

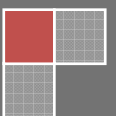
2009

MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES - NOVEMBRO 2008

RELATÓRIO 01/2009



SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO SUSTENTÁVEL - SDS
DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS - DRHI
fev./2009



MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES - NOV. 2008

ESTADO DE SANTA CATARINA
RELATÓRIO PRELIMINAR

**Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS
Diretoria de Recursos Hídricos – DRHI**

Endereço:

Rua Frei Caneca, 400, Agrônômica

Ed. Ruyter Nascimento – Florianópolis/SC

CEP 88025-060

Endereço Eletrônico: sds@sads.sc.gov.br | drhi@sds.sc.gov.br

Páginas Eletrônicas: www.sds.sc.gov.br | www.aguas.sc.gov.br



ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SUSTENTÁVEL
DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS

MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES - NOV. 2008

ESTADO DE SANTA CATARINA
RELATÓRIO PRELIMINAR



ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
SUSTENTÁVEL
DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS

LUIZ HENRIQUE DA SILVEIRA

Governador do Estado

LEONEL PAVAN

Vice-Governador do Estado

ONOFRE SANTO AGOSTINI

Secretário de Estado do Desenvolvimento Econômico

FLÁVIO RENE BREA VICTORIA

Diretor de Recursos Hídricos

ORGANIZAÇÃO

DRHI/SDS

Flávio Rene Brea Victoria
Frederico de Moraes Rudorff
João R. Vollertt
Luciana Camargo Castro
Thobias Leôncio Rotta Furlanetti

Threetek

Alessandro Palmeira
Helder Carvalhais
Waldiza Brandão

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESASTRE NATURAL – NOVEMBRO DE 2008	8
2.1 Observações realizadas durante o evento no Vale do Itajaí.....	8
2.2 População afetada	10
2.3 Grupo Técnico Científico (GTC) - subgrupo do Grupo de Reação.....	11
2.4 Imagens SAR no Mapeamento de Inundações	12
3. METODOLOGIA	12
3.1 Dados	13
3.2 Processamento das Imagens.....	14
4. RESULTADOS	17
4.1 Imagens RADARSAT-2 Standard Ortoretificadas	17
4.2 Mosaico.....	22
4.3 Classificação	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS e recomendações	27
6. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	28
7. MAPAS EM ANEXO	29

RESUMO

No mês de novembro de 2008, a região leste do Estado de Santa Catarina foi afetada por um desastre natural de grandes proporções. Uma combinação atípica de dois fenômenos atmosféricos provocou chuvas extremamente intensas em solos já saturados pelas chuvas dos últimos três meses, culminando em extensas inundações e inúmeros escorregamentos nos municípios localizados, sobretudo, nas Regiões Hidrográficas da Baixada Norte, Vale do Itajaí e Litoral Centro. Até o dia 30 de novembro de 2008, o número de pessoas desabrigadas e desalojadas chegou aos 78.707 e até o dia 14 de dezembro tinham sido contabilizados 110 mortes e 19 desaparecidos. A fim de se estudar as causas e conseqüências deste desastre, além de propor medidas de prevenção e mitigação que orientarão as políticas públicas nesta área, foram criados pelo Decreto nº1940, o Grupo de Reação e um protocolo de intenções formalizando o Grupo Técnico Científico (GTC). O Grupo tem atuação permanente nas áreas de prevenção e mitigação não somente de inundações e escorregamentos, mas também de estiagens, ciclones, furacões, tornados, além de problemas decorrentes das mudanças climáticas. A Diretoria de Recursos Hídricos (DRHI) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) está pondo em prática ações orientadas neste sentido. Uma delas é o mapeamento das áreas inundadas nos principais municípios atingidos através de imagens do satélite RADARSAT-2. O sensor imageador Radar de Abertura Sintética (SAR) foi escolhido, pois é capaz de obter imagens independentemente das condições atmosféricas. A imagem foi adquirida no dia 28 de novembro e através de técnicas de processamento digital e interpretação foi possível mapear as áreas inundadas no dia da aquisição e as áreas úmidas que indicam as áreas que provavelmente foram inundadas no auge das cheias. Os resultados preliminares são apresentados neste relatório, mas estes serão ainda validados e aperfeiçoados com trabalhos de campo e dados auxiliares como imagens óticas, mapas de geologia, geomorfologia, uso do solo, entre outros. Este trabalho terá grande aplicação para estudos e avaliações de riscos a inundações e servirá de apoio para autoridades públicas ligadas ao planejamento e ordenamento territorial e de atuação em situações de emergência.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina é freqüentemente afetado por adversidades atmosféricas que resultam em desastres naturais. Áreas de instabilidades intensas podem ocasionar inundações, vendavais, granizos, tornados, entre outros. Ocasionalmente, tais adversidades culminam em desastres naturais de grandes proporções.

No mês de novembro de 2008, a região leste do Estado foi afetada por um desastre natural de grandes proporções. Uma combinação atípica e persistente de dois fenômenos atmosféricos provocou chuvas extremamente intensas em solos já saturados pelas chuvas dos três meses anteriores, culminando em extensas inundações e inúmeros escorregamentos nos municípios localizados, sobretudo, nas Regiões Hidrográficas da Baixada Norte, Vale do Itajaí e Litoral Centro.

Este desastre é considerado um dos mais severos já ocorridos no Estado. Até o dia 30 de novembro de 2008, o número de pessoas desabrigadas e desalojadas chegou aos 78.707 e até o dia 14 de dezembro tinham sido contabilizadas 110 mortes e 19 desaparecidos. Um total de 14 municípios decretou Estado de Calamidade Pública e outros 63 Situação de Emergência em decorrência deste desastre.

A fim de se estudar as causas e conseqüências deste desastre, além de propor medidas de prevenção e mitigação que orientarão as políticas públicas nesta área, foi criado pelo Decreto nº1940, o Grupo de Reação, e um protocolo de intenções formalizando o Grupo Técnico Científico (GTC). O Grupo qual! tem atuação permanente nas áreas de prevenção e mitigação não somente de inundações e

escorregamentos, mas também de estiagens, ciclones, furacões, tornados, além de problemas decorrentes das mudanças climáticas.

A DRHI da SDS está pondo em prática ações orientadas neste sentido. Uma delas é o mapeamento, através de imagens do satélite RADARSAT-2, das áreas inundadas e provavelmente inundadas nos principais municípios atingidos pelas inundações de novembro de 2008.

O mapeamento de inundações é fundamental para a avaliação dos danos. O Sensoriamento Remoto é uma ferramenta útil para execução deste tipo de mapeamento, especialmente em eventos em que foram afetadas extensas áreas ou em regiões, onde dados hidrológicos são escassos (Pierdicca et al., 2008). Dentre os sensores remotos, o SAR apresenta vantagem pela capacidade de obter imagens independente das condições meteorológicas, ao passo que sensores óticos podem obter imagens de áreas quando livres de cobertura de nuvens (Pierdicca et al., 2008).

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados preliminares do mapeamento realizado. Contudo, cabe ressaltar que os mapeamentos serão ainda validados e aperfeiçoados com trabalhos de campo e dados auxiliares como imagens óticas, mapas geológicos, geomorfológicos, uso do solo, entre outros.

2. DESASTRE NATURAL – NOVEMBRO DE 2008

2.1 Observações realizadas durante o evento no Vale do Itajaí

Nos dias 22 e 23 de novembro de 2008, a quantidade de chuva precipitada sobre o Vale do Itajaí foi classificada como uma das maiores da série histórica da região (Figura 1). Como consequência imediata, foi observado o transbordamento de diversos rios nas Regiões Hidrográficas da Baixada Norte, Vale do Itajaí e Litoral Centro.

Segundo levantamentos da Defesa Civil e da EPAGRI/CIRAM, choveram cerca de 494 mm no acumulado destes dois dias. Foram registrados acumulados diários superiores a 200 mm em Blumenau, Balneário Camboriú, São Francisco do Sul, Itapoá e Biguaçu. Somente a cidade de Caraguatatuba (SP, em 1967) apresentou uma quantidade maior que a observada em Santa Catarina (580 mm, também no acumulado de dois dias).

Este fenômeno não foi antecipado pelos órgãos nacionais e estadual responsáveis pela previsão meteorológica, pois nos dias que antecederam as chuvas mais intensas, em particular o dia 22 de novembro, a informação interpretada do satélite dava conta de que as nuvens não estavam tão carregadas de água, e portanto, não foi sinalizada a necessidade de alerta para possíveis inundações e escorregamentos.

Isto pode ser observado pelo exemplo da imagem do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no dia 22 de novembro (Figura 2). Áreas de precipitação intensa (vermelho escuro) são observadas sobre o oceano próximas da costa norte de Santa Catarina, além de uma ampla área com ocorrência de chuvas leves a moderadas (tonalidades verde e azul) que cobria toda costa catarinense até as escarpas da Serra Geral, com maior intensidade no norte do Estado (Pierce, H. e Lang, S, 2008). Apesar da imagem mostrar as áreas de instabilidade, a intensidade de precipitação não condiz com a quantidade observada, uma vez que as precipitações foram intensas no Vale e não leves a moderadas.



FIGURA 1. RECORDES DE NOVEMBRO E RESPECTIVOS ANOS DE OCORRÊNCIA (ESTAÇÕES DA EPAGRI E ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, FONTE EPAGRI/CIRAM).

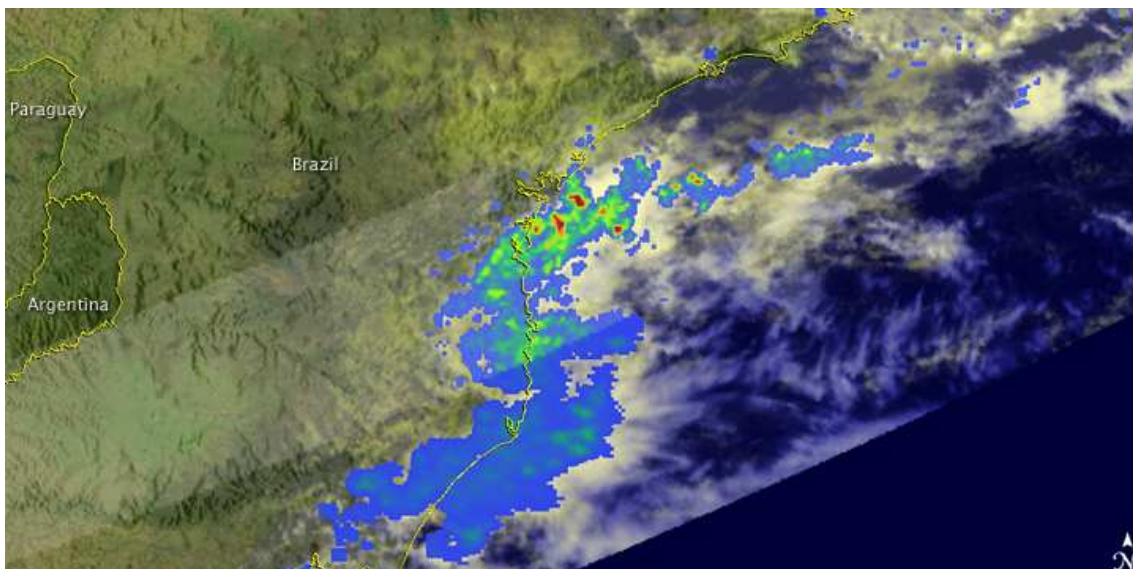


FIGURA 2. COBERTURA DE NUVENS E PRECIPITAÇÃO NA VERTENTE ATLÂNTICA DE SANTA CATARINA OBTIDA DO SATÉLITE TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) NO DIA 22 DE NOVEMBRO DE 2008. ÁREAS DE PRECIPITAÇÃO INTENSA (VERMELHO ESCURO) PRÓXIMO DA COSTA NORTE DE SANTA CATARINA, E UMA AMPLA ÁREA COM CHUVAS LEVES A MODERADAS (TONALIDADES VERDE E AZUL) COBRINDO TODA COSTA CATARINENSE ATÉ AS ESCARPAS DA SERRA GERAL

([HTTP://EARTHOBSERVATORY.NASA.GOV/NATURALHAZARDS/VIEW.PHP?ID=36035](http://earthobservatory.nasa.gov/naturalhazards/view.php?id=36035)).

Segundo informação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), esta intensa chuva foi causada pelo estabelecimento de um bloqueio atmosférico no Oceano Atlântico que se formou durante a semana que antecedeu a precipitação dos dias 22 e 23, ou seja, de 15 a 20 de novembro. Este bloqueio que teve associado um anticiclone sobre o oceano favoreceu a intensificação dos ventos de quadrante leste e nordeste sobre a costa leste dos Estados de Santa Catarina e Paraná. Por outro lado, o bloqueio também teve associado um sistema de baixa pressão (vórtice ciclônico) em altitude (entre 4000 m e 5000 m) que se estabeleceu entre o leste de Santa Catarina e o leste do Paraná. A combinação destes dois fatores (vórtice ciclônico em altitude e o anticiclone em superfície) favoreceu a intensificação das chuvas sobre o Estado de Santa Catarina. A persistência desta situação meteorológica fez com que o fenômeno das chuvas fosse ainda mais significativo devido aos grandes volumes já registrados ao longo deste período.

As precipitações mais intensas ocorreram sobre a planície costeira e Serra do Leste Catarinense nas Regiões Hidrográficas da Baixada Norte e Vale do Itajaí, mas precipitações significativas também ocorreram no Litoral Centro (Figura 3).

