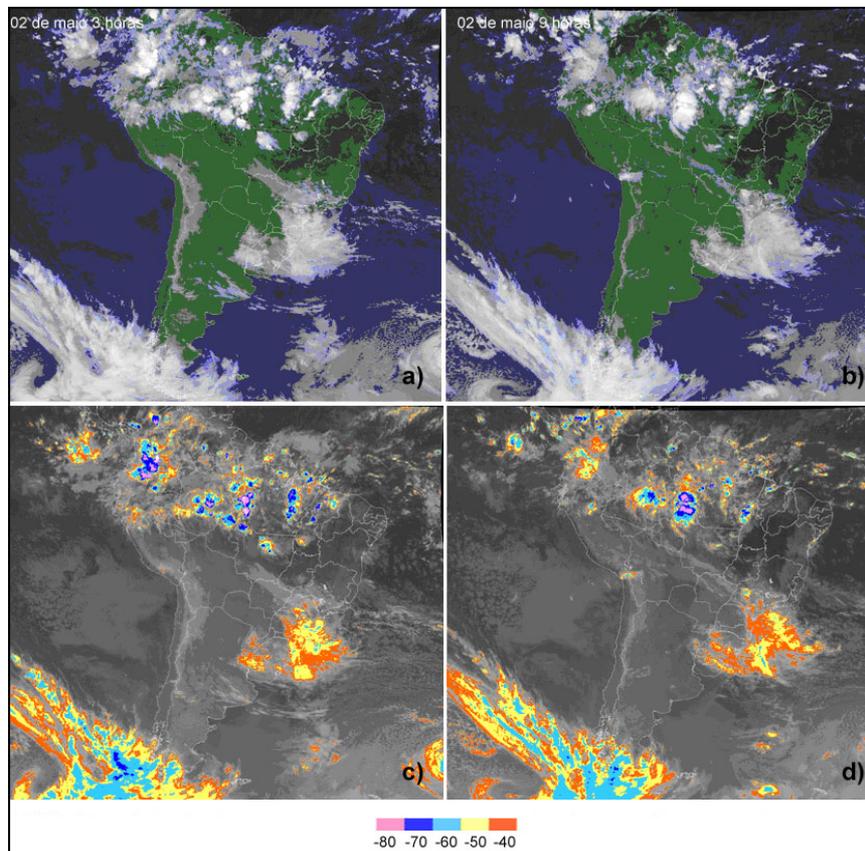


Figuras 6.7 - Imagens do satélite *GOES 10*, onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e a temperatura do topo das nuvens (b), no dia 01 de maio às 21 horas, quando o ciclone extratropical já estava em formação.

Na Figura 6.8a observa-se que no dia 02 de maio, no horário das 03 horas da manhã, as nuvens cobriram todo o Rio Grande do Sul, estando apenas uma pequena porção descoberta na fronteira com Santa Catarina. Os estados do Paraná e de Santa Catarina já apresentavam

sua porção oeste parcialmente descoberta, as nuvens se deslocaram em direção ao oceano Atlântico.

Às 09 horas da manhã deste mesmo dia (Figura 6.8b), o Paraná e Santa Catarina se encontravam descobertos e as nuvens já haviam se deslocado para o oceano, enquanto o Rio Grande do Sul ainda permanecia nublado. Analisando as imagens realçadas-coloridas (Figuras 6.8c, d) observa-se na faixa leste dos dois estados, onde a atuação do ciclone extratropical esteve mais concentrada, que os topos das nuvens apresentam temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

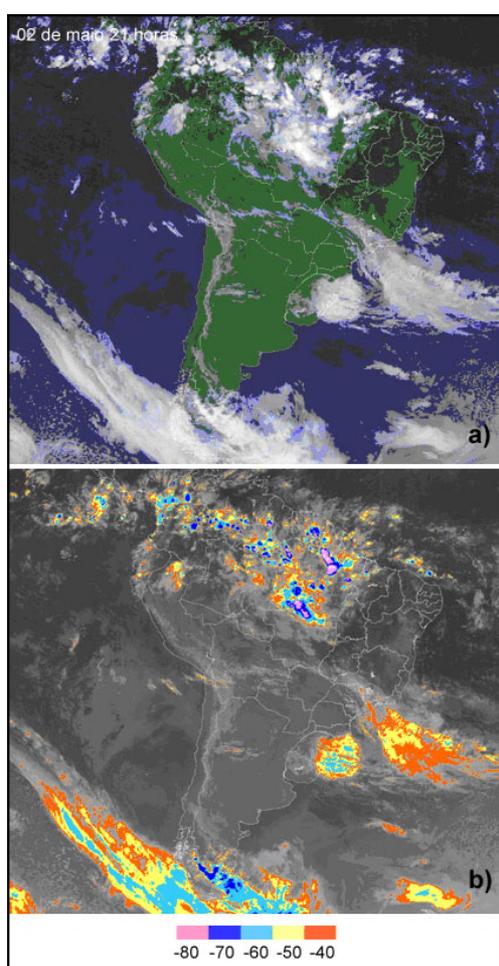


Figuras 6.8 - Imagens do satélite GOES 10, onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 02 de maio às 3 horas e às 9 horas, respectivamente, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.

Na Figura 6.8a observa-se que, no dia 02 de maio, às 21 horas, as nuvens que estavam sobre os estados do Sul do Brasil, nos dias 01 e na manhã do dia 02 haviam se deslocado

para o oceano Atlântico, deixando os estados do Paraná e Santa Catarina e o oeste do Rio Grande do Sul sem nebulosidade. A faixa centro-leste do RS permanece encoberta mais destacadamente todo o litoral, indo do sul de Santa Catarina até a fronteira com o Uruguai.

Na imagem realçada-colorida (Figura 6.8b) observa-se que uma grande região de nuvens com temperatura  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , indicativas de chuvas intensas, estão sobre o litoral gaúcho e escarpa da serra Geral e sobre o oceano Atlântico. No planalto gaúcho e as serras do litoral os topos das nuvens apresentavam temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

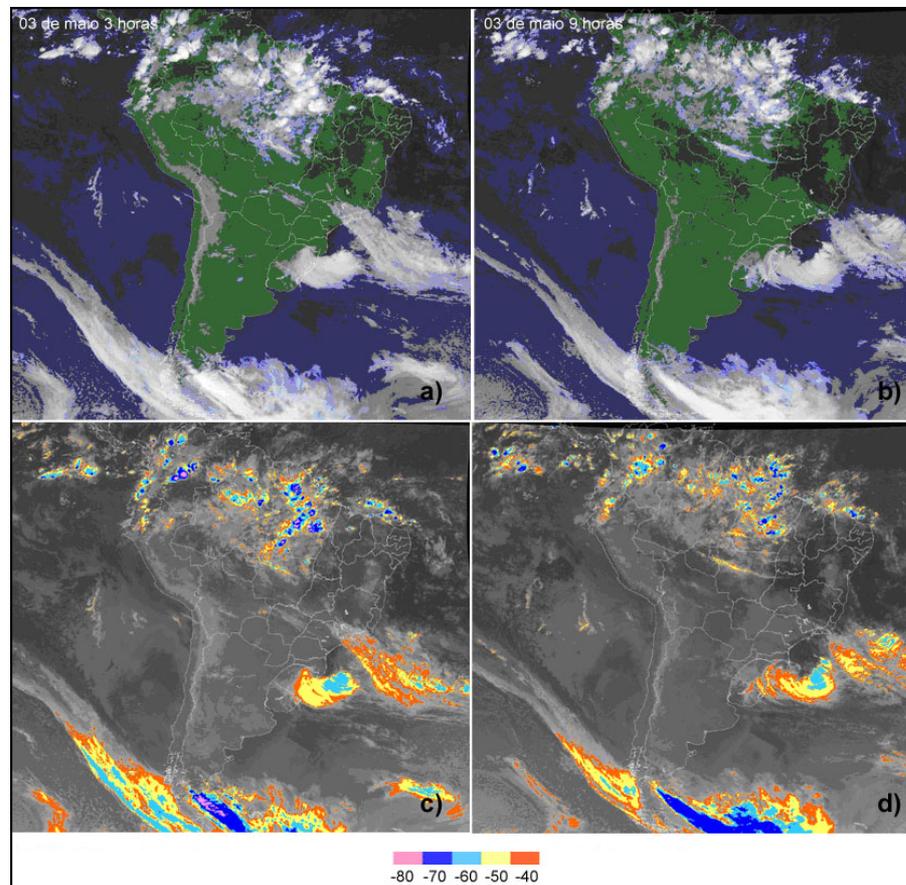


Figuras 6.9- Imagens do satélite *GOES 10*, onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 02 de maio às 21 horas, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.

Na imagem das 03 horas, do dia 03 observa-se que a nebulosidade que cobria o Rio Grande do Sul, às 21 horas do dia 02 está se deslocando em direção ao oceano Atlântico, deixando

o noroeste do estado e todo o estado de Santa Catarina e Paraná sem nebulosidade. Na imagem das 09 horas não são observadas alterações nesta configuração (Figuras 6.10a, b).

Nas imagens realçadas-coloridas tanto das 03 como das 09 horas (Figuras 6.10c, d) observa-se que as nuvens com tops mais frios ( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) estão todas sobre o oceano Atlântico. Restam apenas na faixa leste do Rio Grande do Sul nuvens com tops variando de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na imagem das 03 e na das 09 horas observa-se que estas se deslocam para o oceano Atlântico.

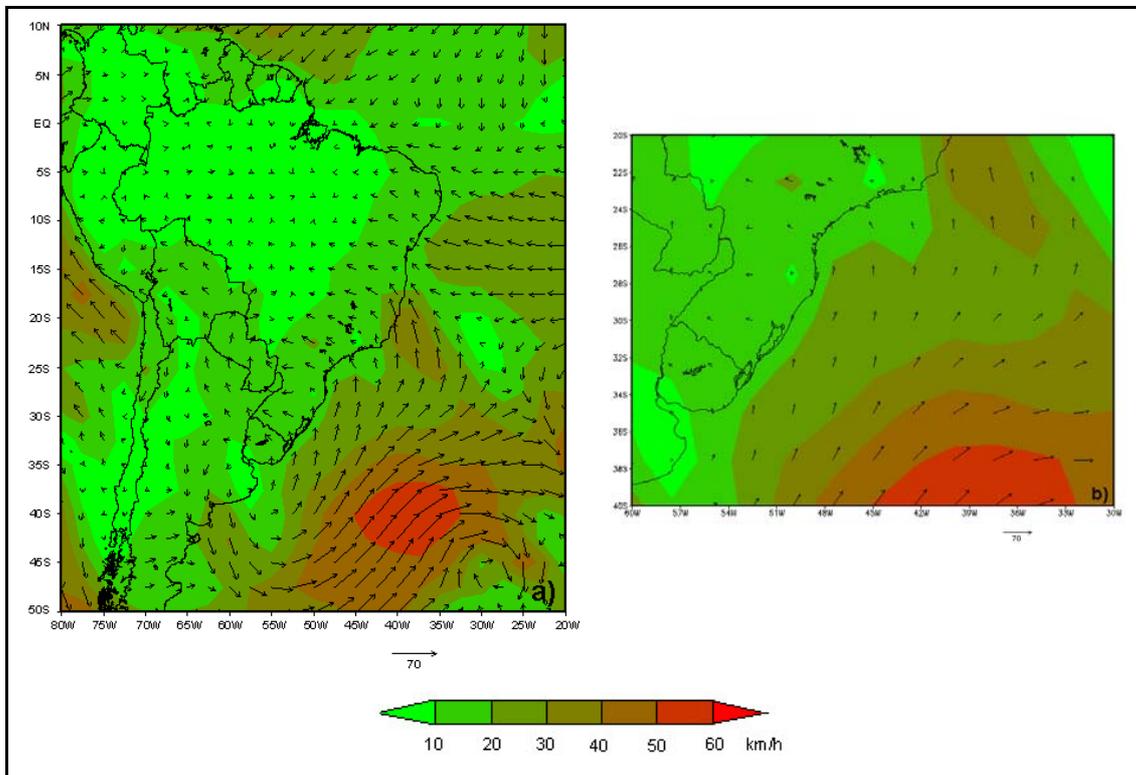


Figuras 6.10 - Imagens do satélite *GOES 10*, onde pode ser observada a distribuição de nuvens (a) e (b) e a temperatura do topo das nuvens (c) e (d), no dia 03 de maio, as 03 e 09 horas, correspondente ao período de maior atividade do ciclone extratropical.

### 6.1.3 Dados de reanálise do NCEP/NCAR

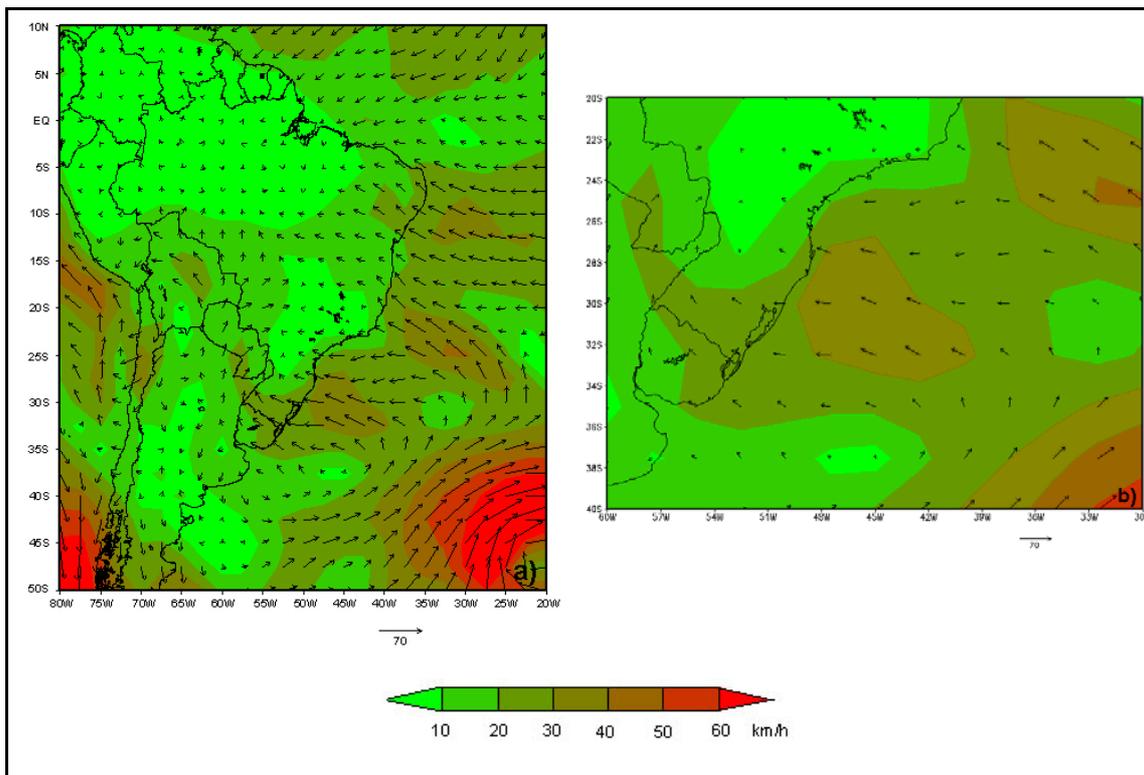
Por meio dos dados de reanálise do NCEP/NCAR foram gerados os mapas de vento, direção e intensidade, do dia 1 a 5 de maio, os quais são apresentados a seguir.

No dia 01 de maio (Figuras 6.11a, b) observa-se que na faixa leste dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, os ventos sopravam de sudeste e apresentavam intensidade entre 10 a 20 km/h.



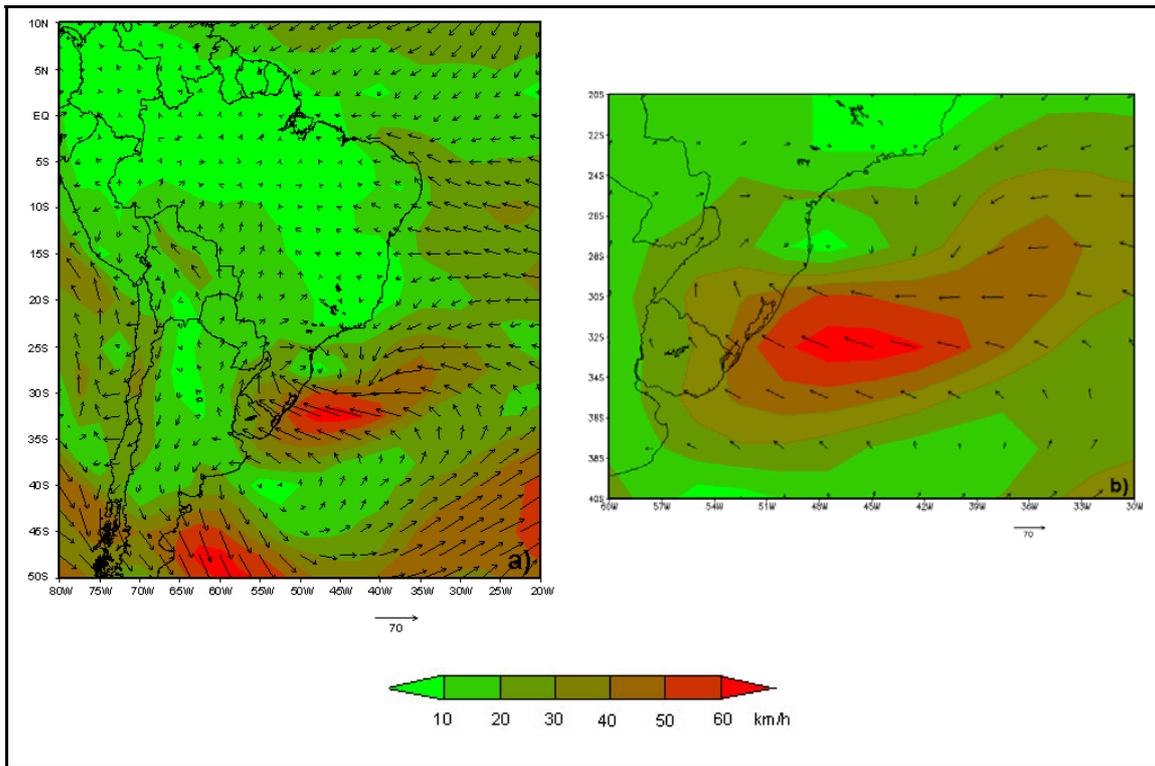
Figuras 6.11 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do NCEP/NCAR, para o dia 01 de maio de 2008.

Nas Figuras 6.12a, b são apresentados os mapas de direção e intensidade do vento para o dia 02 de maio, onde é possível verificar, que a partir deste momento houve a intensificação dos ventos principalmente na costa do Rio Grande do Sul, os ventos atingiram intensidades entre 30 a 40 km/h.



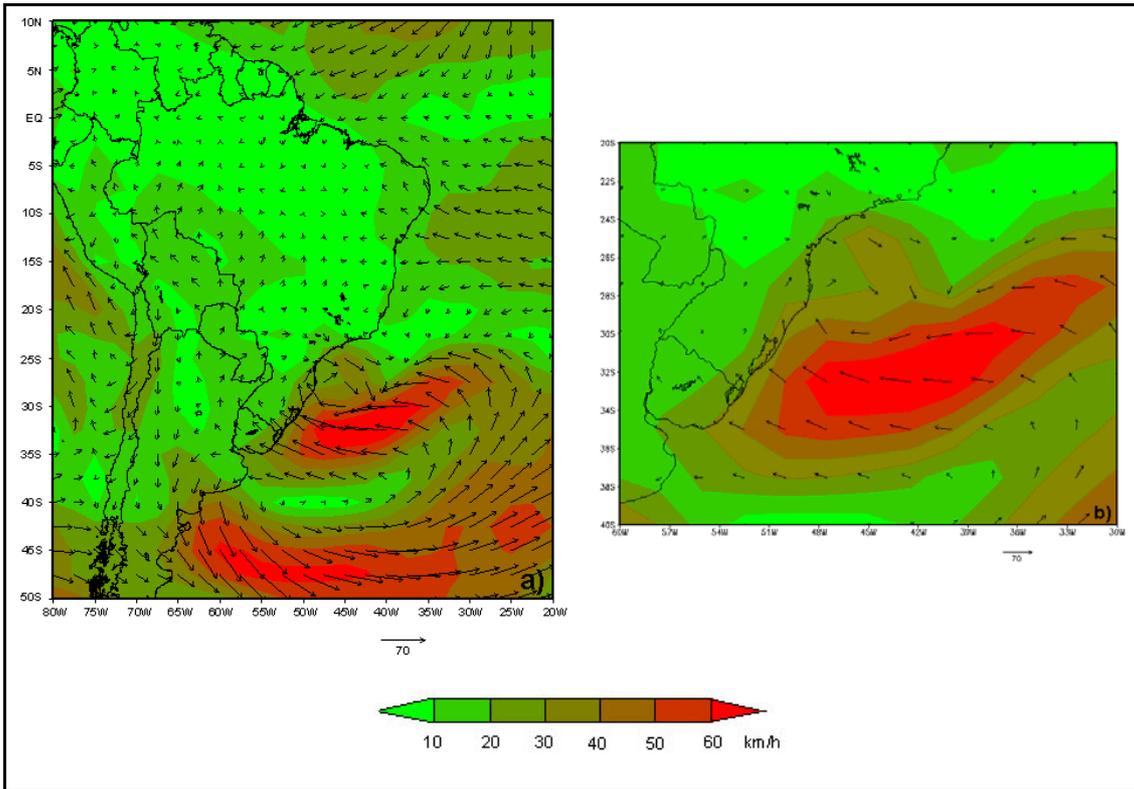
Figuras 6.12 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 02 de maio de 2008.

Pelas Figuras 6.13a, b observa-se, que no dia 03 de maio de 2008, o sistema ciclônico estava localizado sobre o estado do Rio Grande do Sul. Neste dia foram registrados os ventos com maiores intensidades, mais de 60 km/h no litoral, na região nordeste do estado e região metropolitana de Porto Alegre.



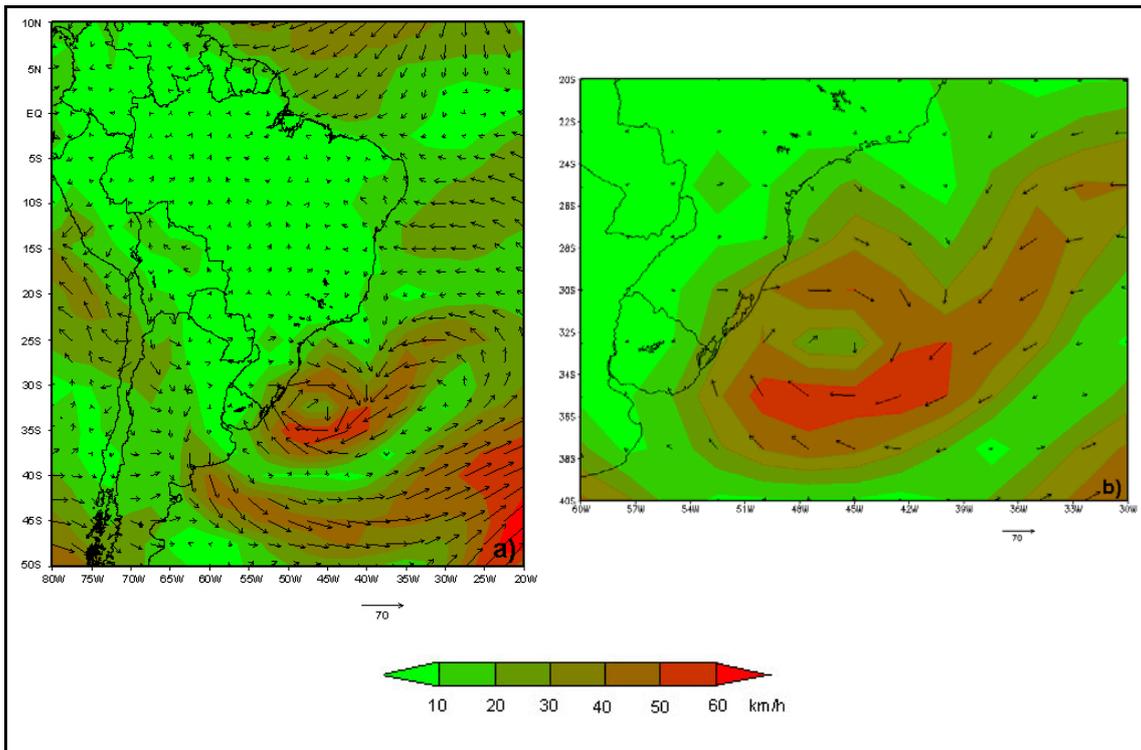
Figuras 6.13- Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 03 de maio de 2008.

De acordo com as Figuras 6.14a, b no dia 04 de maio o sistema começou a se deslocar em direção ao oceano Atlântico, diminuindo assim a intensidade dos ventos na costa gaúcha (variando de 30 a 40 km/h).



Figuras 6.14 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 04 de maio de 2008.

No dia 05 de maio (Figuras 6.15a, b) observa-se que o sistema se deslocou para o oceano Atlântico apresentando ventos menos intensos. Os ventos na costa do Rio Grande do Sul variavam de 20 a 40 km/h.



Figuras 6.15 - Direção e intensidade do vento (km/h) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerados a partir dos dados de reanálise do NCEP/NCAR, para o dia 05 de maio de 2008.

#### 6.1.4 Dados do METAR

Para um melhor acompanhamento temporal do evento foram utilizados dados do *Meteorological Aviation Report (METAR)* dos aeroportos de Porto Alegre e Florianópolis.

Analisando-se a Figura 6.16 observa-se que no início do dia 02 de maio a velocidade do vento no aeroporto de Porto Alegre não atingia 10 km/h, às 09 horas da manhã o vento inclusive perdeu completamente a força, chegando sua velocidade praticamente a zero, para logo em seguida iniciar uma escalada de intensidade, apresentando 20 km/h, às 14 horas e a partir daí continuou aumentando a sua intensidade, com um pico em torno de 25 km/h, às 18 horas.

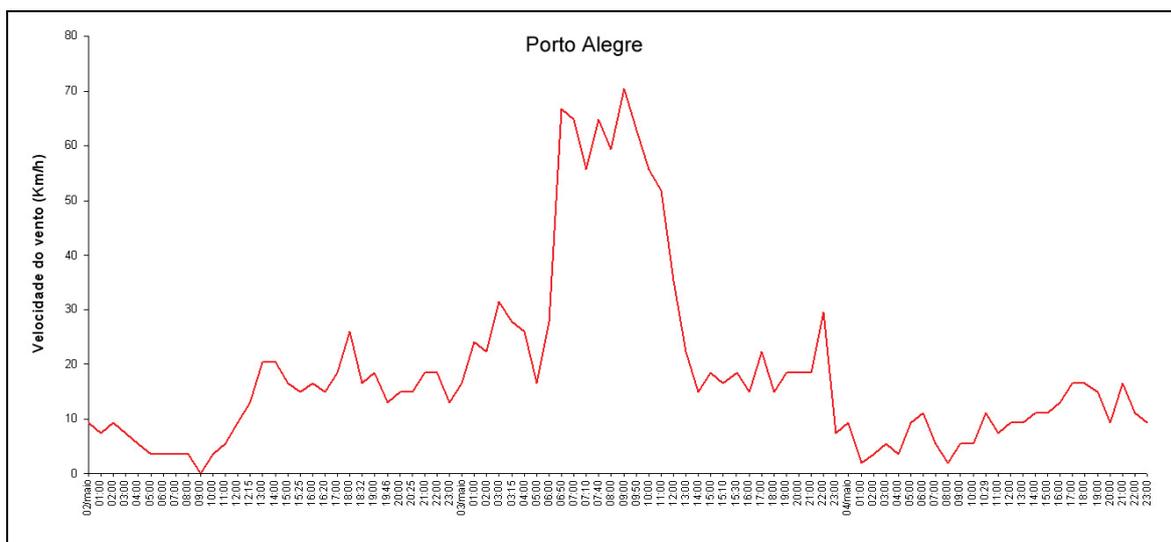


Figura 6.16 - Vento registrado no aeroporto de Porto Alegre, nos dias 02, 03, 04 de maio de 2008.

No dia 03 de maio a velocidade dos ventos aumentou consideravelmente com dois picos de alta intensidade, o primeiro quase às 07 horas, o qual atingiu a velocidade de 65 km/h e o segundo as 09 horas, com 70 km/h. A partir daí, os ventos começaram a perder força, apresentando um outro pico de intensidade bem menor (30 km/h), às 22 horas. No dia 04 de maio, os ventos perderam sua força e voltaram a apresentar velocidades variando entre 3 e 15 km/h.

De acordo com os dados observados (Figura 6.17), o comportamento dos ventos em Florianópolis não seguiu o mesmo padrão observado no aeroporto de Porto Alegre. Enquanto na capital gaúcha, a máxima velocidade atingida foi no período da manhã do dia 03 de maio, em Florianópolis o máximo de velocidade ocorreu no período da noite.

No dia 02 de maio, a velocidade do vento variou de 5 a 20 km/h chegando quase zero no horário das 08 horas, para logo em seguida iniciar um aumento, assim como observado no gráfico anterior, atingindo um máximo em torno de 30 km/h, entre as 19 e 24 horas.

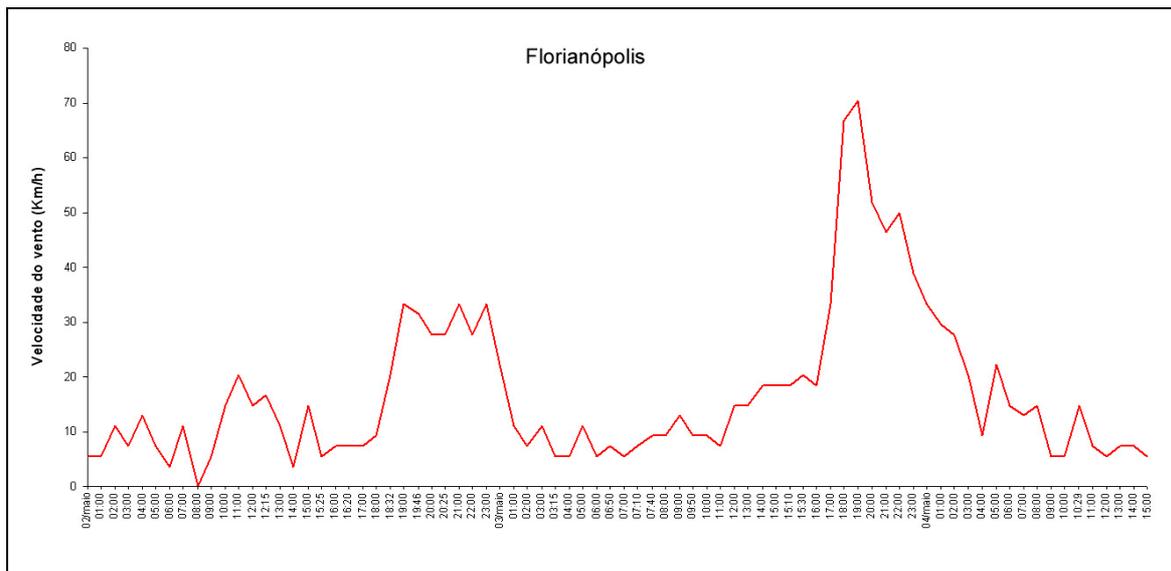


Figura 6.17 - Vento registrado no aeroporto de Florianópolis, nos dias 02, 03, 04 de maio de 2008.

No dia 03 de maio os ventos voltaram a apresentar baixas velocidades, durante quase toda a manhã, variando entre 5 e 10 km/h, porém a partir das 11 horas começaram a aumentar a sua velocidade rapidamente e de forma brusca até atingir um pico de 70 km/h as 19 horas. Após este horário, os ventos começaram gradualmente a perder velocidade até atingirem 35 km/h, no final do dia.

No dia 04 de maio, os ventos já haviam perdido sua força e a velocidade máxima atingida foi em torno de 20 km/h, às 05 horas, decrescendo depois de forma descontínua, até 5 km/h.

### 6.1.5 Mapas de precipitação acumulada

A seguir são apresentados os mapas da precipitação acumulada, gerados a partir dos dados de reanálise do NCEP/NCAR, para o período de 01 a 05 de maio de 2008.

