

**ESTUDO DO POTENCIAL CLIMÁTICO PARA CANA-DE-
AÇÚCAR (*Sacharum ssp.*) NO RIO GRANDE DO SUL POR
MEIO DE GEOPROCESSAMENTO:
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JAGUARI**

por

Fernando Uhlmann Soares

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em
Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DO POTENCIAL CLIMÁTICO PARA CANA-DE-AÇÚCAR
(*Sacharum ssp.*) NO RIO GRANDE DO SUL
POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO:
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JAGUARI**

elaborada por
Fernando Uhlmann Soares

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr.
(Presidente/Orientador)

José Maria Filippini Alba, Dr. (Embrapa Clima Temperado)
(Co-orientador)

Marcos Silveira Wrege, Dr. (Embrapa Florestas)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2008.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Waldiomar Soares e Irene Uhlmann Soares,
pelo constante apoio nesta trajetória de novos horizontes.

Aos meus irmãos, Leonardo Uhlmann Soares e Mariangela Uhlmann Soares,
por também estarem imbuídos, com afinco, em suas jornadas de pesquisas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Geomática; à Embrapa Clima Temperado; à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEG (Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária Edmundo Gastal) pelo apoio e investimento na ampliação da formação profissional.

Ao Dr. Elódio Sebem e ao Colégio Politécnico da UFSM pelo aceite na orientação, encaminhamento dos trabalhos e apontamento das novas oportunidades.

Ao Dr. José Maria Filippini Alba pela orientação, aprofundamento técnico-científico e por oportunizar o trabalho junto ao Laboratório de Planejamento Ambiental da Embrapa.

À Dra. Liane de Souza Weber pela orientação, dedicação e suporte fornecidos durante o período necessário à realização do mestrado.

Ao Pesquisador Dr. Marcos Wrege por acompanhar e auxiliar na elaboração do trabalho através da sua metodologia, fornecimento de informações e participação na banca.

Ao Chefe Geral da Embrapa Clima Temperado, Dr. Waldyr Stumpf Júnior, e ao Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento, Dr. Clênio Nailto Pillon, pela oportunidade.

Aos Pesquisadores da Embrapa: Marilice Cordeiro Garrastazú e Carlos Alberto Flores, e à Analista Fábila Amorim da Costa pelas contribuições nos diferentes momentos.

Ao secretário Wanderley da Costa Vasconcellos, sempre prestativo no auxílio burocrático, como também aos demais funcionários do Centro de Ciências Rurais.

Ao amigo Dr. João Guilherme Casagrande Júnior pela troca de idéias nos bastidores, que convergiram no tema inicial da agroenergia.

Aos amigos: Engenheiros Paulo Pillar, Luiz Telechea e Luiz Martinelli; Geógrafo Márcio Lunardi, por tornarem agradável minha estada na cidade de Santa Maria.

A equipe de trabalho formada pelos técnicos em Geomática Carlos Anhaia e Anderson Abaide; a licenciada Erica Megiatto e a programadora Vanessa Berny.

Aos amigos, bibliotecário Luiz Marchiotti e professora Ana Beatriz Teixeira de Souza pelas respectivas revisões de bibliografia e língua portuguesa deste trabalho.

Aos demais amigos do Programa de Pós-Graduação em Geomática e do Laboratório de Planejamento Ambiental, pela convivência harmoniosa com cada um.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram no início, meio ou fim desta etapa vencida, meu muito obrigado!

TONEL DE CACHAÇA
(Dicró)

...
Vou comprar um tonel de cachaça
E botar na praça para os biriteiros
Não é por estar numa boa
Que vou esquecer os meus companheiros.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DO POTENCIAL CLIMÁTICO PARA CANA-DE-AÇÚCAR (*Sacharum ssp.*) NO RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE JAGUARI

AUTOR: FERNANDO UHLMANN SOARES

ORIENTADOR: ELÓDIO SEBEM

CO-ORIENTADOR: JOSÉ MARIA FILIPPINI ALBA

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2008.

O objetivo deste trabalho foi descrever e orientar um zoneamento agroclimático no Estado do Rio Grande do Sul, para a cultura da cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*) por meio das técnicas de geoprocessamento. Formatado em capítulos temáticos, o estudo compreende considerável número de municípios gaúchos centrando o estudo de caso no município de Jaguari, principal produtor da região central do estado. Aborda o contexto histórico-geográfico da produção canavieira no Brasil e no mundo, caracterizando a importância dessa cultura para o Rio Grande do Sul. Através da elaboração de mapas temáticos, foram analisados os dados da produção canavieira gaúcha. Posteriormente, foi realizado estudo sobre o risco de geada para a cultura de cana-de-açúcar tendo como base os dados de temperatura mínima de abrigo de cinco estações meteorológicas, com acervo de 25 a 30 anos de dados diários. A ocorrência de geada foi estabelecida com a temperatura mínima do ar inferior a 3°C. O uso de imagem orbital, análise de campo e classificação do uso do solo, possibilitou verificar o quão dispersas são as áreas produtoras de Jaguari. Assim, o presente trabalho resulta em instrumento de utilidade para o planejamento da atividade canavieira ao determinar as prováveis datas de ocorrência de geadas. Portanto, busca orientar políticas públicas e privadas quanto ao plantio da cultura no Rio Grande do Sul, demonstrando a eficiência dos Sistemas de Informações Geográficas no estudo da produção e na minimização dos riscos de investimentos ao definir as datas de plantio com os menores riscos de geadas.

Palavras-chaves: *Sacharum ssp.*, risco de geada, sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Geomática
Federal University of Santa Maria, RS, BRAZIL

AGRO CLIMATIC ZONING FOR THE SUGAR-CANE CROP IN THE RIO GRANDE DO SUL/BRAZIL THROUGH OF THE GEOPROCESSING: CASE STUDY TO THE CONCIUL OF JAGUARI

AUTHOR: FERNANDO UHLMANN SOARES

ADVISOR: ELÓDIO SEBEM

CO-ADVISOR: JOSÉ MARIA FILIPPINI ALBA

Local and Date: Santa Maria, 28 of February of 2008.

This work approaches an agro climatic zoning for the sugar cane crop (*Sacharum ssp.*) in the State of the Rio Grande do Sul – Brazil through techniques of geoprocessing. The study was organized in thematic chapters including, in first, all municipalities of the State and, in a second moment, a rectangle centered in the municipality of Jaguari, main producer of region central. The Brazilian production and the production of the world were discussed since an historical point of view by means of the spatial analysis of thematic maps. The risk of frost in Jaguari region was evaluated considering the minimum temperature of five meteorological stations, with more than 25 years of daily records. Several farms of sugar cane in the municipality of Jaguari were located with global position system at field. These farms were used as pilot areas in satellite imagery for classification of the use of land. Thus, the present work results a useful instrument for the planning the harvest of sugar cane crop because of the reduction of risk of frost. Therefore, the study intends to guide the public and private politics about the production of sugar cane in Rio Grande do Sul State. Finally, it might be suggested that Geographic Information Systems (GIS) is a potential tool for this kind of study.

Keywords: *Sacharum spp.*, frost risk, remote sensing, Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da área plantada de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.....	38
Figura 2 – Mapa da produção de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.....	40
Figura 3 – Mapa da produtividade de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.....	42
Figura 4 – Mapa do percentual de superfície canavieira, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.....	43
Figura 5 – Quadrante da área de estudo para o zoneamento da cana-de-açúcar.....	46
Figura 6 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (DEM).....	50
Figura 7 – Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com data da última geada.....	55
Figura 8 – Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com data da primeira geada.....	56
Figura 9 – Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com número de dias sem risco de geada.....	57
Figura 10 – Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com número de dias com risco de geada.....	58
Figura 11 – Mapa de ocorrência da primeira geada para o município de Jaguari....	59
Figura 12 – Mapa de ocorrência da última geada para o município de Jaguari.....	60
Figura 13 – Localização do município de Jaguari/RS.....	63
Figura 14 – Carta-imagem do município de Jaguari/RS a partir de composição falsa-cor 432 do sensor CCD do satélite CBERS-2.....	67
Figura 15 – Mapa de classificação supervisionada do município de Jaguari/RS.....	68
Figura 16 – Mapa da distribuição canavieira junto à ocorrência de última geada para o município de Jaguari/RS.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diagrama demonstrativo do processo de geração do modelo de risco de geada.....	53
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos sensores QUICKIBIRD, CCD E MODIS.....	27
Tabela 2 – Estações meteorológicas com coordenadas geográficas, altitude (m) e anos observados.....	48
Tabela 3 – Estações meteorológicas com as datas prováveis de primeira e última geadas e, número de dias com risco de geada.....	51
Tabela 4 – Parâmetros finais da equação de regressão e datas de primeira (PG) e última (UG) geadas de acordo com o calendário Juliano.....	52
Tabela 5 – Valores dos coeficientes da equação de regressão e dos coeficientes de determinação (r^2) para primeira e última geadas.....	52
Tabela 6 – Matriz de confusão da classificação supervisionada do município de Jaguari/RS.....	66

LISTA DE REDUÇÕES

CAST – *Chinese Academy of Space and Technology*

CBERS – *Chine-Brazil Earth Resources Satellite*

CCD – *Charge Coupled Device*

CER - Comissão Especial de Recursos

COOPERCANA - Cooperativa dos Produtores de Cana de Porto Xavier

COREDE – Conselho Regional de Desenvolvimento

DEM – Modelo Digital de Elevação

DISME – Distrito de Meteorologia

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.

FEE – Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul

FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária/RS

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS

GPS – *Global Positioning System*

HRC – *High Resolution Camera*

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRMSS – *Infrared Multispectral Scanner*

LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PG – Primeira Geada

PROAGRO – Programa de Garantia da Atividade Agropecuária

SAD69 – *South American Datum 1969*

SEPLAG – Secretaria de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UG – Última Geada

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar

USGS – *United States Geological Survey*

WFI – *Wide Field Imager*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1 Considerações sobre a cana-de-açúcar.....	17
1.1 A cana-de-açúcar como mercadoria.....	17
1.2 Histórico da produção canavieira.....	18
1.3 Aspectos climáticos para a cultura da cana-de-açúcar.....	20
2 Caracterização para o zoneamento agrícola.....	22
2.1 Zoneamento Agrícola.....	22
2.2 Geoprocessamento no estudo canavieiro gaúcho.....	24
3 A importância do sensoriamento remoto.....	26
3.1 Sensoriamento Remoto.....	26
3.2 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS).....	28
3.3 Processamento Digital de Imagens.....	30
CAPÍTULO III – O POTENCIAL CANAVIEIRO GAÚCHO.....	34
1 Área de estudo.....	35
2 Material e métodos.....	36
3 Resultados e Discussão.....	37
4 Conclusão.....	44
CAPÍTULO IV – ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO CANAVIEIRO.....	45
1 Área de estudo.....	46
2 Material e métodos.....	48
3 Resultados e Discussão.....	54
4 Conclusão.....	61
CAPÍTULO V - ANÁLISE DO USO DA TERRA EM JAGUARI/RS.....	62
1 Área de estudo.....	63
2 Material e métodos.....	64
3 Resultados e Discussão.....	65
4 Conclusão.....	70
CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	73

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul a cana-de-açúcar é plantada de outubro a dezembro para a colheita anual e de janeiro a março para colheita de ano e meio, sendo a primeira, a melhor época para o plantio em virtude do inverno rigoroso. O período favorável de crescimento se estende de outubro a abril e a partir de maio inicia-se a maturação da cana-de-açúcar com a colheita, em geral, sendo realizada de junho em diante.

As temperaturas baixas e os dias curtos de inverno, ao desativarem o crescimento da planta, promovem a maturação determinando um acúmulo de sacarose até o ponto de colheita. Enquanto as temperaturas em torno de 17°C são benéficas para maturação, as temperaturas de 2,5° ou abaixo disto podem interromper ou limitar esse processo (MALUF et al., 2007).

De acordo com o *site* da União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA (2007), o álcool proveniente da cana-de-açúcar, como no caso do Brasil, é utilizado na frota automobilística, na indústria de bebidas, nos setores químico, farmacêutico e de limpeza. Ainda, o uso do vapor de água obtido pela queima do bagaço serve à geração de energia elétrica, tornando auto-sustentáveis as usinas e possibilitando a venda do excedente.

Ressalta, também, que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com mais de 5 milhões de hectares plantados, o que representa menos de 1% da sua área cultivável. Ainda, o uso do álcool combustível mantém o Brasil na vanguarda da tecnologia canavieira e, atualmente, o país é líder também na exportação de açúcar e álcool.

O objetivo desta dissertação é desenvolver um estudo de zoneamento sobre a cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, uma vez que é de conhecimento público o grande aporte de investimentos no setor sucroalcooleiro. A problemática do trabalho consiste em investigar o potencial de ampliação dos cultivos no município de Jaguari/RS e municípios vizinhos e fornecer suporte às políticas públicas e privadas no estabelecimento dos cultivos em áreas favoráveis da região central gaúcha.