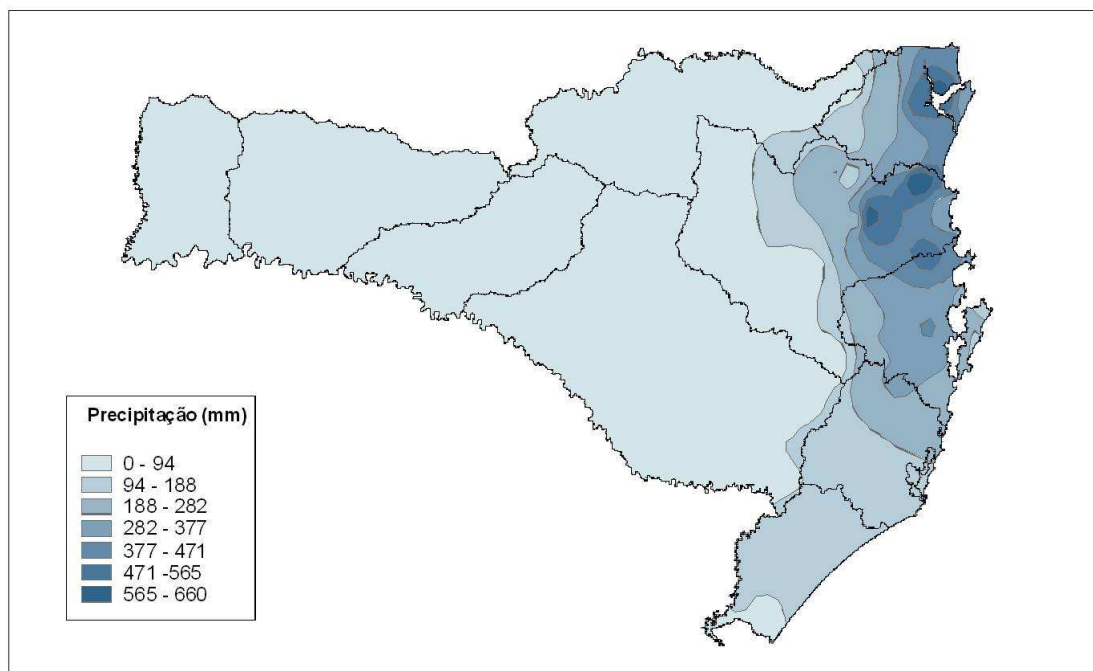


FIGURA 3. PRECIPITAÇÕES (ESTAÇÕES DA EPAGRI E ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, FONTE EPAGRI/CIRAM).

2.2 População afetada

O cenário decorrente desta situação foi calamitoso. Segundo o relatório da DEDC-SC de 30 de novembro de 2008, o número de desalojados e desabrigados era de 78.707 pessoas (27.410 desabrigados e 51.297 desalojados) e estavam registrados 110 óbitos, com 19 desaparecimentos confirmados. O DEDC-SC publicou uma série de relatórios após as intensas chuvas de novembro de 2008, disponíveis na internet através do site criado especificamente para este evento – www.desastre.sc.gov.br. No relatório publicado em 31 de dezembro, um total de 32.853 pessoas permaneciam desalojadas e desabrigadas, 6 desaparecidas e 135 foram mortas. 95 municípios decretaram Situação de Emergência e 14 decretaram Estado de Calamidade Pública. Na Figura 4 estão espacializados os municípios que decretaram situação de emergência e estado de calamidade pública.

Os serviços essenciais como abastecimento de água, energia elétrica, abastecimento de gás e transporte também foram bastante afetados. A Secretaria de Educação, por conseguinte, decidiu encerrar o ano letivo de 2008 nos municípios mais atingidos pelas chuvas. O abastecimento de água e de energia elétrica também foi prejudicado, e em alguns casos, totalmente suspenso.

As rodovias Estaduais e Federais também foram bastante afetadas por escorregamentos e inundações. Conforme consta no relatório da DEDC-SC de dia 25 de novembro, 15 Rodovias Estaduais estavam com problemas, sendo 12 totalmente interditadas, com o ponto mais crítico na SC-401 próximo ao Cacupé em Florianópolis. Já as Rodovias Federais, três estavam com problemas, com cinco pontos interditados, sendo o mais crítico na BR-101, próximo ao Morro dos Cavalos.

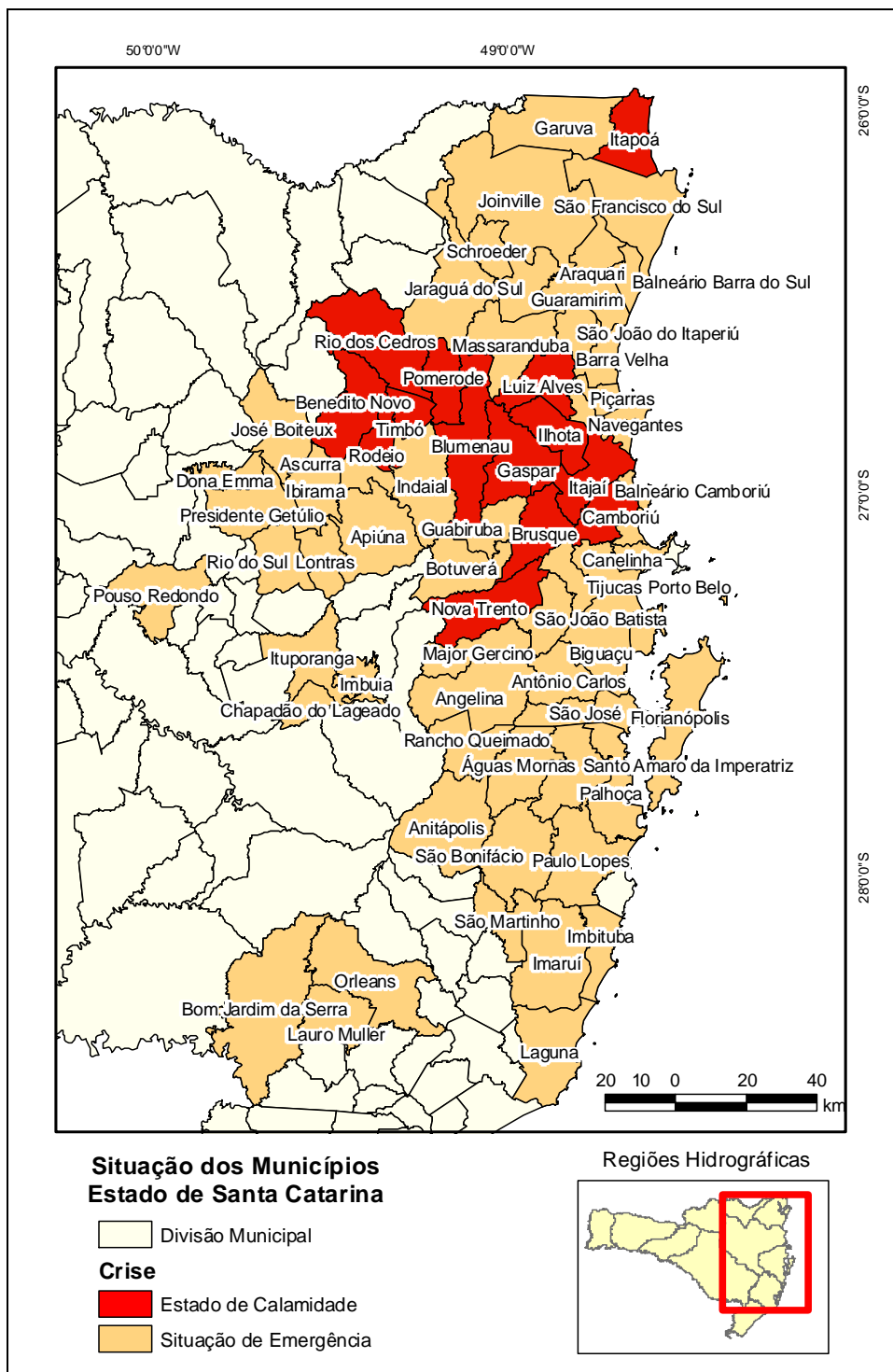


FIGURA 4. SITUAÇÃO DOS MUNICÍPIOS EM DECORRÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES INTENSAS EM NOVEMBRO DE 2008.

2.3 Grupo Técnico Científico (GTC) - subgrupo do Grupo de Reação

A fim de identificar as causas desta enchente e propor medidas preventivas que orientarão as políticas públicas nesta área, foi criado o Grupo Técnico Científico (GTC) - subgrupo do Grupo de Reação (Decreto nº1940). Há previsão de ações para prevenção não somente de inundações, mas também de secas, ciclones, furacões, tornados e problemas decorrentes das mudanças climáticas.

Além do GTC foram também criados o Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (CEOPS) com atribuição de diagnosticar e monitorar os níveis do rio Itajaí-Açu e elaborar laudos e estudos dos sistemas meteorológicos que têm atuação na região Sul do país, e o grupo de técnicos e geólogos da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade de Itajaí e de São Paulo que estão analisando as causas dos deslizamentos nas várias localidades em que estes aconteceram e, em especial, no Morro do Baú (Ilhota).

Em Blumenau, foi aprovada pela Câmara de Vereadores, a criação do Instituto de Geologia que tem como atribuição principal, o estudo das características internas e superficiais dos solos com a intenção de prevenir e evitar acontecimentos como os que ocorreram nos últimos dias.

2.4 Imagens SAR no Mapeamento de Inundações

O Sensoriamento Remoto (SR) com capacidade de obter visão sinótica da superfície terrestre, fazer observações em diversas resoluções espaciais e possibilidade de revisita periódica, tem proporcionado, nas últimas décadas, as mais variadas aplicações para gestão de recursos naturais e de situações de crise (Lillesand et al., 2008). O advento de novas tecnologias vem ampliado progressivamente a gama de aplicações.

O SR permite mapear extensas áreas que seriam praticamente inviáveis de serem trabalhadas apenas a campo, devido ao alto custo e logística. Por este motivo, o SR pode ser utilizado nas diversas áreas relacionadas com desastres naturais, para monitoramento, gestão de crise, avaliação de danos, avaliações de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco, entre outros (Matgena et al., 2006; Stancalie e Craciunescu, 2005; Sanyal e Lu, 2004; Brivio et al., 2002).

Dentre os sensores remotos, o SAR apresenta vantagem pela capacidade de obter imagem independente das condições meteorológicas, ao passo que sensores óticos podem obter imagens de áreas quando livres de cobertura de nuvens (Pierdicca et al, 2008). O SAR é um sistema de radar imageador, pelo qual uma abertura sintética é simulada pelo movimento da plataforma. O sensor emite uma série de sinais na direção do alvo, mantendo o mesmo no feixe da antena. As microondas carregam informações tais como direção das ondas, fase, polarização, comprimento e frequência (Lillesand et al., 2008). Os sinais são, então, processados para gerar imagens que, posteriormente, são tratadas para extrair informações da superfície imageada.

Imagens SAR são também muito eficientes na distinção da interface terra-ar (Lillesand et al., 2008) e, portanto, são utilizadas em mapeamentos de inundações (Waisurasingha et al., 2008; Biggin e Blyth, 2007; Batesa et al., 2006). A quantidade de umidade armazenada nas camadas superiores do solo altera a constante dielétrica do material afetando o retorno dos sinais emitidos pela antena SAR (Leconte et al., 2004; Wickel et al., 2001). Os alvos mais úmidos causam um maior retroespalhamento e, conseqüentemente, aparecem com mais claros, quando comparados com alvos de mesma textura, mas com umidade menor. Desta forma, ainda que os níveis das inundações e alagamentos tenham baixado até o momento da aquisição das imagens, o mapeamento das áreas úmidas pode auxiliar na determinação da extensão das cheias.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os dados utilizados e a metodologia empregada pela empresa Threetek (Waldiza et al., 2009), contratada pela SDS para a realização do mapeamento das áreas úmidas e alagadas durante o desastre natural de novembro de 2008.

3.1 Dados

Aquisição de Imagens Orbitais

As Tabela 1 e 2 descrevem as principais características das cenas adquiridas e a Figura 5 a disposição das mesmas sobre a área de interesse.

TABELA 1: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS IMAGENS RADARSAT-2 UTILIZADAS NO TRABALHO

Modo de Operação do Satélite	Standard 5
Tamanho da Cena	100 km X 100 km
Área da Cena	10.000 km ²
Resolução Nominal	25 m
Ângulo de incidência Aproximado	36.8

TABELA 2: IDENTIFICAÇÃO DAS CENAS RADARSAT-2 UTILIZADAS NO TRABALHO.

# Cena	ID	Data de Aquisição	Órbita
01	RS2_OK3457_PK44963_DK43792_S5_20081128_215644_HH_SGF	28/11/2008	Ascendente
02	RS2_OK3457_PK44962_DK43791_S5_20081128_215630_HH_SGF	28/11/2008	Ascendente
03	RS2_OK3457_PK44961_DK43790_S5_20081128_215618_HH_SGF	28/11/2008	Ascendente
04	RS2_OK3457_PK44964_DK43793_S5_20081130_083753_HH_SGF	30/11/2008	Descendente

Dados Auxiliares

- **Modelo de Elevação Digital (DEM)** – o DEM utilizado nos processamentos foi proveniente da USGS National Map Seamless Server (<<http://seamless.usgs.gov/>>). Este dado foi adquirido durante a missão SRTM (Shuttle RADAR Topography Mission) e tem resolução de 3 Arc de Segundos (~90m).
- **Curvas de Nível** – a partir do DEM SRTM foram extraídas curvas de nível com espaçamento de 50m que foram utilizadas na etapa de interpretação das áreas úmidas.