Nas Figuras 6.18a, b observa-se que no dia 01 de maio há uma grande área de precipitação na região sudeste do Mato Grosso do Sul e oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná, chegando a precipitações acumuladas acima de 40 mm.

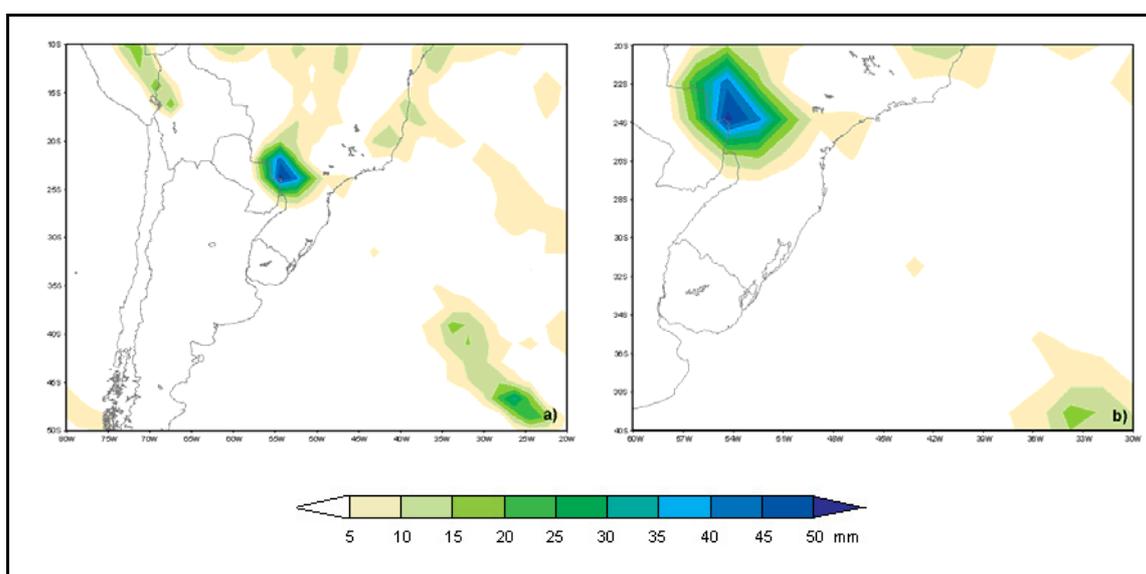
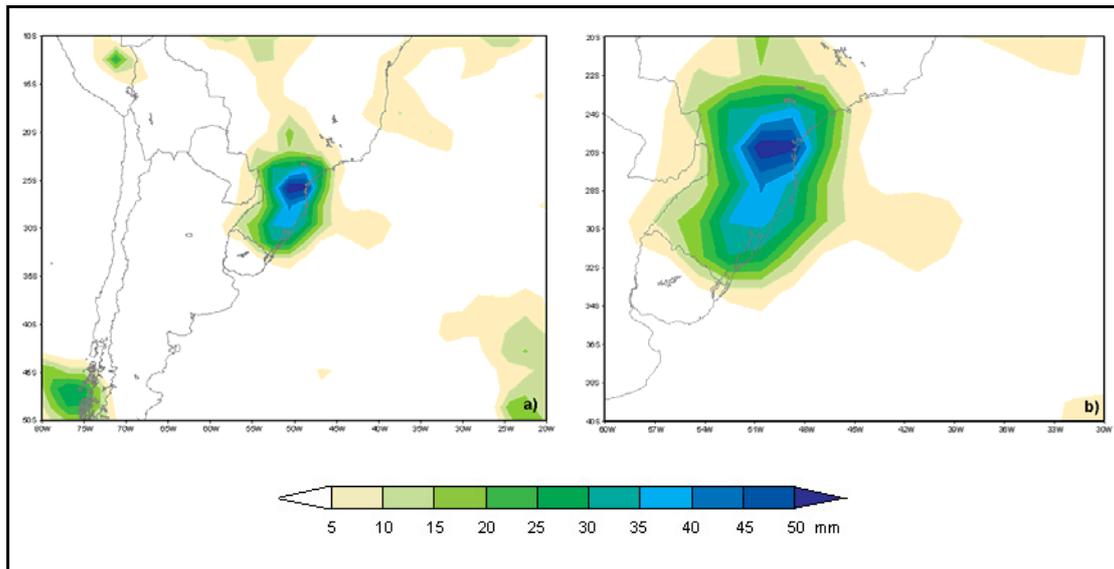


Figura 6.18 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 01 de maio de 2008.

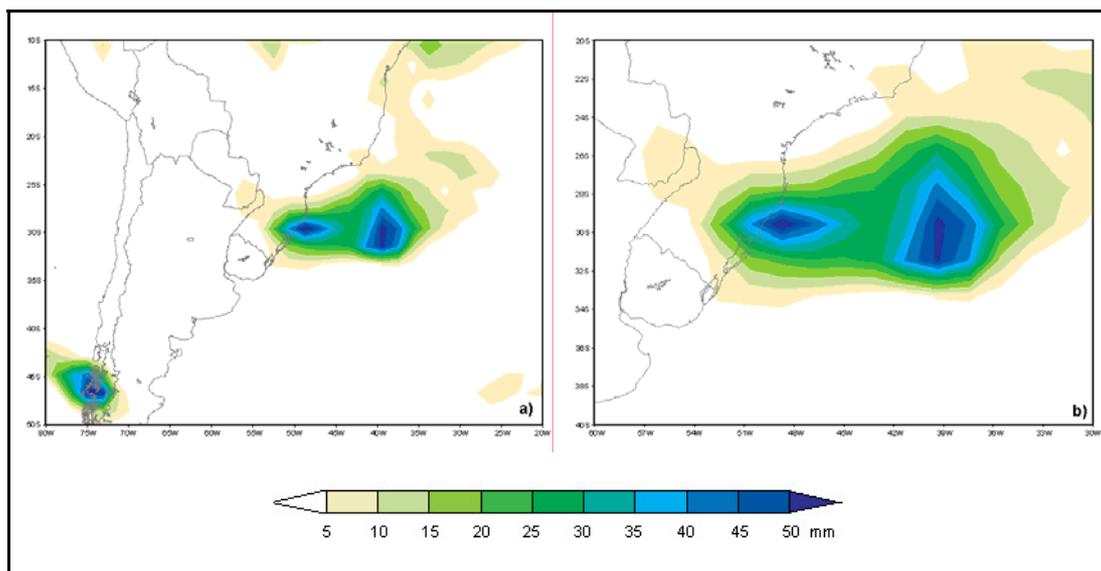
No dia 02 (Figura 6.19a, b) observa-se que as áreas com maiores índices de precipitação estão concentradas na porção nordeste e litoral do estado do Rio Grande do Sul e na porção sudeste e litoral de Santa Catarina, com maior concentração sobre este estado, precipitação acumulada passando dos 50 mm. Ao longo de toda a costa dos dois estados a precipitação acumulada esteve entre 30 mm e 35 mm e no Rio Grande do Sul pode-se observar no planalto, escarpa da serra geral e próximo a região metropolitana de Porto Alegre índices de precipitação acumulada variando de 35 mm a 40 mm.

Constata-se que neste dia ocorreram precipitações em praticamente todos os estados da região Sul.



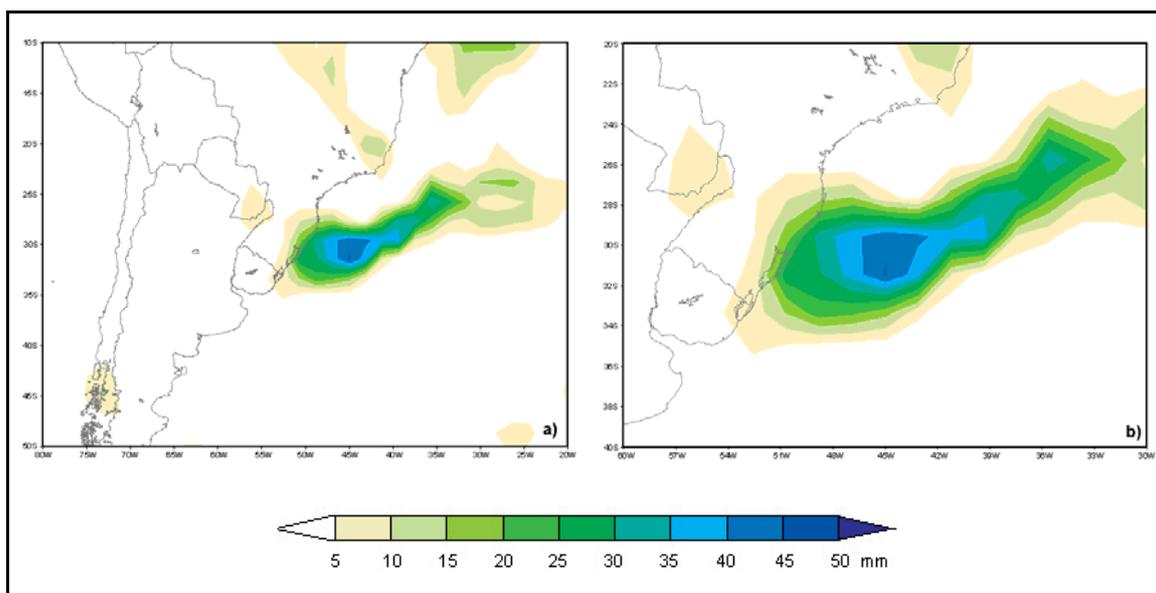
Figuras 6.19 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 02 de maio de 2008.

Pelas Figuras 6.20a, b, observa-se que no dia 03 de maio não há mais ocorrência de chuvas sobre Santa Catarina, apenas no litoral e nordeste do Rio Grande do Sul, na altura dos municípios de Maquiné e Tramandaí, nas proximidades da região metropolitana de Porto Alegre e sobre o oceano Atlântico. Os máximos de precipitação acumulada passam dos 50 mm, concentrados no litoral norte do Rio Grande do Sul e região metropolitana de Porto Alegre.



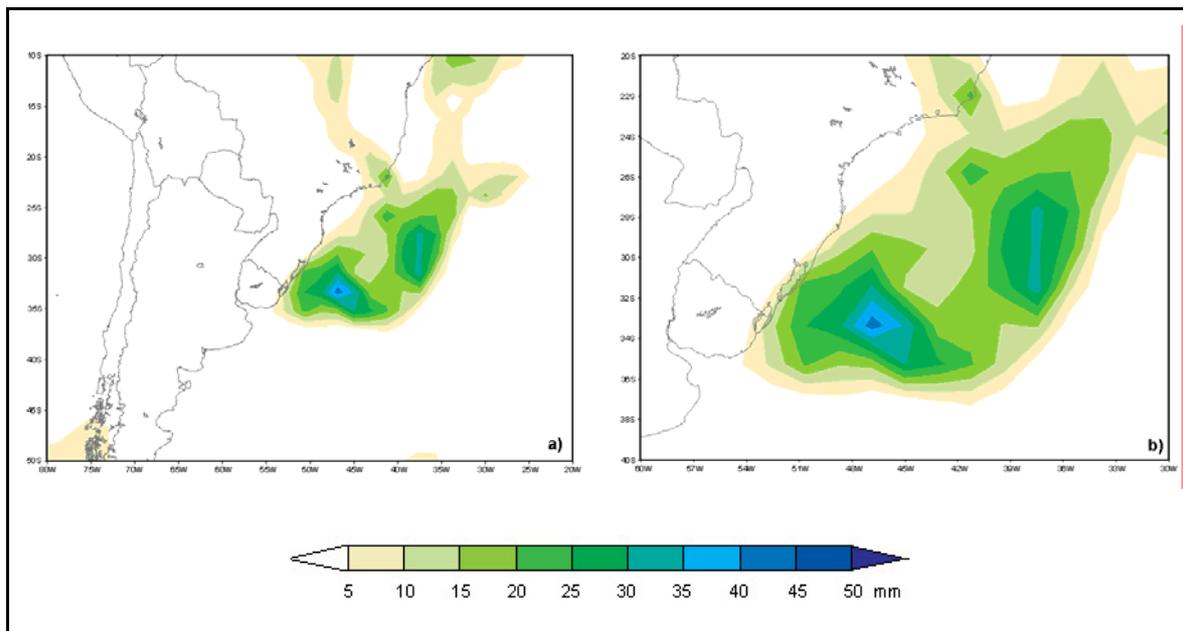
Figuras 6.20 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 03 de maio de 2008.

Nas Figuras 6.21a, b observa-se que no dia 04 as áreas de precipitação já se deslocaram em sua maior parte para o oceano e é aí que são encontrados os índices de precipitação acumulada superiores a 50 mm. No estado de Santa Catarina a precipitação acumulada ficou entre 5 mm e 15 mm, no litoral do Rio Grande do Sul e na área metropolitana de Porto Alegre ocorreram precipitações acumuladas variando entre 20 mm e 30 mm.



Figuras 6.21- Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 04 de maio de 2008.

Nas Figuras 6.22a, b observam-se que, praticamente, ocorre precipitação sobre o estado do Rio Grande do Sul, apenas sobre a lagoa dos Patos, na altura da cidade de Tapas, são observados valores variando entre 10 mm e 20 mm, quase toda a precipitação registrada neste dia ocorreu sobre o oceano.



Figuras 6.22 - Precipitação acumulada (mm) para América do Sul (a) e para região Sul do Brasil (b), gerada a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, para o dia 05 de maio 2008.

### 6.1.6 Mapas de precipitação acumulada utilizando o hidroestimador

Complementando as informações das precipitações acumuladas obtidas a partir dos dados de reanálise do *NCEP/NCAR*, neste item são analisados os mapas da precipitação acumulada estimada obtidos por meio do hidroestimador, que é um método que combina dados de satélite e radar, disponibilizados pelo CPTEC/INPE ([http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/texto.html](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/texto.html)), num período de 24 horas (12:00 horas do dia anterior e 12:00 horas do dia atual). Estes mapas permitem observar que a precipitação acumulada estimada apresenta a mesma dinâmica daquela observada nos mapas obtidos com os dados de reanálise.

No dia 01 de maio (Figura 6.23a) das 12 horas do dia 30 de abril até às 12 horas do dia 01 de maio, as precipitações, superiores a 45 mm, concentravam-se na porção oeste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Na imagem correspondente ao dia 02 (Figura 6.23b) observa-se que as precipitações ocorreram sobre todos os estados da região Sul.

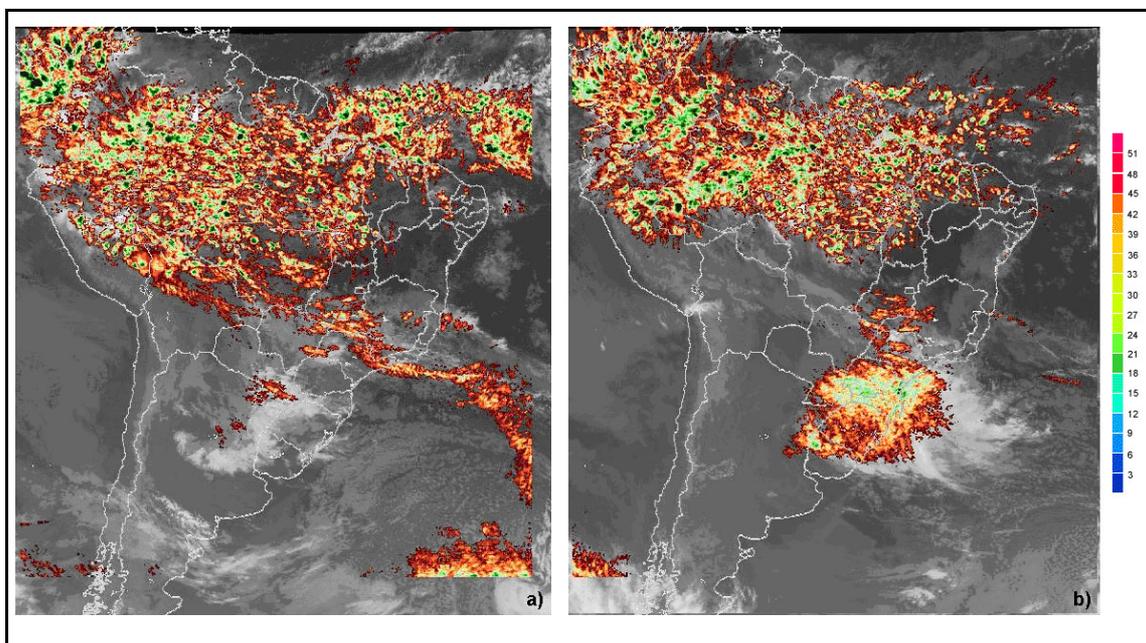
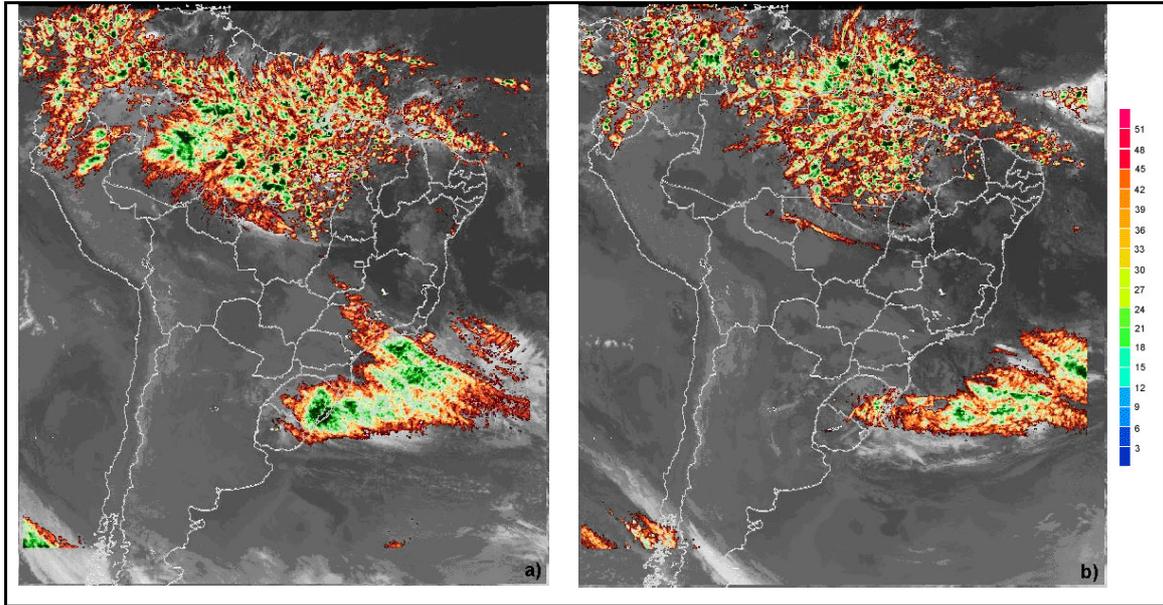


Figura 6.23 - Precipitação acumulada (mm), estimada por dados do satélite GOES 12, para os dias 01 (a) e 02 (b) de maio de 2008, respectivamente.

No dia 03 de maio (Figura 6.24a) pode-se observar que os núcleos de precipitação começaram a se deslocar para o oceano, não estão mais presentes no estado do Paraná, ocorrem apenas no litoral de Santa Catarina e cobrem grande parte do estado do Rio Grande do Sul, principalmente a sua porção centro-leste, chegando até a região do Chuí na fronteira com o Uruguai. Neste dia a precipitação máxima acumulada sobre o litoral gaúcho variou entre 18 mm e 24 mm e na porção central do estado, no sul e no litoral sul de Santa Catarina variou entre 39 mm e 45 mm.

No dia 04 (Figura 6.24b) foi observada precipitação no litoral e leste gaúcho e na região metropolitana de Porto Alegre, os máximos variaram entre 18 mm e 24 mm.



Figuras 6.24 - Precipitação acumulada (mm), estimada por satélite, para os dias 03 (a) e 04 (b) de maio de 2008, respectivamente.

Na Figura 6.25, referente ao dia 05, as precipitações praticamente deixaram o Rio Grande do Sul, ocorrendo apenas no litoral, sobre a lagoa dos Patos, onde os máximos variaram entre 15 mm e 24 mm. Praticamente toda a precipitação registrada neste dia ocorreu sobre o oceano.

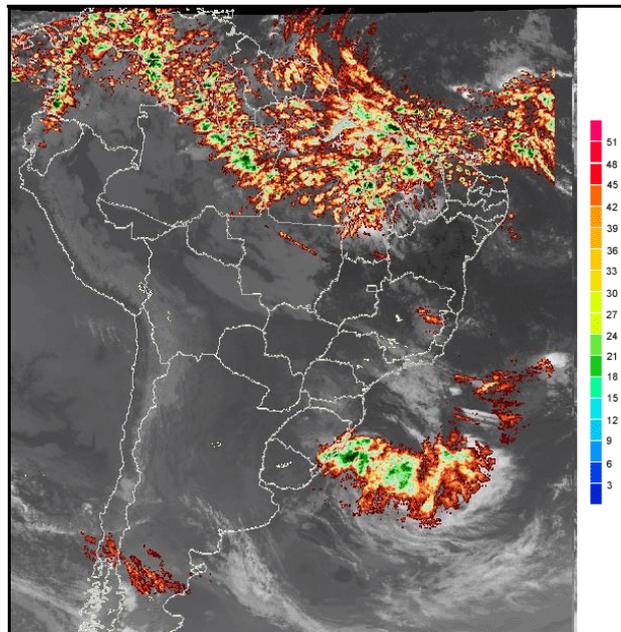


Figura 6.25 - Precipitação acumulada (mm), estimada por satélite, para o dia 05 de maio.

### 6.1.7 Gráficos de precipitação horária e acumulada

A partir dos dados do INMET foram feitos gráficos da precipitação horária e acumulada, para as estações meteorológicas de Porto Alegre e Florianópolis. O período considerado em cada gráfico vai de 01 a 05 de maio.

Em Porto Alegre (Figura 6.26) observa-se a maior concentração de chuvas a partir das 16 horas do dia 02 de maio até às 09 horas do dia 03, com um pico de mais de 20 mm, às 21 horas do dia 02 de maio. Nos dias 04 e 05 ainda houve registro de precipitação, porém de menor intensidade, não ultrapassando os 2 mm.

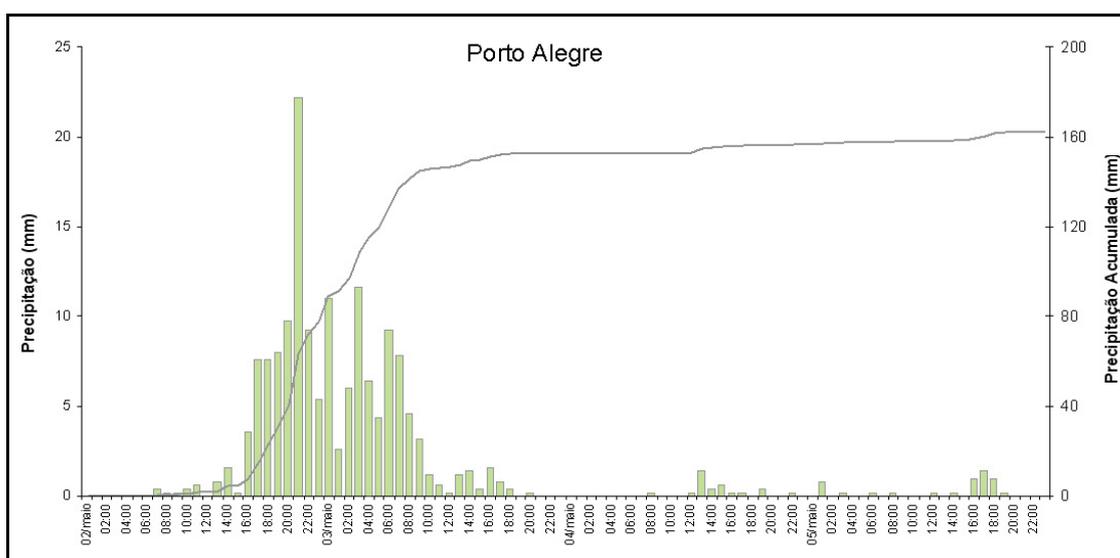


Figura 6.26 - Precipitação horária e acumulada em Porto Alegre, nos dias 02, 03, 04 e 05 de maio (INMET).

Em Florianópolis as maiores precipitações ocorreram entre as 05 horas do dia 02 e às 04 horas do dia 03 de maio, com pico máximo em torno de 15 mm ocorrendo às 02 horas do dia 03 (Figura 6.27).

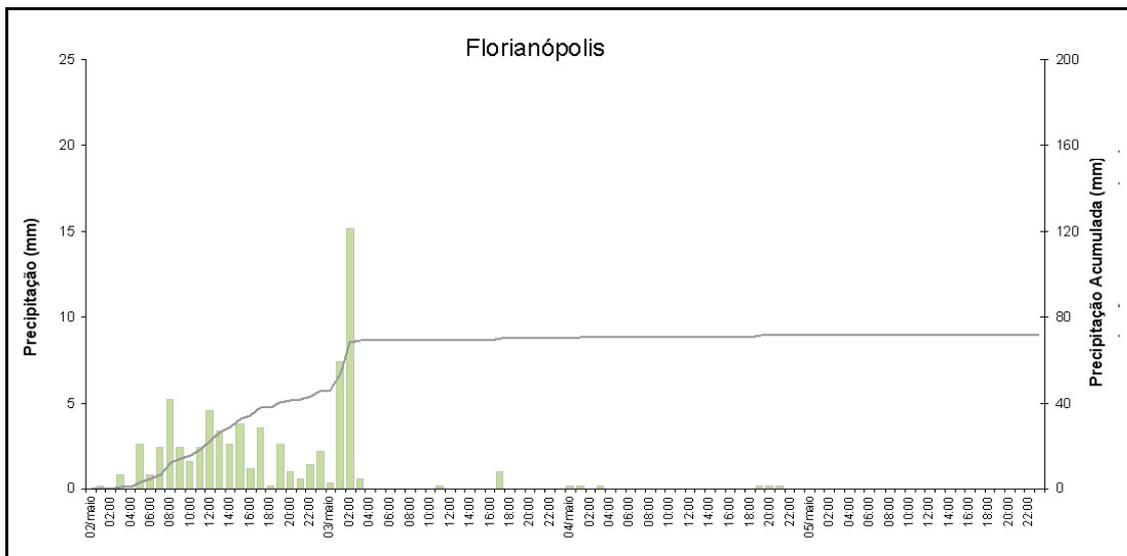


Figura 6.27- Precipitação horária e acumulada em Florianópolis nos dias 02, 03, 04 e 05 de maio (INMET).

A comparação entre as Figuras 6.26 e 6.27 permite observar que o período chuvoso em Porto Alegre foi muito maior e muito mais intenso que em Florianópolis. Em Porto Alegre, o total acumulado passa de 160 mm, enquanto que em Florianópolis os valores são inferiores a 80 mm, para todo o período considerado.

A distribuição das chuvas observadas nestes dois gráficos para as duas cidades corrobora as análises anteriores sobre as precipitações, que ocorreram durante a passagem do ciclone extratropical.

### 6.1.8 Análise dos dados pluviométricos

A seguir são apresentadas tabelas contendo os dados de índices pluviométricos, da rede da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, obtidos de pluviômetros. As tabelas são apresentadas considerando os municípios localizados nos cursos superior, médio e inferior do rio dos Sinos.

### a) Curso superior

A Tabela 6.1 apresenta os dados de índices pluviométricos para ao município de Osório, Santo Antônio da Patrulha e Caraá para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.1 - Dados de índices pluviométricos para o município de Osório, Santo Antônio da Patrulha e Caraá

<b>Osório</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	5,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>130,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>80,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>05/05/2008</b>	<b>70,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>285,0 mm</b>	-
<b>Santo Antônio da Patrulha</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	5,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>120,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>90,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	5,0 mm	Nublado
06/05/2008	8,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>228,0 mm</b>	-
<b>Caraá</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
<b>03/05/2008</b>	<b>180,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>127,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>307,0 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Os dados apresentados na Tabela 6.1 correspondem a três municípios que fazem parte da área de cabeceira da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Em todos eles os dias com maiores precipitações foram 03 e 04 de maio, somente em Osório, as precipitações ainda estavam elevadas no dia 05 de maio, o que corresponde à análise feita no item referente às precipitações acumuladas e de dinâmica de deslocamento do ciclone extratropical. Dos três municípios o que apresentou as maiores precipitações foi Caraá, onde estão as nascentes do rio dos Sinos, com um total de 307 mm em apenas dois dias de precipitação. Neste

município ocorreu no dia 03 de maio 59% das precipitações. O município de Osório, apesar de três dias de chuvas fortes, os índices de precipitação não passaram de 285 mm, sendo que no dia 03 de maio choveu 46% deste total. No município de Santo Antônio da Patrulha, neste mesmo dia ocorreram 53% das precipitações.

A Tabela 6.2 apresenta os dados de índices pluviométricos para o município de São Francisco de Paula e Gramado para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.2 - Dados de índices pluviométricos para o município de São Francisco de Paula e Gramado

<b>São Francisco de Paula</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do Tempo</b>
02/05/2008	10,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>55,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>90,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>05/05/2008</b>	<b>50,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
06/05/2008	12,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>217,0 mm</b>	-
<b>Gramado</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	15,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>88,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>85,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	17,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	3,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>208,0 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Os índices de precipitação para os municípios de São Francisco de Paula e Gramado apresentados na Tabela 6.2 mostram que os totais de precipitações foram elevados, ultrapassando os 200 mm, mas ficaram abaixo dos índices alcançados nas cabeceiras da bacia, conforme assinalado na Tabela 6.1. Em São Francisco de Paula ocorreram três dias de chuva forte, sendo que 41,4% ocorreram apenas no dia 04 de maio, já em Gramado nos dias 03 e 04 ocorreu praticamente o mesmo volume de precipitação com 42,3% concentrando-se no dia 03 de maio.

### b) Curso médio

A Tabela 6.3 apresenta os dados de índices pluviométricos para ao município de Três Coroas e Igrejinha para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.3 - Dados de precipitação pluviométrica de Três Coroas e Igrejinha

<b>Três Coroas</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do Tempo</b>
02/05/2008	8,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>70,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>68,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	20,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	4,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>170,0 mm</b>	-

<b>Igrejinha</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	7,5 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>60,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>60,1 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
06/05/2008	5,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>132,6 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Os municípios de Três Coroas e Igrejinha apresentados na Tabela 6.3 pertencem ao médio curso da bacia do rio Paranhana. Nestes dois municípios as maiores precipitações também ocorreram nos dias 03 e 04 de maio de 2008, dias de maior atuação do sistema ciclônico na região, porém seus índices pluviométricos totais ficaram, apesar de altos, bastante aquém dos índices apresentados pelos municípios do alto curso da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, já que nenhum deles chegou a 200 mm. Em Três Coroas os índices foram praticamente iguais para os dois dias, sendo que no dia 03 de maio choveu 41% do total, e em Igrejinha os índices de precipitação foram iguais para os dois dias.

A Tabela 6.4 apresenta os dados de índices pluviométricos para os municípios de Nova Hartz e Araricá, para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.4 - Dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Nova Hartz e Araricá

<b>Nova Hartz</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	17,5 mm	Pancadas
<b>03/05/2008</b>	<b>117,5 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>72,5 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	20,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	5,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>232,5 mm</b>	-
<b>Araricá</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	19,0 mm	Pancadas
<b>03/05/2008</b>	<b>115,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>71,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	19,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	5,0 mm	Parc. Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>229 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Os maiores índices pluviométricos dos municípios de Nova Hartz e Araricá, apresentados na Tabela 6.4, ocorreram no dia 03 de maio, e os totais passaram dos 200 mm. Estes municípios estão localizados na bacia do arroio Grande, afluente da margem direita do rio dos Sinos, já no médio curso. Dos 232,5 mm observados em Nova Hartz, 50,5% foram precipitados no dia 03 de maio e dos 229 mm observados em Araricá, 50,2% também ocorreu neste mesmo dia.

A Tabela 6.5 apresenta os dados de índices pluviométricos para ao município de Saporanga, para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.5 - Dados de precipitação pluviométrica dos municípios de Sapiranga

<b>Sapiranga</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	7,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>85,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>55,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>05/05/2008</b>	<b>52,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
06/05/2008	4,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>203,0 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

No município de Sapiranga, que está localizado no médio curso do rio dos Sinos, choveu forte nos dias 03, 04 e 05 de maio, como observado na Tabela 6.5, com um total de precipitações acima de 200 mm. Apenas no dia 03 de maio choveu 42% do total.