A escolha da cultura da cana-de-açúcar deve-se à sua importância crescente como *commodity* agrícola. Para tanto, o zoneamento agroclimático vem sendo a ferramenta utilizada na delimitação de áreas favoráveis para diversos cultivos. No mesmo sentido, os Sistemas de Informações Geográficas, o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto são importantes ferramentas na consecução dos objetivos propostos neste trabalho devido às suas potencialidades em espacializar dados geográficos.

Através da revisão bibliográfica, desenvolvida no capítulo dois, buscou-se uma abordagem histórico-geográfica da situação da cana-de-açúcar desde sua origem até os dias atuais. Prossegue conceituando temas como Sistema de Informações Geográficas, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Zoneamento Agrícola, instrumentos utilizados para o desenvolvimento do tema nos capítulos seguintes.

No capítulo três, analisa-se o potencial canavieiro gaúcho através da espacialização de dados sobre a produção de cana-de-açúcar com o uso de Sistema de Informações Geográficas. No capítulo quatro, amplia-se o uso das geotecnologias desenvolvendo um Zoneamento Agroclimático para a região central do Estado do Rio Grande do Sul, área onde se encontram as estações meteorológicas envolvidas no estudo. Para o estudo de caso, escolheu-se o município de Jaguari por ser o maior produtor da região central gaúcha.

Nesse sentido, no capítulo cinco, foi elaborado um mapa de uso da terra para o município de Jaguari considerando imagens orbitais do satélite CBERS e levantamento de campo com Sistema de Posicionamento Global (GPS). O capítulo seis refere-se às considerações finais.

O escopo principal do trabalho consiste em estabelecer critérios técnicos para a produção de cana-de-açúcar no Estado de Rio Grande do Sul por meio da análise espacial de dados sócio-econômicos de domínio público, informações climáticas e imagem de sensor orbital para orientar atividade sustentável.

Para que isto seja alcançado, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Espacializar as características gerais de produção da cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul;
- Desenvolver um zoneamento agroclimático, através da caracterização de áreas com condições térmicas diferenciadas ao plantio de cana-de-açúcar, a partir das datas de ocorrência de primeira e última geadas;
- Evidenciar a área mais adequada, dentro da própria região, à produção canavieira por meio do estudo de risco de geada;

- Identificar, através de análise de campo e processamento digital de imagem, as áreas produtoras de cana-de-açúcar;
- Orientar políticas públicas e privadas quanto ao estabelecimento da cultura canavieira no Estado do Rio Grande do Sul;

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR

1.1 A cana-de-açúcar como mercadoria

No mundo contemporâneo, capitalista e industrial, a natureza torna-se mercadoria (*commodity*), o que Marx (1999) define como objeto de necessidades humanas ou, segundo os economistas ingleses, um bem qualquer que seja necessário, útil ou agradável para a vida. Nesse sistema, o meio ambiente não é simplesmente determinado pelos elementos naturais, como nas sociedades pré-industriais, mas sim pelas relações e contradições políticas, econômicas e culturais entre pessoas e grupos. Assim, é a partir dos sistemas socioeconômicos, do subdesenvolvimento e da sociedade de consumo que podemos compreender as profundas alterações que ocorrem nas paisagens naturais de lugares.

A partir desta concepção, a natureza passa a ser estudada como recurso para o homem, como um elemento da dinâmica social. Uma natureza que possui também a sua própria dinâmica, seu encadeamento e seu equilíbrio, modificados constantemente pela ação humana. Os elementos naturais são recursos para a sociedade moderna, re-elaborados pela ação humana num processo histórico em que os conflitos e as contradições sociais assumem um papel importante. Estes também são interdependentes formando conjuntos ou sistemas integrados. Então, deve-se aliar o estudo da paisagem natural ao econômico para que não se perca de vista a dimensão ecológica e constitua-se algo de inovador na sua análise espacial.

Para o geógrafo Milton Santos (1997), o espaço geográfico é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como um quadro único no qual a história acontece. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da

história vão sendo substituídos por objetos fabricados, técnicos, mecanizados e depois cibernéticos fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina.

O estudo do espaço geográfico pressupõe, então, a compreensão da dinâmica da sociedade, que vive nesse espaço e o (re)produz constantemente e, da dinâmica da natureza, fonte primeira de todo o real, permanentemente apropriada e modificada pela ação humana. A atual expansão na produção canavieira demonstra sua permanente situação de elemento da dinâmica social. A exigência de uma matriz energética de práticas ambientais menos agressivas traduz-se na substituição do uso dos combustíveis fósseis. A canavieira em consonância com os interesses de mercado e ambiental se traduz em uma das alternativas para viabilizar a inserção de um cenário energético mais sustentável, o da agroenergia.

1.2 Histórico da produção canavieira

Todos os historiadores concordam com a origem asiática da cana-de-açúcar. No entanto, segundo *site* da UNICA (2007), o plantio inicial desta gramínea pode ter ocorrido em alguma das ilhas do Oceano Pacífico, na Polinésia, ou na Papua em Nova Guiné, país da Oceania, dirigindo-se posteriormente para a Índia.

No Brasil, de acordo com a União dos Produtores de Bioenergia (2007), atribui-se oficialmente a Martim Afonso de Souza o plantio das primeiras mudas. O início dos cultivos aconteceu na capitania de São Vicente, em 1532, na primeira vila fundada pelos portugueses, localizada na atual Baixada Santista. Porém, apesar da construção do primeiro engenho no estado de São Paulo, foi no nordeste brasileiro, nas capitanias de Pernambuco e Bahia, que os engenhos efetivamente se multiplicaram.

O favorável clima tropical quente e úmido, o fértil solo nordestino de massapé e a mão-de-obra escrava africana lançaram as bases para consolidar a produção canavieira no Brasil Colônia. Voltada inicialmente para a produção do açúcar, a cana-de-açúcar transformou-se num dos principais ciclos econômicos e, posteriormente, tornou-se um dos cultivos mais importantes do país com uso crescente na produção de álcool combustível.

Após transformar o Nordeste brasileiro na primeira região de plantio e espalhar-se pela região sudeste, esta gramínea retoma sua importância nos cenários econômicos, nacional e internacional, em pleno início de século XXI. Sucedendo a criação do Programa Nacional do Alcool em 1975, o governo federal brasileiro apresenta o Plano Nacional de Agroenergia para o período 2006-2011 (BRASIL, 2005 e 2006).

Esse plano do Governo Federal reúne ações estratégicas para promover a redução no uso de combustíveis fósseis. Ao mesmo tempo, pretende ampliar a produção e consumo de biocombustíveis buscando, ainda, a proteção do meio ambiente, o mercado internacional e a inclusão social com geração de emprego e renda.

Entre suas metas, o Plano Nacional de Agroenergia destaca o zoneamento agroecológico de espécies importantes para a agricultura de energia, em áreas tradicionais e de expansão de fronteiras agrícolas, orientando investimentos públicos e privados. Em seu texto, também prioriza o melhoramento genético pelas vias tradicional e biotecnológica, o que permitirá aprimorar a produtividade sem significativa expansão das terras cultivadas.

Nesse sentido, vários estados brasileiros estão aumentando seus plantios de cana-de-açúcar em decorrência das melhorias na produção e da instalação de usinas do setor sucroalcooleiro. Este cenário justifica-se ao propor, segundo orientações do plano, a possibilidade de dedicar novas terras a essa atividade, sem, com isso, ampliar a área desmatada ou reduzir a área utilizada na produção de alimentos, mantendo os impactos ambientais circunscritos aos socialmente aceitos.

O Rio Grande do Sul insere-se nesse contexto ao direcionar investimentos, público e privado, em pesquisas para aprimoramento da produção agrícola por meio de melhoramento vegetal, eficiência agrônômica e zoneamentos edafoclimáticos. Assim, amplia-se a perspectiva no desenvolvimento canavieiro gaúcho apesar das restrições às áreas com risco de ocorrência de frequentes geadas e baixas temperaturas em virtude das características do clima temperado.

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no Rio Grande do Sul em 1725, nos municípios de Torres, Osório e Santo Antônio da Patrulha. Na atualidade as regiões das Missões, Médio Alto Uruguai e Central ostentam metade da produção sul-rio-grandense (SEPLAG, 2007). A relação com a produção nacional é pouco significativa, assim, a importância da produção estadual está radicada na agricultura familiar, em função das atividades em pequenas e médias propriedades, direcionada à alimentação do gado e ao processamento artesanal de subprodutos como melado, rapadura, açúcar mascavo e cachaça.

Mesmo sem a tradição canavieira das regiões mais tradicionais do país, o estado gaúcho parece despertar para a possibilidade de ampliação do cultivo nas suas pequenas e médias propriedades. Cabe ressaltar a importância das estruturas produtivas em manter seus produtos coloniais consorciados com o potencial na produção de álcool combustível.

Para tanto, verificam-se investimentos em destilarias como a Cooperativa dos Produtores de Cana de Porto Xavier (Coopercana) ou microdestilarias, como a Limana, no município de Jaguari.

Dessa maneira, busca-se ampliar a perspectiva de plantio canavieiro em diversas regiões, onde, segundo dados do Balanço Nacional de Cana-de-açúcar e Agroenergia, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em Brasil (2007, 140p.), a produção de álcool hidratado no estado gaúcho consolidou-se apenas nos anos 90 após tímido início em fins da década de 60.

1.3 Aspectos climáticos para a cultura da cana-de-açúcar

Gramínea pertencente à família *Poaceae*, a cana-de-açúcar é conforme Brunini (2007) tradicionalmente cultivada desde a latitude 35°N até 35°S e possui larga escala de adaptação suportando razoavelmente temperaturas elevadas de 34° a 35°C. Planta do gênero *Saccharum* tem no cultivo do *Saccharum spp.*, seu híbrido interespecífico, maior resistência a doenças e melhor adaptação climática para diferentes regiões. O clima e as variações sazonais de temperatura são fatores importantes a serem considerados no plantio, uma vez que se trata de uma planta semi-perene indicada para apenas um ciclo de exploração em cada lavoura e uma das culturas tropicais de maior representatividade.

Os períodos das temperaturas elevadas de verão, favoráveis ao crescimento da planta, e baixas de inverno, benéficas ao acúmulo de sacarose, devem ser alternados para possibilitar uma maior produção. Wrege (2004) observa que um bom desenvolvimento vegetativo, com alta produção de sacarose, é atingido nos períodos com alta radiação solar e umidade no solo. Diferentemente, para favorecer o acúmulo de sacarose nos colmos, a partir da redução da taxa de crescimento, será necessário um período com restrição de água ou de baixas temperaturas.

Segundo Maluf et al. (2007), o cultivo é possível nas regiões de clima subtropical de inverno ameno e com boa disponibilidade térmica desde que não ocorram geadas letais precoces. No mesmo sentido, salienta que a ocorrência de baixas temperaturas no Rio Grande do Sul está restringida aos meses de inverno durante a maturação e colheita. Assim, a cana-de-açúcar é plantada geralmente de outubro a dezembro para a colheita anual e de janeiro a março para a colheita de ano e meio.

Conforme Grodzki et al. (1996), a caracterização do regime de geadas é de grande aplicabilidade na orientação de extensionistas, agricultores e órgãos governamentais como

subsídio a tomadas de decisões e ao planejamento agropecuário. Para tanto, estabelece os dados de temperatura mínima do ar em abrigo termométrico, com os dados da temperatura mínima na relva, em 3° Celsius como representativa da ocorrência de geadas. Salienta que o conhecimento das datas de geadas permite definir o período livre das mesmas fornecendo importante parâmetro para o cronograma de plantio das culturas de verão, outono ou inverno.

De acordo com Wrege et al. (2005), temperaturas mínimas no abrigo em torno de 3°C representam na relva aproximadamente -1°C sendo capazes de causar danos à cana-de-açúcar e a outras culturas tropicais. No entanto, explica que não é necessário o congelamento da água para causar danos à planta, pois basta que ocorra uma queda brusca de temperatura.

Assim, a distribuição espacial do risco de geadas auxilia na adequação das regiões e períodos de plantio canavieiro, descartando as áreas de maior risco. Nos casos de maior risco, pode-se programar o plantio para que a maturação fisiológica aconteça antes da primeira geada.

2 CARACTERIZAÇÃO PARA O ZONEAMENTO AGRÍCOLA

2.1 Zoneamento Agrícola

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2007) colocou em prática, desde 1996, uma proposta para zoneamento agrícola brasileiro sob coordenação da Secretaria da Comissão Especial de Recursos – Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (CER/PROAGRO). Essa proposta foi adotada mediante a ineficácia original do PROAGRO em pagar os seguros e cobrir múltiplos riscos com abundância de capital. Essa situação foi revertida com o zoneamento agrícola baseado na redução dos riscos, aumento da produtividade e tabela contábil diferenciada.