Softwares

Foram utilizados os seguintes programas para processamento dos dados:

- PCI Geomatica v. 10.1; e
- ArcGIS 9.1.

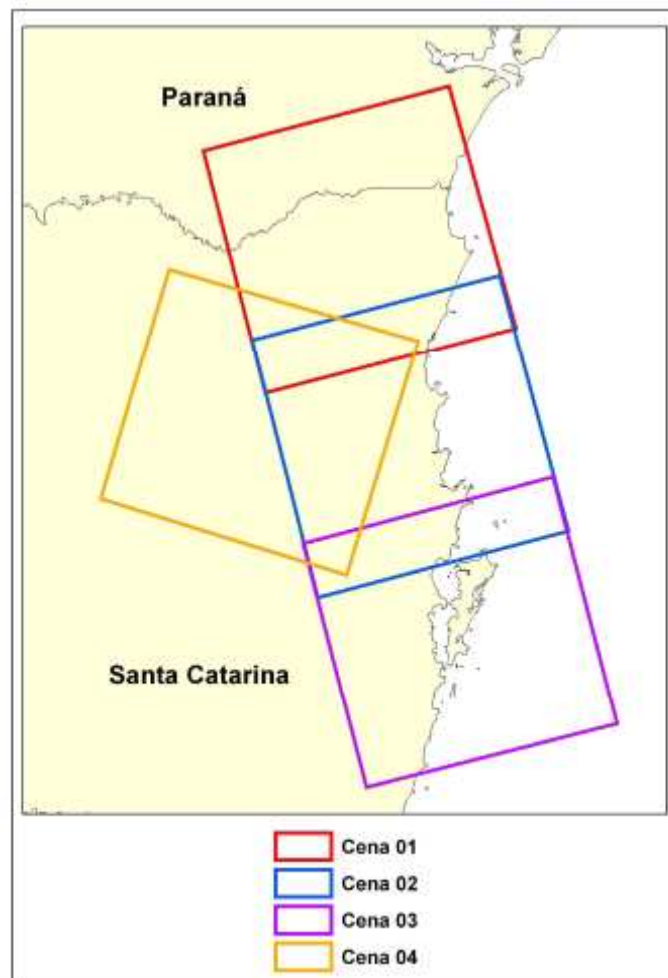


FIGURA 5: ARTICULAÇÃO DAS CENAS RADARSAT-2 STANDARD.

3.2 Processamento das Imagens

Filtragem para Redução do Ruído Speckle

Com a finalidade de reduzir o ruído speckle inerentes às imagens de radar, principalmente nas imagens do modo Fine do RADARSAT-1, onde o speckle é mais acentuado em função deste dado ser processado em 1 look, foi aplicado o filtro FFROST, tamanho 3x3 nas imagens em dois momentos diferentes: antes da etapa de georreferenciamento e antes da classificação textural USTC. O filtro FFROST é um filtro do tipo adaptativo que executa uma filtragem espacial em cada pixel da imagem, usando os valores de nível cinza em uma janela de tamanho definido em torno de cada pixel. Este tipo de filtro conservar o valor médio das áreas homogêneas e, portanto, resulta numa melhor preservação da textura da imagem e uma perda menor de informação.

Correção Geométrica

a) Ortoretificação das Imagens RADARSAT-2

Neste procedimento foram realizadas as leituras dos pontos de controle (GCPs) contidos nas quatro cenas RADARSAT-2. Para cada cena foram extraídas as informações de elevação de cada GCP com base no DEM/SRTM. Posteriormente, foi executado o procedimento de ortoretificação, englobando as cenas e o dado DEM/SRTM.

b) Ajuste das Imagens RADARSAT-2

Duas das quatro cenas (Cenas 01 e 04) apresentaram deslocamentos em relação às demais cenas (Cenas 02 e 03). Desta forma, após o processo de ortorretificação, as cenas deslocadas foram ajustadas às cenas adjacentes, adotando-se como referência as cenas 02 e 03. Neste processo, foram coletados 20 pontos de controle sobre as áreas de sobreposição das cenas e as mesmas foram corrigidas utilizando-se o método polinomial de 1º grau.

Mosaicagem

A primeira etapa da geração do mosaico consistiu na elaboração das linhas de corte (vetor que delimita a área da imagem a ser inserida no mosaico) para cada uma das cenas RADARSAT-2. Este procedimento foi realizado no módulo Focus do programa PCI Geomatica. A Figura 3 apresenta as linhas de corte definidas para a mosaicagem das cenas RADARSAT-2. Em uma segunda etapa, foi criado, no módulo OrthoEngine, o projeto de geração de mosaico englobando as cenas RADARSAT-2. Na etapa seguinte, as linhas de corte foram importadas para o referido projeto e cada cena foi inserida no arquivo de mosaico, conforme o limite de suas respectivas linhas de corte.

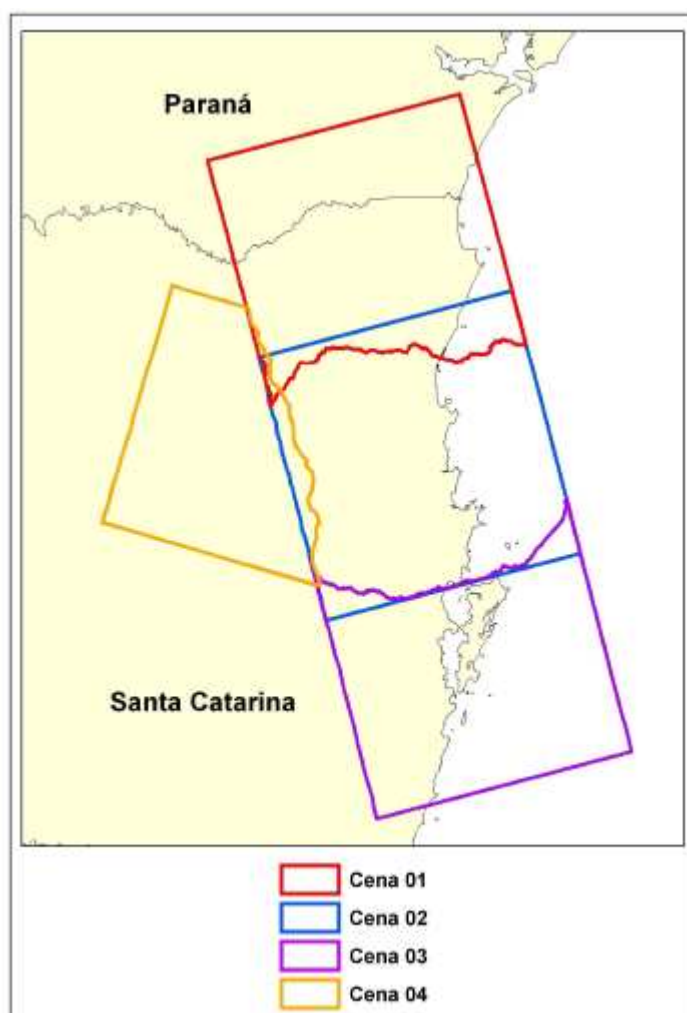


FIGURA 6: ARTICULAÇÃO DAS LINHAS DE CORTE DO MOSAICO RADARSAT-2 STANDARD.

No módulo Focus, a imagem resultante do processo de geração de mosaico foi quantizada de 11 para 8 bits e reprojetada do Sistema de Coordenadas UTM para o Sistema de Coordenadas Geográficas. Cabe ressaltar, que este último procedimento não englobou a transformação de referencial geodésico, sendo o mesmo mantido em WGS 1984. Posteriormente, ambos os mosaicos em 8 bits (o em Sistema de

Coordenadas UTM e o em Sistema de Coordenadas Geográficas) foram exportados do formato pix (próprio do PCI Geomatica) para o formato GeoTIFF.

Classificação Textural das Imagens

A classificação das imagens RADARSAT-2 foi realizada utilizando-se o USTC (Unsupervised Semivariogram Textural Classifier). Tal algoritmo emprega a função semivariograma como uma descritora de textura, considerando o valor do pixel no contexto de seus vizinhos. O pacote é eficiente no tratamento digital de imagens RADARSAT-2, visando discriminar áreas com rugosidade distinta na superfície. Este classificador é determinístico e manipula informações texturais e radiométricas [2]. A informação textural é descrita não só pela forma e pelo valor da função semivariograma circular, mas também pelo valor da variância dos DNs (digital numbers) numa vizinhança circular definida por uma grande lag distance (H). A informação radiométrica é representada pelos DNs das imagens após a eliminação do efeito speckle (DN_{dsp}) usando-se com essa finalidade o Filtro FFROST (seção 2.2.1), implementado no software PCI Geomatics 10.1.

A informação textural descrita pela função semivariograma é expressa da seguinte forma:

$$\gamma(x_0, h) = (1/2n) \sum_{\theta=0}^{2\pi} (DN(x_0+r) - \mu_H(x_0)), \text{ onde:}$$

$\gamma(x_0, h)$ corresponde à função semivariograma no pixel x_0 , considerando a separação (lag distance) circular de h pixels;

$DN(x_0+r)$ é o valor do número digital em uma separação (lag distance) circular r (raio h , ângulo θ); $\mu_H(x_0)$ é o valor médio da vizinhança circular considerando o raio H e centro x_0 ;

H corresponde à separação (lag distance) máxima (em pixels) capaz de descrever a estrutura espacial do dado;

n é o número de pixels vizinhos considerando a separação (lag distance) h .

A informação textural também pode ser expressa pela variância do número digital (DN) em uma vizinhança circular de raio H em torno do pixel x_0 ($\sigma^2_H(x_0)$). Considerando-se que tal parâmetro reflete o valor da função semivariograma em distâncias de separação (lag distances) muito grandes (maiores que H).

Para o pixel x_0 na imagem RADARSAT-1, o vetor $Z(x_0)$, com dimensão $H+2$, possui a seguinte forma:

$$Z(x_0) = [DN_{dsp}(x_0), \gamma(x_0,1), \gamma(x_0,2), \dots, \gamma(x_0,H), \sigma^2_H(x_0)].$$

Para a classificação não-supervisionada de todos os vetores $Z(x_0)$ da imagem RADARSAT-2, foi utilizado o algoritmo ISOCLUS (Classificação Não-Supervisionada por Método Isodata) do PCI Geomatics 10.1, onde foram definidas 50 classes, com Desvio Padrão 4. No processo foi utilizada também uma máscara (bitmap) a fim de garantir a aplicação da classificação somente na área de informação da imagem, excluindo, assim, as bordas.

Pós-Classificação

Após a aplicação do ISOCLUS, as imagens classificadas passaram por uma etapa de pós-classificação, em que foi realizada uma agregação interativa das classes de interesse, a fim de definir grupos de pixels representativos de feições texturais com significado temático. Nesta etapa, foram individualizadas três classes considerando o tipo de espalhamento (*scattering*) e o conteúdo de umidade predominantes na interação alvo/radar: 1) corpos d'água, 2) áreas úmidas e 3) outros:

Corpos D'água – para este alvo predomina o espalhamento especular (especular scattering) associado a superfícies lisas ao radar, ou seja, superfícies que refletem a energia emitida pelo radar em sentido oposto à emissão, similarmente a uma superfície espelhada, retornando pouco ou nenhuma energia à antena do radar. O resultado desta interação são DNs baixos na imagem. No contexto deste trabalho, estes alvos correspondem aos corpos d'água presentes na área, podendo ser tanto drenagens e lagos, como as áreas inundadas pelas enchentes ocorridas no período de aquisição das imagens.

Áreas Úmidas – a identificação destas superfícies se dá estritamente pelo aumento da constante dielétrica dos alvos, o qual é causado pela elevação do conteúdo de umidade nos mesmos. A constante dielétrica é um dos parâmetros que governa a resposta dos alvos ao radar, sendo que, quando a constante dielétrica aumenta, o valor do DN registrado na imagem é maior e os alvos aparecem mais claros. Com base neste princípio físico, a classe 'áreas úmidas' foi individualizada nas imagens RADARSAT-2. Como esta classe apresenta uma grande confusão com outros alvos que também possuem DN alto, porém relacionados, principalmente, com os lados de encostas voltadas para o radar, foi utilizada, complementarmente, a informação de declividade do terreno. A declividade serviu para excluir as áreas classificadas erroneamente como áreas úmidas em elevações e manter apenas aquelas que se encontravam em regiões com declividade de até 5°. Desta forma, foram consideradas apenas as regiões que apresentavam resposta característica de área úmida ao radar (constante dielétrica alta) e que estavam em planícies de inundações e vales topográficos.

Outros – nesta classe foram agrupadas as demais classes não pertencentes às classes 'corpos d'água' e 'áreas úmidas' anteriormente descritas.

Vetorização

O passo seguinte correspondeu à vetorização automática das feições interpretadas para posterior ingestão no Sistema de Informações Geográficas (GIS). Foram gerados dois vetores, um correspondente à classe de água e outro correspondente às áreas inundadas.

Seleção das Feições/Interpretação Visual

Em uma de interpretação visual, os polígonos realmente correspondentes às classes de interesse foram criteriosamente selecionados (visualmente), usando como base as imagens RADARSAT-2 Standard ortorretificadas. Com isso, foram excluídos os polígonos correspondentes a outros alvos que foram confundidos com as classes 'água' (p.ex. sombras de encostas) e 'áreas úmidas' (p.ex. lados iluminados de encostas).