### c) Curso inferior

A Tabela 6.6 apresenta os dados de índices pluviométricos para os municípios de Ivoti, e Estância Velha para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.6- Dados de precipitação pluviométrica de Ivoti e Estância Velha

<b>Ivoti</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do Tempo</b>
02/05/2008	5,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>120,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>60,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	10,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>195,0 mm</b>	-
<b>Estância Velha</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	10,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>70,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
<b>04/05/2008</b>	<b>58,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
05/05/2008	15,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	7,0 mm	Chove Fraco
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>160,0 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Os municípios de Ivoti e Estância Velha estão localizados na bacia do arroio Portão afluente da margem direita do rio dos Sinos. Neste município apesar da chuva forte nos dias 03 e 04 de maio os totais de precipitação não chegaram aos 200 mm, sendo que em Ivoti os índices alcançados foram mais significativos. Dos 195 mm que choveu neste município, 61,5% ocorreram apenas no dia 03 de maio. Já em Estância Velha, as precipitações foram menores, e 42% ocorreram também no dia 03 de maio.

A Tabela 6.7 apresenta os dados de índices pluviométricos para os municípios de Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio para os dias 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 22 de maio, correspondentes ao período de inundação e pós-inundação do rio dos Sinos.

Tabela 6.7- Dados de precipitação pluviométrica de Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio

<b>Novo Hamburgo</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do Tempo</b>
02/05/2008	2,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>100,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
04/05/2008	28,0 mm	Chove Fraco
05/05/2008	28,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	8,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>166,0 mm</b>	-
<b>São Leopoldo</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	1,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>100,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
04/05/2008	25,0 mm	Chove Fraco
05/05/2008	10,0 mm	Nublado
06/05/2008	7,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>143,0 mm</b>	-
<b>Sapucaia do Sul</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do Tempo</b>
02/05/2008	7,5 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>100,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
04/05/2008	25,0 mm	Chove Fraco
05/05/2008	8,0 mm	Chove Fraco
06/05/2008	8,0 mm	Tempo Bom
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>148,5 mm</b>	-

conclusão		
<b>Esteio</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Condições do tempo</b>
02/05/2008	10,0 mm	Chove Fraco
<b>03/05/2008</b>	<b>100,0 mm</b>	<b>Chove Forte</b>
04/05/2008	30,0 mm	Chove Fraco
05/05/2008	5,0 mm	Nublado
07/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
22/05/2008	0,0 mm	Tempo Bom
<b>Total</b>	<b>145,0 mm</b>	-

Fonte: Defesa Civil do Rio Grande do Sul

Todos os municípios apresentados na Tabela 6.7 estão localizados no baixo curso do rio dos Sinos, sendo que alguns deles, como Novo Hamburgo e São Leopoldo, têm parte de sua área urbana muito próxima a planície fluvial do rio. É nesta porção do rio que a planície fluvial é maior, favorecendo episódios de inundação, por ocasião de chuvas intensas e concentradas em curto espaço de tempo, como pode ser observado pelos índices de precipitação apresentados na tabela.

Observa-se também que ao contrário de todos os outros municípios, aqui as chuvas fortes foram concentradas apenas em um único dia, 03 de maio. Os totais de chuvas não chegam aos 200 mm, porém do total de 166 mm que choveu em Novo Hamburgo, 60% ocorreu no dia 03 de maio. Em São Leopoldo 70% das chuvas também ocorreram neste dia. Em Sapucaia do Sul e Esteio foi observado o mesmo comportamento, em que 67,3% e 70% das chuvas, respectivamente, ocorreram em apenas um dia.

### **6.1.9 Mapas de isoietas**

Os mapas de isoietas gerados a partir de dados de precipitações ocorridas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, possibilitaram a espacialização da distribuição das chuvas e um melhor entendimento da dinâmica destas na bacia durante e após a passagem do ciclone extratropical e como elas contribuíram para a ocorrência do evento de inundação no rio dos Sinos. Neste item é feita uma análise destes mapas considerando aos cursos superior, médio e inferior do rio.

A Figura 6.28 apresenta o mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 02 de maio de 2008. Observa-se que nesse dia a precipitação oriunda do evento ciclônico extratropical iniciou com grande intensidade à oeste da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, em Nova Santa Rita (seta vermelha), já no curso inferior do rio dos Sinos, atingiu um total diário de 105 mm, nas cabeceiras da bacia, na altura do município de Caraá (seta azul) não ocorreram precipitações.

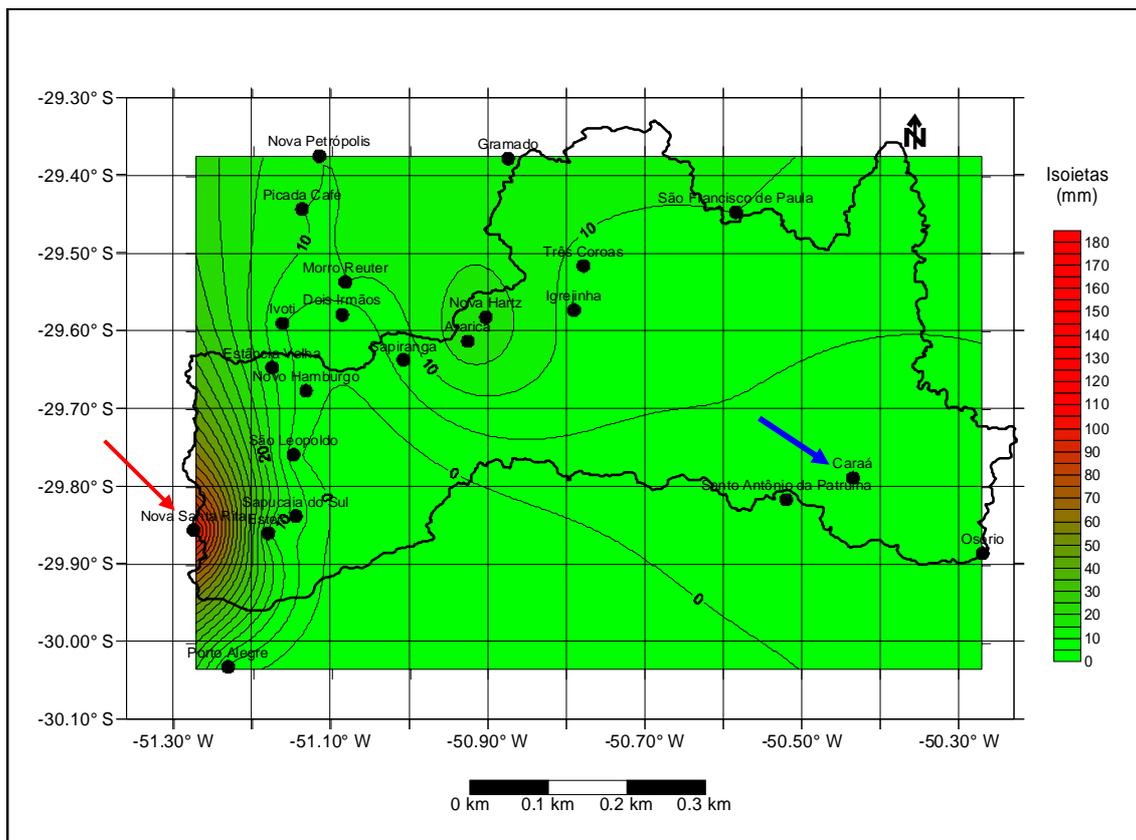


Figura 6.28- Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 02 de maio de 2008.

Já no dia 03 de maio as precipitações mudaram completamente o seu comportamento, como pode ser observado na Figura 6.29, ocorrendo chuvas fortes em toda a bacia, principalmente em toda sua porção centro-sul, com os índices mais altos de precipitação no extremo leste, na área de cabeceira, na altura do município de Caraá (seta azul), onde atingiu os 180 mm. Esta porção da bacia apresenta relevos com alta declividade, o que facilita o escoamento superficial da chuva para o canal do rio.

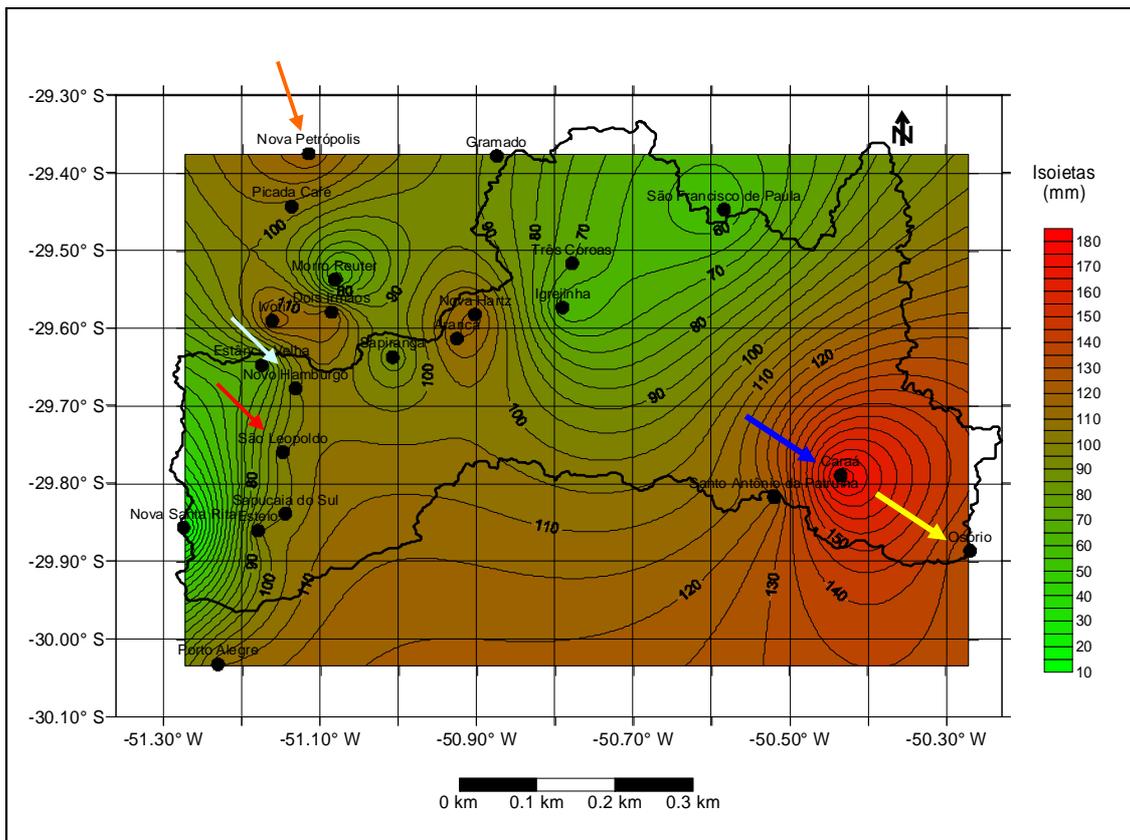


Figura 6.29 - Mapa de isoieta da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 03 de maio de 2008.

Nesta mesma Figura observa-se que no litoral do estado gaúcho ocorreram também grandes precipitações, sendo que na cidade de Osório (seta amarela) os índices chegaram a 130 mm.

Na região de São Leopoldo (seta vermelha) e Novo Hamburgo (seta azul claro), já no curso inferior, e próximo às áreas dos terraços e planícies fluviais, propícias para a acumulação de água, foram observadas também chuvas forte, com índices de 100 mm. Na porção noroeste da bacia, na região dos municípios de Picada Café e Nova Petrópolis (seta laranja) também foram observadas chuvas intensas, chegando a 102 mm no último município.

No dia 04 de maio, a maior precipitação continuou ocorrendo no trecho superior da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, conforme observado na Figura 6.30 variando de 180 a 120 mm, com a cidade de Caraá (seta azul escuro) apresentando um total de 127 mm.



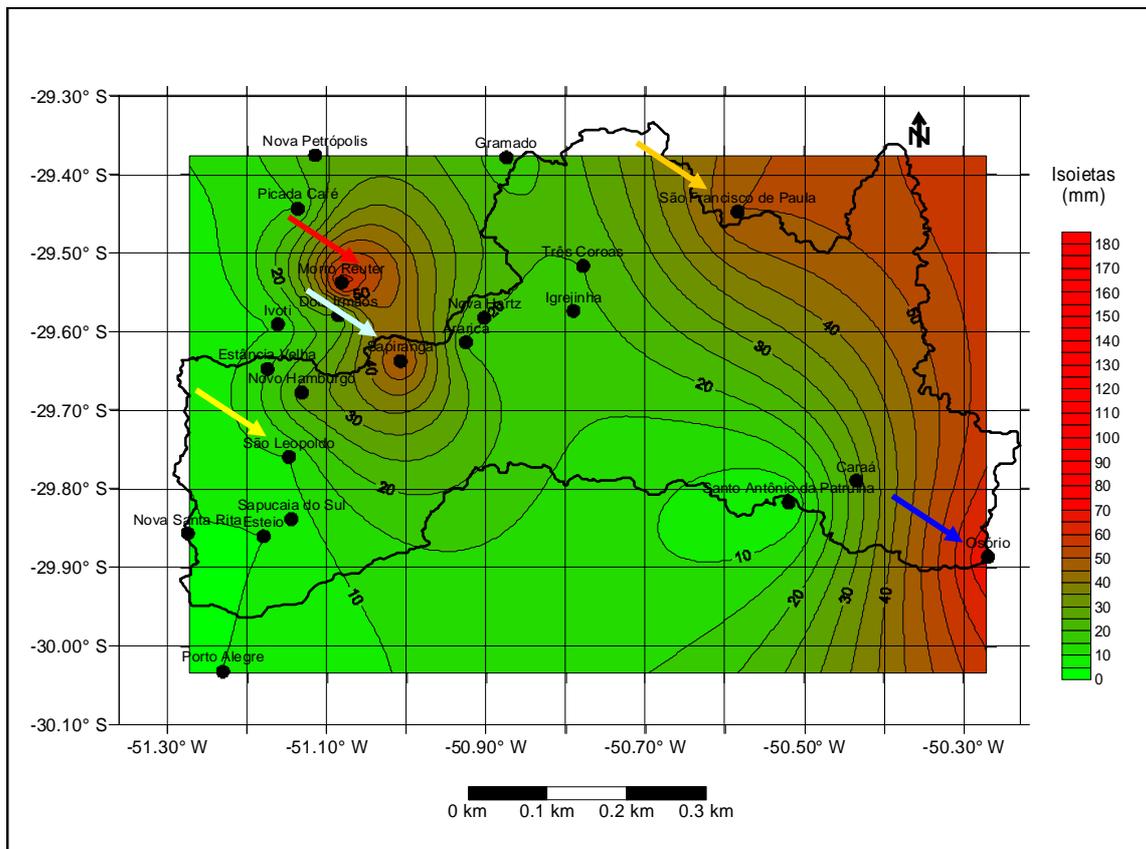


Figura 6.31 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 05 de maio de 2008.

Em 05 de maio as chuvas já perderam um pouco a sua intensidade e os principais focos da precipitação passaram na porção leste da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, nos limites do trecho superior indo para o litoral norte do estado. A cidade de Osório (seta azul escuro) registrou 68 mm diário e em Morro Reuter (seta vermelha) ocorreram 65 mm. Já o município de Sapiranga (seta azul claro) apresentou, pontualmente, 52 mm. No extremo nordeste da bacia hidrográfica, próximo a São Francisco de Paula (seta laranja), ocorreram precipitações de 48 mm. O município de São Leopoldo (seta amarela) apresentou precipitações de baixa intensidade, em torno de 10 mm.

A Figura 6.32 apresenta o mapa de isoietas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 06 de maio de 2008.

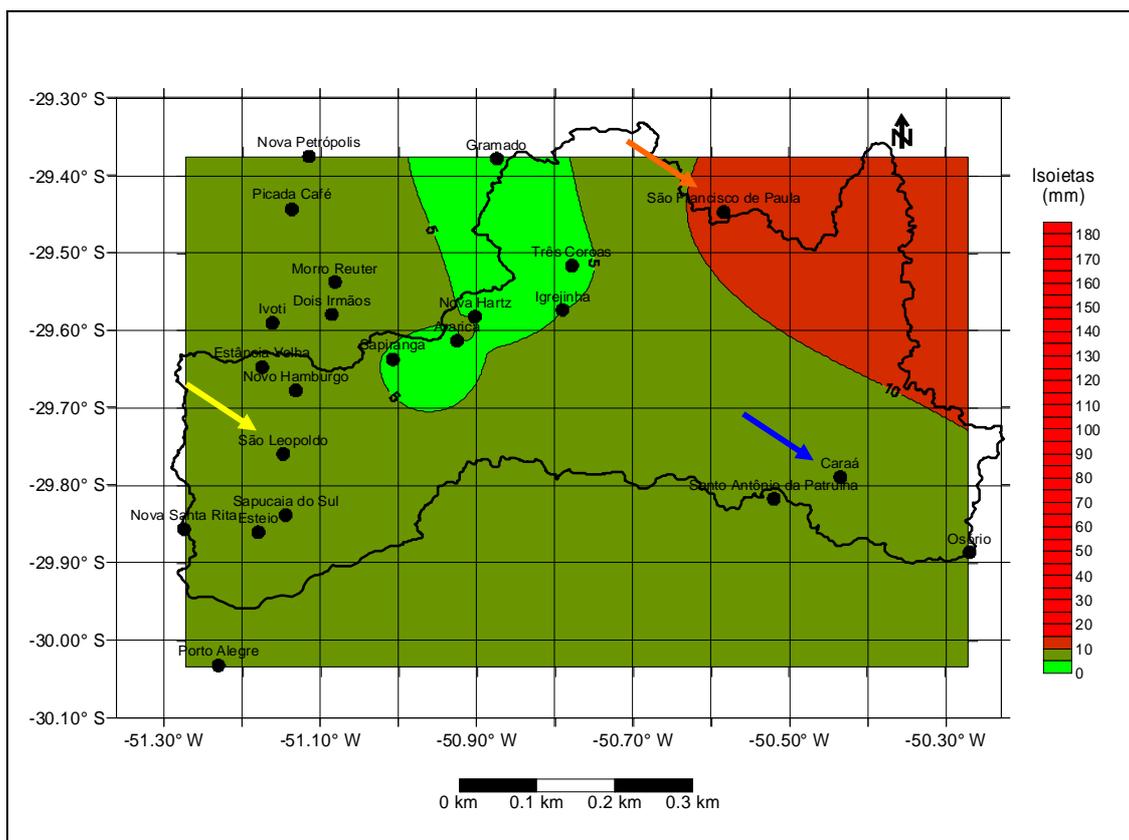


Figura 6.32 - Mapa de isoieta da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, do dia 06 de maio de 2008.

No último dia do evento consecutivo de chuva em 06 de maio as precipitações já haviam perdido sua intensidade, apenas na região de São Francisco de Paula (seta laranja) foi máxima de 12 mm. Na região de Nova Hartz, Igrejinha, Três Coroas e Gramado (em verde claro no mapa de isoietas) as máximas não ultrapassaram os 5 mm. Em Caraá (seta azul escuro) no curso superior e em São Leopoldo (seta amarela), curso inferior, assim como em 80% da área da bacia as máximas não ultrapassaram os 10 mm.

A Figura 6.33 apresenta o mapa de isoietas com o somatório das precipitações ocorridas de 02 a 06 de maio de 2008 na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

O somatório dos cinco dias de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos teve sua máxima concentração no extremo leste, no curso superior, nas localidades de Caraá (seta azul escuro) com 307 mm e Osório com 285 mm, sendo que em Novo Hamburgo, São

Leopoldo (seta amarela) e Sapucaia do Sul, no curso inferior, as máximas foram de 166, 143 e 148,5 mm, respectivamente.

Observando-se a Figura 6.33 nota-se que a orografia da bacia hidrográfica teve pouca influência sobre distribuição das chuvas que ocorreram, provocadas pelo ciclone extratropical.

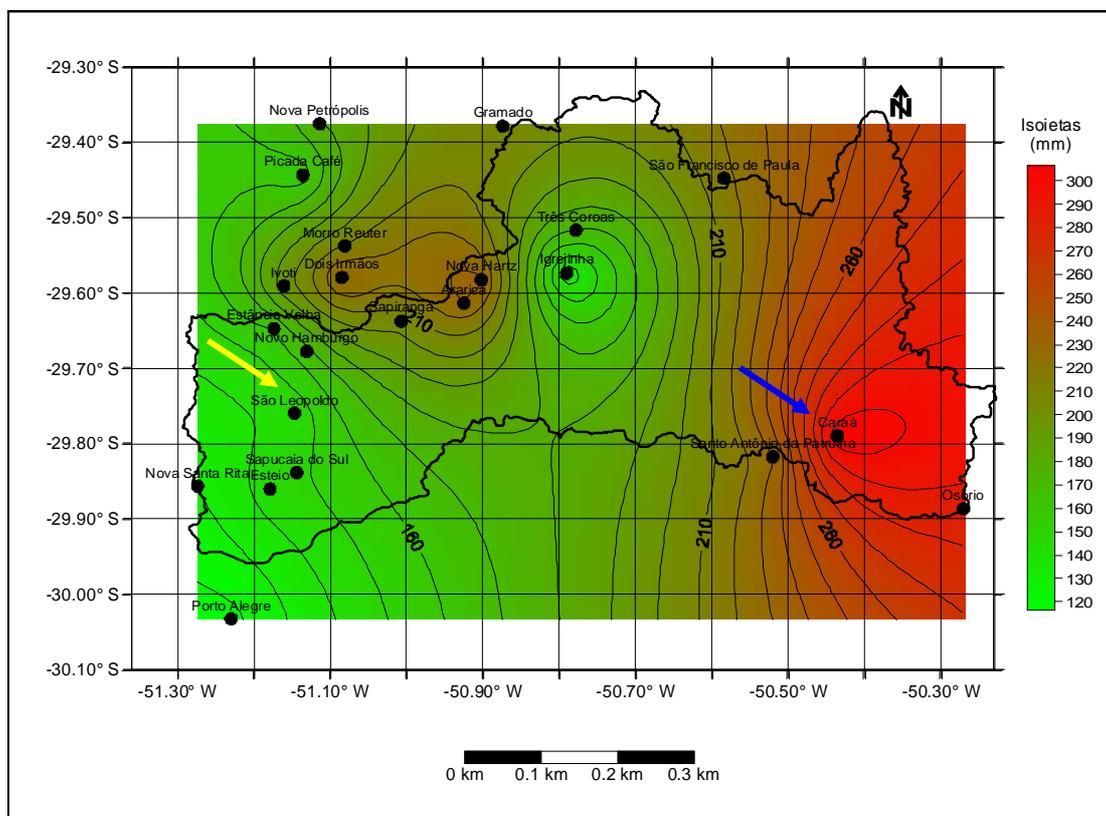


Figura 6.33 - Mapa de isoietas com o somatório das precipitações ocorridas na bacia do rio dos sinos no período de 02 a 06 de maio de 2008.

A Figura 6.34 apresenta o hietograma e o hidrograma das precipitações e o nível do rio dos Sinos, entre 02 a 22 de maio de 2008, caracterizando o período anterior e após a passagem do ciclone extratropical no Rio Grande do Sul.

Analisando-se o hietograma apresentado observa-se que os picos de precipitação foram nos dias 03 e 04 de maio, porém o pico de cheia do rio dos Sinos, na régua limnimétrica,

localizada junto a ponte 25 de julho, na Av. Duque de Caxias, próximo a Estação Rodoviária da cidade de São Leopoldo (RS), ocorreu no dia 08 de maio, com quatro dias de atraso em relação as maiores precipitações.

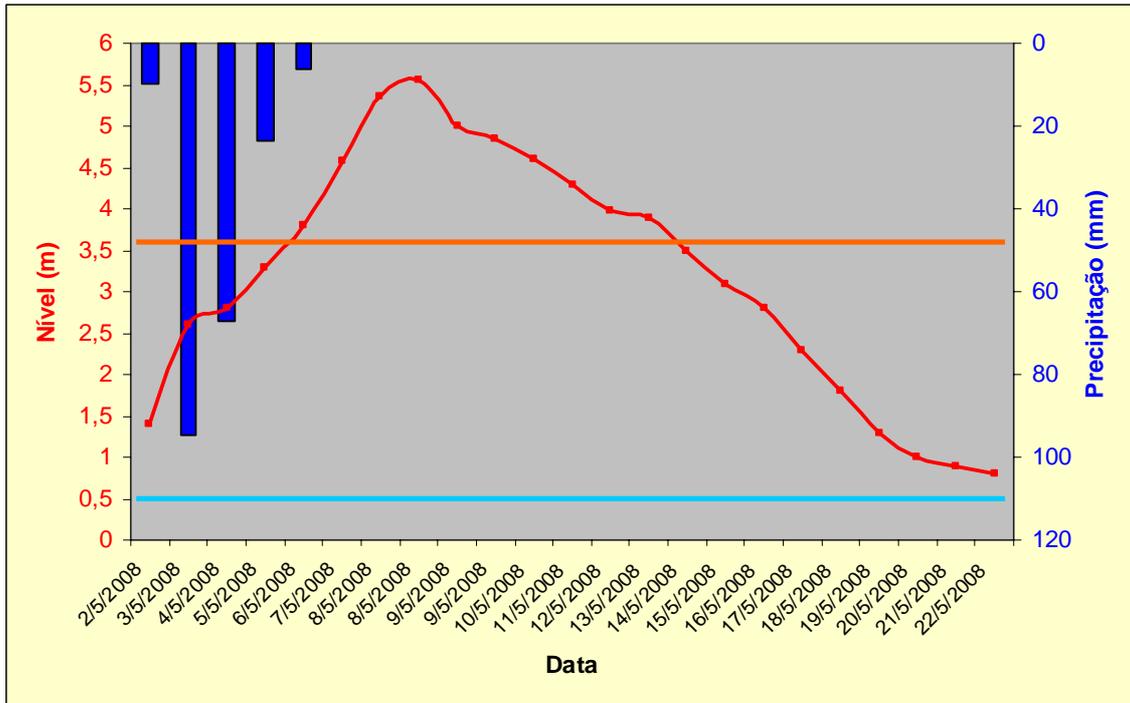


Figura 6.34 - Hietograma e hidrograma da bacia contribuinte do rio dos Sinos, na altura da cidade de São Leopoldo. Linha horizontal azul claro cessa bombeamento para abastecimento público (estagem) e linha horizontal laranja representa o nível de alerta de cheia (inundação).

Isto caracteriza o comportamento hidrológico da bacia, uma vez, que o rio dos Sinos apresenta duas características importantes para este comportamento, curso meandrante, em toda a sua extensão, aliado a baixa declividade e conseqüente baixa velocidade, o que faz com que a cheia de inundação leve mais tempo para percorrer toda a extensão do rio das nascentes até o ponto de monitoramento que está no baixo curso.

O hidrograma caracteriza bem a formação da onda de cheia, no dia 02 de maio, o nível d'água era de 1,40 m, no dia 03 de maio, devido as fortes chuvas ocorridos na bacia o nível d'água passou para 2,60 m. No dia 04 de maio, com a permanência das fortes chuvas, o nível d'água passou para 2,70 m. No dia 5, o nível do rio passou para 3,40 m, no dia 6 ele foi para 3,80 m, no dia 07 de maio o nível d'água chegou a 4,60 m, no dia 08 o nível foi de

5,35 m subindo mais ainda até a 5,55 m, na tarde deste mesmo dia. No dia 09 de maio o nível d'água do rio dos Sinos que estava em 5,00 m começou a baixar, lenta e gradativamente atingindo o nível de 1,40 m, em 19 de maio e continuou baixando pela falta de chuva até 0,80 m em 22 de maio de 2008.

A cheia em São Leopoldo é considerada a partir de 5,00 m, porém verificou-se que no momento em que o nível atingiu 3,60 m na régua limnimétrica próxima da estação rodoviária de São Leopoldo, foi decretada situação de emergência no município de Novo Hamburgo. Posteriormente pela propagação da onda de cheia houve o extravasamento do canal, o que caracterizou o máximo da inundação, com seu pico máximo de 5,55 m, às 16h22min do dia 08 de maio e a retomada do nível inicial ocorreu em 19 de maio, totalizando 15 dias para todo o processo. Pela análise do hidrograma observa-se que a inundação no rio dos Sinos só foi registrada na régua limnimétrica localizada em São Leopoldo a partir do dia 06 de maio. Isto está coerente com a data e os horários dos decretos de emergência dos municípios da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Tabela 6.8)

Tabela 6.8 - Data e horário do decreto de emergência dos municípios do Rio Grande do Sul.

<b>DATA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>HORÁRIO*</b>
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Alvorada	01:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Riozinho	17:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Arroio Do Sal	06:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Santo Antônio Da Patrulha	05:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Taquara	17:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Tramandaí	03:05
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Três Cachoeiras	16:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Três Forquilhas	12:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Mampituba	03:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Maquiné	17:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Morrinhos Do Sul	07:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Campo Bom	17:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Osório	12:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Caraá	05:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Dom Pedro De Alcântara	03:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Rolante	17:00
3/5/2008	Rio Grande do Sul	Itati	12:00
6/5/2008	Rio Grande do Sul	Novo Hamburgo	02:00

Fonte: Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul

Por esta tabela observa-se que todos os municípios do estado decretaram emergência no dia 03 de maio, quando o ciclone extratropical apresentou sua maior intensidade. Apenas o município de Novo Hamburgo decretou no dia 06 de maio, três dias após a passagem do ciclone, coincidindo com a onda de cheia, que demorou este intervalo de tempo para vir do alto curso do rio até o médio e baixo curso.

O rebaixamento do nível do rio do dia 08 para 09 de maio foi de  $2,12 \text{ cm h}^{-1}$ , do dia 09 para o dia 10 de maio foi de  $0,87 \text{ cm h}^{-1}$  e do dia 10 para 22 de maio foi de  $1,32 \text{ cm h}^{-1}$ . A Figura 6.35 apresenta a localização da régua limnimétrica onde foram coletados estes dados.



Figura 6.35 - Localização da régua limnimétrica junto a ponte 25 de Julho, na Av. Duque de Caxias, próximo a Estação Rodoviária da cidade de São Leopoldo, RS. Coordenadas Geográficas:  $29^{\circ}45'35,48''\text{S}$  e  $51^{\circ}8'54,22''\text{O}$ . Datum: WGS84.

A Figura 6.36 apresenta os níveis da água na régua limnimétrica nos dias de inundação e pós-inundação. As fotografias coletadas na régua limnimétrica durante e após a inundação no rio dos Sinos, permitem visualizar a dinâmica do evento. Conforme observado no

hidrograma, o pico de inundação ocorreu no dia 08 de maio (Figura 6.36a), e começou a deplecionar no dia 09 de maio (Figura 6.36b). No dia 10 de maio (Figura 6.36c) continuava baixando o nível d'água e no dia 22 de maio (Figura 6.36d), nota-se que o nível já havia baixado 0,70 m do pré-evento.



a) 08/05/2008 -13h34min. Nível: 5,55 m.



b) 09/05/2008 - 13h36min. Nível: 4,84 m.



c) 10/05/2008 -16h31min. Nível: 4,61 m.



d) 22/05/2008 - 16h29min, Nível: 0,80 m.

Figuras 6.36 - Nível d'água do rio dos Sinos na régua limnimétrica localizada na ponte 25 de Julho, São Leopoldo, RS.

Foto: Hansen (2008)

As fotografias da régua limnimétrica foram coletadas na margem esquerda do rio dos Sinos, a jusante da ponte 25 de Julho, ilustrando a dinâmica da inundação na cidade de São Leopoldo. As Figuras 6.37 e 6.38 apresentam a localização onde as fotografias foram obtidas e ilustram a dinâmica da inundação neste local.