O atual Programa de Zoneamento Agrícola do MAPA é um instrumento de apoio à política agrícola brasileira na área de crédito e seguridade rural, além de induzir ao uso de tecnologia e fornecer suporte para tomada de decisões no PROAGRO. Entre os seus resultados, Cunha e Assad (2001) destacam a redução de riscos climáticos para culturas, retorno de capitais aplicados em operações de crédito agrícola, redução do número de sinistros e das indenizações pagas pelo governo e por seguradoras privadas.

Assim, estudos de zoneamento foram desenvolvidos a partir da integração de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, bases de dados de clima e de solo, técnicas de análise de decisão e ferramentas de geoprocessamento. Baseados na redução de riscos e aumento de produtividade, alguns dos zoneamentos mais citados e realizados são os zoneamentos edáfico, ecológico-econômico e agroclimático.

No zoneamento edáfico consideram-se as características da rocha matriz condicionadas pelo conjunto das relações mútuas entre o solo e os organismos que abriga. Pereira et al. (2002) descreve a disponibilidade energética e de água como dois fatores físicos de ordem edafoclimática a determinar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sua produtividade. Para realizar este tipo de zoneamento ficam estabelecidos alguns condicionantes conforme o exposto a seguir.

O conhecimento das características intrínsecas e extrínsecas de cada classe de solo tais como, seqüência de horizontes no perfil, tipo de horizontes superficial e subsuperficial, transição entre horizontes, profundidade efetiva, textura, estrutura, susceptibilidade à erosão, infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento de água, drenagem e disponibilidade de nutrientes são aspectos que devem ser levados em conta juntamente com o relevo em que ocorrem e a presença de pedregosidade e/ou rochiosidade quando da avaliação do potencial destes para uso em sistemas agrícolas. (FLORES, 2006)

Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS - FEPAM (2007), o Zoneamento Ecológico-Econômico é um conjunto de regras para uso de recursos ambientais estabelecido por zonas com padrões de paisagem homogêneas. Esse instrumento de planejamento, apresentado pela primeira vez nas diretrizes do Programa Nossa Natureza criado pelo Decreto nº 96.044 de 12/10/88, estabelece os parâmetros ambientais que permite identificar as restrições e potencialidades de uso dos recursos naturais e salienta que:

As macrodiretrizes estabelecidas no Zoneamento Ecológico-Econômico reconhecem que a manutenção da qualidade ambiental da região é também um elemento estratégico para o seu desenvolvimento sócio-econômico a longo prazo. A preservação dos importantes ecossistemas da região só será possível se essa preocupação for incorporada ao cotidiano dos municípios através das prefeituras e suas comunidades e em suas leis municipais, em particular nos planos diretores. (FEPAM, 2007)

Por fim, de acordo com o MAPA (2007), o zoneamento agrícola de risco climático é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura e constitui-se na proposição atual do PROAGRO. Procura quantificar o risco de perda das lavouras, em decorrência da atuação de eventos climáticos adversos, aplicando também funções matemáticas e estatísticas (freqüencistas e probabilísticas), além de trabalhar com os conceitos de potencialidade e aptidão usados nos outros zoneamentos.

Sendo de fácil entendimento e adoção pelos produtores rurais, extensionistas, agentes financeiros, seguradoras e demais usuários, identificam para cada município a melhor época de plantio das culturas nos diferentes tipos de solos e ciclos dos cultivares conforme o exposto.

Essa ferramenta técnico-científica, resultante do trabalho de equipe técnica multidisciplinar de especialistas, utiliza metodologia desenvolvida pelas diversas instituições federais e estaduais de pesquisa agrícola, como a Embrapa, o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (Epagri), o (Instituto Agronômico de Campinas) IAC, Fundações e Universidades, visando indicar datas ou períodos otimizados de plantio por município, correlacionados ao ciclo da cultura e ao tipo de solo, de modo a minimizar a chance de que adversidades climáticas coincidam com a fase mais sensível das culturas. (MAPA, 2007)

Os vários conceitos e técnicas utilizados nos diversos tipos de zoneamentos demonstram a gama de possibilidades de trabalho com esse instrumento. O zoneamento pode realizar a ordenação territorial, que estabelece o regime de uso de áreas para diversos fins, até auxiliar nos períodos e datas com menores riscos para os plantios.

Assim, Waldheim (2006) afirma que através do zoneamento climático é possível determinar o potencial agrícola de uma região, proporcionando ao agricultor a escolha das culturas e da aplicação das técnicas de manejo. Potencializa, então, o uso de sistemas de irrigação artificial e pode diminuir os efeitos de eventos atmosféricos adversos, tais como temperaturas baixas ou elevadas, geadas e risco de déficit hídrico.

2.2 Geoprocessamento no estudo canavieiro gaúcho

Moreira (2003) escreve que o geoprocessamento, iniciado nos anos 80 no Brasil, pode ser entendido como sendo a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de dados obtidos a partir de objetos ou fenômenos geograficamente identificados. Ainda, serve para extrair informações desses objetos ou fenômenos quando eles são observados por um sistema sensor.

A relação existente entre os conceitos de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas é proposta da seguinte forma:

... o termo *Geoprocessamento* denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. (CÂMARA, 2001, p.01)

Nesse sentido, Moreira (2003) apresenta duas características principais a quaisquer Sistemas de Informações Geográficas.

- Permitir inserir e integrar, numa única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, como: cartografia, imagens de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de modelo numérico de terreno.
- Oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados. (MOREIRA, 2003, p.252)

Uma definição clássica e pontual a respeito de SIG pode ser encontrada na descrição de Aronoff (1989) como sendo um conjunto qualquer de procedimentos, manuais ou computacionais, usados na armazenagem e manipulação de dados referenciados espacialmente.

Através dos Sistemas de Informações Geográficas torna-se possível integrar dados de diversas fontes e automatizar a produção de documentos cartográficos. Assim, um dos objetivos do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para determinar as evoluções espacial e temporal dos fenômenos geográficos e suas inter-relações.

Llopis (2006) aborda que, apesar da complexidade conceitual, esta nova tecnologia denominada SIG é um sistema integrado para trabalhar com informação espacial que se torna essencial para análise e tomada de decisões nas mais variadas áreas. Entre as suas aplicações estão: a organização e visualização de dados, a produção de mapas, a consulta e análises espaciais e a elaboração de cenários com a criação de modelos para validação destes.

De modo mais genérico, a estrutura de um SIG é composta por uma interface homem-máquina que definirá como o sistema é operado e controlado. Em um plano intermediário um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais, tais como: entrada, edição, análise, visualização e saída. No plano mais interno do sistema, esse deve possuir um sistema de gerência de bancos de dados geográficos que ofereça armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

Para tanto, Câmara (2002), indica que um SIG é composto por: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização, plotagem, assim como armazenamento e recuperação de dados organizados sob forma de um banco de dados geográficos. Assim, descreve o relacionamento entre os componentes de modo hierárquico.

A interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). Internamente ao sistema, um banco de dados geográficos armazena e recupera os dados espaciais. Cada sistema, em função dos seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados estão presentes num SIG. (CÂMARA, 2002, p.8)

Na Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica, os tipos de dados tratados podem ser divididos em dados temáticos, dados cadastrais ou de objetos, redes, imagens e modelos numéricos de terreno por apresentarem diversas fontes e formatos.

Conforme Câmara (2001), os dados temáticos representam a espacialização de grandezas geográficas de modo qualitativo potencializado em, por exemplo, mapas temáticos de uso do solo ou aptidão agrícola de regiões. No que tange aos dados cadastrais, cada elemento será um objeto geográfico, com atributos armazenados em banco de dados, podendo estar associado a várias representações gráficas.

3 A IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO

3.1 Sensoriamento Remoto

Entre a gama de conceitos existentes para Sensoriamento Remoto, Moreira (2003) o define como a técnica de utilização de sensores para a captação e registro da energia refletida ou absorvida pelos alvos após exposição à fonte de radiação natural (Sol) ou artificial (do próprio sensor, por exemplo, radar). Sem contato direto com os alvos e preparados para terem sensibilidade em determinados comprimentos de onda, diferentes sensores coletam dados nas escalas terrestre (próximo à superfície), aérea (aeronave) ou orbital (satélite). As diferentes resoluções espectrais, espaciais e temporais na coleta de informações sobre vegetação, solo ou corpos d'água, por exemplo, possibilita ampliar os estudos em âmbito continental, regional ou local.

De acordo com Fitz (2005), desde o século XIX com as primeiras tentativas de levantamentos utilizando-se fotografias e sensores variados para a captação de imagens, o sensoriamento remoto vem avançando e ocupando lugar de destaque. Em 1858, por exemplo, o francês Gaspard-Félix Tournachon, de pseudônimo Félix Nadar, foi o pioneiro a utilizar plataformas em um balão para fotografar Paris. Posteriormente, a técnica do reconhecimento fotográfico aéreo foi empregada durante as duas grandes guerras mundiais. Necessário ao programa espacial norte-americano, o sensoriamento remoto foi gradativamente ampliado em fins dos anos 50 junto à ciência da computação.

O contexto histórico do processo de sensoriamento remoto decorre da evolução de técnicas que permitem ao homem detectar e registrar várias formas de radiação eletromagnética além da luz visível. As mesmas técnicas evoluem e ampliam em ritmo intenso, por exemplo, o ato de retratar alvos com câmeras digitais em detrimento das analógicas. Assim, a importância do sensoriamento remoto fica evidente quando:

O uso de imagens de Sensoriamento Remoto como fonte atualizada de informação para produção de mapas, é um dos grandes impulsionadores de inovação na área de Geoprocessamento. O grande interesse em seu uso advém da temporalidade da informação e de seu relativamente baixo custo. Outro aspecto a destacar é que estes dados são uma das melhores fontes para auxiliar na determinação do *uso e cobertura do solo*. Como a cobertura atual do solo é mudada principalmente pela ação do homem, a interpretação de imagens de satélite é uma forma indireta de inserir, num ambiente de Geoprocessamento, a dinâmica dos processos econômicos e sociais. (GARCIA, 2000, p.7)

Para Moreira (2003), os dados de sensoriamento remoto podem ser agrupados em quatro tipos de resoluções: espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica.

- a) Resolução espectral: ... cada alvo reflete a energia diferente do outro. Entretanto, quando se trata de alvos semelhantes, como tipos de vegetação, a diferença no comportamento espectral de dois ou mais tipos de vegetação pode não ser tão marcante a ponto de ser percebida em imagens de satélites.
- b) Resolução espacial ou geométrica: ... refere-se a área vista por um dado sensor sobre a superfície da Terra dentro de um ângulo sólido, em dado instante de tempo.
- c) Resolução temporal: ... indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse, o que depende da largura da faixa imageada no solo.
- d) Resolução radiométrica: refere-se à capacidade de um sensor poder discriminar, numa área imageada, alvos que apresentam pequenas diferenças da radiação refletida e/ou emitida em certas regiões do espectro eletromagnético.

O quadro a seguir mostra exemplos das características de resolução e cobertura de diferentes satélites e seus sensores.

Tabela 1 – Características dos sensores QUICKIBIRD, CCD E MODIS.

Sensores e Resoluções				
Satélite/Sensor	Resolução Espectral	Resolução Radiométrica	Resolução Espacial	Resolução Temporal
QUICKBIRD/ QUICKBIRD	4 – 7 bandas	11 bits	0 – 2 metros	2 – 5 dias
CBERS-2/ CCD	4 – 7 bandas	8 bits	11 – 30 metros	acima de 21 dias
TERRA/MODIS	11 – 36 bandas	12 bits	acima 101m.	diária

Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite (2007)

No caso dos trabalhos com zoneamento, o potencial de informações disponível nas imagens de satélite deve ser explorado complementando os dados existentes conforme demonstra Crepani.

O simples cruzamento de mapas temáticos ou de planos de informação, no caso dos sistemas de informações geográficas (SIG) gerando novos dados, sem o acréscimo de conhecimento que o especialista pode obter a partir da interpretação das imagens estará desprezando informações de inestimável importância. A integração de informações disponíveis, sobre as imagens de satélite simultaneamente à sua interpretação, leva a melhores e mais completos resultados no sentido de entender o meio ambiente de maneira holística. (CREPANI, 1996, p.129)

As inúmeras potencialidades do sensoriamento remoto, propiciadas em termos de qualidade, agilidade e número de informações, beneficiam principalmente os países em desenvolvimento, possibilitando que os mesmos avancem em pesquisas científicas nas diversas áreas de interesse.