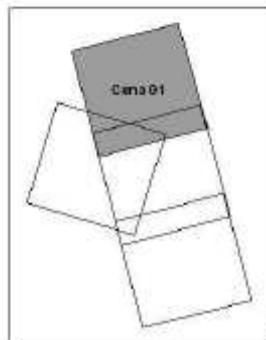
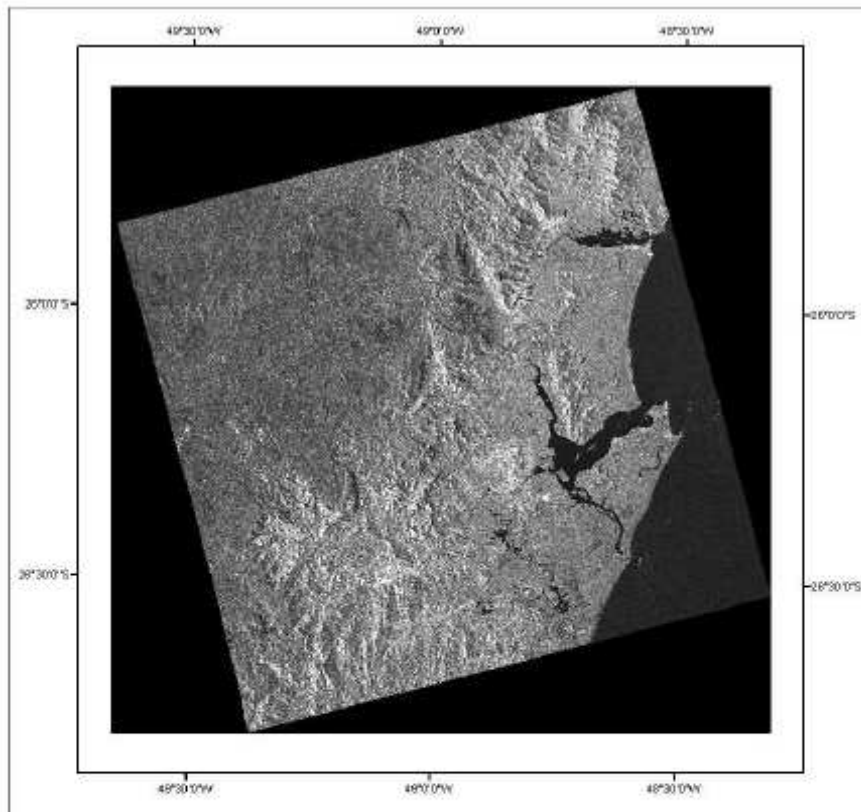
4. RESULTADOS

4.1 Imagens RADARSAT-2 Standard Ortorretificadas

As imagens RADARSAT-2 Standard filtradas e ortorretificadas, conforme descrito na Seção 2.2, foram disponibilizadas com as especificações apresentadas na Tabela 3. As Figuras 7 a 10 apresentam estes produtos.

TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DAS IMAGENS RADARSAT-2 STANDARD FORNECIDAS.

Mídia	Digital
Formato	Geotiff
Nº de arquivos fornecidos	4 arquivos _gg.tif 4 arquivos _utm.tif
Resolução Espacial (<i>pixel spacing</i>) Final	12.5 m
Resolução Radiométrica Final	8bit
Sistemas de Coordenadas	Geográfica, Datum SAD 69 e UTM, Zona 22, Datum WGS84
Processamentos Aplicados	Filtro FFROST 3x3 Ortorretificação utilizando-se DEM SRTM 90m Reamostragem do tamanho do pixel (de 25 m para 12.5 m) Reescalonamento de 16bit para 8bit



Localização da Imagem sobre a Área de Interesse



FIGURA 7: IMAGEM RADARSAT-2 STANDARD ORTORRETIFICADA – CENA 01.

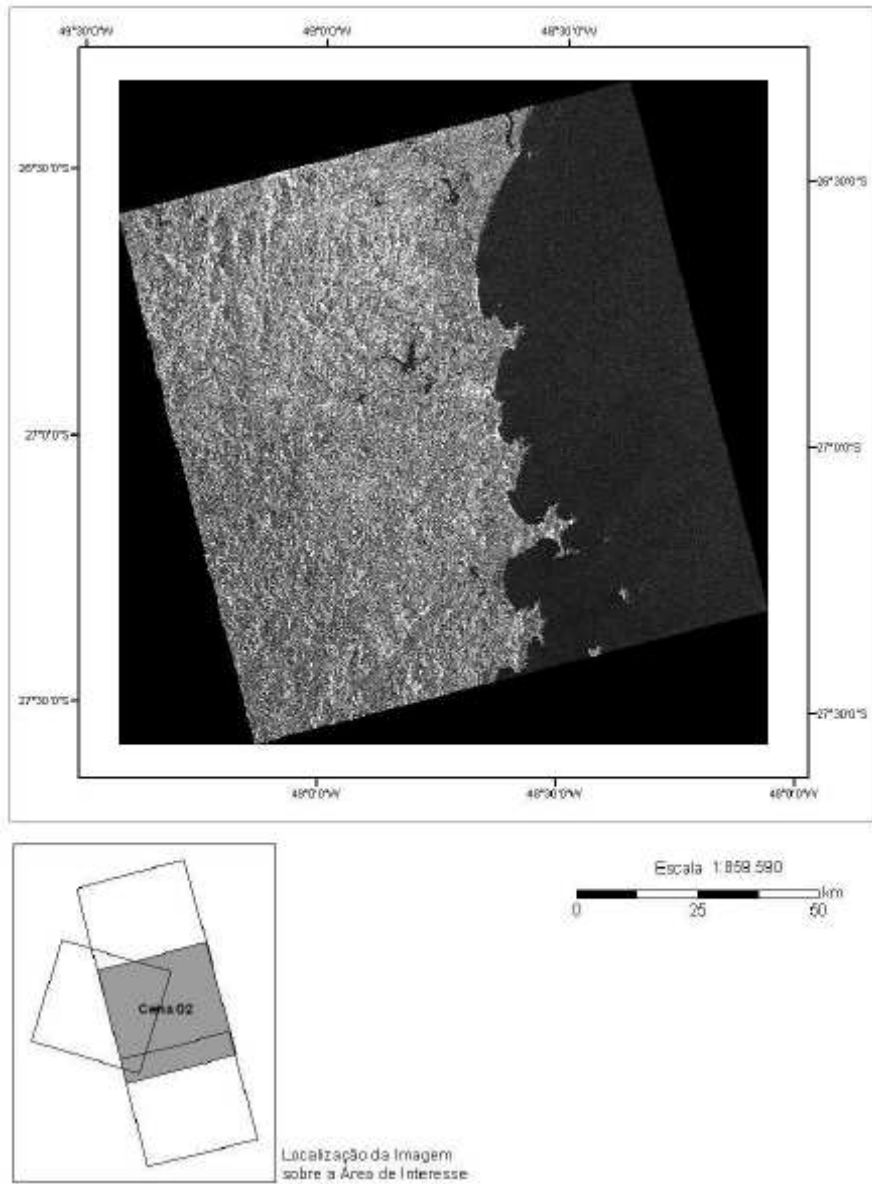


FIGURA 8: IMAGEM RADARSAT-2 STANDARD ORTORRETIFICADA – CENA 02.

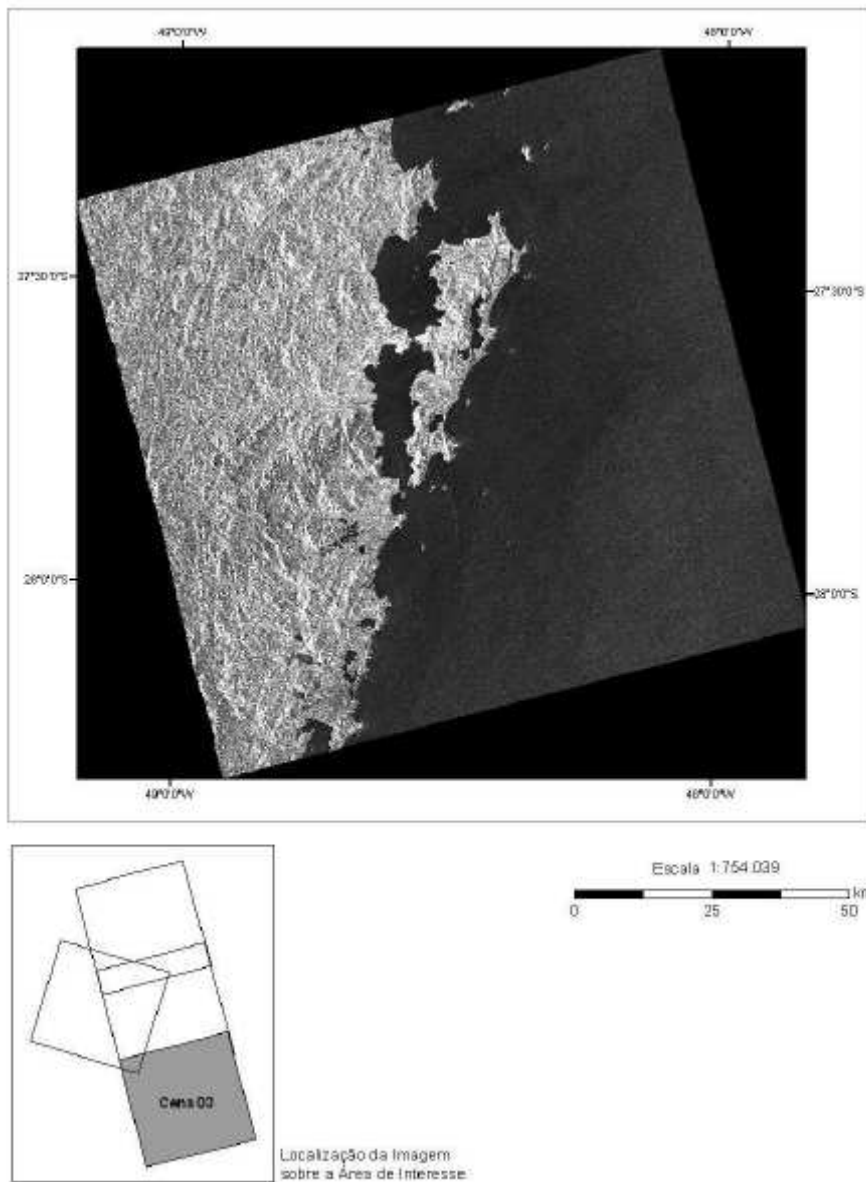


FIGURA 9: IMAGEM RADARSAT-2 STANDARD ORTORRETIFICADA – CENA 03.

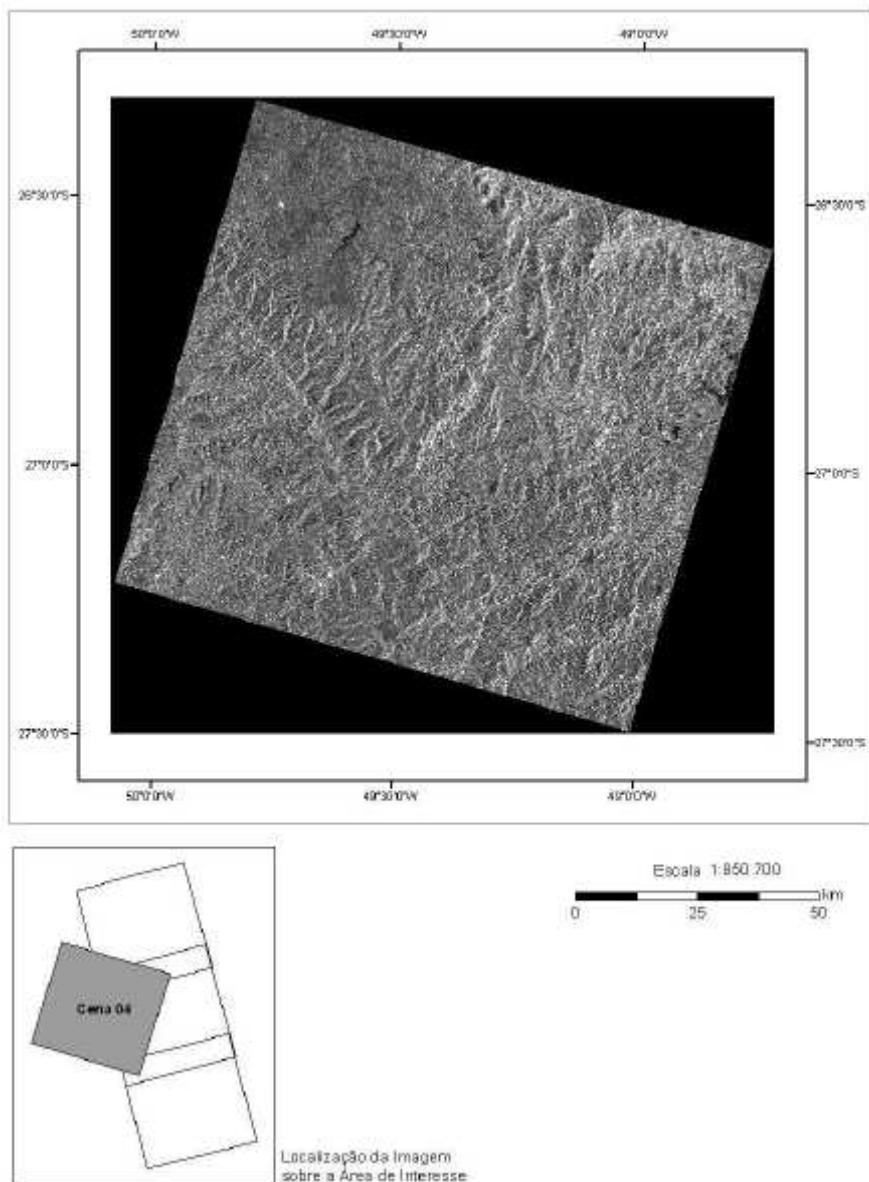


FIGURA 10: IMAGEM RADARSAT-2 STANDARD ORTORRETIFICADA – CENA 04.