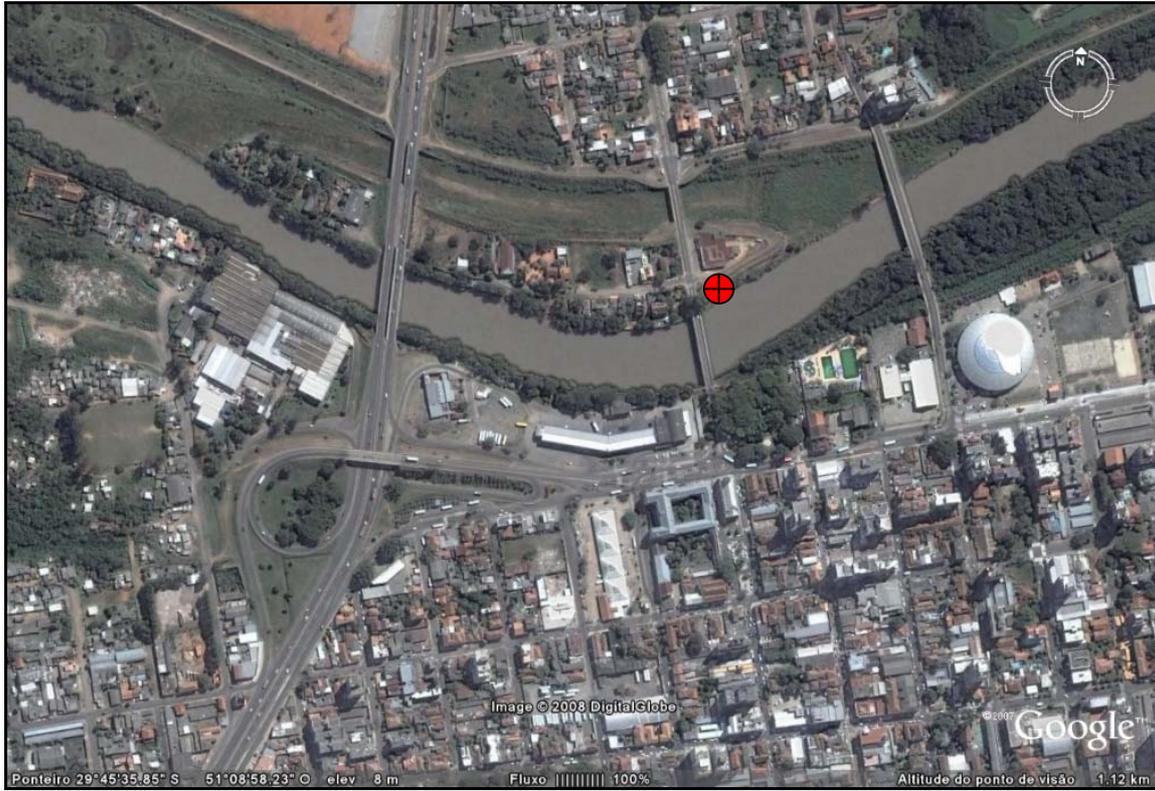


Figura 6.37 - Ponto de coleta das fotografias (em vermelho) das Figuras 37a, b, c, d, a montante da ponte 25 de Julho, na cidade de São Leopoldo, RS. Coordenadas Geográficas: 29°45'31,61"S e 51° 8'52,89"O. Datum: WGS84.



Figura 6.38 - Ponto de coleta das fotografias na margem direita do rio dos Sinos, situado a montante da ponte 25 de julho, ao longo e após o evento.  
Foto: Hansen (2008)

A Figura 6.39 apresenta uma fotomontagem com os locais inundados na cidade de São Leopoldo, durante o pico máximo da onda de cheia, no rio dos Sinos.



Figura 6.39 - Fotomontagem das áreas inundadas próximos ao rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, no período do pico da onda de cheia, no dia 08 de maio de 2008, 16h22min. Nível: 5,55 m.  
Foto: Hansen (2008)

A Figura 6.40 apresenta a fotomontagem dos mesmos locais, no dia 22 de maio, 16 dias sem chuvas após o pico da onda de cheia, quando o nível da água se situou a 0,80 m. De acordo com a Resolução do CHR nº 030/06 fica proibido o bombeamento de água para abastecimento público, quando o nível do rio atinge 0,50 m. Isto caracteriza um evento de curta duração, sem levar em conta a sazonalidade climática, onde o ascenso e descenso do nível do rio dos Sinos, em São Leopoldo, apresentou uma amplitude de 4,75 m em apenas 16 dias.



Figura 6.40 - Fotomontagem ilustrando o nível da água baixo do rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, após a inundação, no dia 22 de maio de 2008, 16h29min. Nível máximo: 0,80 m.

## 6.2 Análise das imagens dos satélites *MODIS/TERRA*, *TM/LANDSAT 5*, *CCD/CBERS 2B* e dados *SRTM*

Neste capítulo são apresentadas as análises feitas nas imagens *MODIS/TERRA*, *TM/LANDSAT 5* e *CCD/CBERS 2B* referentes à inundação causada pela passagem de um ciclone extratropical na região Sul do Brasil, em maio de 2008.

O processamento das imagens *MODIS/TERRA* possibilitou a caracterização e estimativa das áreas inundadas decorrente das chuvas provocadas pela passagem do ciclone nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As imagens *CCD/CBERS 2B* permitiram fazer uma análise mais detalhada da inundação ocorrida na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com dados pré e pós-evento e das áreas urbanas.

A análise e classificação da imagem *TM/LANDSAT 5* permitiu gerar um plano de informação da classificação do uso e cobertura do solo de toda a bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Os dados *SRTM* possibilitaram obter informações sobre rede de drenagem, hipsometria, declividade e relevo da bacia.

Todas estas informações foram posteriormente integradas entre si e com os dados de precipitação, ventos e dinâmica do ciclone extratropical, além dos dados obtidos em campo e nos AVADANs, fornecendo assim um panorama completo do evento ciclônico na bacia.

Desta forma, inicialmente foi feita uma análise das áreas inundadas nos dois estados e posteriormente, mais detalhadamente, a inundação ocorrida no rio dos Sinos.

### **6.2.1 Inundações em Santa Catarina e Rio Grande do Sul**

As Figuras 6.41 e 6.42 mostram as imagens *MODIS/TERRA (7R, 2G, 1B)* de 09 de abril de 2008 e de 06 de maio de 2008, pré e pós-evento respectivamente. Na Figura 6.41 correspondente ao período anterior, a ocorrência do ciclone extratropical não é observada episódio de inundação em nenhum dos dois estados.

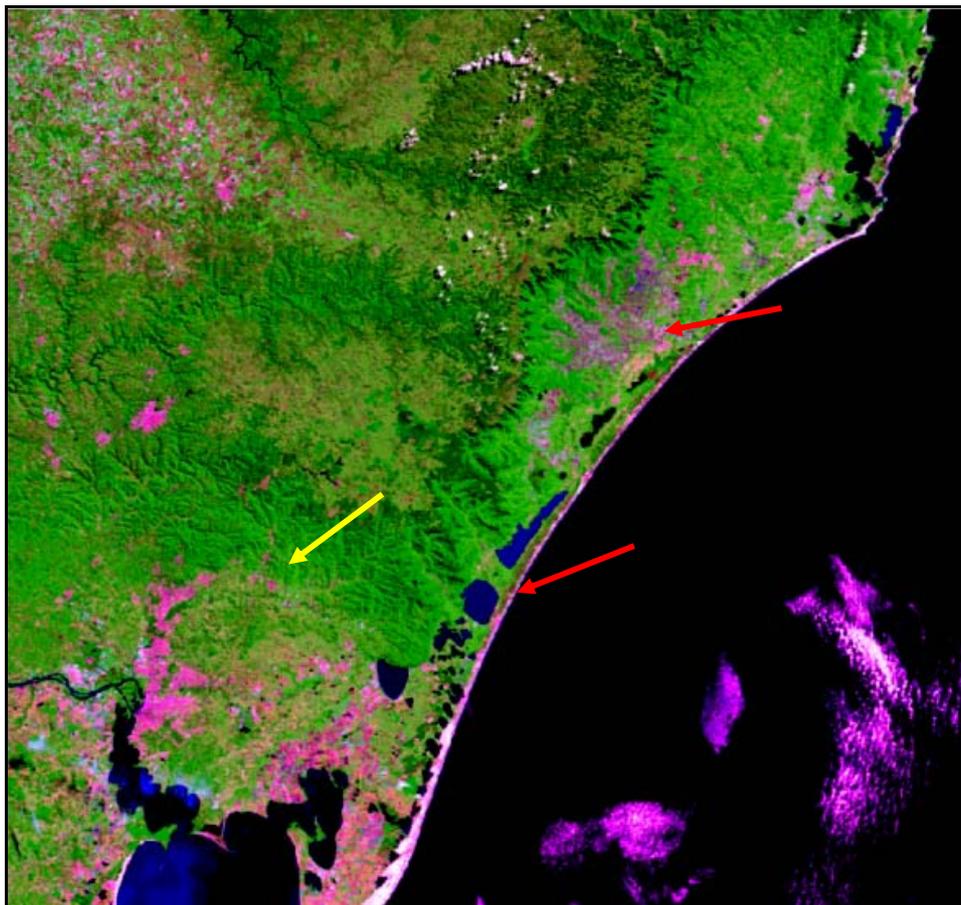


Figura 6.41 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 7, 2, 1), de 9 de abril de 2008, pré-ciclone.

É interessante observar que as lagoas costeiras tanto no estado de Santa Catarina, como no Rio Grande do Sul, aparecem sem nenhuma conexão entre elas, na região de Turvo e Ermo (setas vermelhas) não há presença de acúmulo de água e nem na bacia hidrográfica do rio dos Sinos (seta amarela).

A caracterização das áreas afetada por inundação nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do sul foi obtida a partir da razão das bandas 1 e 2, da imagem *MODIS/TERRA* antes e depois do ciclone. Este procedimento permitiu evidenciar com clareza quais as áreas mais afetadas e a extensão da lâmina d'água de inundação. Em Santa Catarina vê-se que a região mais afetada foi o litoral Sul do estado, na região dos municípios de Turvo e Ermo e de Sombrio (seta amarela), onde se pode observar um considerável aumento da lâmina de água da lagoa do Sombrio (seta azul claro) (Figura 6.42).

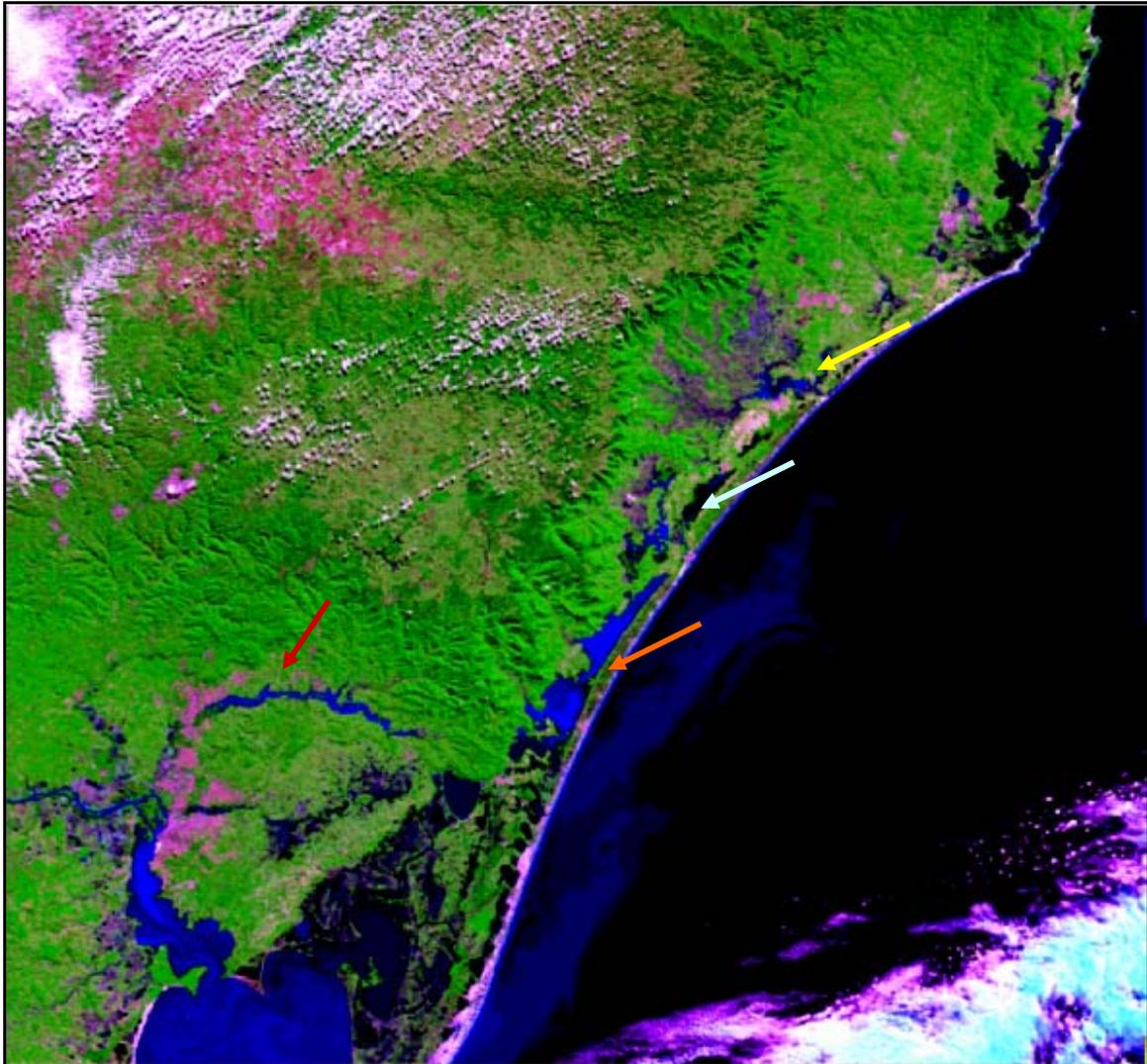


Figura 6.42 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 7, 2, 1) de 6 de maio de 2008, pós-ciclone.

Já no Rio Grande do Sul foram inundadas áreas do litoral norte, onde as lagoas Itapeva e dos Quadros (seta laranja), na altura dos municípios de Três Forquilhas e Terra de Areia acabaram conectando-se devido a grande quantidade de água recebida por elas. Observa-se também que praticamente todo o curso do rio dos Sinos (seta vermelha) sofreu inundação, como consequência das fortes chuvas provocadas pelo ciclone extratropical.

A Figura 6.43 apresenta a imagem com a diferença da lâmina de água entre as duas datas, pré e pós-ciclone, com maior realce as áreas inundadas (em azul escuro).

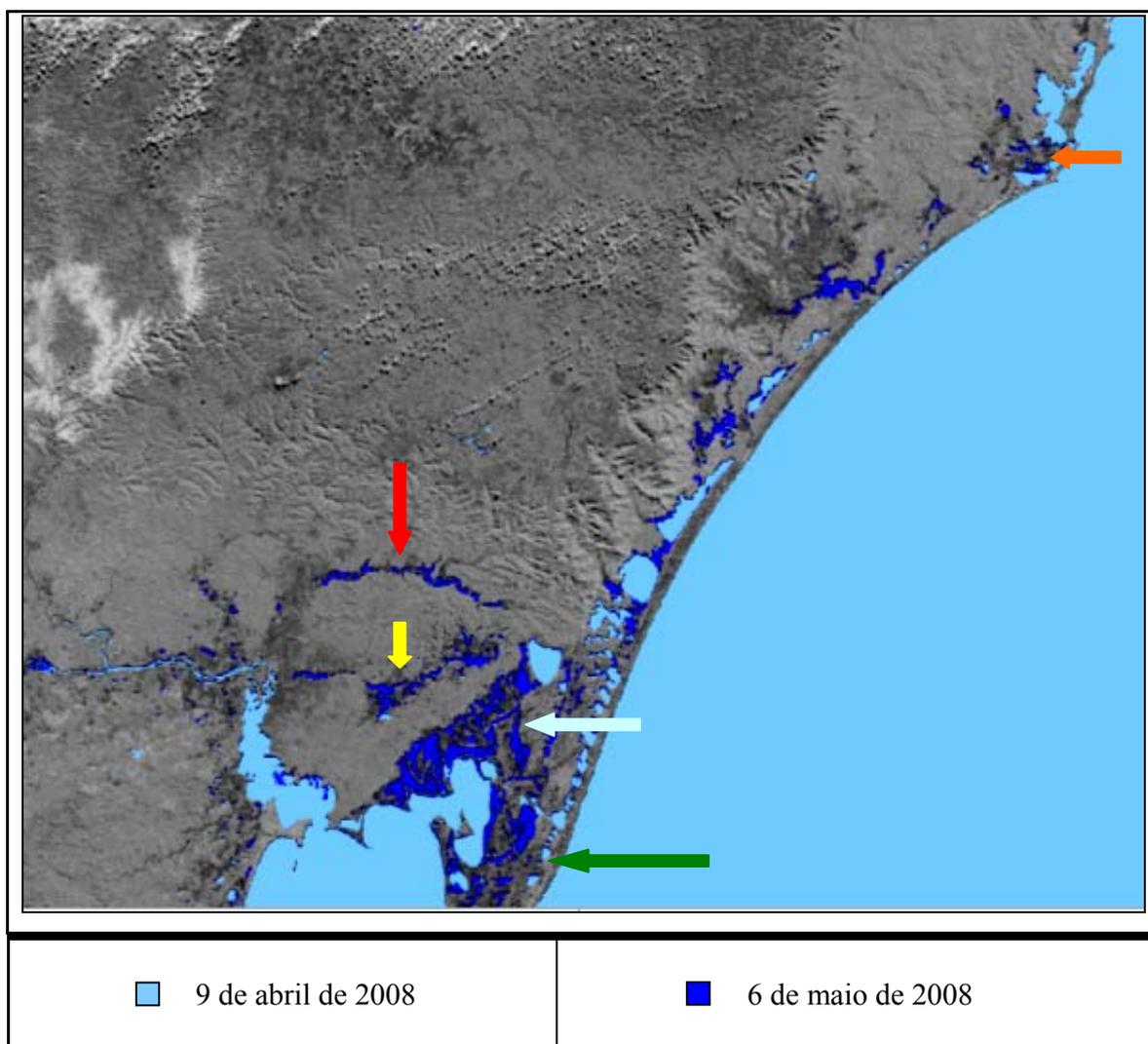


Figura 6.43 - Imagem diferença entre as imagens pré e pós-ciclone (Banda 2 do MODIS/TERRA), com a lâmina de água para os dias 9 de abril de 2008 (azul claro) e 6 de maio de 2008 (azul escuro).

Na Figura 6.43 observa-se que todas as áreas inundadas nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (cor azul escuro) foram ocasionadas pelas intensas chuvas provocadas pela passagem do ciclone extratropical na região.

Nesta Figura pode-se notar que ocorreram inundações em todo o litoral sul de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul, desde próximo a cidade de Laguna, em Santa Catarina, (seta laranja) até na altura da lagoa Casamento e saco do Cocoruto (seta verde), próximo ao município de Palmares do Sul e Balneário do Quintão, no Rio Grande do Sul.

Nos trechos de brejo, facilmente inundáveis, entre as lagoas dos Barros, Capivari e Casamento (seta azul claro) e na bacia do arroio Chico Lomã (seta amarela) também pode ser observado um grande acúmulo de água.

Já na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, observa-se presença de grande acúmulo de água no canal do rio desde próximo ao município de Caraá, até na altura de Novo Hamburgo/São Leopoldo (seta vermelha). Observa-se também acúmulo de águas nos rios Gravataí, Caí e em alguns trechos do Jacuí, nas proximidades de Santo Amaro do Sul, onde também há uma área de banhado.

O cálculo da extensão lâmina de água, dos períodos pré e pós-ciclone, para os municípios afetados e os que declararam situação de emergência são apresentados na Tabela 6.9.

Pelos números apresentados nesta tabela observa-se que a lâmina de água nos municípios que decretaram situação de emergência em Santa Catarina, mais que triplicou o seu tamanho, sofrendo um aumento de 309,1%, já nos municípios afetados o aumento foi de 148,3%. Juntos todos os municípios apresentaram um aumento médio de 167,7% .

No estado do Rio Grande do Sul, o aumento da lâmina d'água para os municípios que decretaram emergência foi de 160,0% e para os municípios afetados foi de 321,5%, sendo o aumento maior nestes últimos em termos absolutos. Juntos todos os municípios apresentaram um aumento médio de 197,9% .

Tabela 6.9 - Cálculo da extensão lâmina de água para os períodos pré e pós-ciclone para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul

Estados	Área considerada	Lâmina de água em 09 de abril de 2008 (km <sup>2</sup> )	Lâmina de água em 06 de maio de 2008 (km <sup>2</sup> )	Diferença da lâmina de água entre 09 de abril e 06 de maio de 2008 (km <sup>2</sup> )
Santa Catarina	Municípios que decretaram situação de emergência	46,53	143,84	97,31
	Municípios afetados	339,63	503,62	163,98
	<b>Total Santa Catarina</b>	<b>386,16</b>	<b>647,46</b>	<b>261,30</b>
Rio Grande do Sul	Municípios que decretaram situação de emergência	423,29	677,68	254,38
	Municípios afetados	129,52	416,42	286,89
	<b>Total Rio Grande do Sul</b>	<b>552,81</b>	<b>1.094,09</b>	<b>541,28</b>

A Figura 6.44 apresenta um gráfico com a integração da extensão da lâmina d'água em km<sup>2</sup>, para os períodos pré e pós-ciclone, para os municípios afetados e que decretaram situação de emergência nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

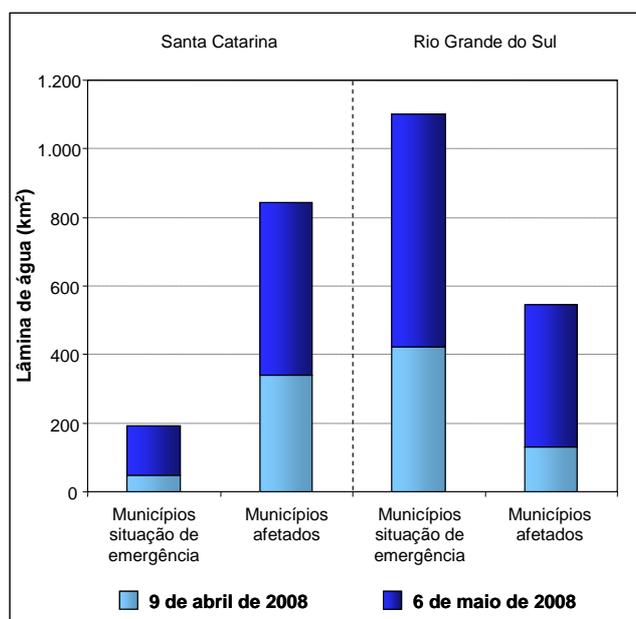


Figura 6.44- Extensão da lâmina de água para os municípios em situação de emergência e afetados, calculada a partir das imagens MODIS/TERRA.

Comparando-se a extensão da lâmina d'água, neste gráfico com os dados a Tabela 6.9 nos municípios que decretaram situação de emergência em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, verifica-se que ela foi muito mais significativa no Rio Grande do Sul, onde 18 municípios decretaram emergência, contra 16 municípios de Santa Catarina. Apesar de ser uma diferença de apenas dois municípios entre os dois estados, a área total inundada no Rio Grande do Sul foi de 1090,68 km<sup>2</sup> e em Santa Catarina chegou a 189,93 km<sup>2</sup>, contribuindo muito para isto a inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos e nas áreas de banhados.

Da mesma forma comparando-se a extensão da lâmina d'água para os municípios afetados nos dois estados, observa-se que nos municípios catarinenses, em número de 17, este aumento foi bem mais significativo do que nos municípios gaúchos, onde 13 foram afetados. Em Santa Catarina a extensão da lâmina d'água chegou a 842,80 km<sup>2</sup> e no Rio Grande do Sul foi de 545,94 km<sup>2</sup>.

Porém, em números absolutos, comparando-se os dois estados e considerando os municípios que decretaram emergência e afetados, o Rio Grande do Sul apresentou uma extensão de lâmina d'água muito maior, tendo uma área de inundação mais significativa.

### **6.2.2 Inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos**

A inundação no rio dos Sinos ocorreu no período de 04 a 08 de maio de 2008, em função das fortes chuvas provocadas pela passagem do ciclone extratropical nos dias 02 e 03 de maio.

A Figura 6.45 mostra a imagem *MODIS/TERRA* dos dias 09 de abril de 2008 (pré-ciclone) e do dia 06 de maio de 2008 (pós-ciclone) da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Nesta Figura, na imagem do dia 06 de maio observa-se com clareza a área inundada no rio dos Sinos, que aparece em tons bege-rosados, a mesma tonalidade pode também ser vista no lago Guaíba, nas lagoas Itapeva, dos Quadros e dos Patos, esta tonalidade deve-se a presença de sedimentos em suspensão na água, fato comum em eventos de inundação, quando há um grande arrasto de material erodido da bacia para os corpos d'água. Com o grande aporte de água esta é escoada de forma turbilhonada, o que faz com que os

sedimentos permaneçam em suspensão, alterando a transparência da água, dando a ela esta tonalidade nas imagens de satélite, é o que popularmente costuma-se chamar “água barrenta”. A seta vermelha chama atenção para as áreas de banhados inundadas, já anteriormente mencionadas.

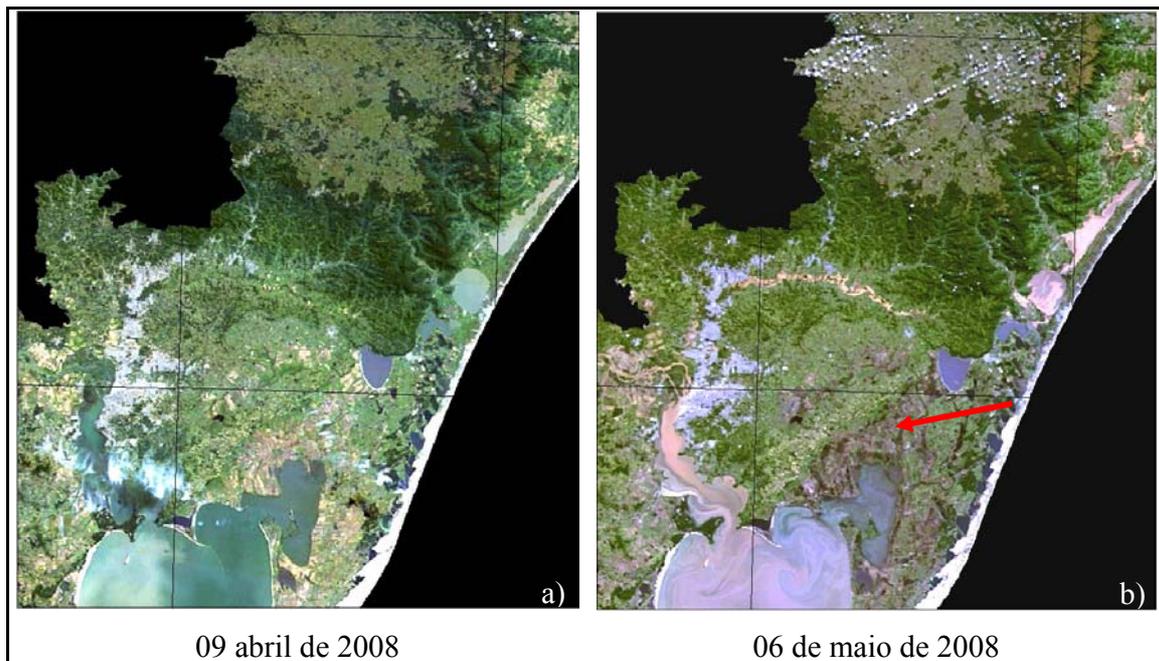


Figura 6.45 - Imagem *MODIS/TERRA* da bacia hidrográfica do rio dos Sinos pré (a) e pós-ciclone (b), na imagem do dia 06 de maio é possível ver a área inundada na planície fluvial do rio.

Os dados *SRTM* possibilitaram a análise do relevo, da drenagem e da declividade da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, dando assim uma idéia do seu potencial de escoamento superficial, de erosão e de como isto interfere no escoamento das águas, permitiu também identificar em quais áreas predominam o escoamento e o acúmulo de águas, o que contribui de forma decisiva para eventos de inundação. A Figura 6.46 apresenta uma imagem sombreada da bacia hidrográfica do rio dos Sinos gerada a partir de dados *SRTM* onde é salientado o relevo. A Figura 6.47 apresenta esta mesma imagem, separada em blocos considerando as formas de relevo da bacia.

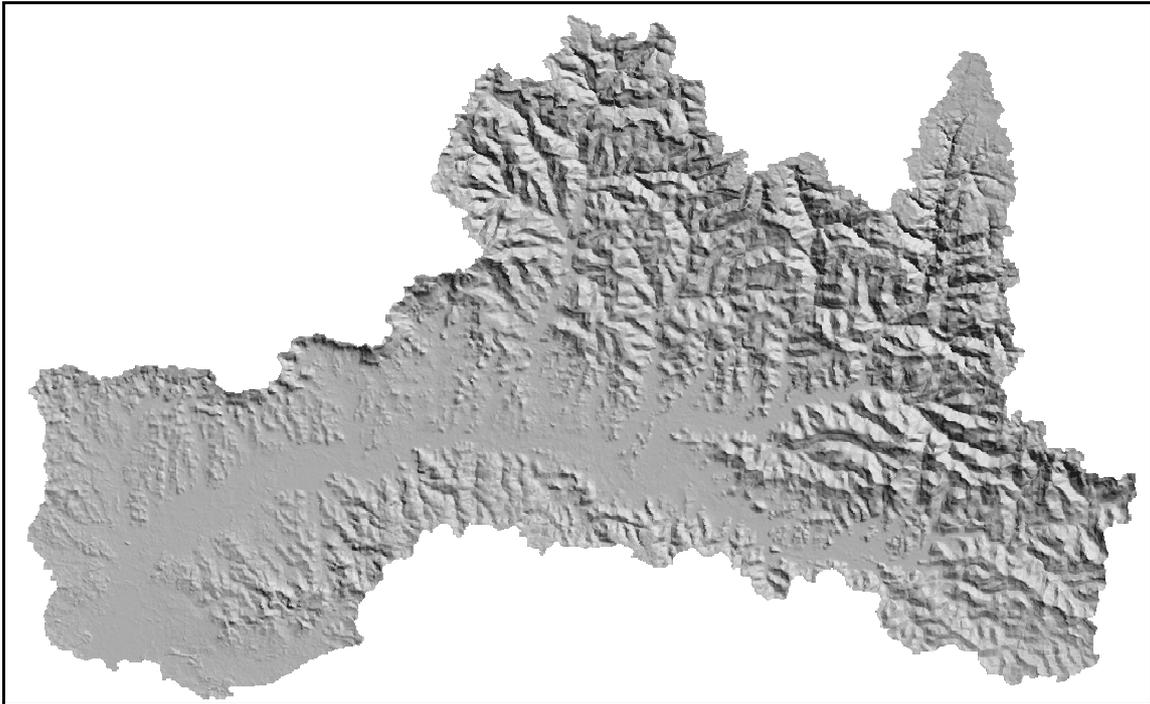


Figura 6.46 - Imagem sombreada da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com iluminação a 135° de azimute, gerada a partir de dados do *SRTM*.

Na Figura 6.47 dividiu-se a bacia em quatro grandes blocos de relevo, considerando-se a textura da imagem, que fornece informações sobre o relevo. Quanto mais rugosa for a textura mais acidentado é o relevo. A Tabela 6.10 apresenta recortes de cada um dos blocos, realçando a textura da imagem e o que cada uma delas sugere.