Dentro deste contexto, para Assad (1998) o uso de dados orbitais para levantamento e quantificação da ocupação agrícola tem se tornado freqüente no Brasil, pois este tipo de produto fornece informações atualizadas a um custo relativamente baixo. No entanto, um monitoramento de grandes extensões territoriais, como a brasileira, pode ter resultados insatisfatórios em decorrência do tempo e do volume de dados para analisar, além da grande dificuldade de obterem-se dados sem ou com pouca cobertura de nuvens. Para tanto, propõe reduzir a extensão territorial associando as interpretações das imagens de satélite a um SIG.

3.2 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)

O Brasil vem adquirindo seu espaço e credibilidade no que se refere aos estudos desenvolvidos na área tecnológica e científica. Por outro lado, o desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico fazem da China um país respeitado não somente em virtude do seu avanço econômico, mas também do seu desenvolvimento técnico-científico apesar da existência de grandes contrastes sociais.

Nestes contextos surge em 06/07/88 o Programa “*China-Brazil Earth Resources Satellite*” ou “Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres” (CBERS), uma parceria envolvendo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST). O acordo bilateral entre China e Brasil procura reverter a dependência das imagens fornecidas pelas nações desenvolvidas. Conforme o INPE (2007), o Brasil ingressa no seleto grupo de países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto e obtém uma poderosa ferramenta, para monitorar seu imenso território com satélites próprios, buscando consolidar uma importante autonomia neste segmento.

Além das duas plataformas já colocadas em órbita, o CBERS-1 em 14/10/99 e o CBERS-2 em 21/10/2003, foi lançado, em 19/09/2007, o CBERS-2B. O CBERS-2B garantirá que o fornecimento de imagens iniciado com o CBERS-1 não seja interrompido. Com vidas úteis projetadas de dois anos, o CBERS-1 operou até agosto de 2003. O êxito está repetindo-se com o CBERS-2 e os lançamentos do CBERS-3 e o do CBERS-4 estão previstos para 2009 e 2011, respectivamente.

De acordo com o INPE (2007), o CBERS-2B é o terceiro satélite de uma parceria que se tornou imprescindível, pois desde 2004 quando começou a distribuição gratuita das imagens pela rede mundial de computadores mais de 320 mil imagens CBERS foram buscadas por cerca de 15 mil usuários ligados a instituições como Incra e Ibama, universidades, organizações não governamentais e empresas privadas.

As duas primeiras plataformas da família CBERS possuem as mesmas especificações e são equipadas com três sensores: uma câmera imageadora de amplo campo de visada (*Wide Field Imager* – WFI), uma câmera imageadora de alta resolução (*Charge Coupled Device* – CCD) e um imageador multiespectral infravermelho (*Infrared Multispectral Scanner* – IRMSS). Já, o CBERS-2B possui três câmeras imageadoras a bordo: CCD, WFI e a câmera de alta resolução HRC (*High Resolution Camera*), esta com banda pancromática de 2,5 metros de resolução espacial. Esta diversidade de câmeras atende a múltiplas necessidades: do planejamento urbano, que requer alta resolução espacial, a aplicações que precisam de dados freqüentes, mas nem sempre tão detalhados como a agricultura ou desmatamentos.

De acordo com Bensebaa (2006), o sensor IRMSS opera em quatro bandas espectrais, principalmente na faixa do infravermelho: uma banda pancromática, duas bandas de infravermelho médio e uma banda de infravermelho termal. Com uma resolução espacial de 78 metros para três bandas (a pancromática e as duas de infravermelho-médio) e uma resolução espacial de 156 metros para a banda de infravermelho termal, possui 120km de largura da faixa imageada e período de cobertura global de 26 dias.

Em relação ao imageador WFI, apresenta-o como um sensor de alto potencial de aplicação detectando objetos em duas bandas espectrais: banda vermelha (0,63 - 0,69 μ m) e banda de infravermelho-próximo (0,77 - 0,89 μ m). Possui largura de órbita de imageamento de 890km e recobre o planeta em 5 dias.

Por fim, descreve as características da câmera CCD como concebida para capturar imagens com resolução de 20m, em cinco faixas espectrais: B1: 0,45-0,52 μ m; B2: 0,52-0,59 μ m; B3: 0,63-0,69 μ m; B4: 0,77-0,89 μ m e; a pancromática B5: 0,51-0,73 μ m. As bandas B3 e B4 são idênticas ao WFI, para permitir a combinação dos dados obtidos pelas duas câmeras, onde qualquer fenômeno detectado pelo WFI pode ser captado pela câmera CCD para estudos mais detalhados em um período de três dias devido à capacidade de visada lateral da mesma. Durante o imageamento, o sensor CCD abrange uma faixa de 113km de largura, completando um ciclo de cobertura em 26 dias.

Já, segundo INPE (2007), a HRC a bordo do CBERS-2B opera numa única faixa espectral cobrindo o visível e parte do infravermelho próximo, além de produzir imagens de uma faixa de 27km de largura com uma resolução de 2,5m que permite a observação mais detalhada dos alvos da superfície. Então, serão necessários cinco ciclos de 26 dias para que os 113 km padrão da CCD sejam cobertos pela HRC. Assim, a cada 130 dias será possível ter uma cobertura completa do Brasil para ser correlacionada com a da câmera CCD.

A constante necessidade de monitorar seus vastos territórios e variados recursos fizeram do programa CBERS a ferramenta ideal, por trazer sensores específicos onde suas imagens são utilizadas desde o controle do desmatamento e queimadas até o monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano e ocupação do solo. É fundamental, também, para grandes projetos nacionais estratégicos e a ocupação de espaço definitivo em diversos programas ambientais. Assim, observa-se a extrema importância que deve ser dada a esse projeto binacional de fornecimento de dados com características diversas e próprias a atender aos múltiplos requisitos de aplicações.

3.3 Processamento Digital de Imagens

Para Assad e Sano (1998), o monitoramento da paisagem de uma dada região é primordial no planejamento racional de utilização da terra em função da rápida ocupação do espaço físico e pouco conhecimento dos recursos do mesmo. Dessa forma, os produtos de sensoriamento remoto orbital têm sido importantes, por exemplo, na aquisição primária de informações e, também em inventários e gerenciamento da paisagem agroflorestal.

Para Fonseca (2000), as imagens brutas devem ser corrigidas antes de serem usadas nas aplicações, pois podem conter algumas distorções radiométricas, atmosféricas e geométricas. Essa etapa de correção das distorções é conhecida como pré-processamento e embora alguns tipos de distorções sejam corrigidas na estação de recepção de imagens há ainda necessidade de se realizar algumas correções antes da fase de processamento de imagens. A degradação ou os ruídos radiométricos em uma imagem possuem fontes como: difração óptica, tamanho do detector e filtragem eletrônica. A restauração de imagens é uma técnica para reduzir as distorções introduzidas pelos sensores, tornando possível a melhora da resolução efetiva do sensor até certo nível.

Para a distorção atmosférica, a atmosfera influi na resposta de um alvo quando a absorção atmosférica subtrai valores de brilho de energia radiante do alvo, enquanto o espalhamento atmosférico adiciona valores à resposta original afetando os comprimentos de

ondas mais curtos. A existência de distorções sistemáticas introduzidas durante a aquisição das imagens é a primeira razão para a realização de correção geométrica que irá tratar, prioritariamente, da remoção dos mesmos. Na verdade, a justificativa mais contemporânea para a correção geométrica é a integração com mapas e outras informações e um dos efeitos principais é causado pela rotação da Terra, ou seja, pelo movimento relativo da Terra em relação ao Sol e, conseqüentemente, em relação ao satélite.

Para tanto, o processo de registro de imagem é uma das técnicas de correção geométrica que permite o encaixe da imagem dentro de uma base cartográfica conhecida. A técnica permite a correção de distorções nas fotografias aéreas e imagens orbitais e estabelece uma escala cartográfica conhecida. Assim, este tipo de informação pode ser utilizado em atividades de atualização cadastral, estudo da vegetação, dos recursos hídricos e a determinação de áreas, distâncias e perímetros, por exemplo.

Existem diferentes técnicas de classificação, que são os processos de extração de informação em imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos, com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. Em um mapa temático, resultante da classificação, os *pixels* classificados são representados por símbolos gráficos ou cores, onde cada cor ou símbolo está associado a uma classe (área urbana, tipos de florestas, tipos de solo, etc.) previamente definida pelo usuário. As classificações realizadas por um computador, denominada automática, ou por um especialista humano, dita fotointerpretação, são imprescindíveis conforme o descrito.

Até hoje, a significância dos resultados alcançados na análise visual destes produtos fotográficos continua baseada na experiência do fotointérprete, o qual usa critérios subjetivos no delineamento de classes temáticas. Esta capacidade interpretativa do fotointérprete tem também sido aproveitada para avaliar os resultados das classificações digitais das imagens orbitais. A classificação via computador é baseada em determinados parâmetros estatísticos, ou seja, a identificação e a discriminação dos alvos são feitas sem a subjetividade da análise visual. (ASSAD e SANO, 1998, p.352)

Os métodos de classificação de imagens podem ser divididos em supervisionados ou não-supervisionados. Para o método de classificação supervisionada, as técnicas consistem em usar amostras de identidade conhecida para classificar *pixels* desconhecidos. A identidade e localização de algumas feições são conhecidas em decorrência de análise em campo, fotos aéreas, mapas ou experiência pessoal. O analista procura localizar áreas específicas, conhecidas como amostras de treinamento, que representem exemplos homogêneos destas feições conhecidas.

Assim, na classificação supervisionada, são utilizados diversos algoritmos como a da distância mínima ou euclidiana, a do paralelepípedo e da máxima verossimilhança ou Maxver.

Para a classificação por distância euclidiana tem-se que:

Quando as amostras de treinamento por classe são limitadas e, portanto, a estimativa da média e a matriz de covariância não é bastante confiável, pode-se usar um algoritmo de classificação por distância euclidiana. Nesse método, as amostras de treinamento são usadas para calcular a média de cada classe. Cada pixel será atribuído à classe cuja distância entre o valor do pixel e a média da classe seja menor. ... O pixel será incorporado ao agrupamento que apresenta a menor distância Euclidiana. Este procedimento é repetido até que toda a imagem seja classificada. (FONSECA, 2000, p.103)

A classificação por paralelepípedo é descrita como um método simples:

O método do paralelepípedo considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento. Essa área tem a forma de um quadrado ou paralelepípedo, definido pelo valor numérico máximo e mínimo do conjunto de treinamento. Todos os pixels situados dentro do paralelepípedo serão classificados como pertencentes à classe. Os lados do paralelepípedo constituem os chamados limites de decisão da classe. (CROSTA, 1999, p.111 e 112)

No entanto, o classificador de paralelepípedo é afetado por alguns problemas:

Apesar de simples o método do paralelepípedo apresenta algumas limitações. Podem existir várias regiões não cobertas pelos paralelepípedos que não serão classificadas. No caso de dados correlacionados pode haver regiões de intersecção entre os paralelepípedos que definem as classes que não poderão ser separados. (FONSECA, 2000, p.103,104)

Para o método da máxima verossimilhança, Assad e Sano (1998) descrevem que o classificador utiliza uma função de probabilidade para determinar se o *pixel* pertence a uma das classes predefinidas, sendo este cálculo realizado para o conjunto de classes que intervêm na classificação temática. Em suma, o *pixel* é atribuído à classe que maximiza a função de probabilidade. A possibilidade de que as várias classes tenham a mesma probabilidade de ocorrência, fato que nem sempre acontece na prática, é tomado como regra de decisão deste método conforme o explicitado.

O método de classificação por máxima verossimilhança (Maxver) baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e a média dos níveis de cinza da classe previamente definida a partir de amostras de treinamento. É oportuno comentar que a seleção destas amostras de treinamento deve refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área estudada não existindo, contudo, um número ideal destas amostras para representar a classe de interesse. ... Face à complexidade temática e, às vezes, à ocorrência de classes com áreas diminutas e espacialmente

espalhadas em toda a imagem, torna-se necessário reduzir a dimensão de cada uma das amostras de treinamento para quatro pixels no máximo. Com isto, evita-se o efeito de bordas e torna o conjunto de valores espectrais que define a classe, mais fidedigno. (ASSAD e SANO, 1998, p.356 e 357)

No método da classificação não-supervisionada o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificadas no espaço de atributos as nuvens (*clusters*) formadas por *pixels* de características espectrais similares. Para Assad e Sano (1998), é comum especificar o número de classes possíveis de serem encontradas na área de estudo definindo-se, então, através de um limiar estabelecido pelo analista, quais as concentrações de *pixels* que devem ser tratados como grupos distintos.

No processo de classificação não-supervisionada, essas nuvens são automaticamente identificadas e usadas como áreas de treinamento para a classificação. Esta, por sua vez, pode então se basear em quaisquer dos métodos vistos anteriormente. O método mais comum, contudo, é o da máxima verossimilhança. (CROSTA, 1999, p.121)

Por fim, pode-se dizer que o procedimento de classificação de imagem é aplicado com o objetivo de uniformizar temas e eliminar pontos isolados que foram classificados diferentemente da vizinhança com o intuito de gerar uma imagem classificada com aparência menos ruidosa.