4.2 Mosaico

A Figura 11 apresenta o mosaico gerado a partir das imagens ortorretificadas. O referido produto foi disponibilizado em dois sistemas de coordenadas, UTM e Geográficas, ambos no Datum WGS84, em arquivos digitais no formato .TIFF e também impresso na Escala 1:350.000.

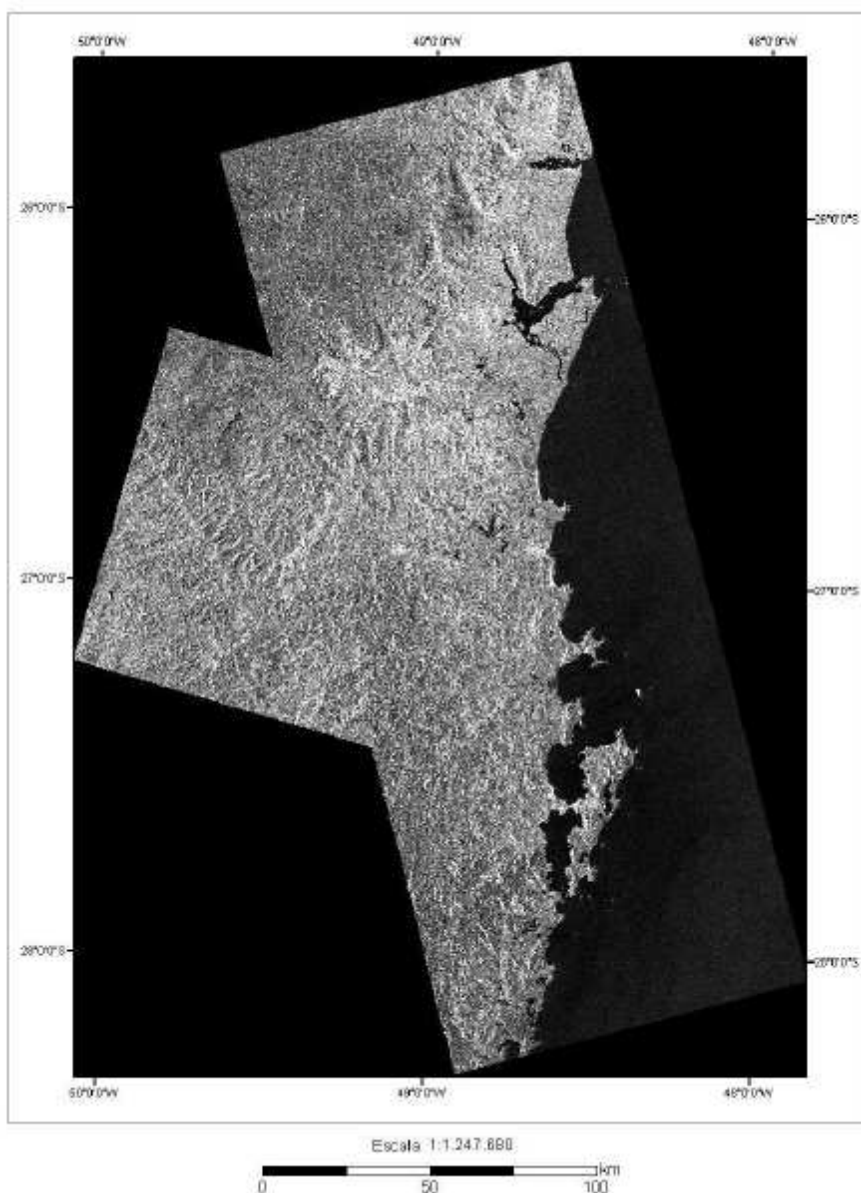


FIGURA 11: MOSAICO ORTORRETIFICADO GERADO A PARTIR DAS QUATRO CENAS RADARSAT-2 STANDARD.

4.3 Classificação

A Figura 12 apresenta o resultado da classificação das imagens RADARSAT-2 Standard para Água e Áreas Úmidas para toda a área do mosaico. As Figuras 13 a 15 apresentam detalhes deste produto para algumas áreas selecionadas. O referido produto foi disponibilizado em dois sistemas de coordenadas, UTM e Geográficas, ambos no Datum WGS84, em arquivos digitais no formato .TIFF e também impresso na Escala 1:350.000.

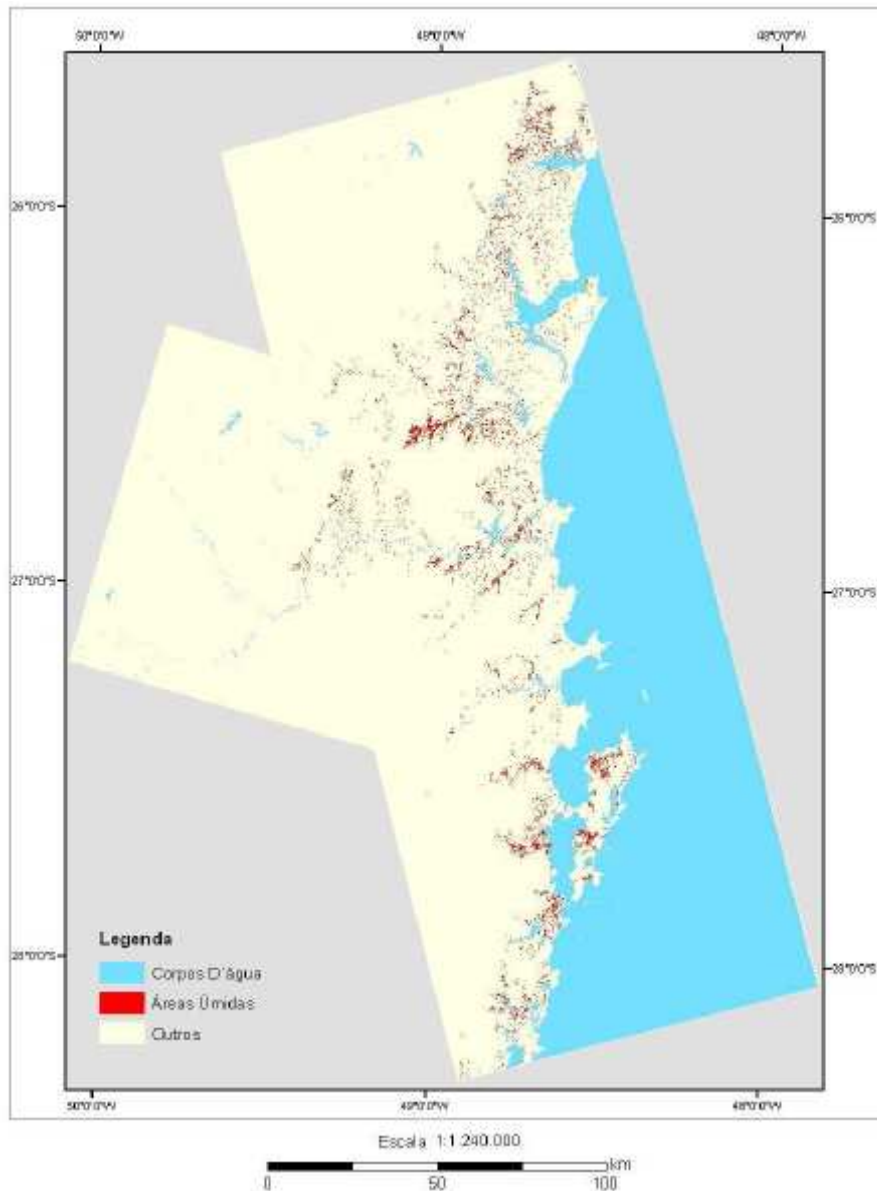


FIGURA 12: RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS RADARSAT-2 STANDARD PARA ÁREA INUNDADAS (CORPOS D'ÁGUA) E ÁREAS ÚMIDAS.

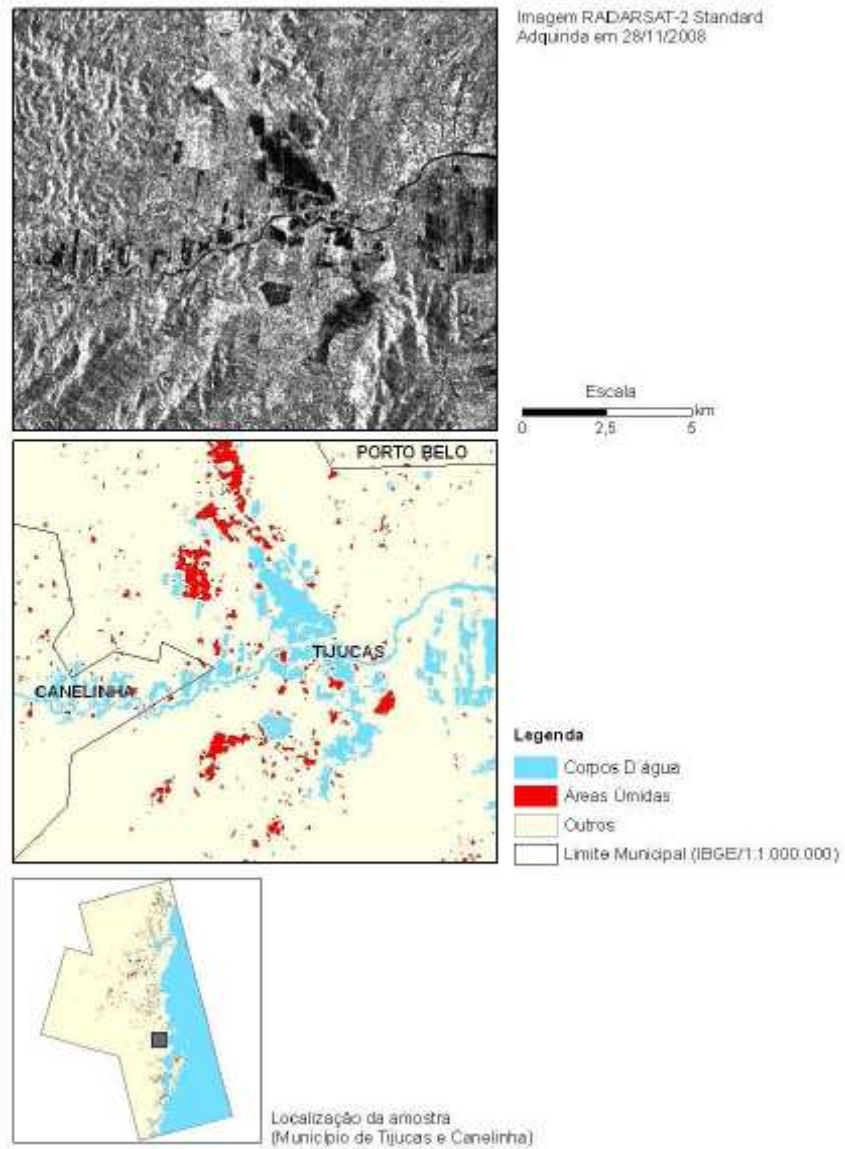


FIGURA 13: DETALHE (MUNICÍPIOS DE TIJUCAS E CANELINHA) DO RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS RADARSAT-2 STANDARD PARA AS ÁREAS INUNDADAS (CORPOS D'ÁGUA) E ÁREAS ÚMIDAS.

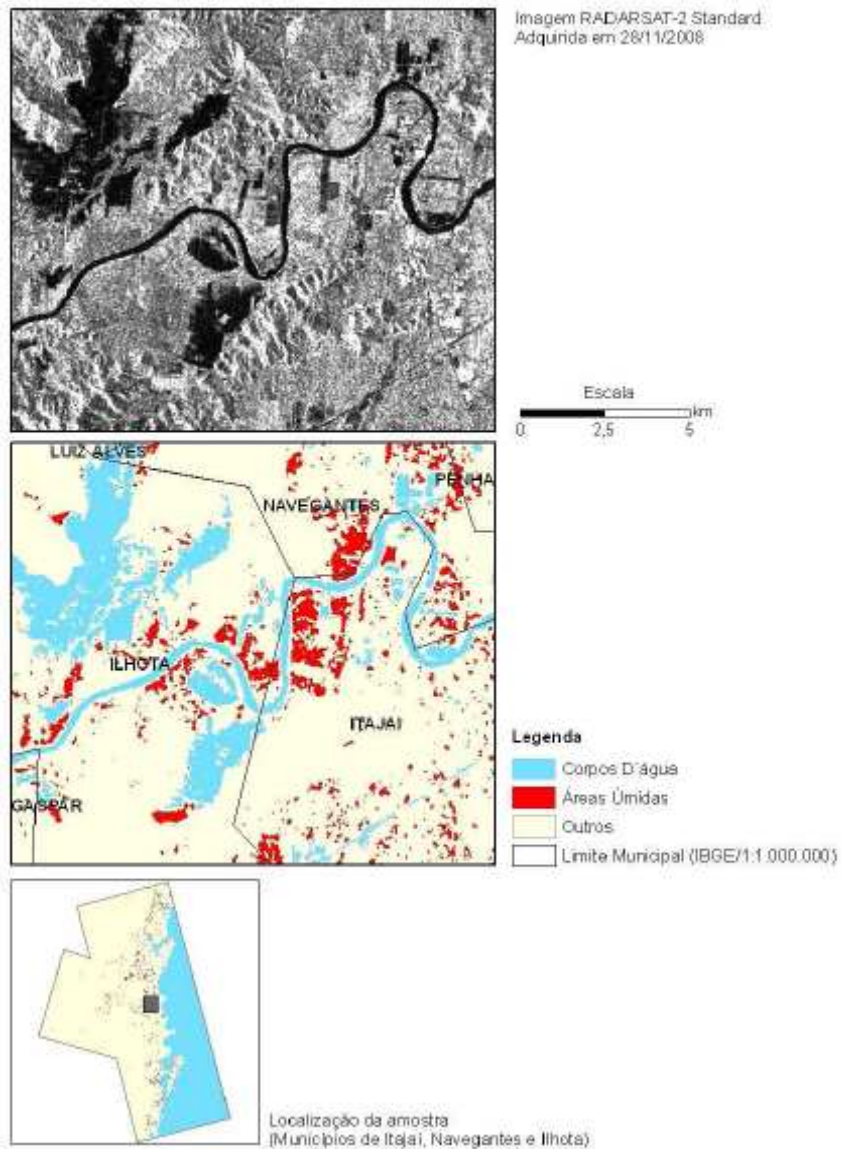


FIGURA 14: DETALHE (MUNICÍPIOS DE ITAJAÍ, NAVEGANTES E ILHOTA) DO RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS RADARSAT-2 STANDARD PARA AS ÁREAS INUNDADAS (CORPOS D'ÁGUA) E ÁREAS ÚMIDAS.