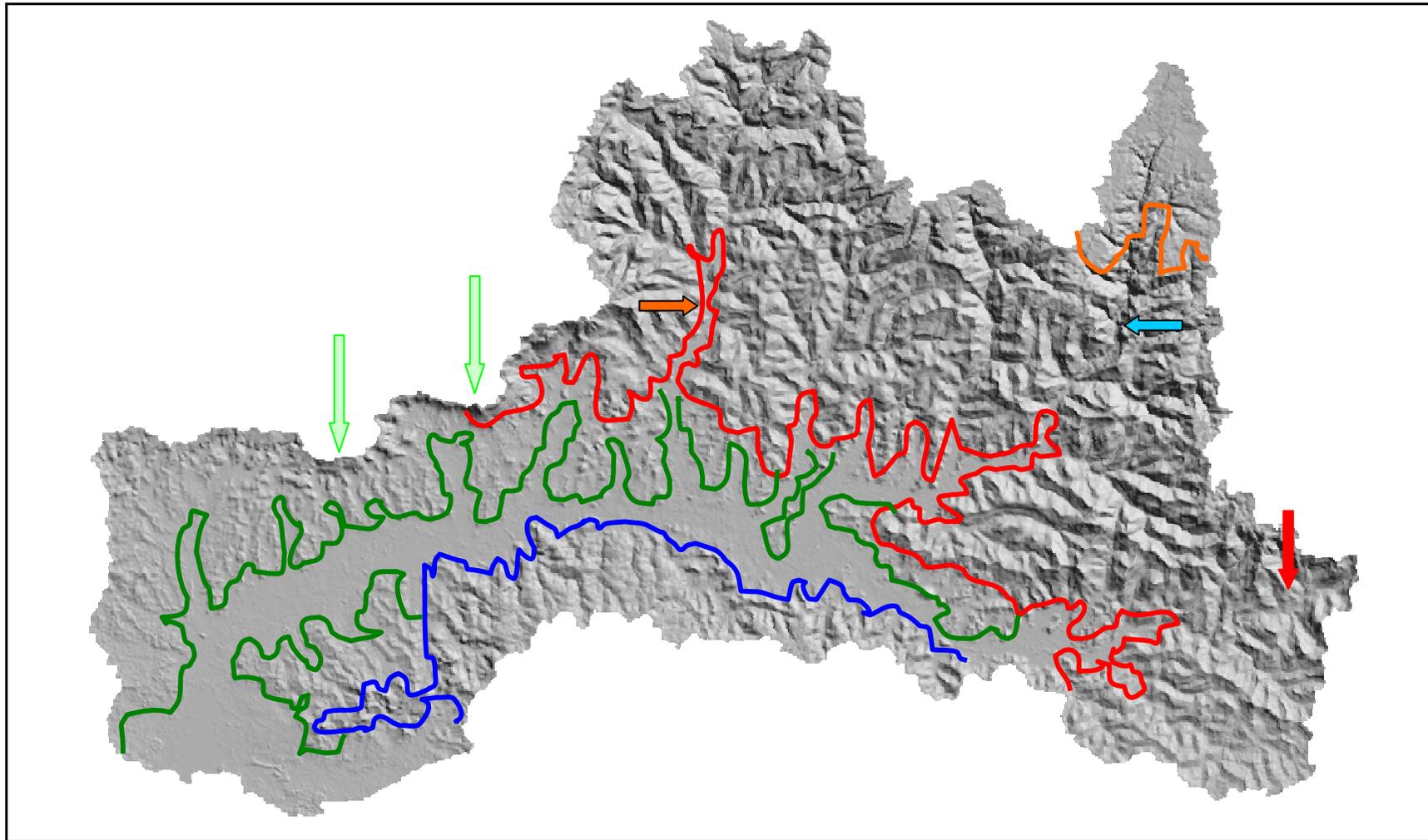
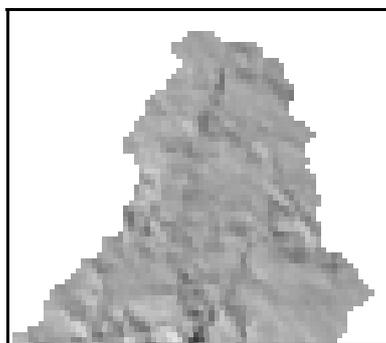


Figura 6.47 - Esquema da imagem sombreada, com iluminação a 135° de azimute, da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerada a partir de dados *SRTM*, com a informação sobre o relevo. A seta azul localiza o rio Rolante, a laranja o rio Paranhana, a vermelha as nascentes do rio dos Sinos, as setas verde-claras salientam as áreas de escarpas na borda da bacia.

Tabela 6.10 - Caracterização dos aspectos texturais da imagem sombreada, a partir do *SRTM*

---



**Textura Pouco Rugosa** - indicativa de relevo tabular pouco acidentado, com vertentes sobrepostas sem controle estrutural, baixa dissecação fluvial, baixa declividade, densidade de drenagem de média a baixa, médio a baixo grau de escoamento superficial. A rede de drenagem, em geral, adapta-se as zonas de maior fraqueza das rochas.

De acordo com a geomorfologia esta porção subdivide-se em Província Geomorfológica do Planalto, Domínio Morfoestrutural de Bacias Sedimentares (Bacia do Paraná), Região do Planalto das Araucárias, com tipo de relevo pertencente à Unidade Geomorfológica Serra Geral, onde são encontrados solos com textura argilo-arenosa. As rochas encontradas neste bloco de relevo são pertencentes a Formação Serra Geral, ígneas vulcânicas e solos da alteração destas litologias, impermeáveis com baixo sistema de porosidade primária, que facilitam o escoamento superficial. Este tipo de textura na imagem sugere a presença de rochas com média resistência a erosão.

Presente nas porções mais elevadas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (acima da linha laranja da Figura 6.47, predomínio no setor extremo nordeste da bacia, nas cabeceiras do rio Rolante).

---



**Textura Muito Rugosa** - indicativa de relevo acidentado, com vertentes convexas a retilíneas representativas de controle estrutural, sugere a presença de algumas cristas, dissecação fluvial, alta

---

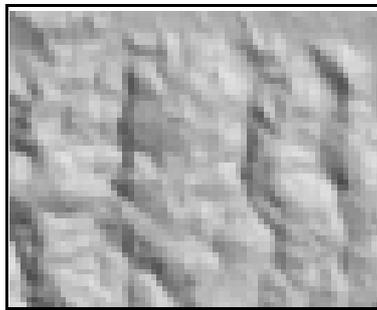
---

declividade, vales encaixados com forte aprofundamento das incisões, densidade de drenagem de alta a média, alto grau de escoamento superficial. A rede de drenagem, em geral, adapta-se aos lineamentos tectônicos, contato estratigráfico ou zonas de maior fraqueza das rochas resultando um sistema de drenagem controlado.

De acordo com a geomorfologia esta porção subdivide-se em Província Geomorfológica do Planalto, Domínio Morfoestrutural de Bacias Sedimentares (Bacia do Paraná), Região do Planalto das Araucárias, com tipo de relevo pertencente à Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral, onde são encontrados solos com textura argilo-arenosa, sobre relevos fortemente ondulado. As rochas encontradas neste bloco de relevo são pertencem às formações Serra Geral (topo) e Botucatu (porção intermediária) representadas por rochas ígneas vulcânicas e sedimentares. As ígneas são impermeáveis com sistema de porosidade secundária, por sistemas de fraturas e falhas, facilitando o rápido escoamento superficial e as sedimentares constituídas por arenitos são permeáveis, com sistema de porosidade primário, o que facilita a infiltração, mas devido a alta declividade predomina o escoamento superficial. Este tipo de textura na imagem sugere a presença de rochas com boa resistência a erosão.

Presente nas porções mais elevadas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (acima da linha vermelha da Figura 6.47, predomínio no setor nordeste da bacia, nas zonas do curso superior).

---



---

**Textura Medianamente Rugosa** - indicativa de relevo ondulado, com topos convexos, porém as vertentes apresentam menor declive que a textura anterior indicativas de dissecação fluvial, média declividade, vales encaixados a sobrepostos, com médio aprofundamento das incisões, densidade de drenagem média, mediano grau de escoamento superficial. A rede de drenagem, em geral, adapta-se a alguns lineamentos tectônicos, contato estratigráfico da Formação Serra Geral com a Formação Botucatu ou zonas de maior fraqueza das rochas resultando um sistema de drenagem controlado.

De acordo com a geomorfologia esta porção subdivide-se em Província Geomorfológica da Depressão Central, Domínio Morfoestrutural de Bacias Sedimentares (Bacia do Paraná), Região da Depressão Central Gaúcha, com tipo de relevo pertencente à Unidade Geomorfológica Depressão do Rio Jacuí, onde são

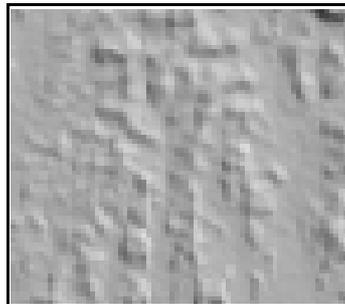
---

---

encontrados solos com textura areno-argilosa sobre relevos suavemente ondulado. As rochas encontradas neste bloco de relevo são pertencentes às formações Botucatu e Pirambóia, constituídas por rochas sedimentares arenitos, permeáveis com sistema de porosidade primária e secundária em menor proporção, facilitando a infiltração e, conseqüentemente, diminui o escoamento superficial. Este tipo de textura na imagem sugere a presença de rochas com média a baixa resistência à erosão.

Presente nas porções intermediárias da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (abaixo da linha azul da Figura 6.47, predomínio no setor sul da bacia, nas áreas de média a baixa altitude).

---



---

**Textura Pouco Rugosa** - indicativa de relevo suavemente ondulado, com topos de baixa convexidade, as vertentes são suaves sugerindo pouca dissecação fluvial, baixa a média declividade, vales sobrepostos com baixo aprofundamento das incisões, densidade de drenagem baixa, alto grau de escoamento superficial. A rede de drenagem, em geral, adapta-se de maneira sobreposta a depósitos colúvio-aluvionares e as zonas de maior fraqueza das rochas, resultando um sistema de drenagem não controlado.

De acordo com a geomorfologia esta porção subdivide-se em Província Geomorfológica da Depressão Central, Domínio Morfoestrutural de Bacias Sedimentares (Bacia do Paraná), Região da Depressão Central Gaúcha, com tipo de relevo pertencente à Unidade Geomorfológica Depressão do Rio Jacuí, onde são encontrados solos com textura argilo-arenosa, sobre relevos suavemente ondulado. As rochas encontradas neste bloco de relevo são pertencem às formações Pirambóia e Rio do Rasto, constituídas por sedimentitos constituídos por arenitos siltsos, siltitos e argilitos, impermeáveis, facilitando o escoamento superficial. Este tipo de textura na imagem sugere a presença de rochas com média a baixa resistência à erosão, num estágio mais avançado de erosão do que a textura anterior.

Presente nas porções baixas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (acima da linha verde da Figura 6.47, predomínio no setor noroeste da bacia).

---



---

**Textura Lisa** - indicativa de relevo plano, baixa declividade, densidade de drenagem muito baixa, pouco escoamento superficial. Apresenta declividade muito baixa e por conseqüência facilita o espraiamento das águas no local. A rede de drenagem, em geral, adapta-se sobrepostas a depósitos aluviais resultando um sistema de drenagem não controlado.

De acordo com a geomorfologia esta porção subdivide-se em Província Geomorfológica da Planície Costeira, Domínio Morfoestrutural de Depósitos Sedimentares, com tipo de relevo pertencente às Unidades Geomorfológicas da Planície Continental e da Planície Costeira Interna, onde são encontrados, na primeira, depósitos alúvio-coluvionares, com sedimentos, predominantemente arenosos nos cursos d'água e por fragmentos rochosos angulosos provenientes dos fluxos de detritos das encostas, e, na segunda, por depósitos lagunares com sedimentos, predominantemente, argilo-arenosos, sobre relevo suavemente inclinado a plano. Os sedimentos a montante são de granulometria cascalho arenosa, no curso médio arenosos e silto-argilosos à jusante, na desembocadura do rio dos Sinos no lago Guaíba. Trata-se de uma área de agradação com depósitos fluviais, terraços fluviais e a presença da planície de inundação do rio dos Sinos. A planície de inundação é resultante da divagação do leito lateral do rio dos Sinos. Nesta área há ocorrência de lagos a partir de meandros abandonados.

Presente nas porções média e baixa da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (entre as linhas verdes e azul da Figura 6.47, predomínio ao longo do curso do rio dos Sinos).

---

O mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos foi gerado a partir de dados *SRTM* e é apresentado na Figura 6.48. Nota-se que o padrão de drenagem é o dendrítico, que se caracteriza pelo fato dos rios correrem em todas as direções, lembrando os galhos (do grego *dendron*) de uma árvore (CHRISTOFOLETTI, 1974). Neste padrão os talvegues têm variados comprimentos e nenhuma orientação preferencial, é típico de rochas

sedimentares horizontais, podendo ocorrer também em alguns derrames de lavas ou sedimentos de origem vulcânica, como observado na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Este padrão sugere a presença de solos argilosos e rochas com resistências a erosão, ambos com alto grau de impermeabilidade, portanto alto grau de escoamento superficial, como consequência o excesso de água que não infiltrou escorre na forma de enxurrada, para o canal do rio ocasionando inundações bruscas.

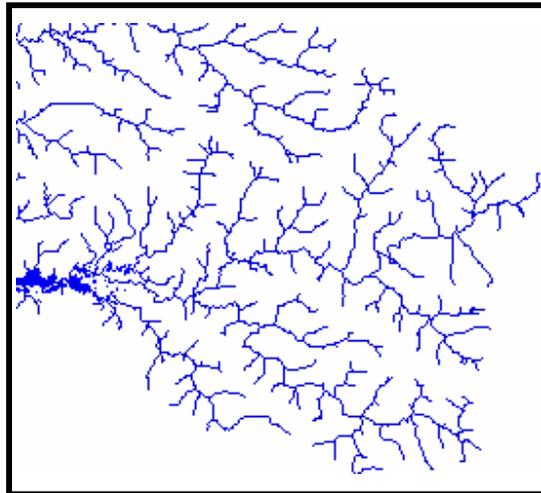


Figura 6.48 - Recorte (a) da Figura 6.50 no curso superior do rio dos Sinos, onde se observa o padrão de drenagem dendrítico.

A alta densidade de drenagem e a grande presença de arroios de primeira ordem também são características deste padrão de drenagem. Em 1952, Strahler (citado por CHRISTOFOLETTI, 1974), propôs um método de hierarquização de bacias, com a finalidade de facilitar os estudos morfométricos. Nesta classificação os menores canais sem tributários são considerados rios de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência com rio de maior porte.

Os arroios ocorrem em áreas de alta impermeabilidade e em geral de alta declividade. Nestes arroios, muitos deles são temporários com água apenas quando ocorrem as precipitações, o escoamento se dá na forma de enxurrada, contribuindo direta e instantaneamente para os canais de maior porte (Figura 6.49). As drenagens de primeira ordem são na realidade as microbacias, que se constituem na menor unidade que caracteriza a bacia hidrográfica, correspondendo a todas as bacias de cabeceiras de drenagem ou

nascentes, independente de sua localização, seja no curso superior, médio ou inferior (FLORENZANO, 2008).

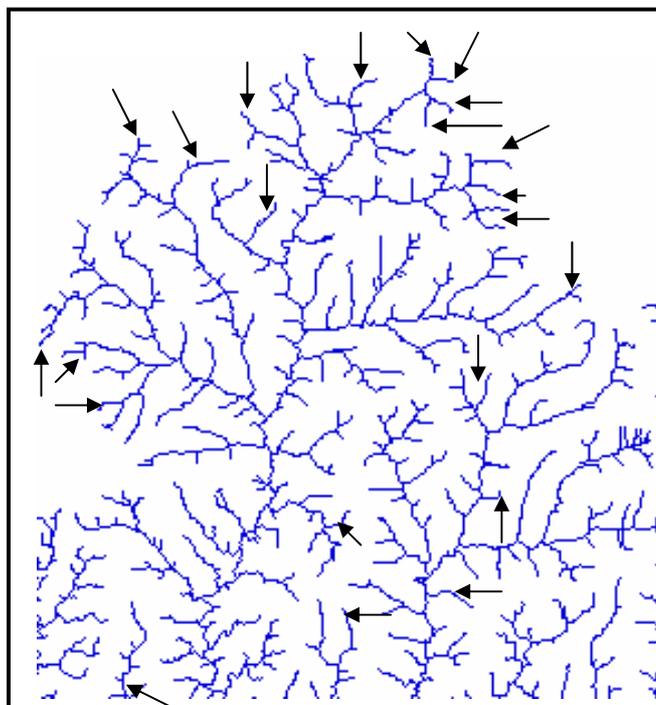


Figura 6.49 - Recorte (b) da Figura 6.50 mostrando detalhes da rede de drenagem do rio dos Sinos com alguns arroios de primeira ordem marcados com setas.

De acordo com a classificação de Strahler e considerando que o mapa de drenagem está na escala 1:350.000, a bacia hidrográfica do rio dos Sinos é uma bacia de 6ª ordem, o que indica que o sistema de drenagem da bacia é bastante ramificado, uma vez que sua área é de tamanho médio.

Na Figura 6.50 observa-se toda a distribuição da drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos e os locais de onde foram extraídos os recortes (a) e (b) das Figuras 6.48 e 6.49, respectivamente.

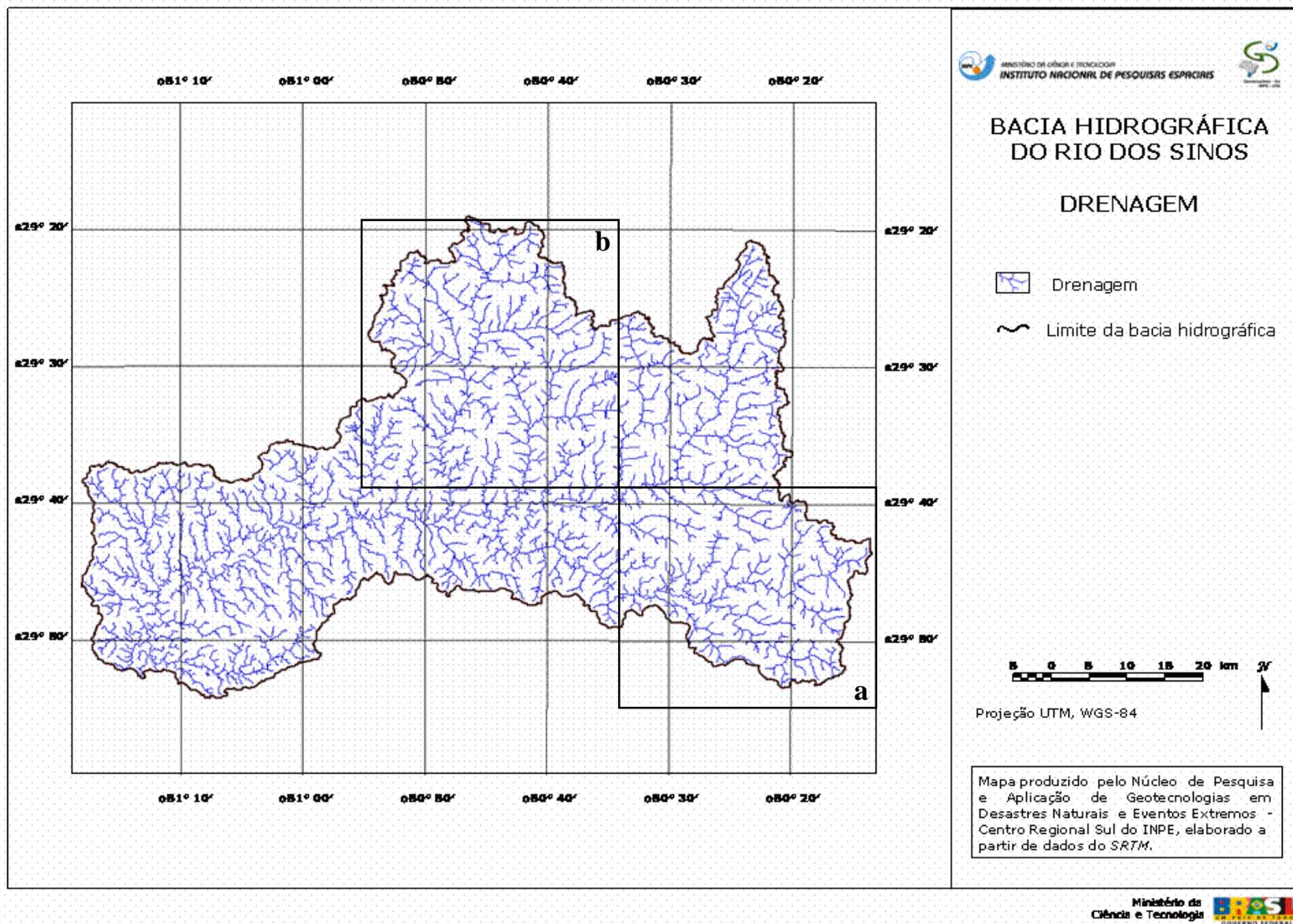


Figura 6.50 - Mapa de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerado a partir de dados *SRTM*

A Figura 6.51 apresenta uma combinação do relevo com a rede de drenagem e pode-se observar que todo o curso superior da bacia está em relevos mais acidentados, com drenagem dendrítica e que rapidamente no médio e baixo curso do rio o relevo passa a ser mais suave, com áreas mais planas, mas o padrão de drenagem continua o mesmo, o que facilita a acumulação de água nesta parte do rio, principalmente na altura de Novo Hamburgo (seta vermelha), Campo Bom e Taquara (seta laranja).

De uma forma geral as bacias hidrográficas, quando representadas num plano apresentam a forma de uma pêra, dependendo de suas características, principalmente a geologia, ela pode ter outras formas geométricas, tais como triangular, circular e retangular. Com a finalidade de eliminar a subjetividade na caracterização da forma de uma bacia, foram propostos vários índices entre eles o de Horton em 1932 (citado por MOURA et al., 1979 e LIMA, 1976), que propôs o Fator de Forma, que é definido pela fórmula a seguir:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

F= fator de forma;

A= área da bacia; e

L= comprimento do eixo a bacia (da foz ao ponto extremo mais longínquo no espigão).

Assim se obteve para bacia hidrográfica do rio dos Sinos:

- Área da bacia: 3.627,50 km<sup>2</sup>; e
- Comprimento do eixo da bacia: 103,35 km.

Aplicando-se a fórmula obteve-se o índice de 0,34, indicando que a bacia hidrográfica do rio dos Sinos tem uma forma tendendo para alongada.

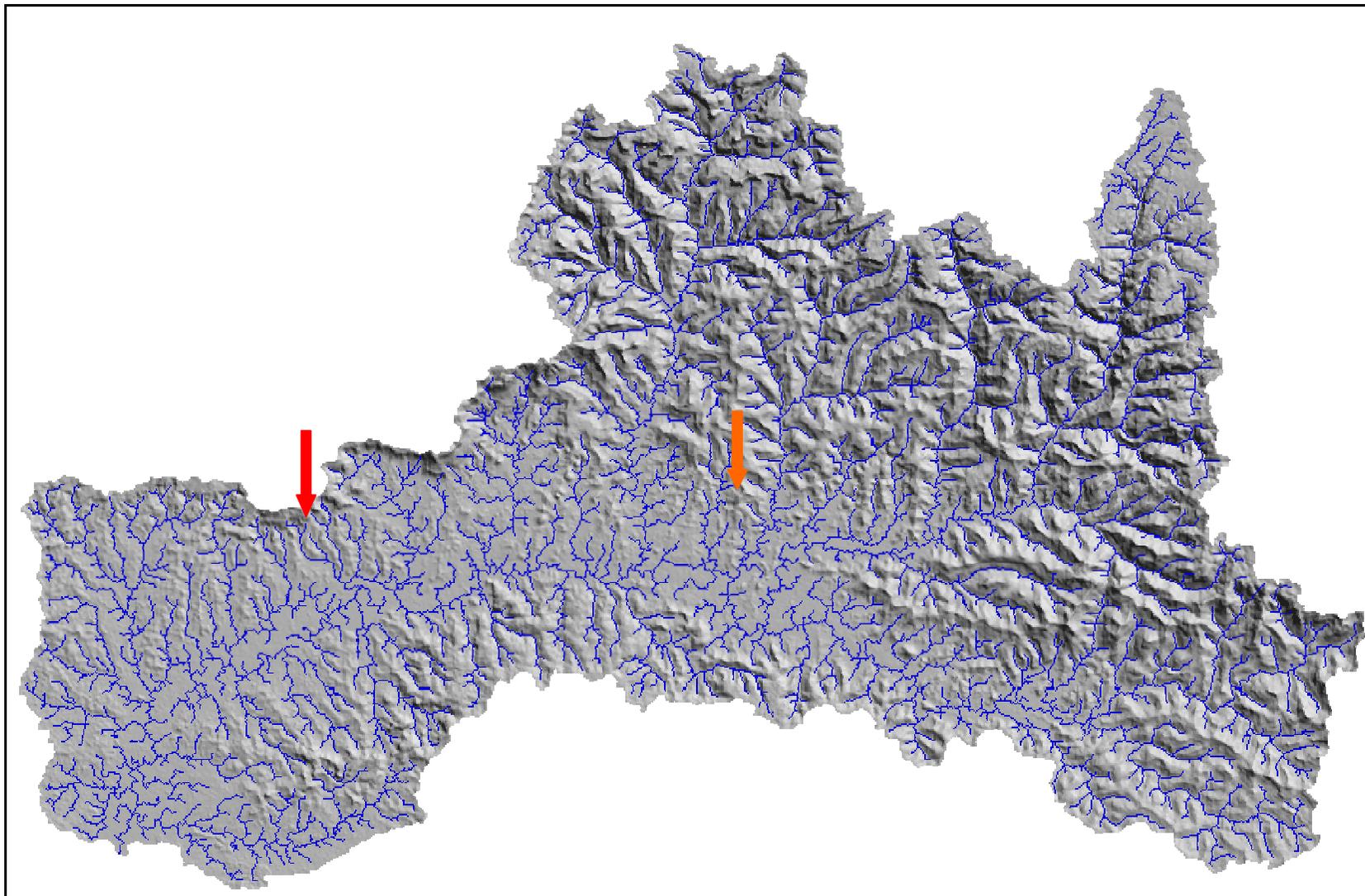


Figura 6.51 - Imagem sombreada a 135° de azimute, gerada a partir do recorte do mosaico *SRTM* integrada com a drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Este índice de forma pode dar indícios sobre a tendência a inundações. Quanto maior o índice, mais circular é a bacia, e maiores são as chances do escoamento direto se concentrar, favorecendo as inundações, contrariamente, quanto menor o índice, mais alongada a forma da bacia, o escoamento direto não se concentra tão rapidamente, como na bacia circular, tendo menores chances de ocorrência de inundações, além do fato de que bacias alongadas e estreitas são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (LIMA, 1976).

A Figura 6.52 apresenta o mapa de drenagem combinado com a mancha de inundação obtida por meio das imagens *CCD/CBERS 2B*.

No mapa de drenagem da Figura 6.52 observa-se que a mancha de inundação concentrou-se na planície fluvial do rio dos Sinos no trecho correspondente aos municípios de Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Parobé, Sapiranga, Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo.

Utilizando-se as medidas de classes implementadas no SPRING obteve-se a área inundada na bacia do rio dos Sinos, que foi de 84,3 km<sup>2</sup>.

Pelo cálculo da largura da lâmina d'água ao longo da mancha de inundação se obteve a magnitude e o extravasamento do canal do rio dos Sinos. Souza (2008), em seu Parecer DAT-MA N° 0616/2008, sobre a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, menciona que no baixo curso foi considerado como a maior largura do rio entre 50 e 200 m.

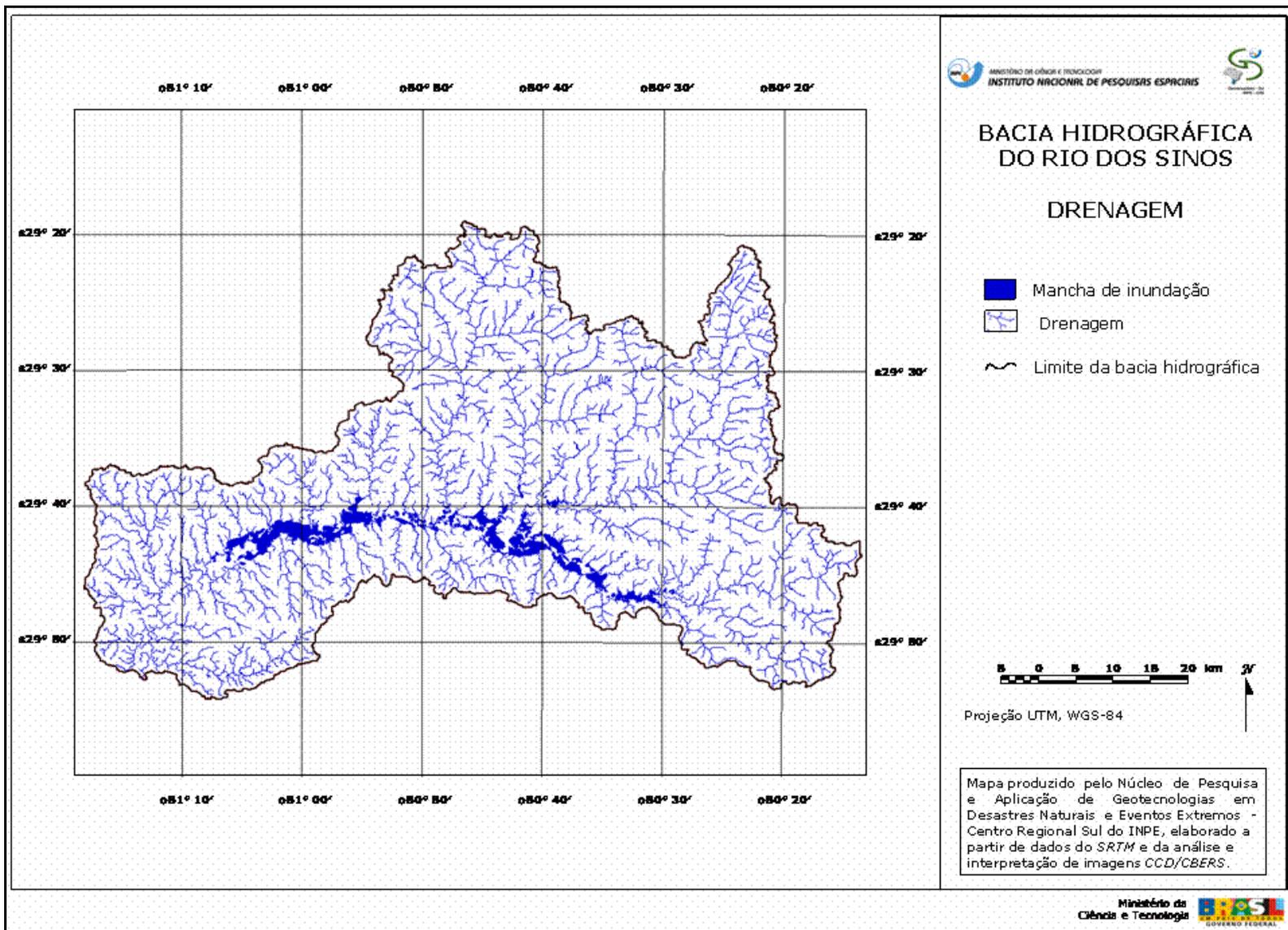


Figura 6.52 - Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerados a partir de dados *SRTM* combinado com a mancha de inundação obtida por meio de imagens *CCD/CBERS 2B*.

A Figura 6.53 apresenta a localização das secções transversais, onde foram realizadas as medidas ao longo do canal do rio dos Sinos.

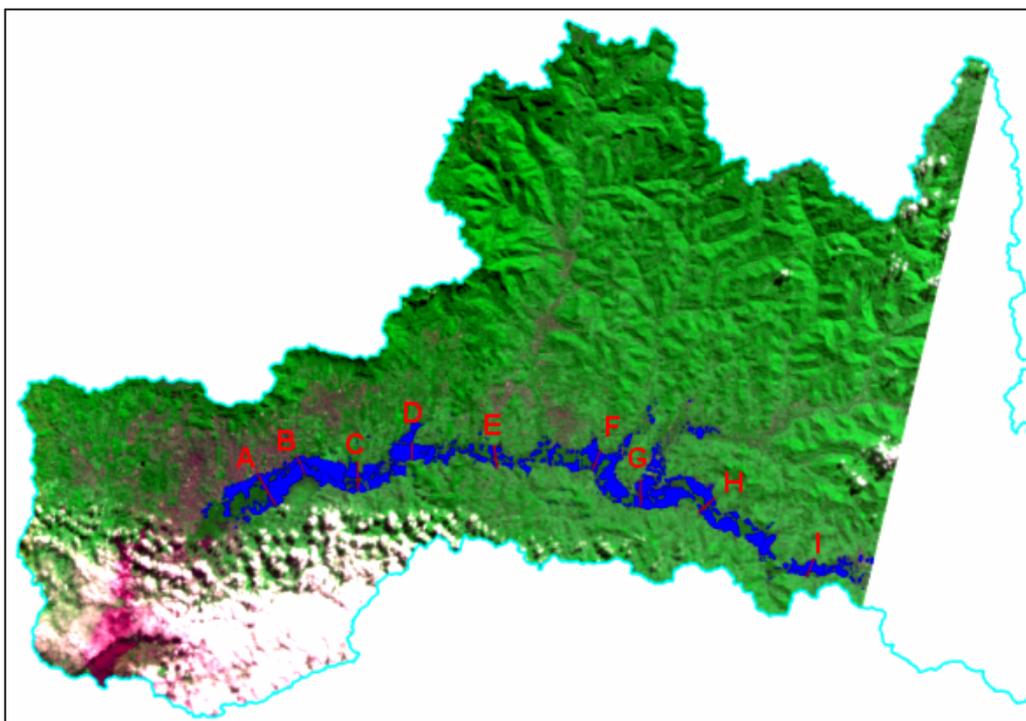


Figura 6.53 - Localização das nove secções transversais onde foram realizadas as medidas da largura da lâmina de água, por meio da imagem CCD/CBERS (bandas 3, 4, 2), de 10 de maio de 2008.