Finalizando, Fitz (2005) propõe que a localização dos alvos no terreno pode trazer informações elucidativas quando não é possível identifica-lo por outros meios. Assim, alvos de mesma tonalidade, forma, padrão e textura podem acabar sendo confundidos com os outros, que é justamente o que se tenta evitar para uma melhor análise espacial.

CAPÍTULO III

O POTENCIAL CANAVIEIRO GAÚCHO

O tema agroenergia adquire cada vez mais importância, haja vista a preocupação e pressão por parte da sociedade e da administração pública em substituir ou minimizar os impactos da matriz energética atual baseada na queima de combustíveis fósseis. Com o crescente aporte de investimentos em pesquisas e estruturas produtivas, os biocombustíveis ampliam gradativamente seu potencial de participação na geração de energia.

O Brasil insere-se nesse contexto em virtude da existência de clima tropical, favorável ao cultivo de espécies bioenergéticas, espaços produtivos em potencial e de sua tradição canavieira para produção de açúcar, aguardente e álcool combustível. No mesmo sentido, parte do Rio Grande do Sul, com potencial climático para o plantio, busca ampliar seu espaço investindo na melhora e ampliação dos cultivos, direcionando-os à produção de álcool.

Assim, esta parte do trabalho tem como objetivo a análise espacial da produção da cultura da cana-de-açúcar nos municípios do Estado do Rio Grande do Sul, considerando dados de área plantada, produtividade e percentual de uso da superfície em relação à superfície total de cada município. Através dos mapas pretende-se ter uma melhor visualização espacial das áreas inseridas ou não nos diversos momentos do processo produtivo, bem como formar base para análises temporais futuras. Dessa forma, espera-se demonstrar a eficácia dos Sistemas de Informações Geográficas para a análise espacial dos dados, potencializando o uso das informações na tomada de decisões.

1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Rio Grande do Sul foi escolhido para a pesquisa em face da necessidade de atualização de dados e espacialização dos mesmos, uma vez que está em vogue a ampliação da capacidade produtiva de cana-de-açúcar nos seus municípios. Está precisamente compreendido entre os paralelos de 27°04'49"S e 33°45'00"S e entre os meridianos de 49°42'22"W e 57°38'34"W.

Inicialmente foram compreendidas todas as cidades gaúchas independente da existência de plantios de cana-de-açúcar. O Rio Grande do Sul conta hoje, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), com 496 municípios onde está contido um total estimado em 10.582.840 habitantes distribuídos em 281.748,538 km².

O estado gaúcho localiza-se ao sul do trópico de Capricórnio, na região de clima temperado que apresenta características subtropicais com inverno marcante caracterizado pela classificação de Koppen-Geiger, no tipo Cfa (BRASIL, 2007, 58p.). Neste tipo de clima a temperatura é moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno há ocorrência de geadas, sendo a média de temperatura neste período inferior a 16°C. No mês mais quente as máximas são superiores a 30°C.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo considerou-se os dados mais recentes disponíveis, do ano de 2005, da produção de cana-de-açúcar por município conforme consta no *site* do IBGE (2007). Já os dados da produção nacional, de 2005, foram buscados na página do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

Os mapas foram elaborados após registro das informações em banco de dados do aplicativo ArcGIS 9.2 citado e criteriosa análise e classificação das classes da legenda para realçar a visualização das informações. Optou-se por evidenciar, principalmente, as classes de valores nulos, mínimos e máximos, dentro de cada tema envolvido, a fim de serem estabelecidas comparações dos dados.

Para o desenvolvimento dos mapas temáticos, foi utilizado o SIG citado. As Figuras 1 e 2 foram geradas sobre um plano de informação base (*layer*) dos municípios gaúchos após cadastro dos dados de área plantada e produção de cana-de-açúcar. Nas figuras 3 e 4 foram realizados procedimentos de cálculos algébricos, em ambiente SIG, através da ferramenta *Raster Calculator*. Para que fossem obtidos a produtividade e o percentual de superfície, foram relacionados matematicamente os dados dos dois primeiros mapas.

Para obter-se a produtividade, Figura 3, dividiu-se a quantidade de cana-de-açúcar produzida, em toneladas, pela área territorial do município convertida para hectares. O percentual de superfície plantada, Figura 4, foi obtido convertendo-se a área territorial municipal de quilômetros quadrados para hectares e, posteriormente, dividindo-se esta área pela quantidade de hectares de área plantada e colocando o resultado em porcentagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o mapa com a espacialização da área plantada de cana-de-açúcar, no ano de 2005, nos municípios do Rio Grande do Sul.

Notadamente, na porção norte do Estado encontram-se as maiores áreas destinadas à produção, enquanto que na metade sul o número de municípios produtores é reduzido ou inexistente. Em princípio, a característica latifundiária presente no sul seria a mais interessante para a prática canavieira que, no entanto, cede lugar ao norte do Estado com pequenas e médias propriedades, em decorrência das condições edafoclimáticas mais favoráveis.

A história brasileira retrata o uso das grandes propriedades, nas regiões Nordeste e Sudeste, para implantação do modelo agrícola exportador de produtos do setor sucroalcooleiro. No caso do Rio Grande do Sul, a situação inverte-se uma vez que as áreas destinadas para a produção são as de menor dimensão em relação às maiores utilizadas para o pastoreio e outros cultivos. Pode-se assim dizer que a diferenciação climática combinada ao tipo de relevo mais abrupto e o destino da produção, bem como o diferencial no processo histórico de colonização são alguns fatores que vincularam o plantio da cana-de-açúcar à propriedade agrícola familiar gaúcha.

Esta situação fica clara quando Heidrich (2004) salienta que o sul apresenta características de campanha onde predomina a atividade pastoril e a concentração da propriedade fundiária coerentes com a dinâmica da estância que exige maiores extensões de terra e reduzida mão-de-obra. Já o norte define-se pela economia de base agrícola que evolui para o predomínio de pequenos e médios estabelecimentos com vínculos estreitos com a indústria. Deve-se ressaltar que o limite entre minifúndio e latifúndio varia de acordo com a região e, normalmente, as regiões da Campanha e da Fronteira Oeste, onde os solos são mais frágeis, necessita de áreas maiores para viabilizar a produção, conforme exposto no *site* da Secretaria do Planejamento e Gestão – RS (2007).

Assim, municípios com nenhum ou até 500 hectares de área plantada são os de maior número no estado. A partir de 500 até 1300 hectares estão distribuídos principalmente no Médio Alto Uruguai, Missões, região Central, Vale do Rio Pardo e Vale do Rio dos Sinos. Regiões que englobam os municípios com maior produção em hectares plantados, dos quais Roque Gonzáles, Porto Xavier e Iraí são os que possuem mais de 800 hectares para plantio, de acordo com o levantamento realizado em banco de dados do SIG utilizado.

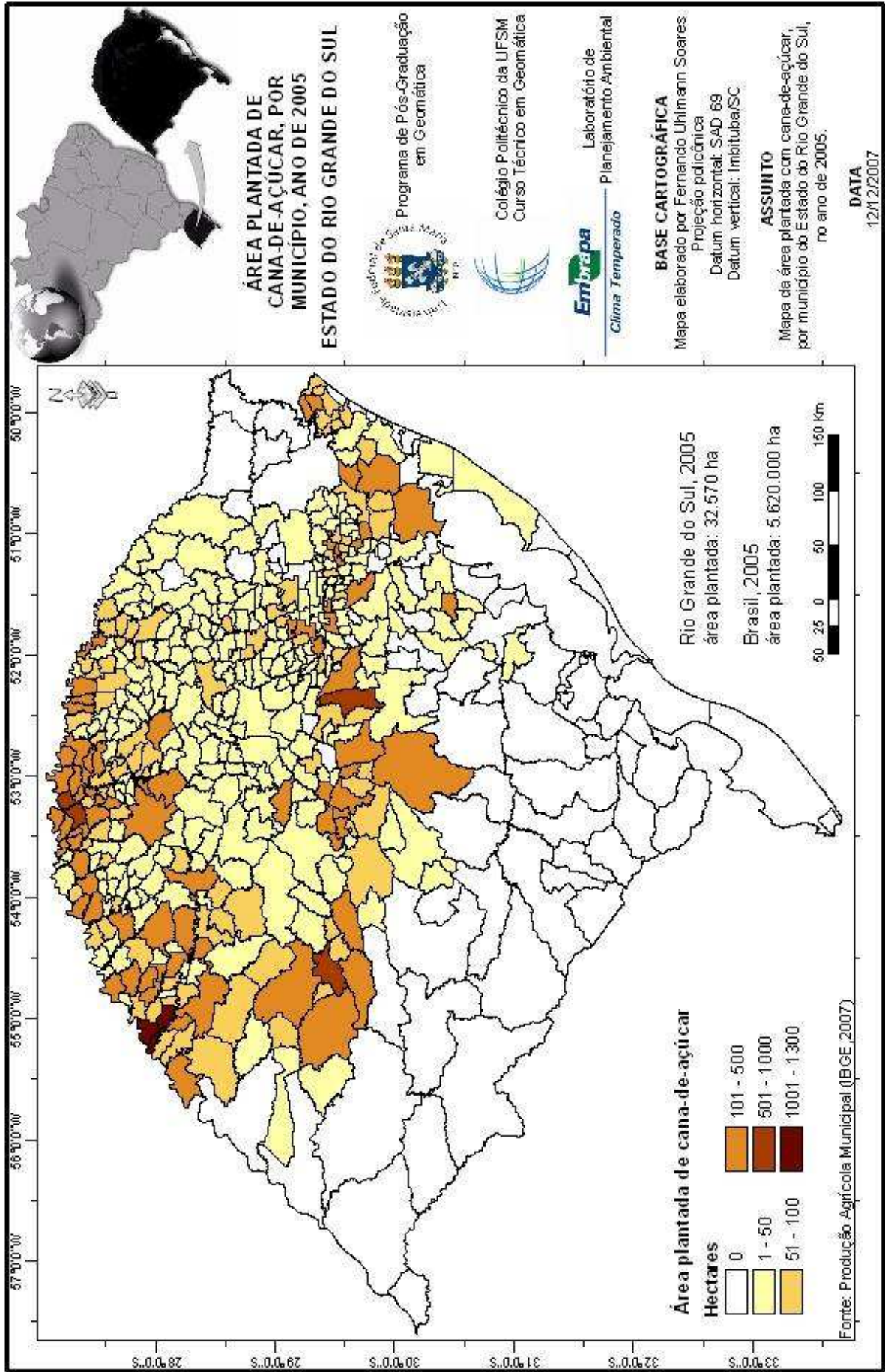


Figura 1 - Mapa da área plantada de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.

Seguindo a mesma linha de estudo, na Figura 2 é apresentado o mapa de produção de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 para o Estado do Rio Grande do Sul.

Ao considerar a produção em toneladas, é evidente a existência de um número expressivo de municípios com produção abaixo das 5.000 toneladas ou até mesmo sem produção, conforme é indicado no mapa. Verifica-se, ainda, que a porção sul do estado não possui representatividade, pois agrega o conjunto de maior número de municípios sem plantios de cana-de-açúcar, o que confirma os dados gerados na visualização da Figura 1.

As diferenças de tipos de solo e temperatura são essenciais na configuração espacial da produção, confirmando o aporte canavieiro na região norte em detrimento da sul. O desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar é prejudicado quando a temperatura é menor que 18°C ou 20°C, com ou sem irrigação, respectivamente (Wrege, 2004). Essa característica diferenciada faz com que os processos agroindustriais acabem se direcionando para as áreas que despontam no plantio de cana-de-açúcar.

No mapa é ainda possível verificar a enorme discrepância entre a produção nacional e a estadual onde esta representa em média apenas 0,21% do montante produzido no Brasil. Isso é plenamente justificável por não se tratar de uma cultura de cunho agroexportador, possuir produção vinculada às médias e pequenas propriedades e produtos de comercialização regional. Ainda, merece um destaque especial a caracterização climática diferenciada do sul do país, que ainda estuda uma série de cultivares com maior tolerância a geadas.

As Figuras 3 e 4 foram elaboradas utilizando-se os dados de área plantada e de produção das figuras 1 e 2, respectivamente. A Figura 3 refere-se à produtividade e a Figura 4 ao percentual de superfície com cana-de-açúcar plantada, em 2005, para o Rio Grande do Sul.