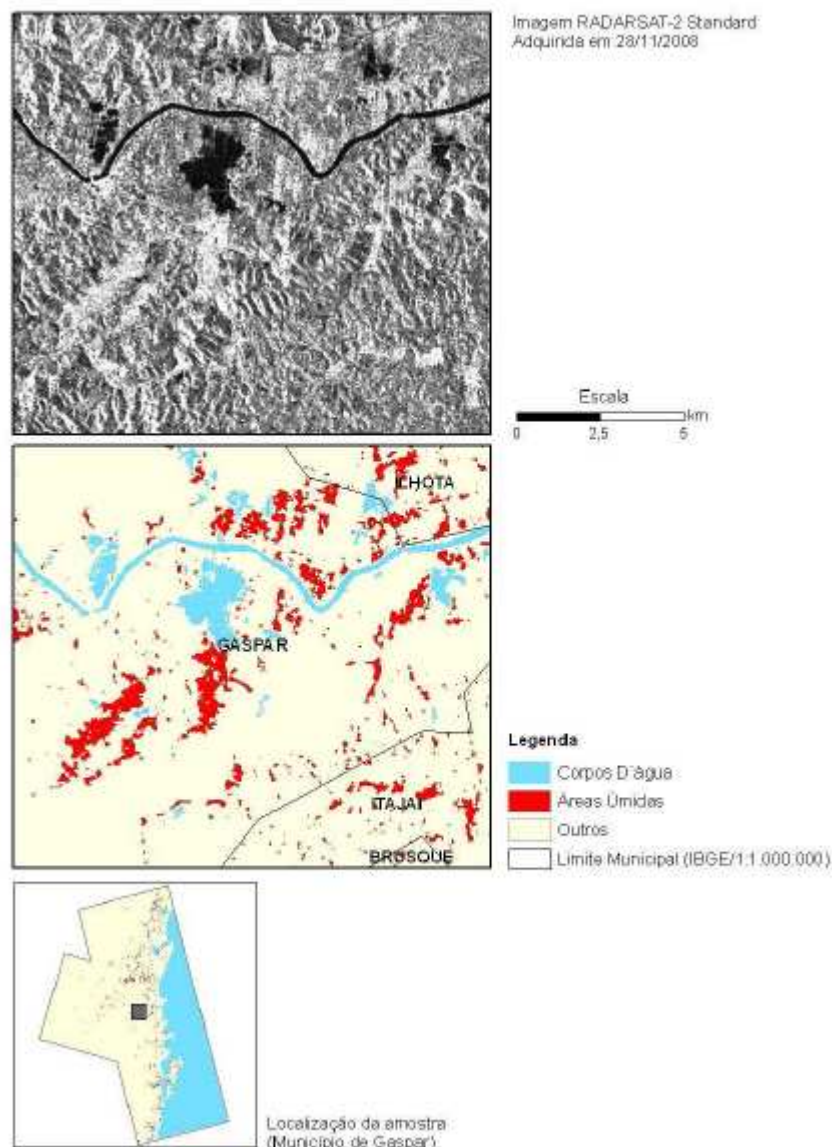


FIGURA 15: DETALHE (MUNICÍPIO DE GASPAR) DO RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS RADARSAT-2 STANDARD PARA AS ÁREAS INUNDADAS (CORPOS D'ÁGUA) E ÁREAS ÚMIDAS.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados preliminares indicam que as imagens SAR do RADARSAT-2 apresentam um grande potencial no mapeamento das inundações ocorridas em novembro de 2008 através da identificação das áreas úmidas e corpos d'água.

A possibilidade de se integrar as imagens SAR com informações de outros sensores óticos como o Landsat e CBERS, de uso do solo, de mapas de geologia e geomorfologia, além de trabalhos de campo deverá proporcionar um mapeamento mais refinado das áreas afetadas.

Os mapas das áreas inundadas será um importante subsídio na avaliação dos danos causados pelas inundações, através de análises integradas com dados dos Relatórios de Avaliação de Danos (AVADANs) do Departamento Estadual de Defesa Civil (DEDC-SC).

Ainda, este trabalho subsidiará o recém assinado projeto RIMPEX-SUL financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, cuja meta 5 pretende avaliar os

riscos costeiros associados a eventos extremos, dentre os quais inclui as inundações.

O presente trabalho foi realizado com recursos da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável.

6. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Brandão, W., A. Palmeira, et al. Mapeamento de Áreas Alagadas e Úmidas no Estado de Santa Catarina Através de Imagens RADARSAT-2 Standard. Relatório Descritivo de Serviços. Threetek Rio de Janeiro, p.30. 2009.

BATESA, P. D.; WILSONB, M. D.; HORRITTC, M. S.; MASOND, D. C.; HOLDENE, N.; CURRIE, A. Reach scale floodplain inundation dynamics observed using airborne synthetic aperture radar imagery: Data analysis and modelling. *Journal of Hydrology*, v. 328, n.1-2, p. 306-318, 2006.

BIGGIN, D. S.; BLYTH, K. A Comparison of ERS-1 Satellite Radar and Aerial Photography for River Flood Mapping. *Water and Environment Journal*, v. 10, n.1, p. 59 - 64, 2007.

BRIVIO, P. A. C., R.; MAGG, I M.; TOMASONI, R. Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n.3, p. 429-441, 2002.

LECONTE, R.; BRISSETTE, F.; GALARNEAU, M.; ROUSSELLE, J. Mapping near-surface soil moisture with RADARSAT-1 synthetic aperture radar data. *Water Resources Research*, v. 40, 2004.

LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. *Remote Sensing and Image Interpretation*. NY: John Wiley & Sons, 2008.

MATGENA, P.; SCHUMANNA, G.; HENRYC, J.-B.; HOFFMANN, L.; PFISTERA, L. Integration of SAR-derived river inundation areas, high-precision topographic data and a river flow model toward near real-time flood management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 9, n.3, p. 247-263, 2006.

Miranda, F.P., L.E.N. Fonseca, C.H. Beisl, A. Rosenqvist, and M.D.M.A.M. Figueiredo, 1997, Seasonal mapping of flooding extent in the vicinity of the Balbina Dam (Central Amazonia) using RADARSAT-1 and JERS-1 SAR data: Proceedings of the International Symposium Geomatics in the Era of RADARSAT (GER'97), Ottawa, Canada, May 1997.

PIERCE, H.; LANG, S., 2008, Floods in Santa Catarina, Brazil, in NASA, Earth Observatory, <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=36035>, acesso em jan. 2008.

PIERDICCA, N.; CHINI, M.; PULVIRENTI, L.; MACINA, F. Integrating Physical and Topographic Information Into a Fuzzy Scheme to Map Flooded Area by SAR. *Sensors*, v. 8, p. 4151-4164, 2008.

SANYAL, J.; LU, X. X. Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review. *Natural Hazards*, v. 33, n.2, p. 283-301, 2004.

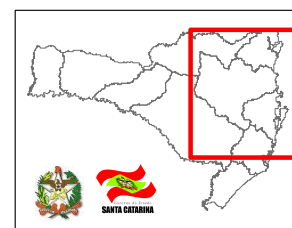
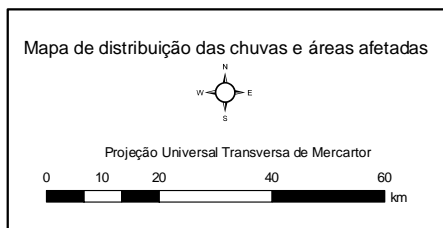
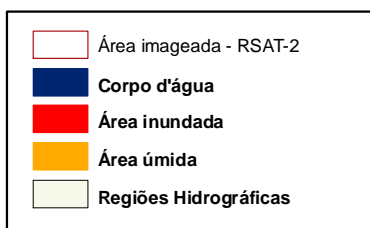
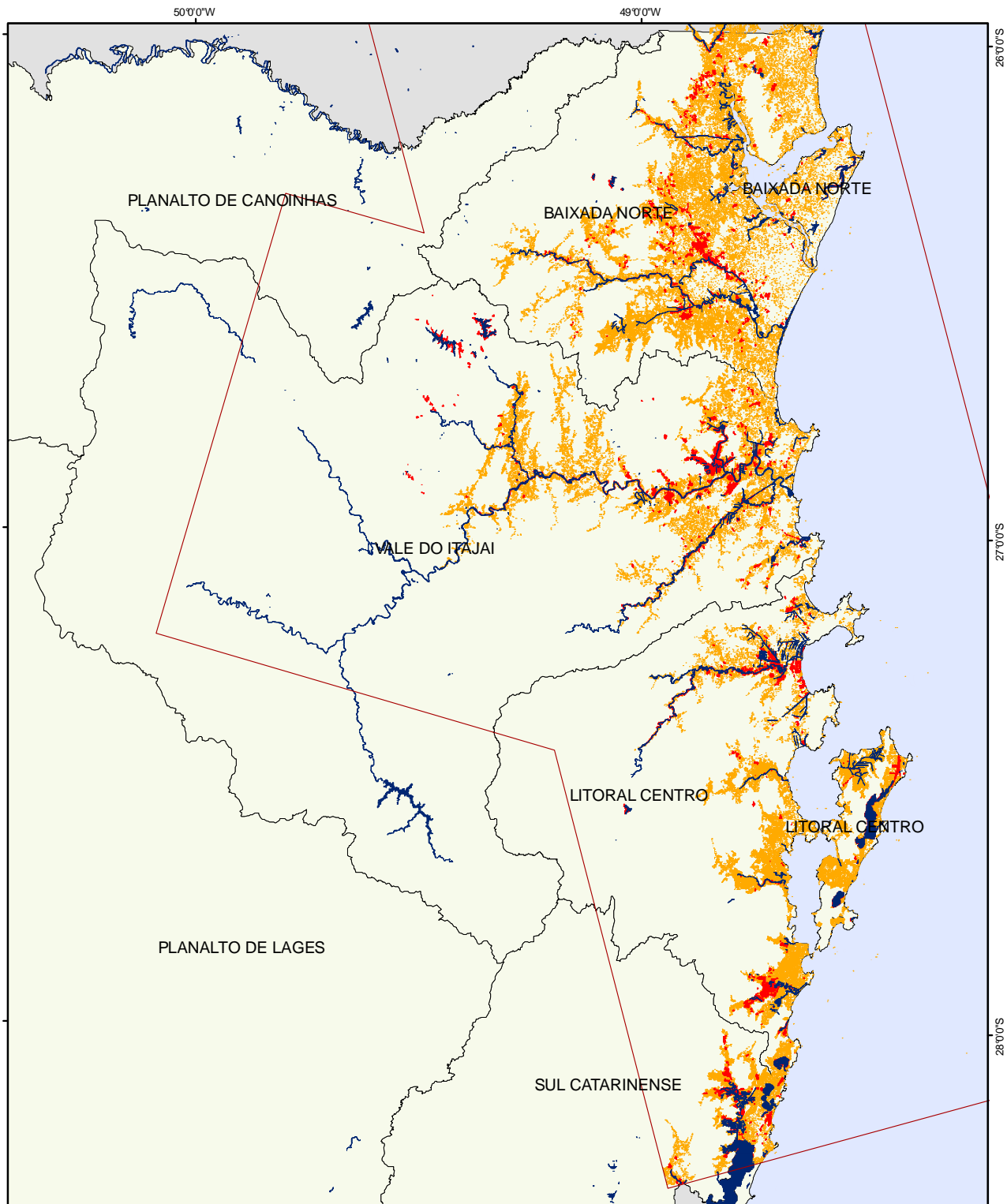
STANCALIE, G.; CRACIUNESCU, V., 2005. Contribution of Earth Observation Data Supplied by the New Satellite Sensors to Flood Disaster Assessment and Hazard Reduction. In: OOSTEROM, P. V.; ZLATANOVA, S.; FENDEL, E. M., eds., *Geo-information for Disaster Management*, v. 17: Netherlands, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 1315-1332.