A Tabela 6.11 apresenta as medidas feitas nas secções transversais ao longo do canal do rio dos Sinos.

Tabela 6.11 - Medidas transversais da lâmina d'água de inundação na planície fluvial do rio dos Sinos

<b>Medida</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Municípios</b>
<b>A</b>	<b>3,56</b>	<b>Campo Bom - Novo Hamburgo</b>
<b>B</b>	1,70	Campo Bom
<b>C</b>	<b>2,70</b>	<b>Sapiranga - Novo Hamburgo</b>
<b>D</b>	1,58	Parobé - Taquara
<b>E</b>	2,13	Parobé
<b>F</b>	2,08	Taquara
<b>G</b>	<b>2,41</b>	<b>Taquara</b>
<b>H</b>	1,90	Santo Antônio da Patrulha
<b>I</b>	1,76	Santo Antônio da Patrulha

Analisando-se a Tabela 6.11 observa-se que os locais onde a inundação atingiu seu ponto máximo, na planície fluvial do rio dos Sinos, foi no trecho entre os municípios de Campo

Bom e Novo Hamburgo com uma largura de 3,56 km, no trecho entre Sapiranga e Novo Hamburgo com 2,70 km de largura e no município de Taquara com 2,41 km de largura.

Todas estas três secções estão localizadas no curso inferior do rio dos Sinos, sendo que a secção A - Campo Bom - Novo Hamburgo, a mais crítica, é a que está mais a jusante, o que reflete a própria dinâmica de escoamento de um rio que se dá de montante para jusante, sendo, pois natural que neste ponto a lâmina d'água atingisse sua maior largura.

No entanto, é preocupante que num evento de inundação o rio possa atingir esta magnitude, principalmente, porque isto ocorre onde estão localizadas as principais áreas urbanas da bacia. Caso venha a ocorrer um evento com precipitações mais intensas ou mais prolongadas, certamente esta inundação adquiriria maiores proporções. Cabe salientar que em 03 de maio, dia de maior atuação do sistema ciclônico na região, as chuvas ocorreram de forma muito intensa nas cabeceiras da bacia e de forma intensa ao longo de toda a bacia, inclusiva no curso inferior.

Este trecho do rio, onde a lâmina d'água apresentou maior largura e onde a planície fluvial tem também a maior largura, está localizado entre duas ombreiras, uma na altura de Campo Bom e outra na altura de São Leopoldo, estas fazem com que o escoamento da água seja mais barrado nestes locais, favorecendo a acumulação de água e conseqüentemente a inundação lenta, também conhecida como enchente (Figura 6.54).

A Figura 6.55 apresenta um recorte de imagem *CCD/CBERS 2B* do trecho referente a secção A antes (Figura 6.55a) e durante (Figura 6.55b) o episódio de inundação, onde pode-se observar que na imagem do dia 10 de maio, a lâmina de inundação chegou próximo ao limite da área urbana e foi praticamente barrada pela quebra de relevo, que há entre a planície fluvial e os terraços do rio, onde estão assentadas as áreas urbanas e pelo dique de passagem de proteção contra cheias, presente nas margens do rio do Sinos, na cidade de Novo Hamburgo.

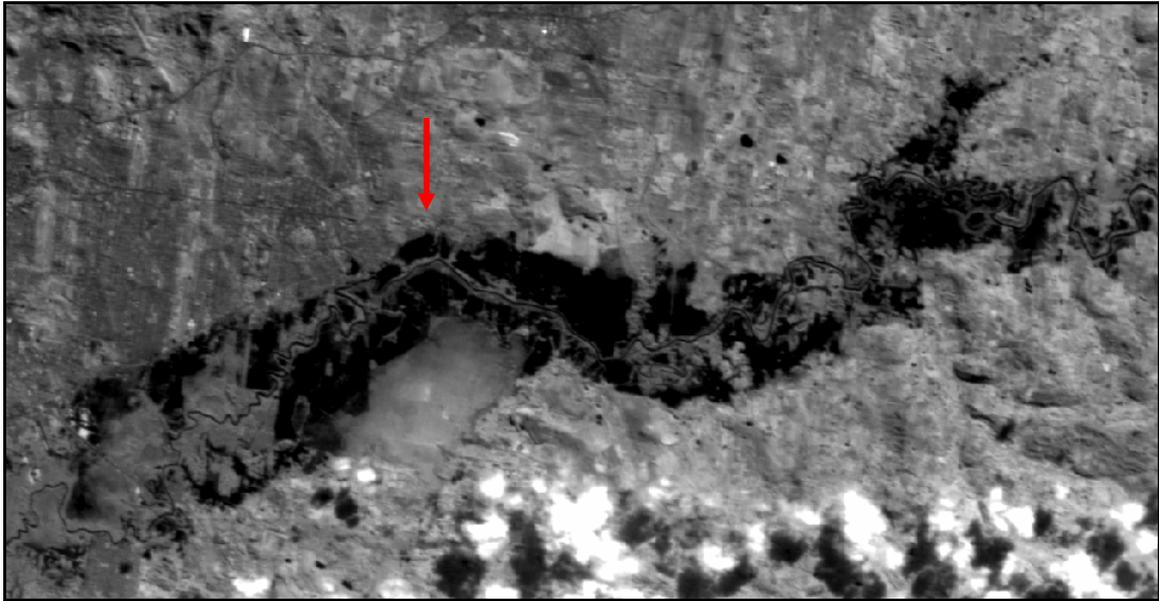
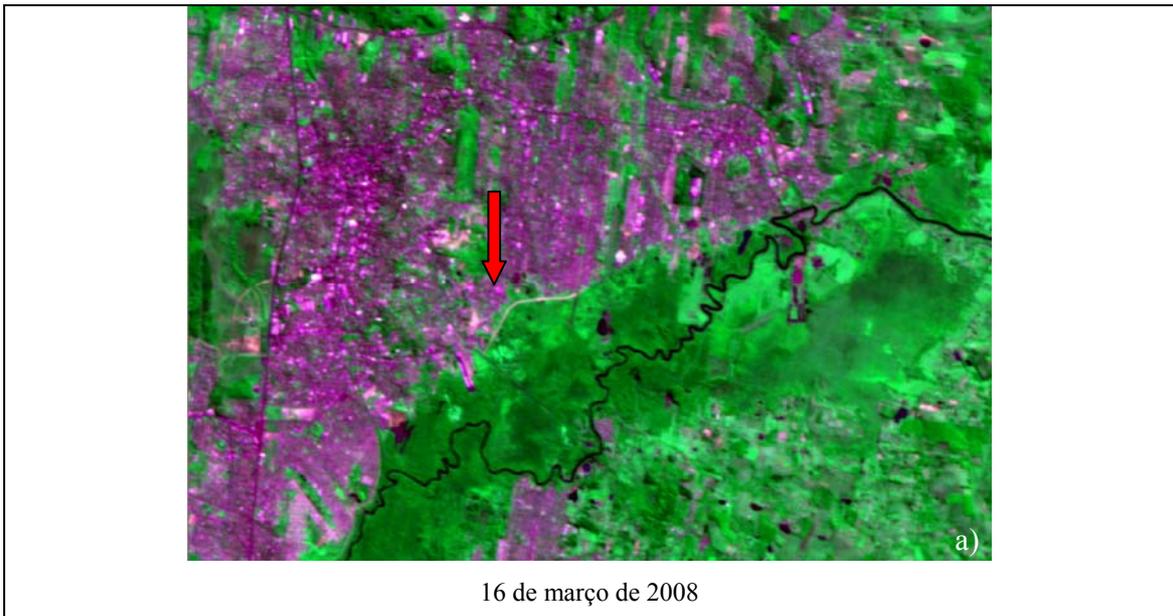


Figura 6.54 - Recorte de imagem CCD/CBERS 2B, banda 4, do dia 10 de maio de 2008, onde é salientada a planície fluvial (em preto) e a ombreira (seta vermelha) do rio dos Sinos próxima as cidade de Parobé, Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo.



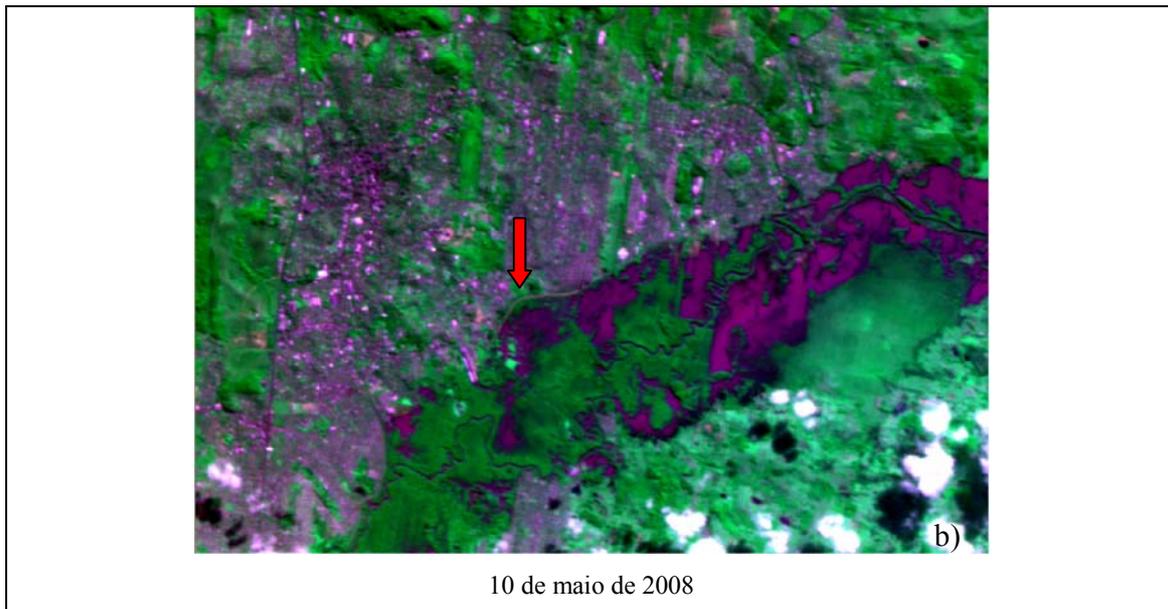


Figura 6.55- Imagens *CCD/CBERS 2B* antes (a) e durante (b) o evento de inundação, na altura dos municípios de Campo Bom e Novo Hamburgo, mostrando a mancha de inundação, o limite da área urbana e o dique.

Aliado a isto, este é o local onde toda a contribuição dos cursos superior e médio do rio se deposita, uma vez que neste trecho o gradiente do rio é muito baixo, como ocorre em todas as planícies de inundação e em rios meandrantés, como o rio dos Sinos. A Figura 6.56 apresenta o mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Analisando-se o mapa de declividade se observa que as classes de declividade estão assim distribuídas na bacia:

- muito baixa (0% a 2%), que corresponde a relevos planos, ocupa 19,30% da bacia;
- baixa (2% a 6%), que corresponde a relevos suavemente ondulados, ocupa 22% da bacia;
- média (6% a 20 %), que corresponde a relevos ondulados, ocupa 44,31% da bacia;
- alta (20% a 45%), que corresponde a relevos fortemente ondulados, ocupa 14,10% da bacia; e
- muito alta (acima de 45 %), que corresponde a relevos montanhosos, ocupa 0,41% da bacia.

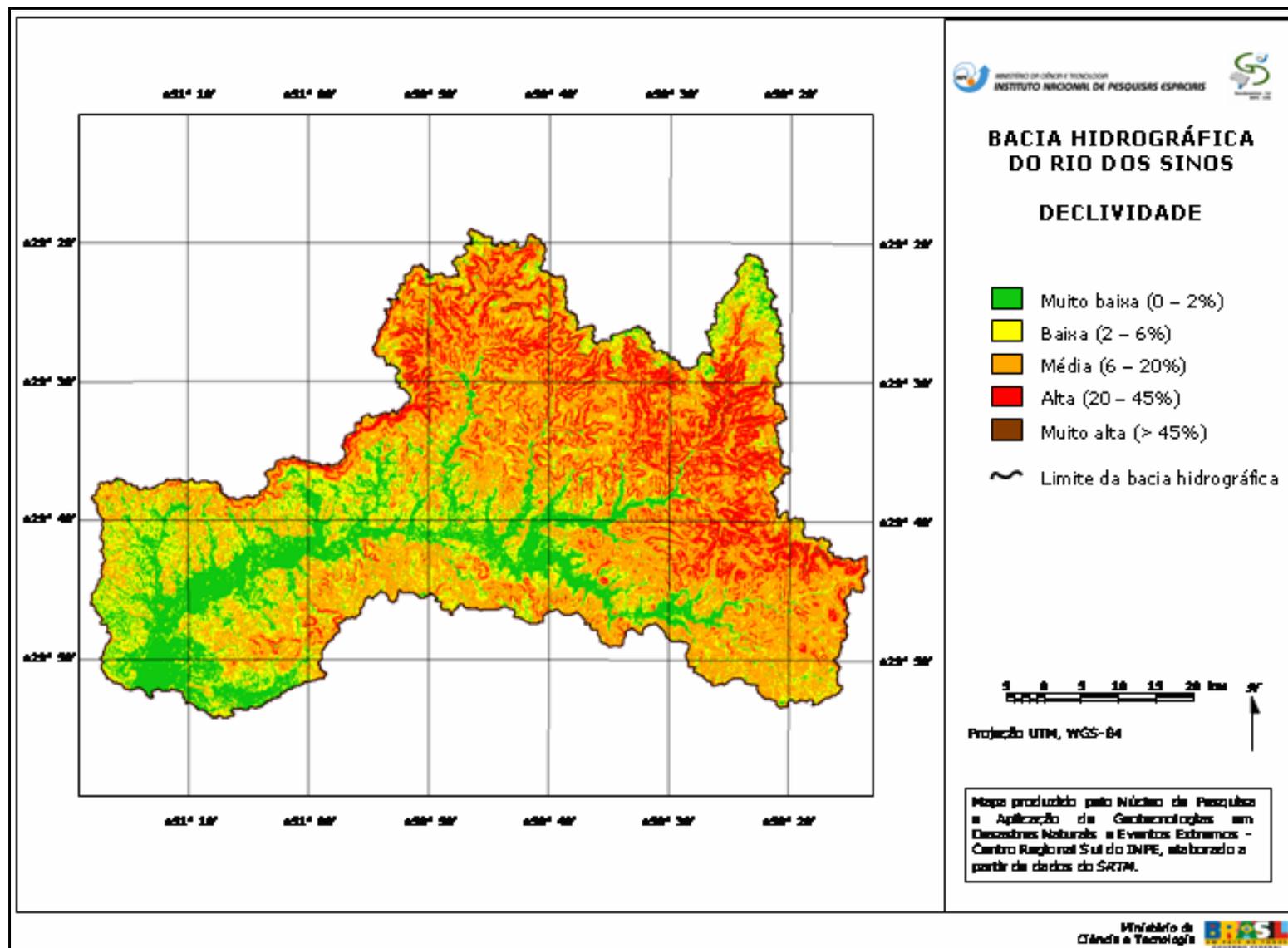


Figura 6.56 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerado a partir de dados SRTM.

Assim tem-se que 41% da área da bacia correspondem às classes muito baixa e baixa, ocupando, principalmente a planície fluvial, as áreas de terraços fluviais e algumas planas são distribuídas na bacia. É justamente nestas áreas que ocorre o acúmulo de água nos períodos de chuvas intensas, mais especificamente naquela que corresponde a classe de declividade muito baixa, onde a pouquíssima declividade faz com o tempo de escoamento das águas seja muito grande. Por esta razão, que durante o evento ciclônico, apesar das chuvas terem ocorrido de forma intensa apenas em dois dias (03 de 04 de maio de 2008), o rio levou 15 dias para voltar ao seu nível inicial. Nestes locais, tanto o gradiente da planície fluvial como do próprio rio são muito baixos dificultando o escoamento das águas.

A classe de declividade média é a que ocupa a maior área na bacia, estando principalmente localizada no médio curso do rio. Esta classe facilita o escoamento superficial, mas não de forma tão acentuada como as representadas pelas classes de declividade alta e muito alta, que juntas ocupam apenas 14,51% da área da bacia, porém são extremamente importantes para a ocorrência do escoamento superficial e dos processos de erosão. Elas estão, principalmente localizadas no alto curso do rio dos Sinos, onde estão as nascentes, os arroios de primeira ordem (intermitentes) e onde toda contribuição pluvial esco diretamente para os canais de drenagem.

O uso e cobertura do solo, aliados a declividade são fatores determinantes para aumentar ou diminuir o escoamento superficial e os processos de erosão em uma bacia hidrográfica. A Figura 6.57 apresenta a classificação temática feita a partir de imagens *TM/LANDSAT 5* para o uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, onde foram obtidas as seguintes classes:

- mata;
- banhado;
- campo nativo;
- eucalipto;
- arroz;
- pastagem/agricultura;
- solo exposto;

- área urbana; e
- água.

Analisando-se a classificação de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos tem-se a seguinte distribuição de classes, apresentada na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 - Área das classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos

<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Mata</b>	<b>1.410,17</b>	<b>38,92</b>
Banhado	246,86	6,81
Campo nativo	182,20	5,03
<b>Eucalipto</b>	<b>332,52</b>	<b>9,18</b>
Arroz	15,46	0,43
<b>Pastagem/agricultura</b>	<b>1.129,00</b>	<b>31,16</b>
Solo exposto	18,18	0,50
<b>Área urbana</b>	<b>259,99</b>	<b>7,18</b>
Água	28,87	0,80

Analisando a Tabela 6.12 observa-se que a classe que ocupa a maior área na bacia do rio dos Sinos é a Mata (38,92%), que ocorre principalmente no curso superior da bacia e de forma mais esparsa nos cursos médio e inferior, porém sempre nas partes mais altas.

A classe Pastagem/Agricultura, a segunda mais representativa (31,16%) aparece principalmente nos cursos médio e inferior, ao longo do rio dos Sinos, mas é encontrada também de forma intercalada com a mata, no curso superior da bacia.

A terceira classe mais representativa é a Eucalipto (9,18%), que aparece distribuída por toda bacia de forma descontínua.

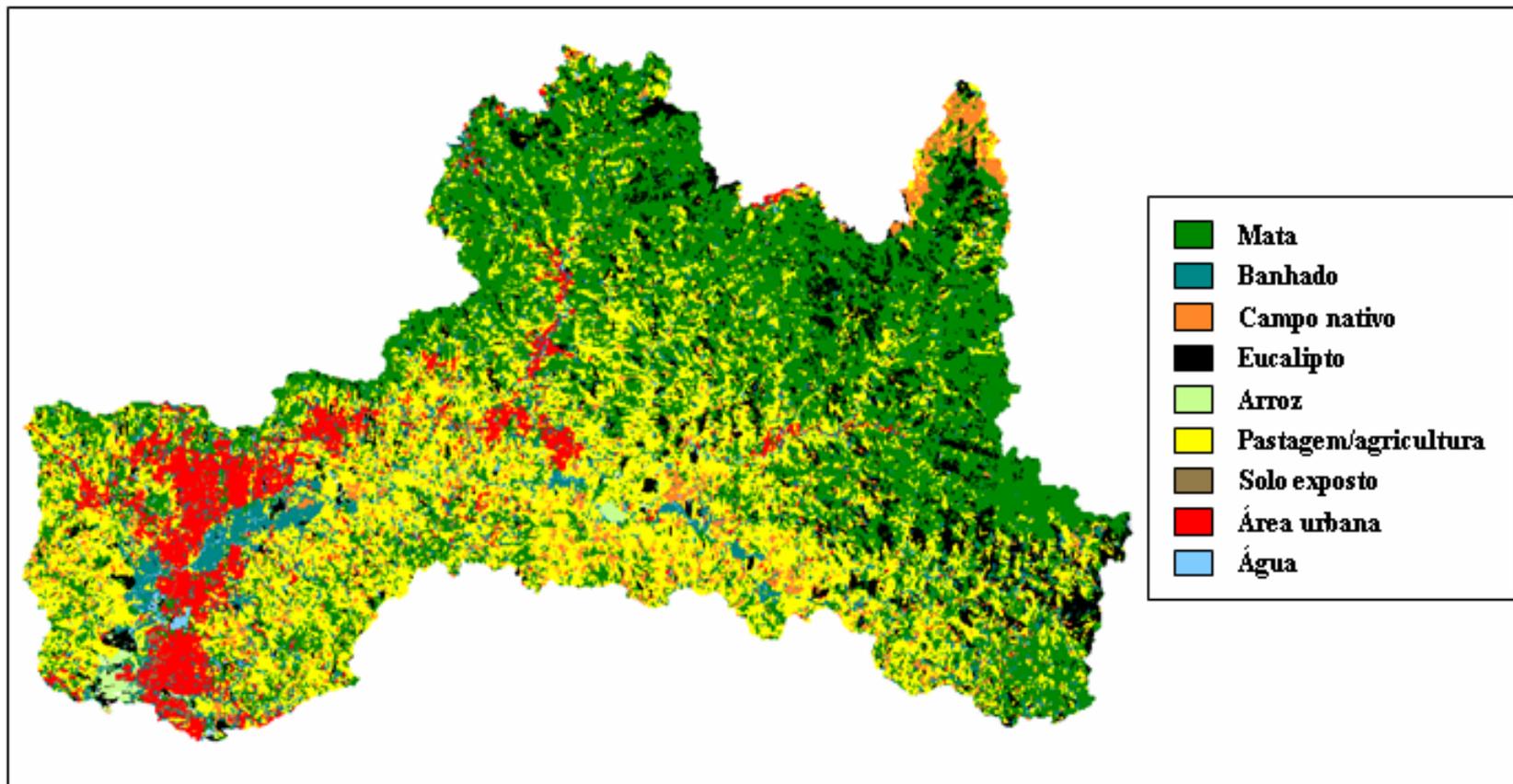


Figura 6.57 - Classificação do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos a partir da imagem TM/LANDSAT 5.

A classe Área Urbana (7,18%) é representativa ao longo do rio Paranhana, onde está localizada a cidade de Taquara, e do rio dos Sinos, com destaque para o curso inferior, onde estão localizadas as cidades de Campo Bom, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio. Observa-se também a presença de áreas urbanas ao longo do rio Rolante.

A classe Banhado ocupa 6,81% da área da bacia é observada ao longo da planície fluvial do rio dos Sinos, onde muitas vezes aparece junto com a classe Mata. Esta ocorre desde próximo a cidade de Caraá até a foz do rio.

A classe Campo Nativo, que ocupa 5,03% da área da bacia, ocorre praticamente nas nascentes do rio Rolante.

A classe Água, que ocupa 0,80% da área da bacia, corresponde aos arroios, rio, lagos e açudes presentes na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Já a classe Solo Exposto (0,50%) ocorre nos cursos médio e inferior, com predominância nos municípios de Sapiranga, Campo Bom, Novo Hamburgo, Estância Velha, São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio.

O coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio de uma bacia é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente muda em função da declividade, tipo do solo e cobertura vegetal. CARVALHO e SILVA (2006) apresentam alguns valores de coeficiente de escoamento (Tabela 6.13), em função do tipo de solo e da declividade.

Analisando-se a distribuição da declividade e das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, associado ao tipo de solo, que na bacia predominam os de texturas argiloso e médio/argiloso, comparando-se estes dados com os índices de coeficiente de escoamento apresentados na Tabela 6.13 se tem que:

Tabela 6.13- Coeficientes de escoamento determinados em função do tipo do solo, declividade e cobertura vegetal.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Solo Arenoso</b>	<b>Solo Franco</b>	<b>Solo Argiloso</b>
<i>Florestas</i>			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,25	0,35	0,50
10 - 30	0,30	0,50	0,60
<i>Pastagens</i>			
0 - 5	0,10	0,30	0,40
5 - 10	0,15	0,35	0,55
10 - 30	0,20	0,40	0,60
<i>Terras cultivadas</i>			
0 - 5	0,30	0,50	0,60
5 - 10	0,40	0,60	0,70
10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>.

- em área de declividade entre 10 e 30%, com solos argilosos e com cobertura de floresta, o índice de escoamento é de 0,60. Este é o caso observado no curso superior da bacia do rio dos Sinos, onde o principal tipo de cobertura do solo é mata e o tipo de solo é argiloso, porém o coeficiente de escoamento será um pouco mais elevado, devido ao fato de que a classe de declividade encontrado neste local é acima de 45%;
- no alto curso também ocorre a classe de declividade alta (20% a 45%), correspondendo a 14,10% da bacia, e os solos neste local também são argilosos, o tipo de cobertura vegetal ocupada por mata, o que faria com que o coeficiente de escoamento ficasse em torno de 0,60;
- a classe pastagem/agricultura ocorre principalmente em áreas com declividade média (6% a 20%), sobre solos predominantemente argilosos. De acordo com a Tabela 6.13, para as áreas de pastagem o coeficiente de escoamento seria 0,55 e para as áreas de agricultura seria de 0,70, porém fica difícil de separar estas duas classes na bacia pois elas ocorrem quase que de forma associada, não havendo a predominância de um tipo de uso e cobertura ficando caracterizada com um coeficiente de escoamento média de 0,62.

- a classe áreas urbanas, que ocorre de forma mais importante nos cursos médio e inferior do rio dos Sinos, estando parte assentada sobre terraços do rio com declividade baixa (2% a 6%), e parte em áreas de declividade média (6% a 20%), apresenta na literatura, coeficientes de escoamento superficial avariando de 0,85 a 0,90, o que é considerado um valor muito alto. A impermeabilização do terreno nestas áreas, provocadas pelo asfalto das ruas, calçamento e a presença de edificações levam ao aumento do número de vezes em que a bacia produz escoamento superficial, aumentos na velocidade e no volume de água transportada, tendo desta forma maior capacidade de arraste. Aliado ao aumento do escoamento superficial, as áreas urbanas são geradoras também de poluição para os rios, que em parte tem origem no escoamento superficial sobre as áreas impermeáveis, áreas em construção, sobre depósitos de resíduos urbanos, industriais, e qualquer outro tipo de material poluente encontradas nestas áreas. A água que escoar em áreas urbanas carrega este tipo de material poluente para o leito dos rios, sendo hoje em dia responsável por boa parte da poluição deles.

Analisando-se mais detalhadamente a classe Área Urbana, observa-se que as principais áreas urbanas da bacia estão localizadas parcialmente em relevos de colinas, nos terraços fluviais e próximas a planície fluvial do rio dos Sinos, no baixo curso, justamente onde são encontradas as menores declividades e onde também o rio deve apresentar o seu menor gradiente, local este em que as águas, vindas dos cursos superior e médio se acumulam. A Figura 6.58 apresenta um recorte do mosaico de imagens *CCD/CBERS 2B*, banda 3, onde é salientada a mancha de inundação e as principais áreas urbanas da bacia.

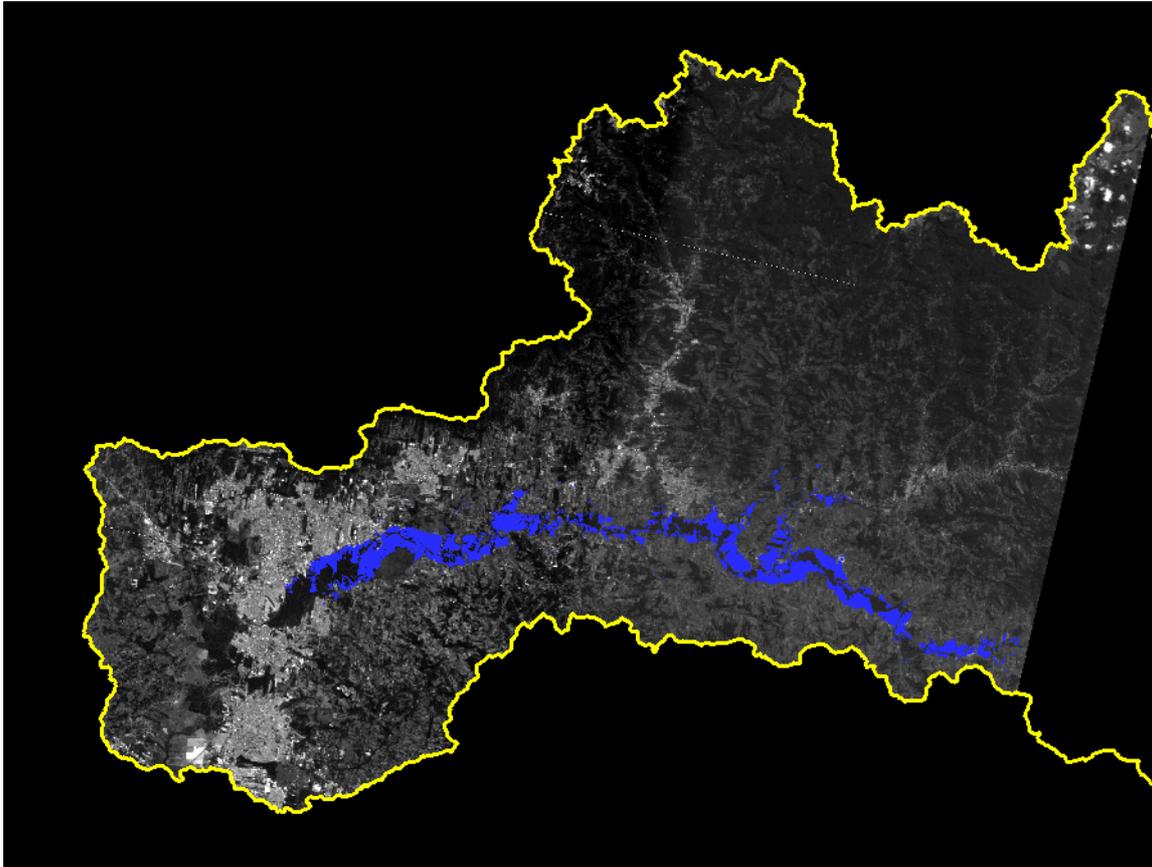


Figura 6.58- Mosaico de imagem CCD/CBERS 2B, Banda 3, do dia 19 de março de 2006, onde a área urbana está salientada (em tons de cinza claro) e com a mancha de inundação sobreposta (em azul escuro).

Observa-se na Figura 6.58, que foi na altura das cidades de Campo Bom e Novo Hamburgo e depois na cidade de Taquara que a mancha de água mais se aproximou das áreas urbanas. A Figura 6.59 apresenta um recorte deste mosaico, onde é possível ver a área urbana em detalhe, com a mancha de inundação bordeando por um longo trecho a área urbana de Novo Hamburgo e Campo Bom.