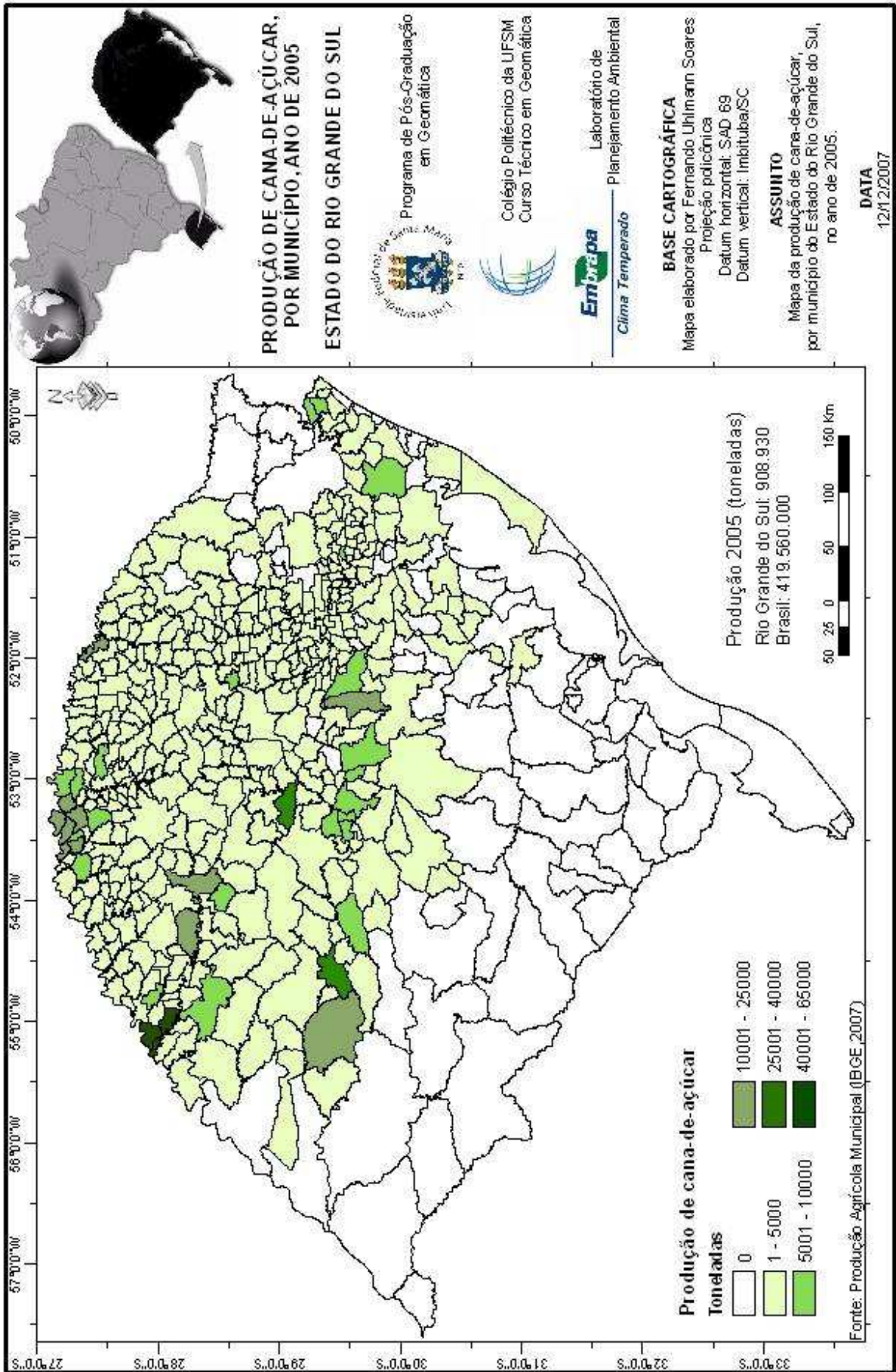


Figura 2 - Mapa da produção de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.

De acordo com a Figura 3, existe uma diferença notável de produtividade ao se comparar os contextos nacional e estadual. Enquanto o Brasil possui produtividade de 72,8 toneladas por hectare, a do Rio Grande do Sul fica bem abaixo, com 20,6 toneladas por hectare.

Observa-se que alguns dos melhores índices de produtividade estão nas regiões próximas aos empreendimentos usineiros, tais como a COOPERCANA de Porto Xavier, a Limana, na cidade de Jaguari, e o projeto da Norobios em São Luiz Gonzaga. No entanto, Salto do Jacuí e Camargo, em vermelho no mapa, são os únicos com rendimentos maiores que a média nacional, apesar de não se localizarem próximos aos principais empreendimentos.

Embora a cultura canvieira represente umas das principais produções brasileiras, para exportação posterior de açúcar e álcool, observa-se que a área usada para esta cultura ainda é incipiente tomando-se como parâmetro a extensão territorial nacional total que pode ser constatada na Figura 4.

Evidentemente, o valor nacional de 0,66% de área produtora tornar-se-ia mais significativo caso fossem retirados do estudo a área correspondente à região norte do país, por exemplo, ou a outras com produção pouco significativa ou inexistente. No entanto, em virtude de uma contínua expansão das áreas produtivas, optou-se por manter a relação com todo o território que poderia acrescentar, por exemplo, parte da região amazônica no processo produtivo.

Da mesma forma, o percentual de superfície plantada de 0,11% no Rio Grande do Sul, o que representa um total de 32.570ha, é proporcionalmente bem menor que o correspondente nacional de 0,66% com 5.620.000ha, de acordo com o IBGE (2007). No mesmo sentido e apesar da inexistência de produção na maior parte da porção sul do estado, optou-se por manter a área da mesma em função da possibilidade futura de expansão da produção para esta região. Ainda, constata-se que as áreas com maior percentual de superfície com cana-de-açúcar são aquelas nas quais existe projeto ou instalação de usinas para transformação imediata da matéria-prima.

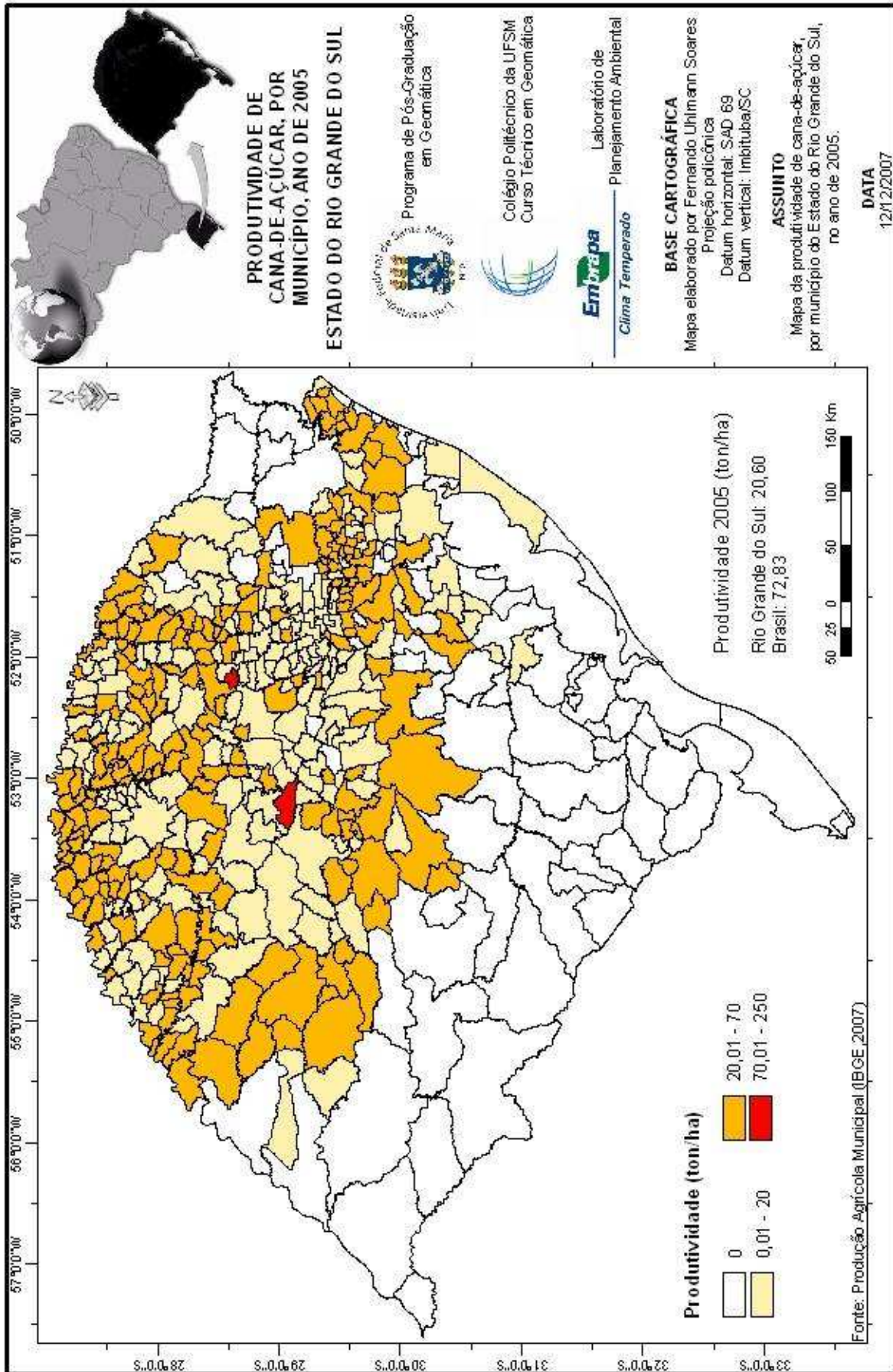


Figura 3 - Mapa da produtividade de cana-de-açúcar, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.

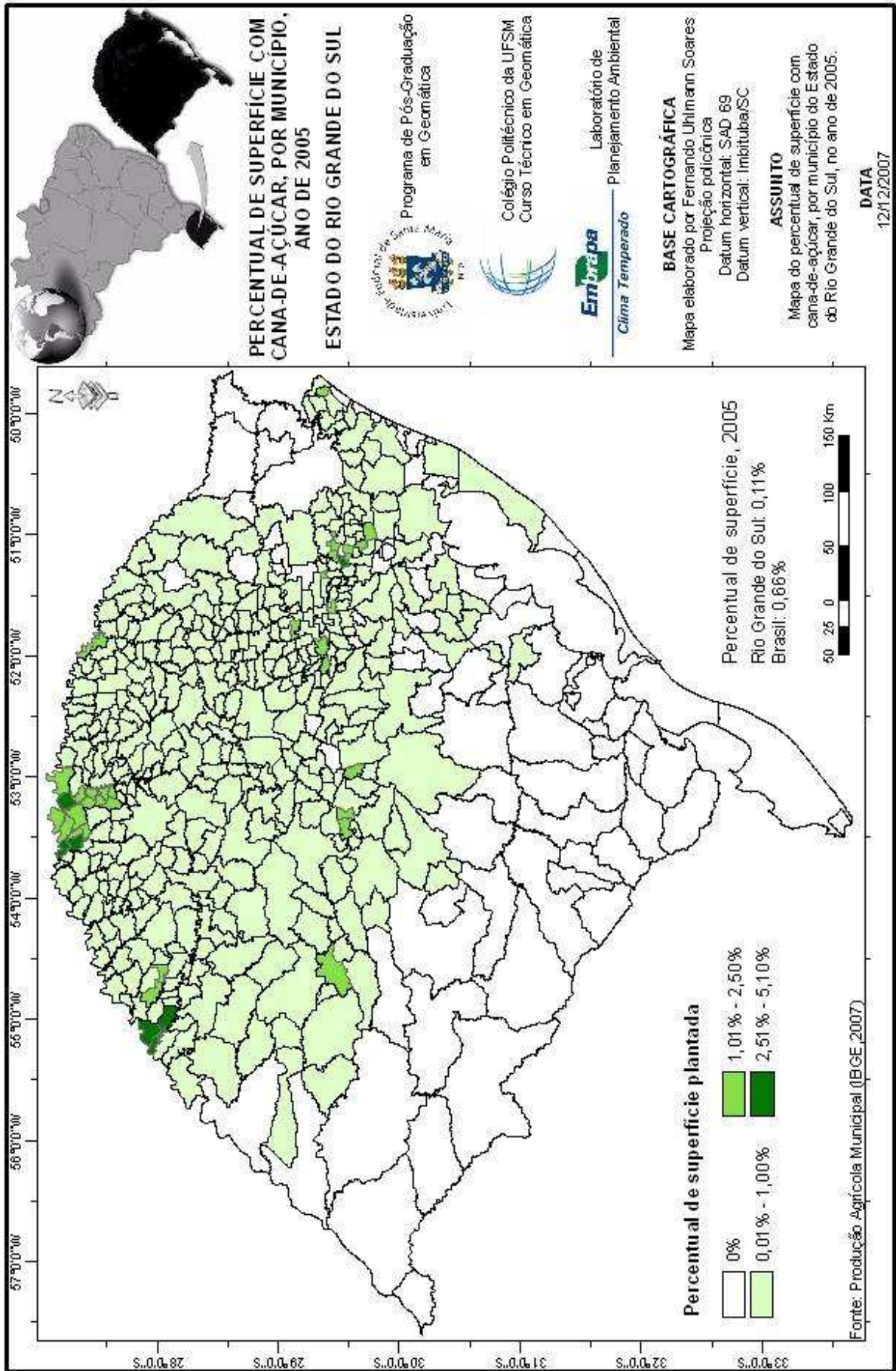


Figura 4 - Mapa do percentual de superfície canavieira, por município, no ano de 2005 no Rio Grande do Sul.