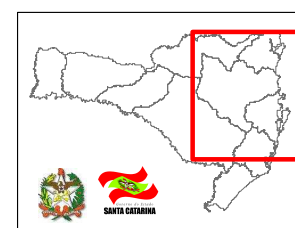
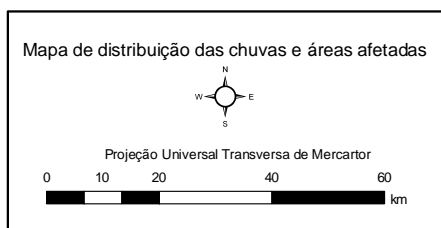
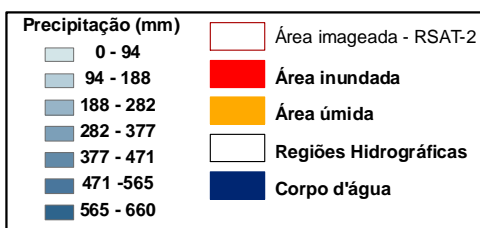
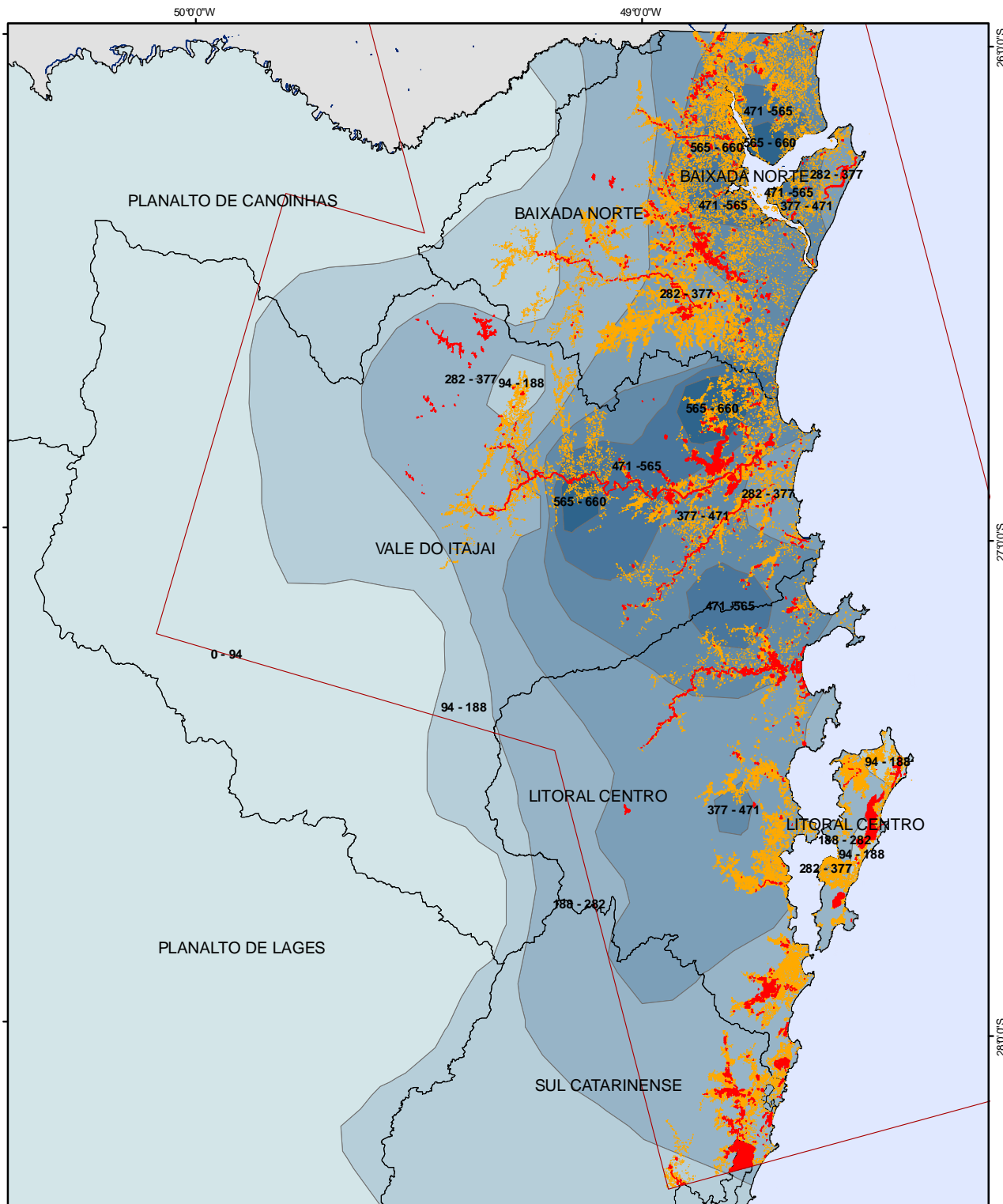
WAISURASINGHA, C.; ANIYA, M.; HIRANO, A.; SOMMUT, W. Use of RADARSAT-1 data and a digital elevation model to assess flood damage and improve rice

production in the lower part of the Chi River Basin, Thailand. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n.20, p. 5837 - 5850, 2008.

WICKEL, A. J.; JACKSON, T. J.; WOOD, E. F. Multitemporal monitoring of soil moisture with RADARSAT SAR during the 1997 Southern Great Plains hydrology experiment. *International Journal of Remote Sensing*, v. 22, n.8, p. 1571-1583, 2001.

7. MAPAS EM ANEXO

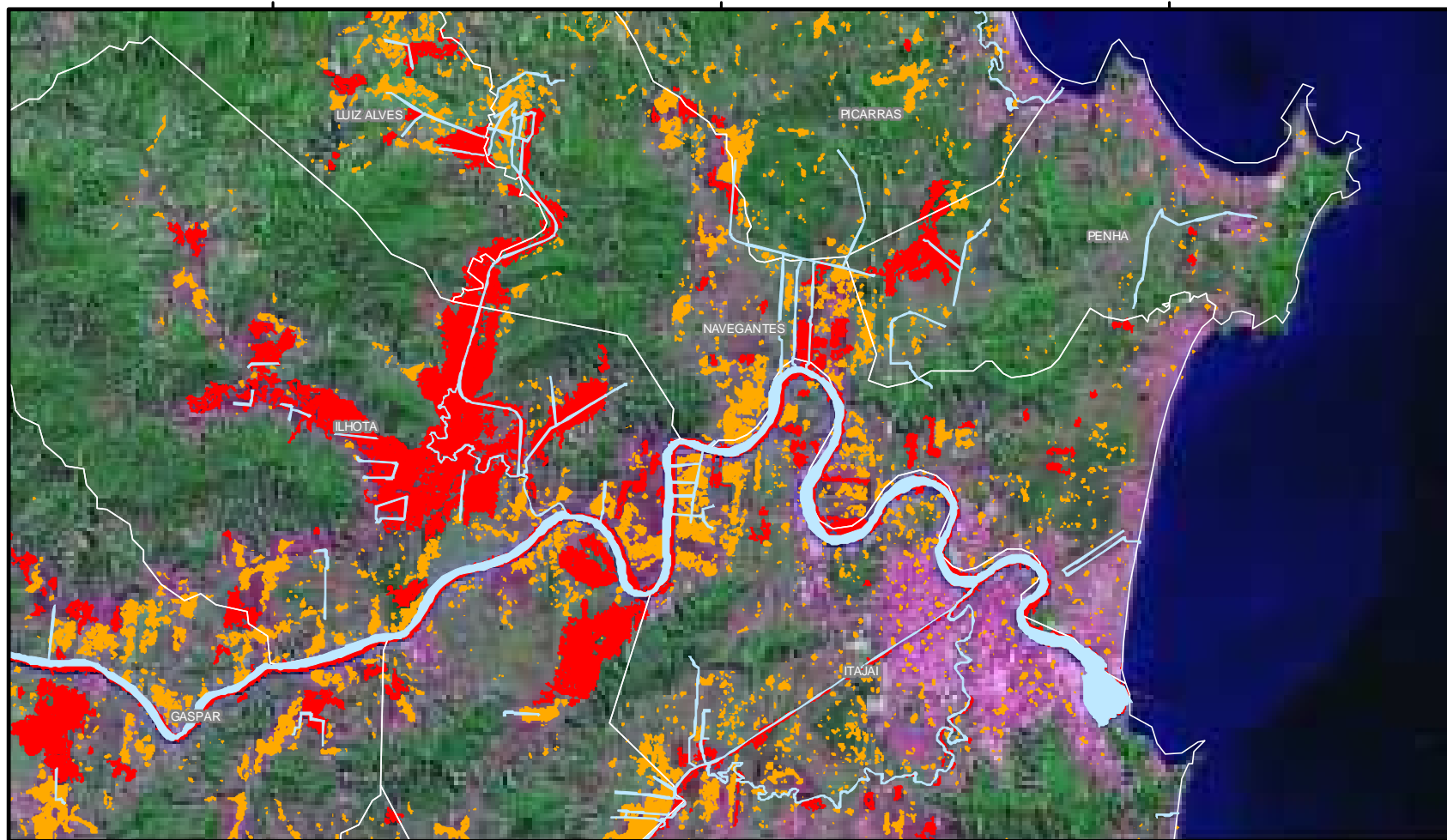




48°52'0"W

48°45'0"W

48°38'0"W






26°48'0"S

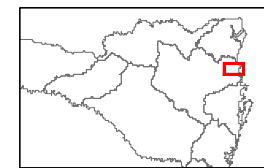
26°52'0"S

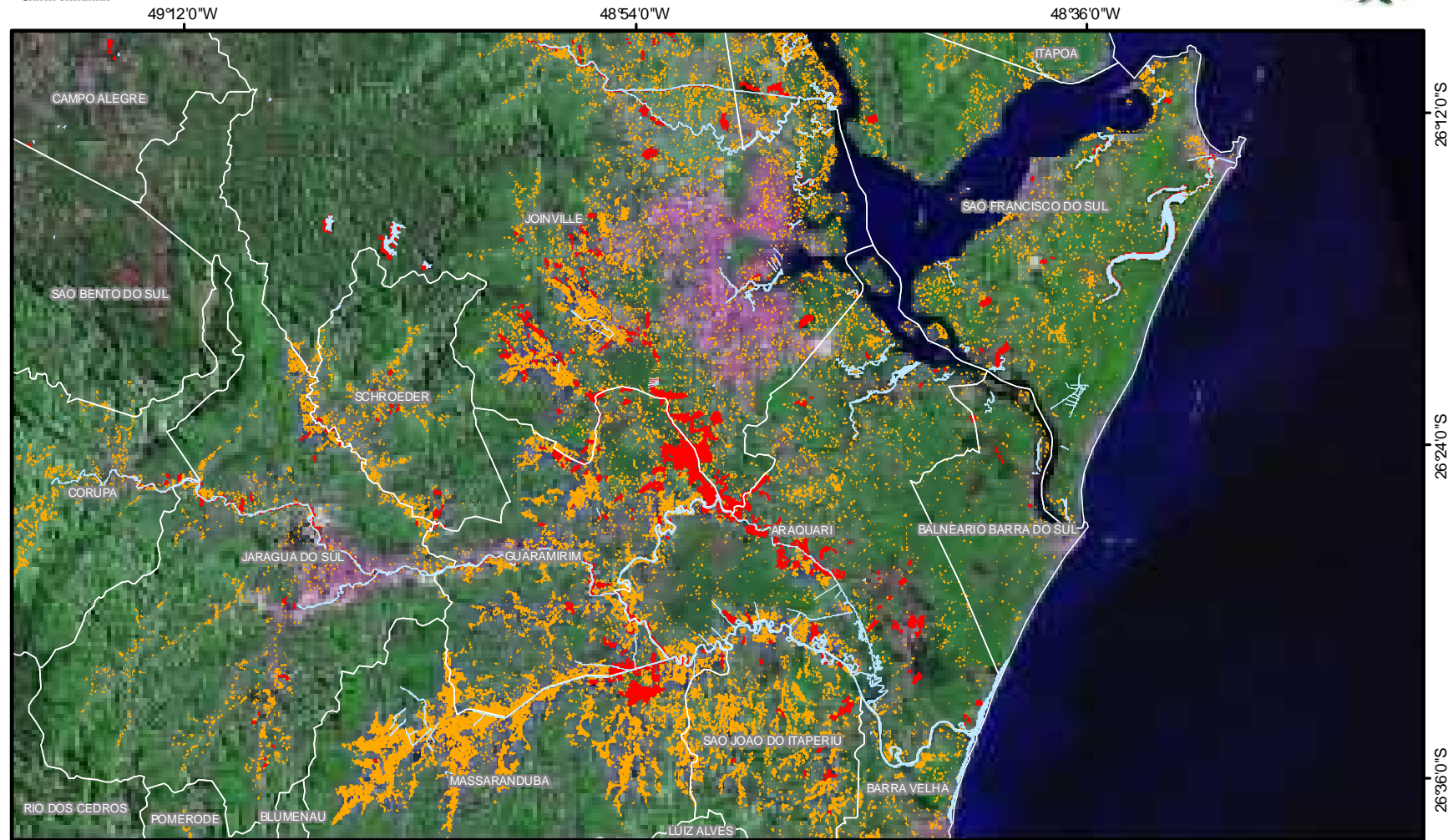
26°56'0"S

**MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES
DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008 - SC**




-  Corpo d'água
-  Área úmida
-  Área inundada

Projeção Universal Transversa de Mercator
Imagem do Landsat Geocover
Classificação - Imagem do Radarsat-2
Mapeamento das áreas inundadas e úmidas em áreas rurais
28 de novembro de 2008