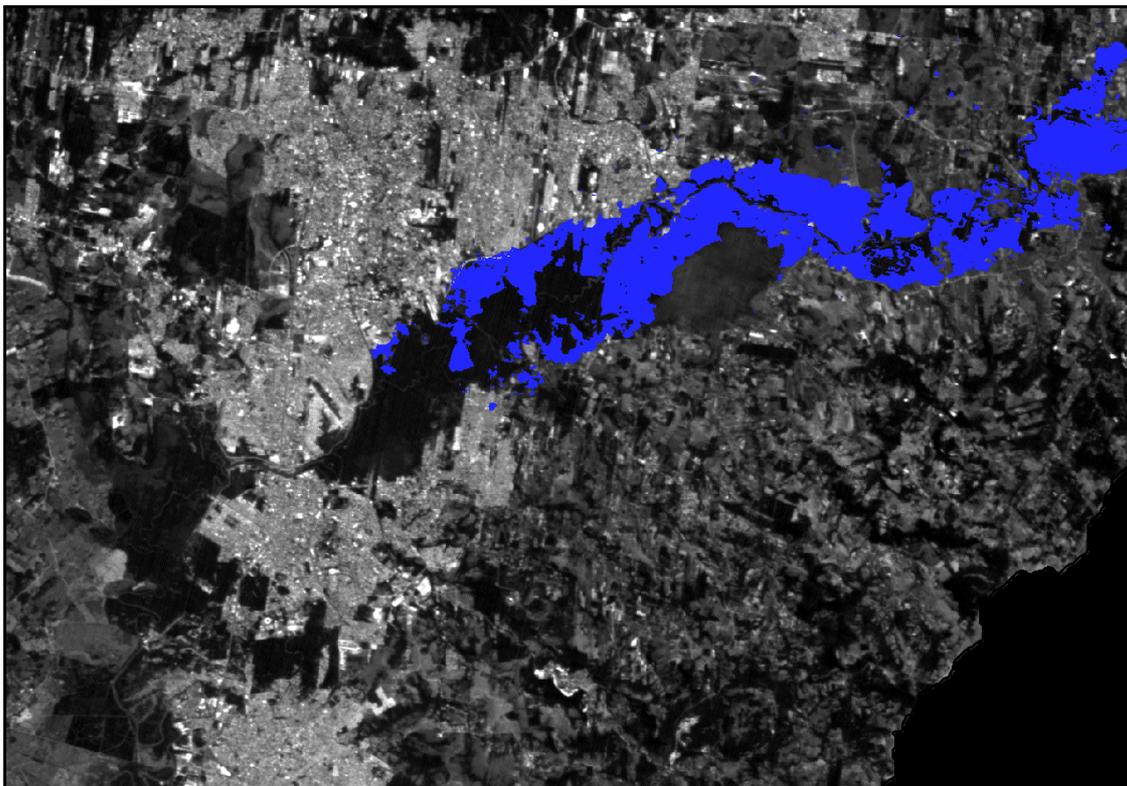


Figura 6.59- Recorte da imagem CCD/CBERS 2B, Banda 3, do dia 19 de março de 2006, onde está salientada a área urbana com a mancha de inundação sobreposta.

Como consequência disto bairros inteiros e casas foram inundadas e pessoas tiveram que ser resgatadas para escapar da inundação, durante o evento ciclônico como observado nas Figuras 6.60 e 6.61.

A Figura 6.62 apresenta uma combinação da imagem sombreada, com iluminação a  $135^\circ$  de azimute da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, gerada a partir de dados *SRTM*, com a informação sobre o relevo, com as áreas urbanas e a mancha de inundação. Analisando-se a Figura 6.62, o rio dos Sinos em seu curso médio e inferior corre sobre terrenos planos com declividade muito baixa, estando circundado por relevos de colinas onde está localizada a cidade de Taquara, uma das cidades afetada pelas inundações. Nota-se nesta Figura que a mancha de inundação aparece muito próxima a esta cidade.

As cidades de Campo Bom e Novo Hamburgo têm parte de suas áreas urbanas em relevos de colina, que favorecem ao escoamento superficial e parte em relevos planos, com baixa declividade, e próximas à planície fluvial do rio dos Sinos. É justamente nesta parte mais

plana, destas cidades, onde se pode observar que a mancha de inundação mais se aproximou de Novo Hamburgo chegando até o dique de proteção contra-cheias.



Figura 6.60 - Casas de Novo Hamburgo como consequência da inundação do rio dos Sinos provocada pelo ciclone extratropical em maio de 2008.



Figura 6.61- Pessoas sendo resgatadas pela Defesa Civil de Novo Hamburgo durante o evento de inundação provocado pelo ciclone extratropical de maio de 2008.

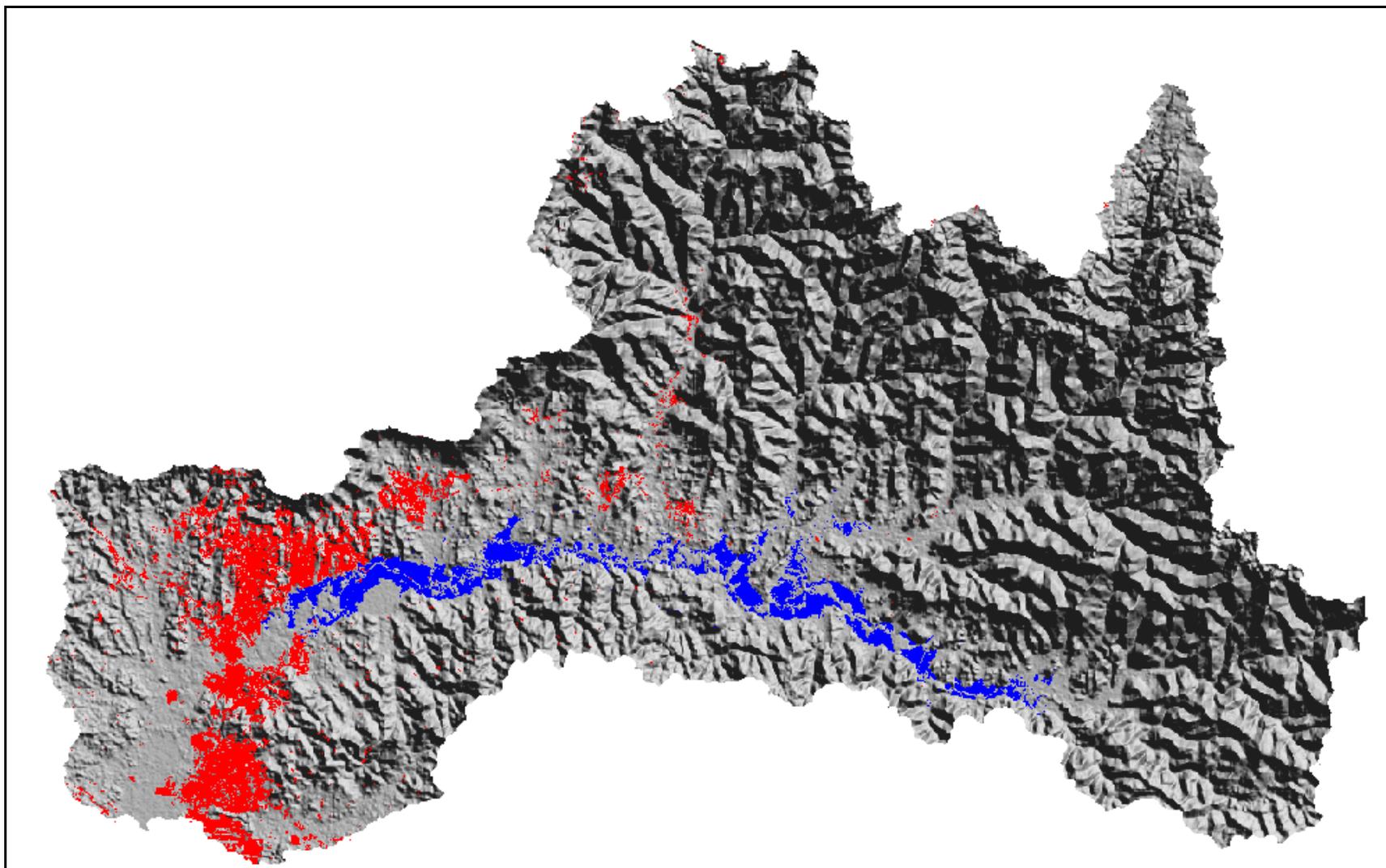


Figura 6.62 - Esquema com a combinação da imagem de relevo, áreas urbanas e mancha de inundação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

O sistema de diques de proteção contra cheias da Região Metropolitana de Porto Alegre foi construído em 1974, levando em consideração a cota de inundação de 1941, que tem um tempo de retorno estimado de 370 anos. A inundação de julho de 1982, na cidade vizinha de Novo Hamburgo chegou muito próximo do *free-board* de 1,2 m, do dique de contenção. A cidade de São Leopoldo tem a sua área urbana protegida por estes diques, os quais impediram que fosse inundada, paralelamente neste município, a magnitude da inundação não atingiu as mesmas proporções que em outros municípios, naquela ocasião.

A Figura 6.63 mostra um mapa com o sistema de diques da cidade de São Leopoldo.

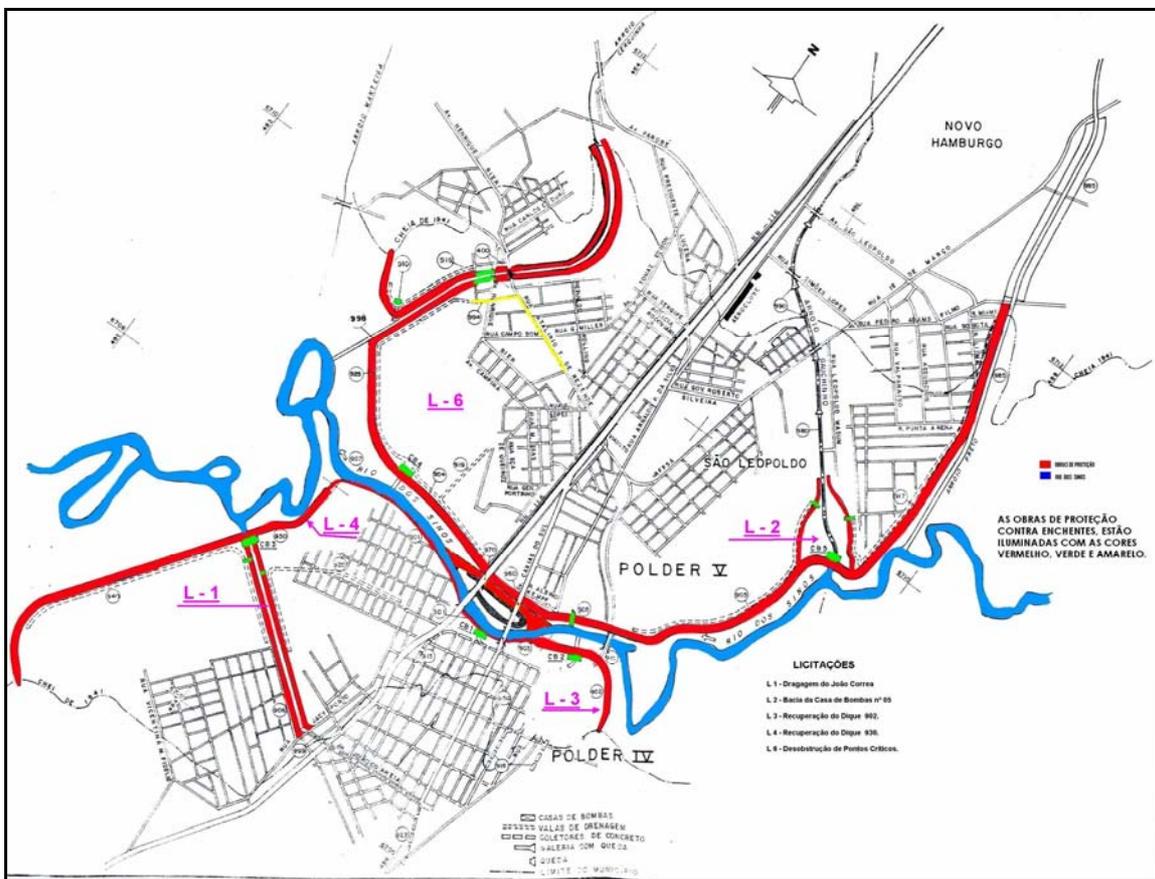


Figura 6.63 - Em vermelho diques de proteção contra cheias, em azul o curso do rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo.  
Fonte: Projeto Controle de Enchentes no Vale do Rio dos Sinos.

A Figura 6.64 apresenta um recorte de imagem *TM/LANDSAT 5*, onde é possível ver o sistema de diques de São Leopoldo e o dique em Novo Hamburgo.

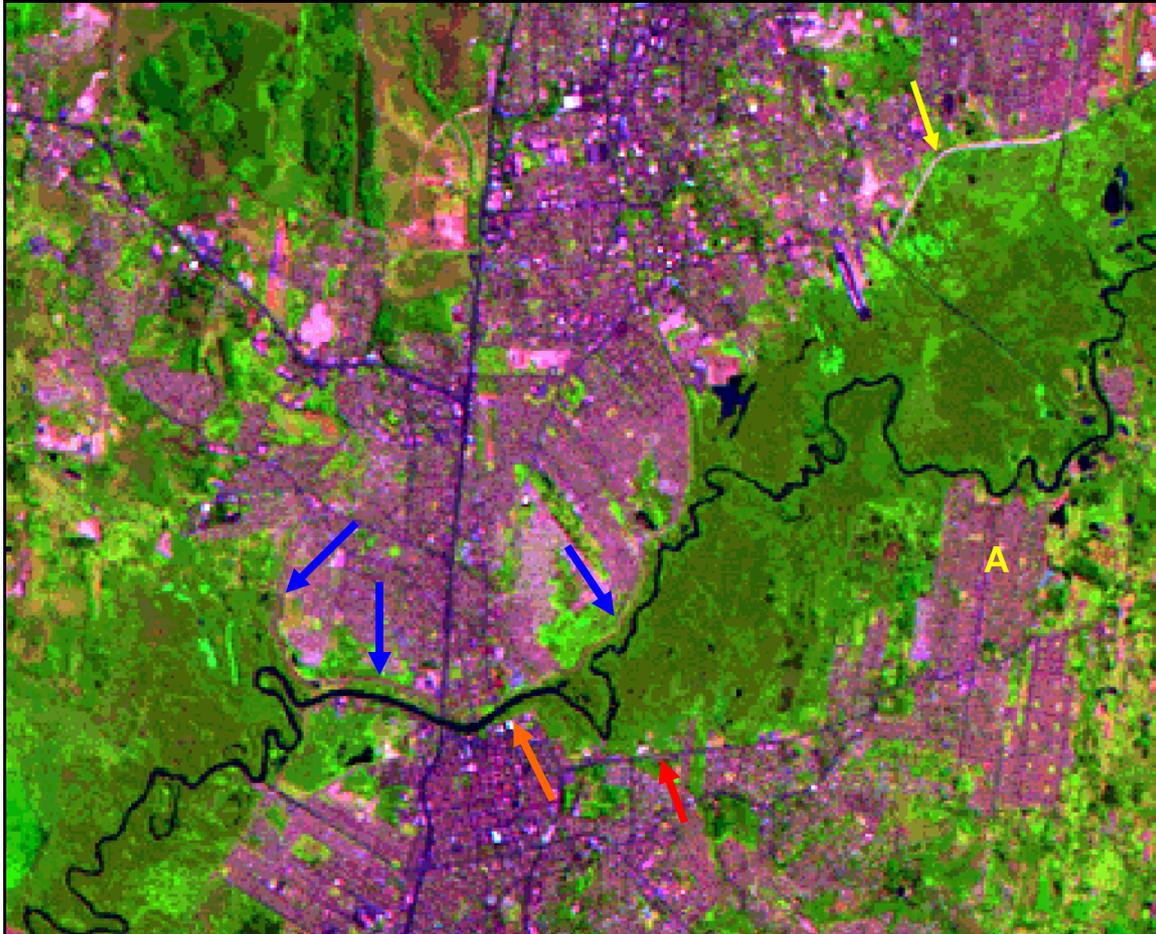


Figura 6.64 - Imagem *TM/LANDSAT 5*, bandas 2,3 e 5, com localização dos diques de proteção contra cheias, na cidade de São Leopoldo (setas azuis) e Novo Hamburgo (seta amarela).

Analisando-se a Figura 6.64 se observa um dique na cidade de Novo Hamburgo (seta amarela), nota-se também que a parte central da área urbana de São Leopoldo está localizada junto à segunda ombreira do rio dos Sinos e é resguardada por diques de proteção contra cheias (setas azuis e laranja). A seta vermelha indica a avenida Imperatriz Leopoldina, que na realidade é a continuação do dique marcado pela seta laranja e por ter seu nível elevado funciona como um dique de proteção, junto à planície fluvial do rio dos Sinos. Como pode ser visto na imagem esta avenida segue em direção leste até a cidade de Novo Hamburgo.

Caso não existissem estes diques as cidades de São Leopoldo e Novo Hamburgo simplesmente seriam invadidas pela inundação, apesar da altura que separa os terraços do rio, onde algumas partes destas cidades estão assentadas, do nível normal do rio dos Sinos (Figuras 6.65 e 6.66).

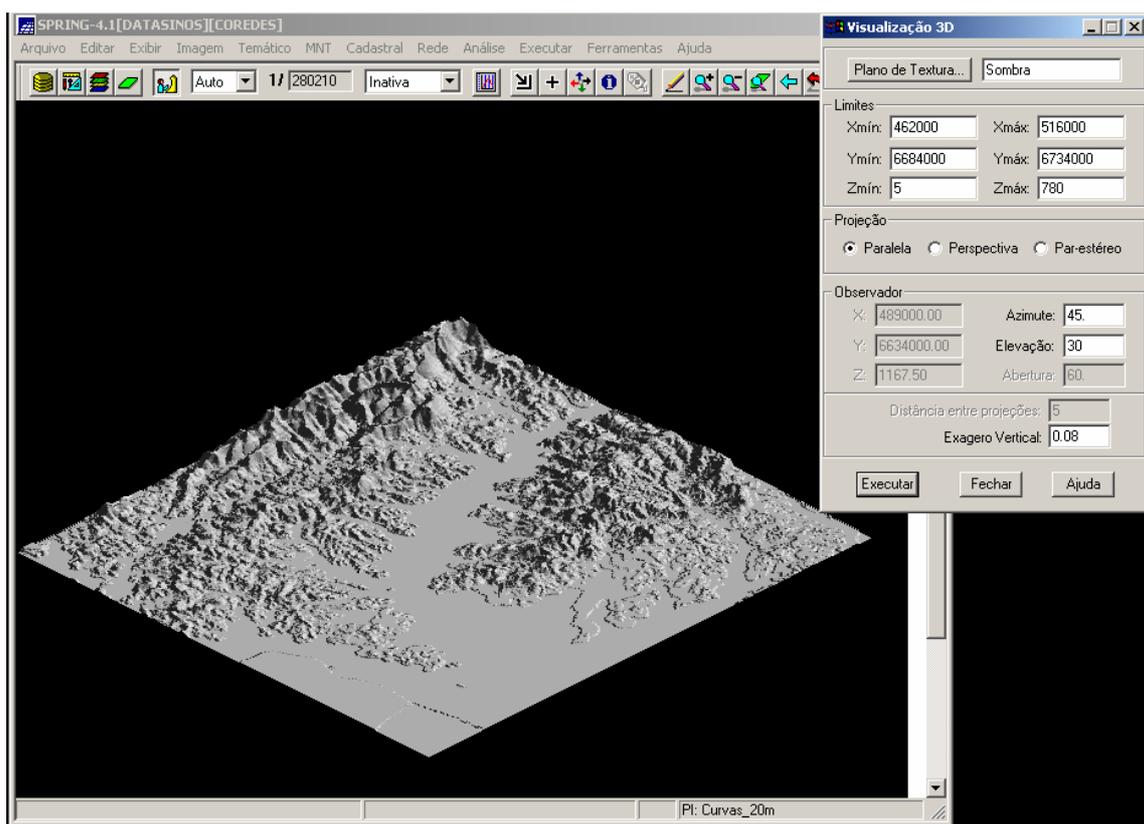


Figura 6.65 - Modelo de Elevação do Terreno gerado a partir de cartas topográficas da Divisão do Serviço Geográfico do Exército. Escala 1:50.000, referente a região das cidades Campo Bom, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Esteio e Canoas.  
Fonte: [www.datasinos.unisinos.br](http://www.datasinos.unisinos.br).



Figura 6.66- Dique separando a rodoviária de Leopoldo à esquerda e o rio dos Sinos à direita. a) Comparação dos dias 08 de maio (cota do rio com 5,55 m); e b) 22 de maio (cota do rio com 0,80 m), coordenadas geográficas: 29°45'35,42"S e 51°08'53,61"O, Datum: WGS84.  
Fonte: Hansen (2008)

Na Figura 6.66a é possível notar que o sistema de diques em São Leopoldo exerceu sua função em alguns locais, defendendo a cidade contra a invasão das águas. Na Figura 6.67 isto fica bastante evidenciado, observando-se que na porção a direita desta, a cidade ficou totalmente protegida da inundação pela ação do dique.



Figura 6.67 - Dique de proteção contra cheias resguardando a cidade de São Leopoldo (à leste) contra a inundação do rio dos Sinos, provocada pela passagem do ciclone extratropical.  
Fonte: Antonio Carlos Simões Pires Geske (07/05/2008).

Na Figura 6.68 observa-se em sua porção sul que uma parte da área urbana de São Leopoldo aparece inundada (assentamentos irregulares). Esta está localizada entre o dique e o rio dos Sinos, não sendo resguardada contra inundação ao contrário da porção norte.



Figura 6.68 - Dique de proteção contra cheias resguardando a cidade de São Leopoldo (à leste) contra a inundação do rio dos Sinos, provocada pela passagem do ciclone extratropical.  
Fonte: Antonio Carlos Simões Pires Geske (07/05/2008).

No caso de Novo Hamburgo, um trecho da área urbana chega até a borda da planície fluvial, como pode ser observado na porção nordeste da Figura 5.63, sendo esta, provavelmente, sua área mais suscetível à inundação, por isto a presença do dique de proteção (seta amarela).

Observando-se novamente a Figura 6.64 (imagem *LANDSAT*-letra A), na porção sudeste a área urbana de Novo Hamburgo chega até a borda do canal do rio dos Sinos. Observa-se que esta área urbana foi construída entre a avenida Imperatriz Leopoldina e o canal do rio, ultrapassando o dique de proteção e invadindo a planície de fluvial. Isto simplesmente anulou o efeito do dique de proteção, uma vez que a cidade se expandiu exatamente para a área que inunda num período de cheia do rio, além do mais, ela acabou impermeabilizando com concreto e asfalto, uma área que deveria permanecer preservada e sem construções, pois esta é o leito maior do rio, para onde ele extravasa em eventos de inundação.

Quando a planície de inundação de um rio é impermeabilizada, além da contribuição das chuvas que provocaram inundação esta planície receberá, adicionalmente, a contribuição do escoamento superficial vindo da área urbana impermeabilizada, aumentando consideravelmente a magnitude da inundação. A presença ou não do dique neste local não tem nenhum efeito. Esta área além de não ser protegida contra as inundações pelo dique, ainda contribui muito para o aumento da magnitude de um evento de inundação.

Considerando que esta área de planície fluvial tem uma declividade variando de muito baixa (0% a 2%) a baixa (2% a 4%), em um evento de inundação a água chegará até ela e levará vários dias para escoar, já que em áreas de pouca declividade a tendência da água é escoar lentamente ou depositar. Com isto a população que reside neste local ficará desabrigada por vários dias.

### **6.3 Avaliação dos danos humanos e físico-ambientais**

A análise dos danos humanos foi realizada a partir dos dados obtidos através dos relatórios de Avaliação de Danos (AVADAN) fornecidos pelas Defesas Civas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; basearam-se fundamentalmente nos números de afetados, desalojados,

desabrigados e enfermos. Cabe salientar que a Defesa Civil considera afetado como qualquer pessoa que tenha sido atingida ou prejudicada por desastre, entre deslocado, desabrigado, ferido, entre outros; desalojada é qualquer pessoa que foi obrigada a sair temporária ou definitivamente de sua residência, em função de evacuações preventivas, destruição ou avaria grave, decorrentes do desastre, e que, não necessariamente, precisa de abrigo provido pelo Sistema; desabrigado, por sua vez, necessita de abrigo (CASTRO, 1988).

### **6.3.1 Santa Catarina**

No estado de Santa Catarina, as principais áreas afetadas foram a região da Grande Florianópolis e Sul Catarinense e 16 municípios decretaram situação de emergência: Araranguá, Balneário Arroio do Silva, Ermo, Jacinto Machado, Lindóia do Sul, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Paulo Lopes, Praia Grande, Santa Rosa do Sul, São João do Sul, Siderópolis, Sombrio, Timbé do Sul e Turvo. A Figura 5.68 apresenta os municípios afetados e os que decretaram emergência, como consequência da passagem do ciclone extratropical pela região.

Em Santa Catarina, o número aproximado de afetados dentre os dezesseis municípios que decretaram situação de emergência foi de 76.232 pessoas. A região mais prejudicada foi o Sul Catarinense: em Morro Grande, a totalidade de sua população foi afetada de alguma maneira pelos efeitos do ciclone extratropical; em Jacinto Machado, 93% da população foi afetada, em especial, estudantes dos Ensinos Fundamentais e Médios, que tiveram as aulas interrompidas em função do isolamento causado pelas estradas danificadas; e em Araranguá, o total da população afetada foi de 77%, com a interrupção do abastecimento de energia elétrica, suspensão das aulas em escolas e universidade, bem como enfermidades em crianças, como resfriados e alergias.

Quanto aos desalojados, os números mais representativos foram em Ermo e Meleiro, os quais tiveram 7% e 4%, respectivamente. Quanto aos desabrigados, Ermo também apresentou um dos valores mais significativos, isto é, 2% da população necessitou de abrigo provido pelo poder público municipal. Em Jacinto Machado, 425 pessoas ficaram

desabrigadas, o que representou 4% da população do município. A Figura 6.69 apresenta os municípios de Santa Catarina afetados e que decretaram emergência após a passagem do ciclone extratropical no estado.

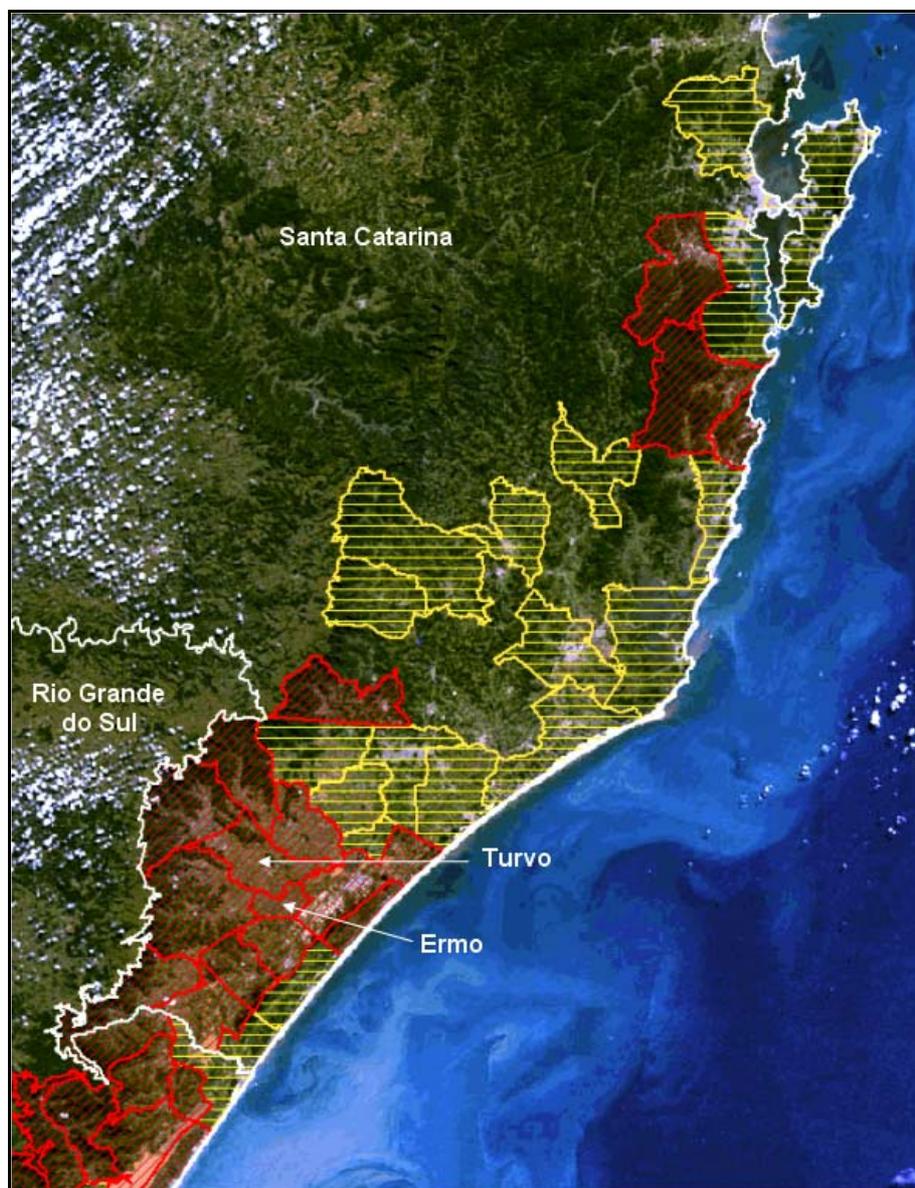


Figura 6.69 - Recorte da imagem *MODIS/TERRA* (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, do estado de Santa Catarina com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), com destaque para Turvo e Ermo, os mais atingidos.

### 6.3.2 Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul, 18 municípios decretaram situação de emergência: Alvorada, Arroio do Sal, Campo Bom, Caraá, Dom Pedro de Alcântara, Itati, Mampituba, Morrinhos do Sul, Maquiné, Novo Hamburgo, Osório, Riozinho, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Tramandaí, Três Cachoeiras e Três Forquilhas e 13 foram afetados (Figura 6.70)

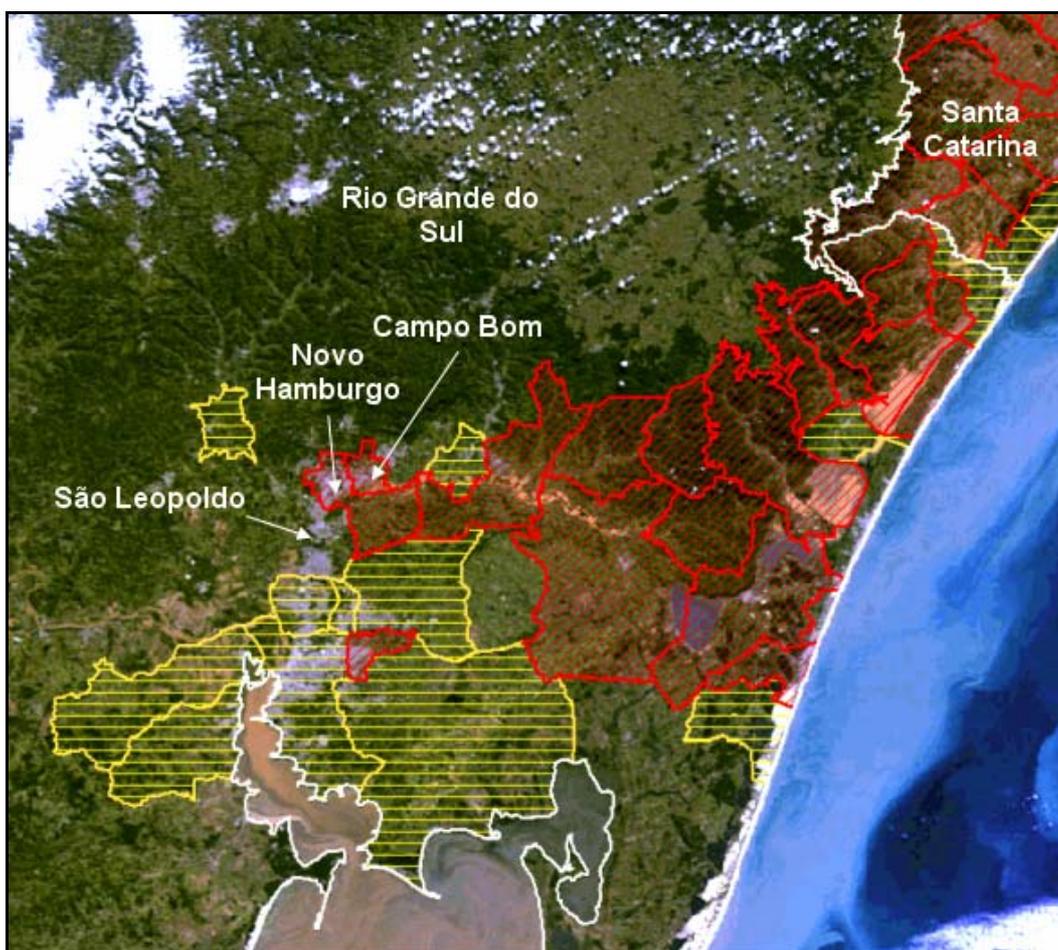


Figura 6.70 - Recorte da imagem MODIS/TERRA (bandas 1, 4, 3), de 06 de maio de 2008, do estado de Rio Grande do Sul, com os municípios que decretaram situação de emergência (em vermelho) e os municípios afetados (em amarelo), com ênfase para Campo Bom, Novo Hamburgo e São Leopoldo.