4 CONCLUSÃO

Os mapas elaborados possibilitaram verificar a discrepância na produção entre os municípios da porção norte, maiores produtores, e sul, com quantidade baixa ou produção inexistente, do Estado do Rio Grande do Sul.

A análise dos mapas permite verificar que os principais municípios com plantio, produção, produtividade e percentual de área plantada estão situados em regiões esparsas pelo Médio Alto Uruguai, Missões, Central, Vale do Rio Pardo e Vale do Rio dos Sinos, confirmando o estabelecimento da cultura na porção norte.

Os mapas temáticos formam uma base de dados importante, no confronto de informações para estudos futuros e planejamentos produtivos, sobre o desempenho das variáveis levantadas sobre a produção canavieira.

CAPÍTULO IV

ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO CANAVIEIRO

Existem vários tipos de zoneamentos, ou seja, planejamentos realizados para regular o uso e a ocupação do solo com a finalidade de otimizar a produção dos diversos gêneros agrícolas. Diversos aspectos, tais como: clima, solo, recursos hídricos, flora, fauna e aspectos sócio-econômicos podem ser levados em consideração no momento de se planejar plantios. Assim, fica evidente a sua importância para a conservação e proteção ambiental, bem como aumento da produção ou produtividade ao melhorar as formas de uso do solo e minimizar riscos relativos a eventos climáticos adversos.

O zoneamento agroclimático desenvolvido neste trabalho, tem como objetivo indicar quais são as melhores regiões para plantio de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul levando em consideração os riscos de geada. A indicação do local para plantio, através de datas de início e término de geadas, aumenta as chances das plantas terem atendidas as condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento. Ao mesmo tempo, possibilita conhecer os locais onde ocorrem condições climáticas adversas, contribuindo para que haja uma produção maior e mais estável ao longo dos anos nos locais de menores riscos.

Para tanto, dados climáticos de temperatura do ar em estações meteorológicas terrenas foram espacializados e integrados ao relevo regional para produzir mapas de risco de geada e de período ideal de plantio. Por fim, foi desenvolvido um estudo de caso para o município de Jaguari, destacando a importância da modelagem no contexto municipal.

1 ÁREA DE ESTUDO

No estudo foi considerado, na primeira etapa, um quadrante do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 5) correspondente à área de abrangência das estações meteorológicas de onde foram obtidos os dados climáticos. O polígono formado pelas estações de Alegrete, Júlio de Castilhos, Santa Maria, São Gabriel e Soledade serviu como delineador da área de estudo, estando compreendido em uma região de diferentes províncias geomorfológicas e que possui ao centro o município de Jaguari, área referente ao estudo de caso.

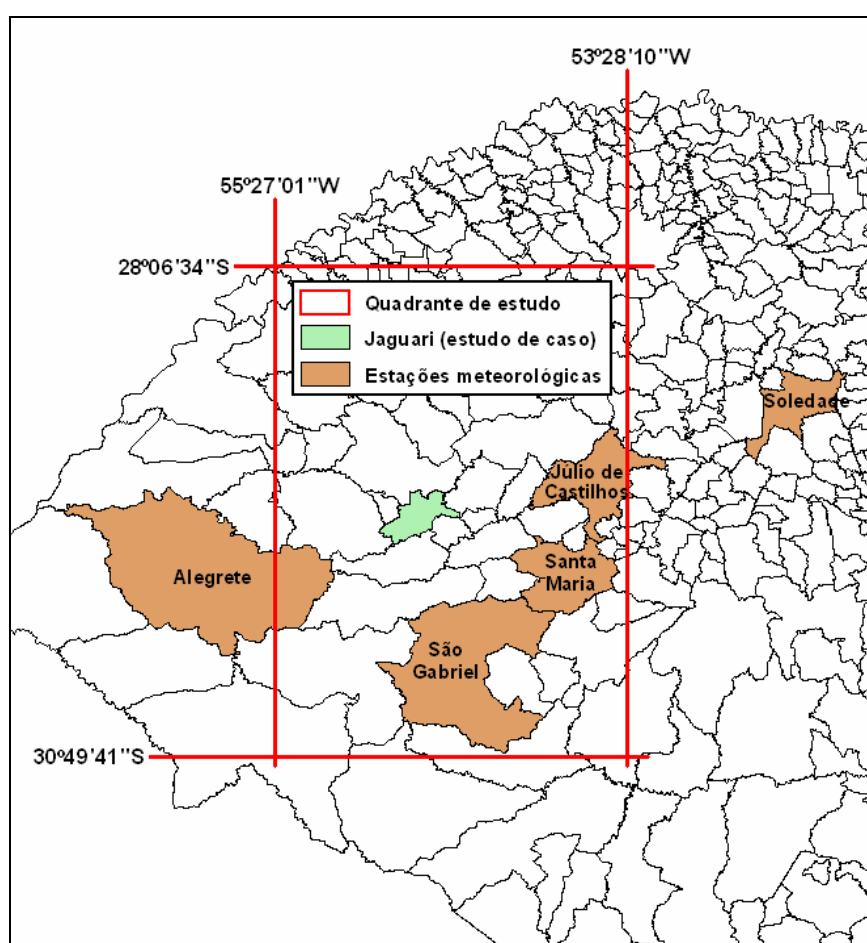


Figura 5 – Quadrante da área de estudo para o zoneamento da cana-de-açúcar.

A área de estudo abrange uma parte da depressão central do Rio Grande do Sul que Magnoli (2001) descreve com altitudes menores que as áreas ao redor, tais como o planalto meridional, com altitudes maiores e menores temperaturas, e as serras do sudeste, onde se encontram seqüências de morros arredondados. Ainda, uma pequena porção da área de campanha, com pequenas ondulações do relevo, também está presente no quadrante estudado.

A segunda etapa do estudo foi realizada levando-se em consideração o município de Jaguari que possui, conforme demonstrado no capítulo anterior, uma das maiores produções canavieiras e corresponde a um dos municípios com maior quantidade de área plantada. O município encontra-se na zona central de convergência dos dados das estações meteorológicas, além de possuir importante microdestilaria, a Limana, em processo de expansão da produção, o que justifica a ampliação das áreas de cultivo.

Jaguari conta com uma população de 11.626 habitantes, segundo dados censitários do IBGE (2007), e está localizado, de acordo com a FEE, no Conselho Regional de Desenvolvimento Central (COREDE Central). As principais lavouras permanentes do município são: uva, laranja e pêsego e, as temporárias de maior produção são: a cana-de-açúcar, arroz, soja e fumo. Tem como limites os municípios de São Vicente do Sul, Mata, Toropi, Jari, Santiago, Nova Esperança do Sul e São Francisco de Assis, todos produtores de cana-de-açúcar, embora com menor produção quantitativa.

Neste sentido, o estudo do zoneamento torna-se fundamental, pois pode indicar quais são as regiões de menor risco para a expansão da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram consideradas as informações, disponibilizadas pelo Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado, de temperaturas mínimas de abrigo de cinco estações meteorológicas da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro) e do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8ºDisme/Inmet). Para calcular o risco de geada, foram trabalhadas séries diárias de dados de 25 a 30 anos. Para tanto, Grodski et al. (1996) considera a ocorrência de geada, para superfície do solo, com a temperatura diária inferior a 3°C.

As estações meteorológicas inicialmente utilizadas foram as das cidades de Alegrete, Júlio de Castilhos, Santa Maria e São Gabriel devido à proximidade com o município de Jaguari. Os dados da estação meteorológica de Soledade foram inseridos em virtude da sua altitude, 720 metros, ser superior ao relevo trabalhado e possuir uma série de quase 20 anos de ocorrência de geadas, possibilitando extrapolar os dados até a maior altitude da região.

Dados relativos à localização das estações meteorológicas e aos períodos de levantamento das informações são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estações meteorológicas com coordenadas geográficas, altitude (m) e anos observados.

Estações meteorológicas	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (m)	Período de observação
Alegrete	29°46'47''	55°47'15''	96	1966-1986
Júlio de Castilhos	29°13'26''	53°40'45''	78	1956-1990
Santa Maria	29°41'25''	53°48'42''	153	1963-1990
São Gabriel	30°20'27''	54°19'01''	109	1963-1990
Soledade	29°03'14''	52°26'00''	720	1967-1990

A geada foi calculada usando a seguinte metodologia:

A partir da análise da série de dados de cada estação, atribuiu-se o valor “1” ao evento “ocorrência de geada” sempre que a temperatura do dia fosse inferior a 3°C. Caso contrário associou-se o valor “0” aos dias com inexistência de geada. Em seguida, buscaram-

se todas as primeiras e últimas datas de ocorrência de geadas para cada um dos anos registrados, transformando em uma coluna de primeira geada e outra de última geada.

Para tanto, trabalhou-se com probabilidades cumulativas de 5% e 95%, respectivamente. A data acumulada nos 5% de probabilidade em cada estação foi assumida como a primeira geada do ano, contando-se do início para o final do ano. Da mesma forma, a frequência acumulada em 5% de probabilidade foi determinante no estabelecimento da última geada dos anos analisados, considerados os cálculos do final para o início do ano.

As datas selecionadas foram transformadas para dias julianos estabelecidos de 1 a 365 ou até 366 em anos bissextos. Posteriormente, foram escolhidos o primeiro e o último dias de ocorrência da primeira geada e o primeiro e o último dia de ocorrência da última geada para, então, somente utilizar o primeiro e o último dia juliano do grupo de cada estação meteorológica a serem colocados nas equações de regressão.

Os dias de geada por estação foram correlacionados com as coordenadas geográficas das estações e suas altitudes, ajustando-se duas equações de regressão linear múltipla para estimar as ocorrências da primeira e da última geada para o quadrante no Rio Grande do Sul, conforme metodologia empregada por Wrege (2004).

Vale salientar que a regressão linear múltipla é um dos procedimentos mais utilizados, pois providencia uma relação funcional simples (linear) entre variáveis. A relação matemática é expressa pela seguinte equação: $Y = a + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_n * X_n$. Em que $b_1, b_2 \dots b_n$ são os coeficientes de regressão, ajustados a partir dos dados experimentais; Y a variável dependente e $X_1, X_2 \dots X_n$ são as variáveis independentes.

Para que as equações utilizassem os valores das variáveis independentes foram criadas duas grades regulares de coordenadas geográficas, denominadas de plano de informação de latitude e plano de informação de longitude, com arcos de 30' de resolução. Utilizou-se o modelo digital de elevação do terreno (DEM), (Figura 6), do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *United States Geological Survey* (USGS) com resolução espacial de 90 metros e precisão vertical de 30m, projeção geográfica e o *South American Datum 1969* (SAD69).