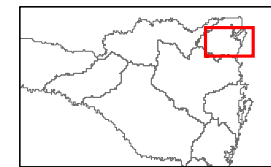




**MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES
DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008 - SC**

-  Corpo d'água
-  Área úmida
-  Área inundada

Projeção Universal Transversa de Mercator
Imagem do Landsat Geocover
Classificação - Imagem do Radarsat-2
Mapeamento das áreas inundadas e úmidas em áreas rurais
28 de novembro de 2008





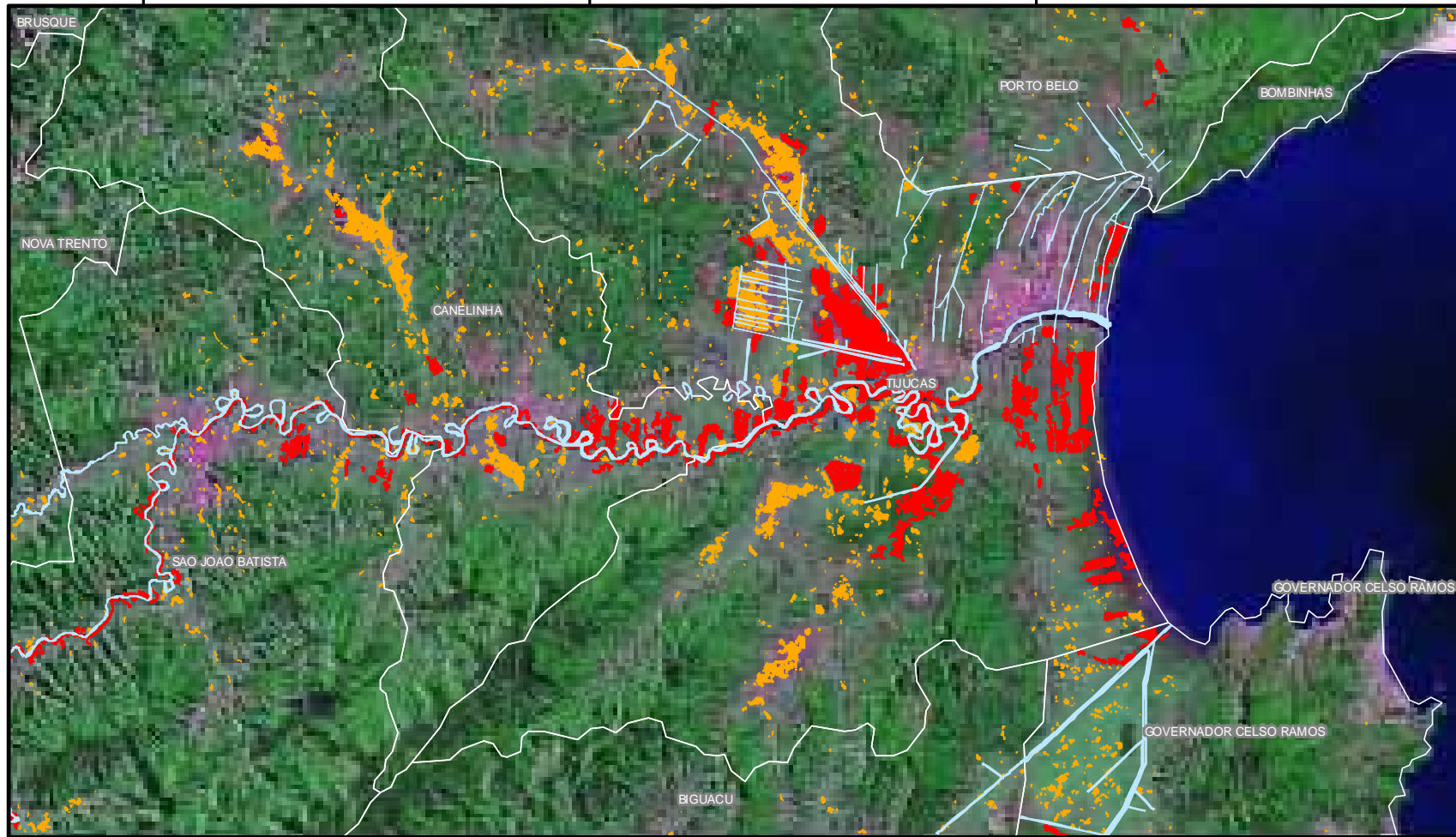
GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL - SDS
DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS - DRHI






48°52'0"W

48°45'0"W

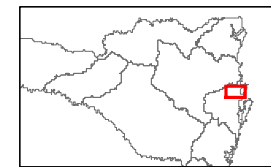
48°38'0"W



**MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES
DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008 - SC**

-  Corpo d'água
-  Área úmida
-  Área inundada

Projeção Universal Transversa de Mercator
Imagem do Landsat Geocover
Classificação - Imagem do Radarsat-2
Mapeamento das áreas inundadas e úmidas em áreas rurais
28 de novembro de 2008





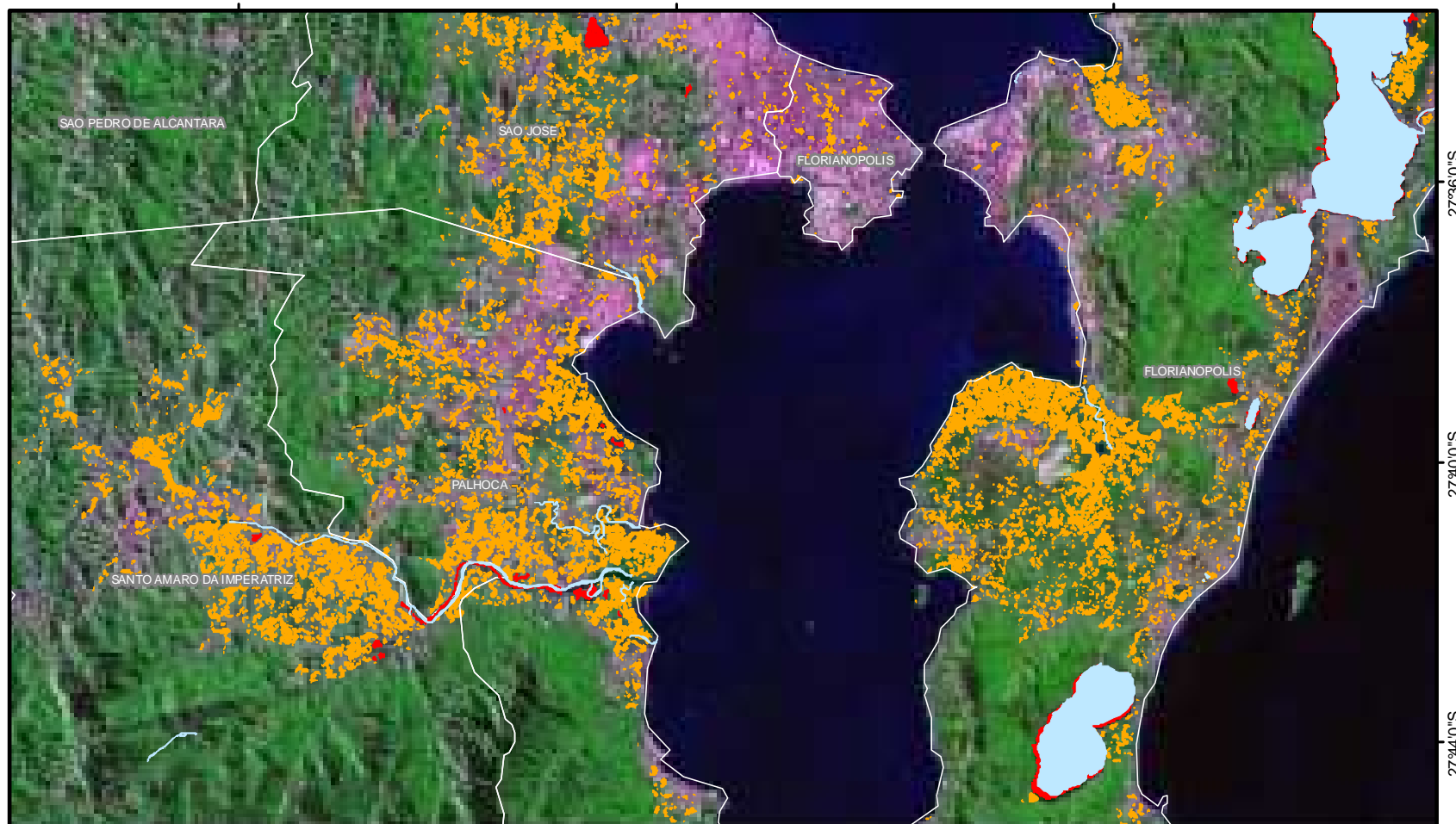
GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL - SDS
DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS - DRHI



48°45'0"W

48°38'0"W

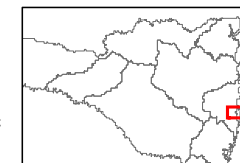
48°31'0"W



**MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES
DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008 - SC**

- Corpo d'água
- Área inundada
- Área úmida

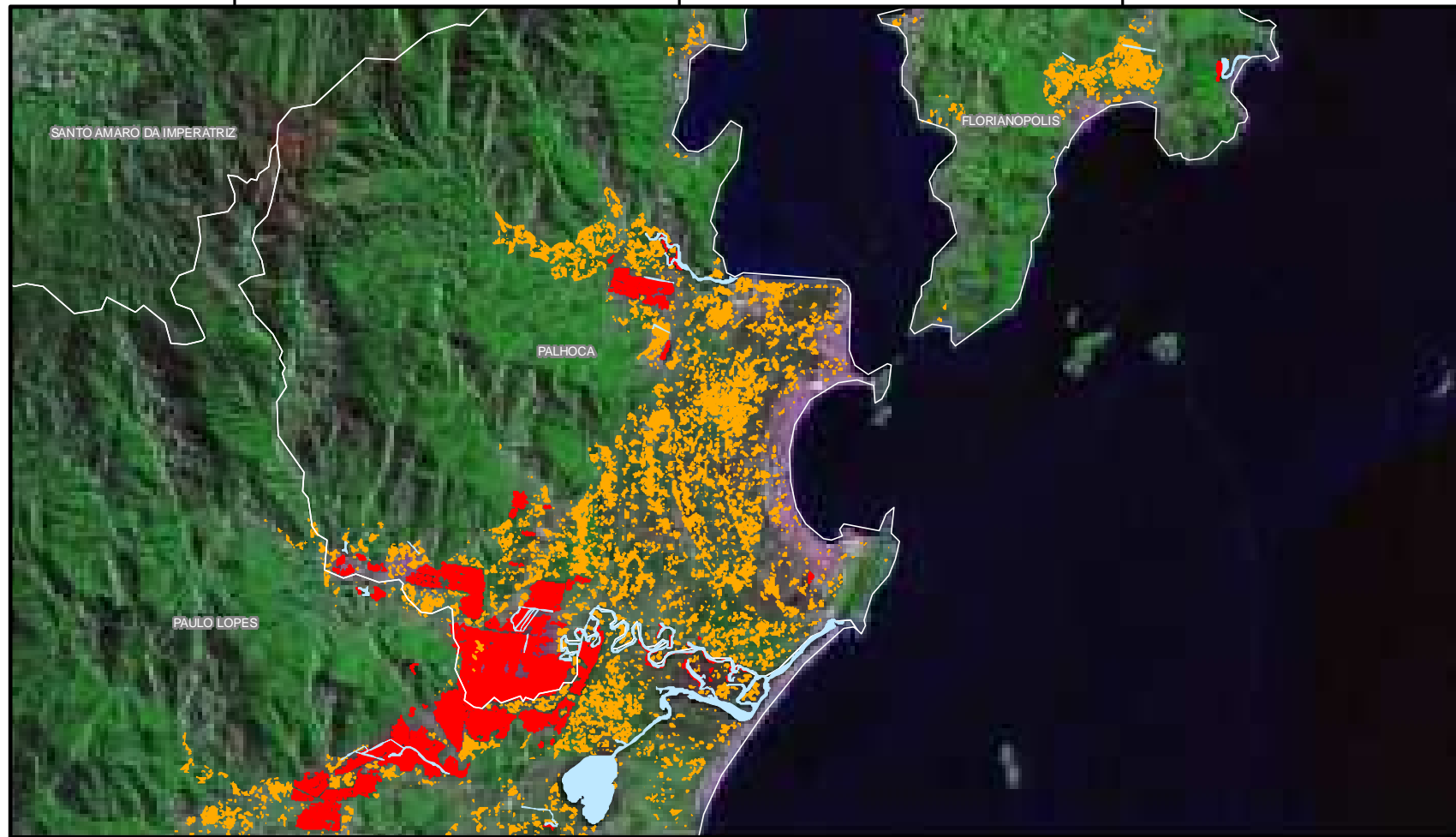
Projeção Universal Transversa de Mercator
Imagem do Landsat Geocover
Classificação - Imagem do Radarsat-2
Mapeamento das áreas inundadas e úmidas em áreas rurais
28 de novembro de 2008






48°45'0"W

48°38'0"W

48°31'0"W



**MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES
DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008 - SC**

-  Corpo d'água
-  Área úmida
-  Área inundada

Projeção Universal Transversa de Mercator
Imagem do Landsat Geocover
Classificação - Imagem do Radarsat-2
Mapeamento das áreas inundadas e úmidas em áreas rurais
28 de novembro de 2008