Estima-se que 78.786 pessoas no Rio Grande do Sul foram afetadas pelos efeitos do ciclone extratropical. Tal número é ainda maior visto que essa estimativa é referente apenas aos

municípios que decretaram situação de emergência. Porto Alegre, por exemplo, embora não tenha decretado situação de emergência, em função dos danos causados pelas inundações e vendavais, registrou diversos prejuízos. Na sexta-feira, dia 02, já havia os primeiros registros de alagamentos em vias e residências de Porto Alegre, nos bairros Restinga, Porto Seco, Protásio Alves, Bom Jesus, Jardim Lindóia e Cristal (Figura 6.71). De acordo com o INMET o total acumulado na capital somente nesse dia foi de 77 mm. Os fortes ventos provocaram quedas de árvores e em decorrência, linhas de transmissão foram atingidas o que resultou em desabastecimento para 30 mil unidades na Região Metropolitana.

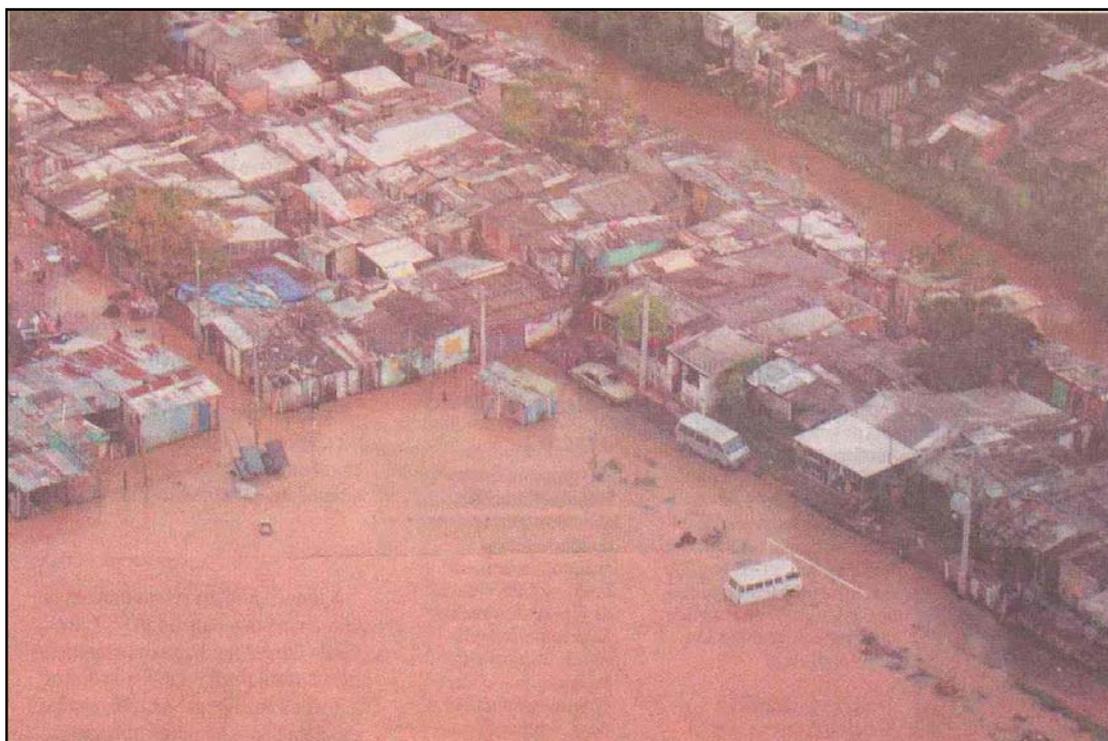


Figura 6.71 - Inundação no bairro Cristal, em Porto Alegre, RS.  
Fonte: Eduardo Sikorski, Zero Hora, publicada no dia 05/05/2008.

Vários municípios da bacia hidrográfica do rio dos Sinos foram afetados pela inundação do rio, provocada pelas chuvas severas que ocorreram nesta bacia. Entre eles estão: Novo Hamburgo, São Leopoldo, Taquara, Parobé e Santo Antônio da Patrulha (Figura 6.72).

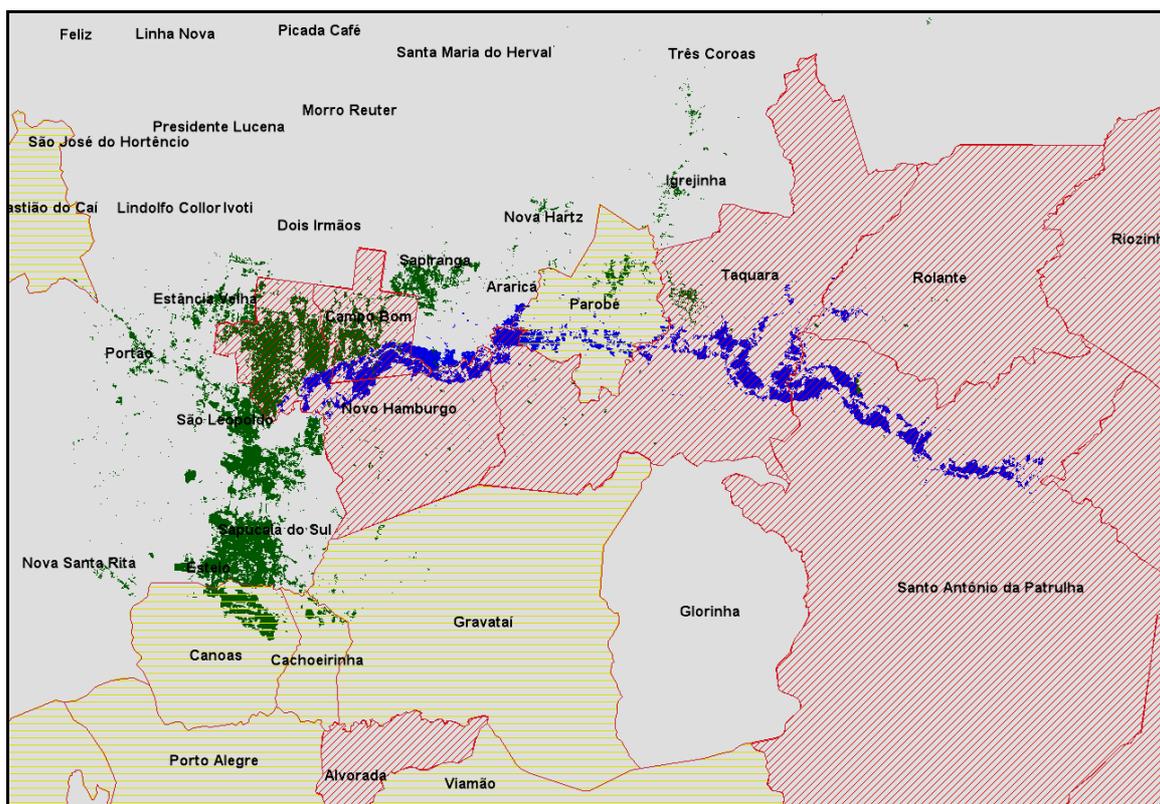


Figura 6.72 - Mapa esquemático dos municípios da bacia hidrográfica do rio dos Sinos afetados (em amarelo) e que decretaram situação de emergência (em vermelho), superpostos à mancha de inundação (em azul) e a área urbana (em verde).

Numa análise comparativa entre a porcentagem da população afetada e total do município, observou-se que em Morrinhos do Sul, Carará e Três Forquilhas a totalidade da população foi afetada; situação semelhante em Itati e Maquiné que tiveram 98% e 96%, respectivamente (Tabela 6.14).

Em relação aos desalojados, o município mais prejudicado foi Três Forquilhas, onde metade da população teve que abandonar temporariamente sua residência. Em Itati, 35% da população também ficou desalojada, em função das inundações. O número mais significativo de desabrigados foi em Arroio do Sal e Morrinhos do Sul, com 4% da população que necessitou de algum abrigo. Além disso, em Novo Hamburgo e Santo Antônio da Patrulha foram registrados 30 e 16 enfermos, respectivamente.

Tabela 6.14- População afetada - Rio Grande do Sul

<b>MUNICÍPIOS</b>	<b>POPULACAO AFETADA</b>
Três Forquilhas	100%
Caraá	100%
Morrinhos do Sul	100%
Itati	98%
Maquine	96%
Arroio do Sal	89%
Riozinho	70%
Santo Antônio da Patrulha	53%
Dom Pedro de Alcântara	49%
Mampituba	47%
Rolante	33%
Três Cachoeiras	26%
Taquara	15%
Tramandaí	14%
Campo Bom	5%
Alvorada	6%
Novo Hamburgo	1%
Osório	0%

#### **6.4 Danos físicos-ambientais**

A Defesa Civil adota como critério de prioridade os danos materiais causados nas instalações públicas de saúde, residências populares e instalações públicas de ensino. Em ambos os estados afetados pelo ciclone extratropical nota-se que houve registros de danos a essas instalações, o que sugere uma localização inadequada das mesmas, ou seja, sujeita a inundação. Ao analisar conjuntamente os danos causados nesses três tipos de edificações, constatou-se que no Rio Grande do Sul, o município de Tramandaí foi o que apresentou o maior número de unidades afetadas com 328 casas populares, seis edificações públicas de ensino e três postos de saúde. Por sua vez, em Santa Catarina, no município de Araranguá, 700 residências populares foram danificadas, além de quatro escolas.

Para a ponderação dos prejuízos foi utilizada uma classificação adotada pela Defesa Civil que se relaciona o valor do PIB (Produto Interno Bruto) do município e o total de prejuízos. De acordo com essa classificação, os municípios que apresentaram os maiores prejuízos foram Maquiné, Itati, Três Forquilhas e Dom Pedro de Alcântara, os quais tiveram perdas superiores a 30% do PIB (Tabela 6.15).

Tabela 6.15- Classificação dos prejuízos nos municípios do Rio Grande do Sul

NÍVEL	MUNICÍPIOS
IV (Prejuízo > 30% PIB)	Maquiné Itati Três Forquilhas Dom Pedro de Alcântara
III (10 % < Prejuízo ≤ 30% PIB)	Caraá Mampituba Três Cachoeiras
II (5% < Prejuízo ≤ 10% PIB)	Rolante Riozinho Tramandaí
I (Prejuízo ≤ 5% PIB)	Taquara Osório Alvorada Arroio do Sal Santo Antônio da Patrulha Campo Bom Novo Hamburgo

A Figura 6.73 apresenta a rodovia BR-101 alagada, como consequência das chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical.

Maquiné foi o município que sofreu mais perdas, as quais chegaram a 50% do PIB, centradas principalmente na horticultura e danos na infra-estrutura pública, com estradas danificadas e destruídas. Em consequência da interrupção do tráfego e isolamento de comunidades, 250 crianças ficaram sem aula. Além disso, o abastecimento de água e luz também foi interrompido. O município de Itati cuja economia é essencialmente agrícola teve seus principais prejuízos na horticultura, fruticultura, grãos, cereais e leguminosas; esse montante chegou a quase R\$ 3 milhões. As demais perdas estavam relacionadas com a destruição de obras de arte e estradas provocadas pelas inundações.

No Nível III enquadram-se os municípios Caraá, Mampituba e Três Cachoeiras, cujos prejuízos representaram respectivamente 28%, 23% e 12% do valor total do PIB. O setor mais afetado nesses últimos dois municípios foi a fruticultura. Em Rolante, Riozinho, Tramandaí e Taquara, o total dos prejuízos ficou entre 5 a 10% do PIB, ou seja, no Nível II.



Figura 6.73- Os mais de 170 mm de chuva que caíram até a tarde de domingo causaram o fechamento da BR-101. O rio Três Forquilhas, em Torres, transbordou e avançou sobre a rodovia.  
Fotografia: Valdir Friolin.

Os maiores gastos nesses municípios foram principalmente com a infra-estrutura pública, tais como desassoreamento dos rios, pavimentação de vias urbanas, muros de contenção. Cabe salientar que em Taquara, 500 residências populares foram danificadas pelos fortes ventos e pelas inundações (Figura 6.74). O prejuízo estimado foi de R\$ 6,5 milhões.



Figura 6.74 - Área inundada no município de Taquara, RS.  
Fonte: Miro Souza, Zero Hora, publicada no dia 06/05/2008.

Nos demais municípios - Alvorada, Arroio do Sal, Osório, Santo Antônio da Patrulha, Campo Bom e Novo Hamburgo, os prejuízos foram igual ou inferiores a 5% do PIB, o que não significa que não foram representativos. O exemplo é de Alvorada, onde 2.680 casas populares foram danificadas e outras 20 foram destruídas, o que resultou um prejuízo de R\$ 8,2 milhões (Figuras 6.75, 6.76 e 6.77).



Figura 6.75 - Alagamento no município de Santa Antônio da Patrulha e Osório, como consequência das chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical.  
Fonte: DA PRAIA NEWS - <http://www.dapraianews.com.br/noticias.php?id1=6235>.



Figura 6.76 - Alagamento na cidade de Osório, como consequência das chuvas intensas provocadas pelo ciclone extratropical. Os alagamentos ocorreram nos bairros centro, Porto, Vila Popular e Laranjeiras. Na área central, perto da Prefeitura, Câmara de Vereadores, Fórum e Rodoviária a água tomou grande extensão das vias, tornando-as praticamente intransitáveis.  
Fonte: JORNAL DIMENSÃO- <http://www.jornaldimensao.com.br/?id=6&n=17450>.



Figura 6.77 - Alagamento e destruição no bairro Olaria Barrinha, no município de Campo Bom, no vale do rio dos Sinos.  
Fonte: Ronaldo Bernardi, jornal Zero Hora, publicado em 06/05/08.

Houve o registro de dois mortos no estado do Rio Grande do Sul. Um caminhoneiro trafegava pela RS-129, em Serafina Corrêa, quando foi atingido por uma árvore no momento em que retirava um eucalipto, que bloqueava a pista. A outra morte ocorreu em São Francisco de Paula, onde um homem de 73 anos foi arrastado pelo fluxo d'água ao tentar atravessar uma ponte. Duas pessoas ainda se feriram ao levar choque elétrico, ao encostar-se nos fios de energia caídos.

Os prejuízos em Santa Catarina foram menos vultosos do que no Rio Grande do Sul (Tabela 6.16). Timbé do Sul foi o município que apresentou os maiores prejuízos, cerca de R\$ 10,9 milhões, o que representa 27% do PIB e se classifica no Nível III. Os principais danos foram causados nas estradas, obras de arte e na horticultura; quanto aos prejuízos sociais, ressalta-se a interrupção das aulas de 700 alunos das redes estadual e municipal e o abastecimento de água, que também foi prejudicado devido à destruição da represa de captação da cidade.

Os demais municípios catarinenses classificam-se no Nível I de prejuízos. Entretanto, cabe salientar que muitos apresentaram perdas que superaram os R\$ 2 milhões, tais como Araranguá, Jacinto Machado e Praia Grande. Em Ermo, uma casa foi totalmente destruída (Figura 6.78).

Tabela 6.16- Classificação dos prejuízos nos municípios de Santa Catarina

NÍVEL	MUNICÍPIO
III (10 % < Prejuízo ≤ 30% PIB)	Timbé do Sul
I (Prejuízo ≤ 5% PIB)	Praia Grande Morro Grande Maracaja Sao Joao do Sul Meleiro Paulo Lopes Santa Rosa do Sul Sombrio Ermo Araranguá Siderópolis Turvo Balneário Arroio do Silva Jacinto Machado



Figura 6.78 - Casa totalmente destruída em Ermo, SC.  
Fonte: jornal Diário Catarinense, publicada no dia 06/05/2008.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos deste trabalho além da análise da gênese, danos e evolução do ciclone extratropical ocorrido nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em maio de 2008, era demonstrar a potencialidade das geotecnologias para o estudo de eventos de inundação causadas por adversidades climáticas. Ao término das análises chegou-se as seguintes conclusões:

- A combinação do uso de geotecnologias (imagens de satélite, sistemas de informações geográficas e GPS) com a coleta de dados de campo permitiu que se analisasse a gênese, os danos causados e se fizesse uma avaliação do evento ciclone extratropical ocorrido nos estados de Santa Catarina Rio Grande do Sul no mês de maio de 2008;
- Esta forma integrada de analisar o fenômeno deu uma visão sistêmica de sua formação e evolução, evidenciando todos os fatores que contribuíram de forma decisiva para a ocorrência dos eventos de inundação nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul;
- A possibilidade de obtenção de dados temporais de meteorologia, principalmente as cartas sinóticas de pressão a superfície, foram importantes para a análise da gênese e evolução do ciclone extratropical. Estas são geradas a cada 12 horas, possibilitando assim o monitoramento constante da evolução do fenômeno em tempo real, auxiliando na tomada de decisões, no momento que ocorre o evento, bem como em ações preventivas. Na análise pós-desastres, estas cartas permitem traçar um padrão de onde e quando o fenômeno se originou, sua evolução em termos de trajetória, magnitude e tempo de duração. Esta informação permite que se trace um padrão de comportamento do fenômeno, no caso do ciclone extratropical, ocorrido em uma determinada área, que pode servir de subsidio para ações de prevenção em eventos futuros;

- As imagens GOES 10 com informações sobre a nebulosidade ocorrida na área bem como a temperatura do topo das nuvens forneceu informações valiosas sobre o período de maior atividade do ciclone extratropical, sugerindo onde se localizaram as principais áreas de precipitações intensas bem como o período em que este sistema esteve atuando. Chuvas intensas e concentradas em um curto período de tempo em geral têm como consequência inundações. Analisando-se estes dados em vários períodos de tempo consecutivos, como foi feito neste estudo, podem-se ter informações de como foi a dinâmica das precipitações provocadas pelo ciclone extratropical, provável local de ocorrência e sua contribuição para os eventos de inundação na área;
- Os dados de precipitação acumulada obtidos a partir imagens GOES 10, aliados aos mapas de precipitação acumulada obtidos a partir do NEP/NCAR, para a América do Sul e com mais detalhes para a região Sul do Brasil, e com os mapas de precipitação acumulada estimados a partir de dados do satélite GOES 12, utilizando o Hidroestimador, permitiram traçar temporalmente como as chuvas foram se distribuindo nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, durante a passagem do ciclone extratropical pela região. Estes dados também forneceram com clareza os pontos onde aconteceram os maiores acumulados de precipitação e em que dias eles correram. Esta dinâmica das precipitações acumuladas foi um dos fatores determinantes para a ocorrência de inundações nestes dois estados. Analisando-se estes dados, pode-se ter uma idéia clara em que dias, como se formaram e as áreas atingidas pelas inundações, ou seja, com estes dados pode-se obter informações porque as inundações ocorreram naqueles locais, e estas, estão de acordo com a dinâmica das precipitações acumuladas observadas nestes mapas.
- Os mapas sobre a direção e intensidade dos ventos para a América do Sul em mais detalhe para a região Sul do Brasil obtidos a partir de dados de reanálise do NCEP/CCAR, aliados aos dados de dia de ocorrência e velocidade dos ventos do

METAR foram importantes para determinar a dinâmica, os locais e dias de maior intensidade, uma vez que os ventos provocados pela passagem do ciclone extratropical foram de grande intensidade e provocaram vários danos em toda área;

- A análise dos dados pluviométricos coletados em campo, para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, corroborou o que já havia sido observado nos dados de precipitação anteriormente mencionados em termos de dinâmica e intensidade das precipitações, adicionalmente, eles permitiram ter informações mais detalhadas desta dinâmica na bacia hidrográfica, sua distribuição na área, ao longo do tempo e intensidade das chuvas. Estas informações forma valiosas para determinar a dinâmica, magnitude e evolução das inundações nesta bacia;
- Isto ficou bastante claro no momento em que foram analisados os mapas de isoietas, que permitiram observar como as chuvas se distribuíram ao longo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, os locais e os dias de maiores precipitações e como isto influenciou na formação do evento de inundação;
- O Hietograma e o hidrograma gerados a partir destes dados pluviométricos combinados com os dados de nível do rio dos Sinos coletados na régua limnimétrica localizada na cidade de São Leopoldo, permitiu analisar a magnitude e a duração da cheia do rio dos Sinos. Comparando-se estes gráficos com os mapas de isoietas foi possível observar que houve um atraso de 5 dias, após a passagem do ciclone extratropical pela região, para que a cheia do rio do Sinos fosse registrada em seu médio/baixo curso. Esta é uma informação importante, pois se num próximo evento ciclônico este padrão do rio for considerado, há tempo suficiente para retirar a população, com antecedência, das áreas de potencial risco de inundação;
- As imagens de satélite de observação da Terra como as MODIS/TERRA e CCD/CBERS2B foram ferramentas importantes para o mapeamento da área inundada e para a comparação entre o período pré e pós-ciclone e os cálculos da área atingida e da largura da lâmina d'água. Estas áreas mapeadas como inundadas

devem ser consideradas como potencial áreas de inundação e serem observadas com atenção a partir deste evento, servindo como um subsídio para um plano de evacuação ou de prevenção, caso venham a ocorrer novas episódios de chuvas intensas e concentradas nestas áreas;

- Os dados TM/LANDSAT 5 permitiram que se tivesse informações sobre o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Sabe-se que isto é um dos fatores que favorecem ou previnem a ocorrência de inundação em uma bacia hidrográfica. Uma cobertura do solo que contribui para aumentar o escoamento superficial na bacia, seguramente gerara cada vez mais inundações de maior magnitude e frequência, ao contrário, ter na bacia um uso e cobertura do solo que previne o escoamento superficial é aconselhável e desejável, no sentido de evitar danos materiais e salvar vidas. Assim o constante monitoramento do uso e cobertura do solo é um fator decisivo para a prevenção e mitigação de desastres de inundação;
- Este monitoramento pode ser feito também com imagens CCD/CBERS 2B. Como a cada 22 dias há uma nova imagem sobre o mesmo local e nas mesmas condições de coleta, fazer um monitoramento do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica representa uma economia em termos de tempo, dinheiro e vidas humanas, além do que permite planejar ações de prevenção e mitigação na bacia. Deve-se também considerar que atualmente já existem imagens HRC/CBERS 2B com 2,7 metros de resolução espacial, e tal como as CCD podem ser adquiridas gratuitamente na homepage do INPE. Estas permitem que se tenham informações sobre o traçado urbano das cidades, o que pode auxiliar no planejamento de rotas de fuga e de resgate de vítimas em casos de eventos de inundação;
- As imagens CCD/CBERS 2 B permitiram o mapeamento de toda a área inundada ao longo do rio dos Sinos e a comparação da situação deste rio antes e depois da passagem do ciclone extratropical;

- Os dados do SRTM foram valiosos para que se pudesse caracterizar a declividade e o relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, fatores que, aliados a dinâmica das precipitações e ao uso e cobertura do solo, são fatores determinantes para estabelecer a dinâmica e o padrão de eventos de inundação nesta e em qualquer outra bacia hidrográfica;
- A combinação dos CCD/CBERS2B, com os dados TM/LANDSAT e com as informações obtidas com os dados SRTM deu uma visão integrada da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com isto foi possível identificar como a declividade da bacia, as formas de relevo, a forma do canal do rio dos Sinos, a densidade de rios contribuintes na bacia e o uso e cobertura do solo determinam o comportamento de eventos de inundação que aí ocorrem. O dia de maior precipitação foi o dia 3 de maio, choveu forte em toda a bacia, desde o curso superior até o inferior, com maior ênfase no curso superior. Porém, devido aos fatores mencionados acima, que atuam de forma combinada, a inundação levou cinco dias para atingir as áreas urbanas que estão localizadas próximas à planície fluvial e pela baixa declividade o rio levou 16 dias para voltar ao seu nível normal. Este padrão deve ser considerado nas ações de prevenção e mitigação de desastres pelas autoridades locais;
- Utilizando-se imagens temporais da bacia hidrografia, como foi feito neste estudo, e/ou imagens históricas de outros episódios de inundação no rio, uma vez que no banco de dados do INPE estão disponíveis 35 anos de dados sobre todo o território nacional, é possível traçar um padrão e ter idéia da magnitude e local de ocorrência de várias inundações do rio dos Sinos, informação muito útil para planejar ações de prevenção e mitigação de desastres;
- Um fator preocupante nesta bacia, que foi observado nas imagens TM/LANDSAT e CCD/CBERS 2B, é o avanço de áreas urbanas sobre a planície fluvial do rio dos Sinos. Sabe-se que áreas urbanas geralmente têm o solo impermeabilizado pelo asfalto e pelas construções, aumentando acentuadamente o escoamento superficial, se a planície fluvial, leito maior do rio, que é inundada em eventos de inundação é

impermeabilizada por áreas urbanas, além das chuvas estas áreas, irão contribuir de forma decisiva para o aumento tanto da frequência como da magnitude das inundações na área. Com isto praticamente as obras de prevenção contra cheias, aí existentes, acabam perdendo sua eficiência e não evitando que bairros inteiros sejam inundados. Deve-se analisar isto com mais cuidado e chama-se a atenção das autoridades locais para a expansão destas áreas urbanas em direção ao canal do rio.

- Analisando-se os AVADANs para a avaliação de dados na região, pode-se observar que a maioria das áreas que foram inundadas, são áreas urbanas que estão muito próximas a planície fluvial, ou estão na própria planície fluvial, ou muito próximas ao canal do rio ou apresentam declividade muito baixa.

A análise integrada dos dados utilizada neste estudo permitiu que se tivessem informações sobre a gênese, a evolução e se fizesse a avaliação das conseqüentes inundações ocorridas nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, afetadas pelo ciclone extratropical de maio de 2008. Isto fez com que se observasse a área afetada como um sistema integrado em que todos os elementos aí presentes contribuíram para a ocorrência do fenômeno.

O uso de geotecnologias possibilita este tipo de análise integrada e temporal, o que é essencial para obterem-se informações sobre o padrão de comportamento de determinado fenômeno. Dados gratuitos e temporais como os que foram utilizados neste estudo podem auxiliar na tomada de decisão, na prevenção e na mitigação de desastres, e eles estão acessíveis a qualquer profissional, planejador, administrador ou autoridade.

Com isto é possível, a baixo custo, traçar-se políticas públicas de prevenção, planejar ações de mitigação de desastres e prever cenários futuros, uma vez que se tem informação da gênese do fenômeno, como ele evoluiu ao longo do tempo, e que ele pode ocorrer novamente dentro de um determinado padrão, esta é uma informação valiosa para o estudo de desastres naturais, pois em geral são fenômenos que se repetem, com maior ou menor magnitude, no mesmo local.

É necessário, porém não esquecer que os dados coletados em campo são fundamentais para validar as informações obtidas por meio de geotecnologias. Esta combinação geotecnologias e dados de campo podem auxiliar não somente nos casos de inundações, mas também no estudo de outros tipos de desastres naturais.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALDASSO, A. L. S., FAVILLA, C. A. C, RODRIGUES, T. L. das, WILDNER, W., BACHI, F.F.A., VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., DEHNHARDT, B.A. *Mapas Geológicos da Região Costeira do Rio Grande do Sul*. Escala 1:250.000, folhas Gravataí (SH.-X-C), Cidreira/Mostardas (SH.22-Z-A/C), Porto Alegre (SH.22-Y-B), Pelotas (SH.22-Y-D), Jaguarão (SH.22-V-A), Rio Grande (SH.22-V-B) e Santa Vitória do Palmar (SH.22-V-C). Porto Alegre, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) - Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Subprograma de Integração Geológica-Metalogenética. Cooperação CPRM - UFRGS/CECO, 2000.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. da *Hidrologia, Capítulo 7- Escoamento Superficial*. Rio de Janeiro : UFRRJ. 2006. p. 95-115. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2008.

CASTRO, A. L. C. *Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres*. Brasília: MPO, 1998. 283 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo : Ed. Edgard Blücher, USP. 1974. 149 p.

CORSEUIL; C. W., CAMPOS, S. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declive e de uso das terras da microbacia do arroio Ajuricaba – Marecham Candido Rondon – PR. *Revista Energia na Agricultura*, vol.22, n.1, 2007, p.33-41.

COMITESINOS. COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DOS SINOS. Disponível em <<http://www.comitesinos.com.br>>. Acesso em 8 jul. 2008.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. *Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia*. INPE-11238-RPQ/761. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SRTM\\_Imagens.pdf](http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SRTM_Imagens.pdf)>. Acesso em: 10 nov. de 2008.

DATASINOS. *Projeto DATASinos: Sistema de Informação e Análise Sócio-Econômico-Ambiental para o COREDE Vale do Rio dos Sinos*. Disponível em: <<http://www.datasinos.unisinos.br>>. Acesso em: 07 out. de 2008.

DE BIASI, M. *A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção*. 1992. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br/inferior/laboratorios/lcarto/PAGINADO20LABCART/artigos/artigo02.html>>. Acesso em: 09 nov. de 2008.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Brasília : EMBRAPA, 1999. 421 p.

EPAMIG *Como Mapear o Café-Modelagem do relevo, Centro Tecnológico do Sul de Minas*. Laboratório de geoprocessamento. Disponível em: <[http://www.epamig.br/geosolos/MN\\_CAFE/indice.php](http://www.epamig.br/geosolos/MN_CAFE/indice.php)>. Acesso em: 06 nov. de 2008.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA. Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_sinos/sinos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp)> Acesso em: 01 jul. de 2008

FLORENZANO, T.G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 318p.

HANSEN, M. A. F. Subprojeto Recursos Hídricos Superficiais, Subterrâneos e Áreas de Especial Interesse Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. *Relatório Técnico Final do Pólo de Inovação Tecnológica do Vale do Rio dos Sinos*. Porto Alegre: Secretaria de Ciência e Tecnologia do estado do Rio Grande do Sul. 2007. 151 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta de Solos, folhas Caxias do Sul-SH.22-V-D e Gravataí-SH.22-X-C, escala 1:250.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2003a, Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/mapas\\_ibge/tem.php](http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem.php)>. Acesso em: 08 de set. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Carta de Geomorfologia, folhas Caxias do Sul-SH.22-V-D e Gravataí-SH.22-X-C, escala 1:250.000*. IBGE, 2003b, Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/mapas\\_ibge/tem.php](http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem.php). Acesso em: 08 set. de 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>>. Acesso em: 12 jul. de 2008.

JARDIM, H.L. Técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto aplicadas ao monitoramento de áreas urbanas próximas às de exploração mineral: O caso de Congonhas-MG. *Dissertação de Mestrado*, INPE, São José dos Campos, SP, 1995. 163 p.

KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v. 77, p. 437-471, 1996.

LIMA, W. P. *Princípios de manejo de bacias hidrográficas*. ESALQ/USP, 1976. v. 1.

MARCA D'ÁGUA. Bacia21 - Bacia do Rio Sinos (Rio Grande do Sul). Disponível em <<http://www.marcadagua.org.br/bacia21.htm>>. Acesso em: 9 jul. de 2008.

MARCELINO, I. P. O. *Análise de episódio de tornado em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados*. São José dos Campos: INPE, 2003. 223 p. (INPE-12145-TDI/969).

MOURA, H.A.S.; FEIJÓ, V.F.; LIMA, F.A.M.; SOUZA, F.G. Avaliação dos recursos d'água em pequenas bacias de drenagem – IV programa em linguagem *Fortran* para cálculo de alguns elementos básicos e parâmetros estudados em drenagem superficial. *Bo. Téc.* DENAE/CCA/UFC, Fortaleza, n. 5, 1979. p. 21-29.

NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *About MODIS specifications*. Disponível em <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>. Acesso em 10 jul. de 2008.

RENNO, C. D., NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., SOARES, J.V., HODNETT, M.G., TOMASELLA, J., WATERLOO, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia, *Remote Sensing of Environment*, Volume 112, Issue 9, 15 September 2008, Pages 3469-3481, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2008.03.018. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V6V-4ST4CFW-1/2/14154d0d06e4b9587ba7e85ec8dcb106>

SOUZA, L.F. Estudo acerca da cobertura vegetal e uso do solo nas zonas ciliares dos principais corpos hídricos na Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos. DOCUMENTO DAT-MA nº0616/2008. Ministério Público do Rio Grande do Sul, Divisão de Assessoramento Técnico, 2008.

TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 1993, 943 p.

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.