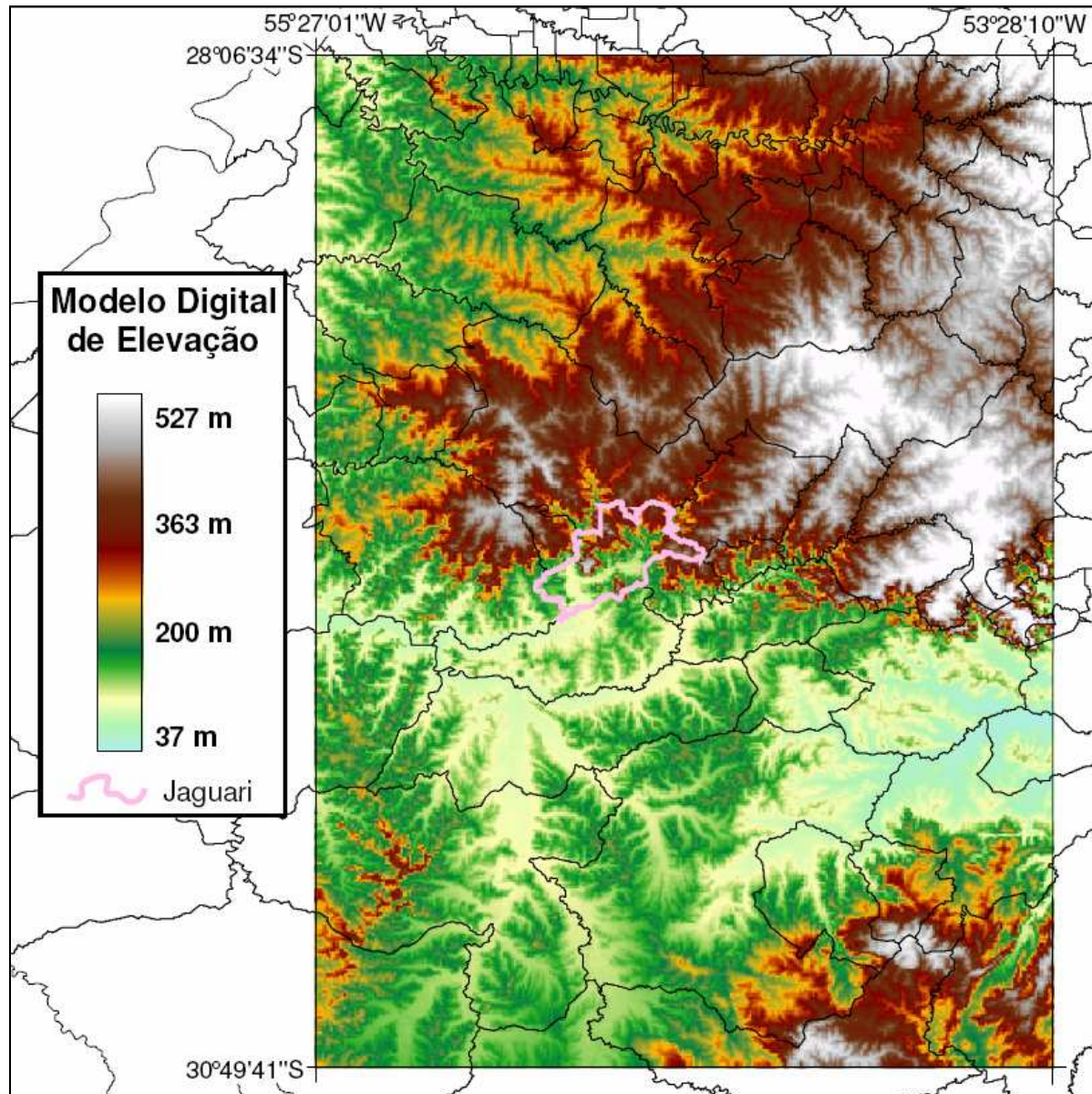


Figura 6 – Modelo Digital de Elevação do Terreno (DEM)

O quadrante recortado compreendeu a área além do município de Jaguari de modo que não extrapolasse os limites dos municípios com as estações meteorológicas. A partir do quadrante foram construídos dois outros com gradientes de latitude e longitude para serem utilizados posteriormente no modelo de regressão.

Assim, foram obtidas as três grades independentes para a entrada dos valores das variáveis, todas reunidas em uma mesma categoria, que serviram para a interpolação dos dados gerados pelas equações de regressão. Essa equação foi realizada com ferramenta própria do aplicativo ArcGIS 9.2, conhecida como *Raster Calculator*, criando-se planos de informações numéricas contendo a grade com os valores de risco de geadas e planos de informação vetoriais com as isolinhas de risco de geada.

Para apresentar os valores situados apenas no município de Jaguari recorreu-se ao uso da ferramenta *Data Frame* do mesmo programa. Assim, foi possível transformá-lo em um novo plano de informação e gerar os mapas para melhor visualização dos dias do ano de ocorrências de primeira e última geada para as diversas áreas municipais.

Na Tabela 3 são apresentadas as datas das primeiras e últimas geadas utilizadas para obter as equações de regressão linear múltipla. Compreende também os números de dias no ano passíveis de ocorrência de geadas para as regiões de cada estação meteorológica.

Tabela 3 - Estações meteorológicas com as datas prováveis de primeira e última geadas e, número de dias com risco de geada.

Estações meteorológicas	Primeira Geada	Última Geada	Dias/ano passivo de geada
Alegrete	01/05	05/10	157
Júlio de Castilhos	01/05	28/10	180
Santa Maria	17/04	20/09	156
São Gabriel	24/04	30/09	159
Soledade	26/04	23/10	180

Assim, as regressões foram elaboradas utilizando-se além das datas das últimas e primeiras geadas, as coordenadas geográficas e a altitude das estações (Tabela 2).

Para Gemael (1994) deve importar, desde que sem comprometer a precisão, a elaboração de modelos matemáticos tão simples quanto possível haja vista a sua adequação aos processos de cálculo. Assim, as equações obtidas seguiram o modelo, ao nível de 5% de probabilidade, $\gamma = \alpha + (\beta_0 \cdot \delta_0) + (\beta_1 \cdot \delta_1) + (\beta_2 \cdot \delta_2)$, onde:

γ : plano de informação de primeira ou última geadas.

α : valor constante para primeira ou última geadas.

β_0 , β_1 e β_2 : valores dos coeficientes da equação de regressão.

δ_0 e δ_1 : coordenadas geográficas de latitude e longitude, respectivamente.

δ_2 : valor de altitude, em metros, do modelo digital de elevação.

Na Tabela 4 e 5 estão representadas as regressões lineares e os valores dos coeficientes, para estimarem prováveis datas de primeira e última geada, nas diferentes estações meteorológicas em função do risco de geada. Podem ser utilizadas, conforme interesse do usuário, para gerar datas de geada com outros níveis de probabilidade de 1% a 100%.

Tabela 4 - Parâmetros finais da equação de regressão e datas de primeira (PG) e última (UG) geadas de acordo com o calendário Juliano.

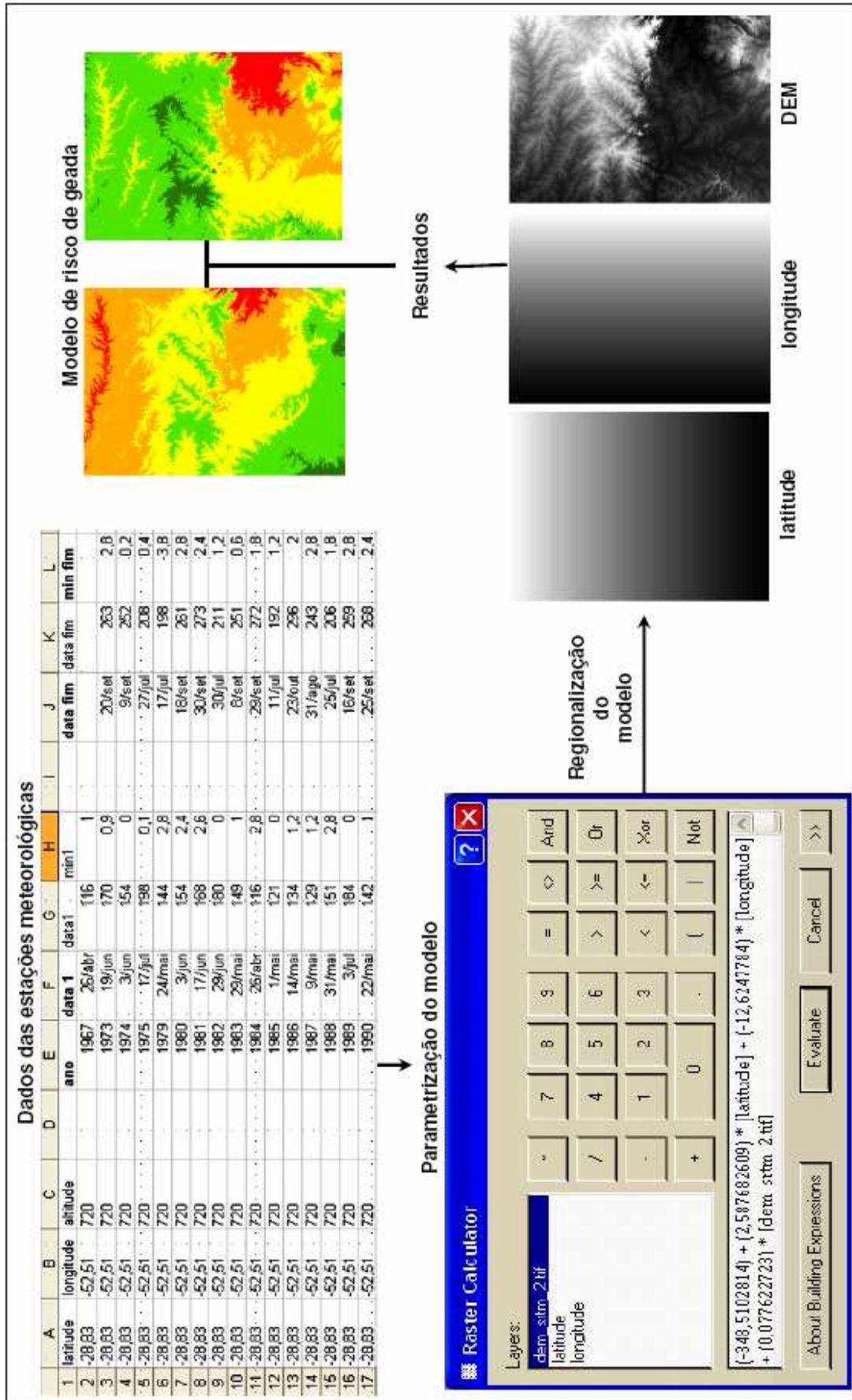
Estações meteorológicas	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (m)	Primeira Geada (PG)	Última Geada (UG)
Alegrete	29.78	55.78	96	128	278
Soledade	28.83	52.51	720	116	296
Júlio de Castilhos	29.12	56.55	78	121	301
Santa Maria	29.69	53.81	153	107	263
São Gabriel	30.34	54.32	109	114	273

Tabela 5 – Valores dos coeficientes da equação de regressão e os coeficientes de determinação (r^2) para primeira e última geadas.

γ	α	β_0	β_1	β_2	r^2
PG	-851.388	-12.5617	-10.6796	0.061888	0.895465
UG	-348.51	2.587683	-12.6248	0.077623	0.869474

Assim, através de ferramenta própria do aplicativo ArcGIS 9.2, conhecida como *Raster Calculator*, foi gerado os planos de informação numéricos, contendo a grade com os valores de risco de geadas, e planos de informações vetoriais, contendo as isolinhas de risco de geada.

No Quadro 1 é apresentado um diagrama com os processos de parametrização e regionalização para a geração do modelo de risco de geada. O diagrama representa, esquematicamente, as etapas realizadas para que fosse obtido o modelo de risco para primeira e última geadas.



Quadro 1 – Diagrama demonstrativo do processo de geração do modelo de risco de geada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 é apresentado o mapa da região do Estado do Rio Grande do Sul com as datas prováveis de ocorrência da última geada do ano, o que corresponde à data do início do plantio. Na Figura 8 são apresentadas as datas da primeira geada do ano, condizentes com o período de começo da colheita de cana-de-açúcar.

Tendo a temperatura correlação inversa com a altitude (coeficiente de determinação da equação de regressão, r^2 , elevado), as regiões mais frias acabam correspondendo às regiões mais elevadas. Isso é demonstrado nos dois mapas quando se verifica a ocorrência da primeira geada em abril e a última em outubro, onde as áreas com maiores elevações de terreno terão menor período para desenvolvimento das culturas, por apresentarem maior período por ano com possibilidade de geadas. Assim, um período mais restrito para o plantio exigirá maior rigor para planejamento dos cultivos.

Na Figura 9 é apresentado o mapa do número de dias, em um ano, sem risco de geada, isto é, a quantidade de dias ao longo do ano que não representa risco para a produção canavieira. A Figura 10 abrange o número de dias do ano com risco de ocorrência de geada para cada um dos municípios abrangidos na área de estudo. Trata-se de mapas que complementam as informações obtidas nos dois primeiros mapas, onde evidenciam a possibilidade de risco, em dias do ano, ao introduzir a cultura de cana-de-açúcar.

Deve-se salientar que os municípios da porção sul do estado, onde a produção da cana-de-açúcar praticamente inexistente, estão compreendidos nas áreas onde o risco de geada para o quadrante é menor. No entanto, deve-se levar em consideração que a altitude do terreno está intimamente vinculada ao estabelecimento das áreas de risco e, num primeiro momento, parece distanciar-se de uma maior correspondência com as maiores latitudes da porção sul.

Na Figura 11 é detalhado o mapa de ocorrência da primeira geada para o município de Jaguari, cidade escolhida para o estudo de caso. Na Figura 12 é apresentado o mapa de zoneamento para a última geada do município. Nos dois mapas são detalhadas as coordenadas geográficas para que sirva de suporte à gestão quando confrontadas com os locais de plantios já existentes ou de propriedades com interesse no plantio canavieiro. Indiferentemente do tamanho da estrutura fundiária a ser cultivada, fica a possibilidade de se adequar as melhores áreas. Vale ressaltar que o município se encontra em posição privilegiada quanto à aptidão climática para ampliar seus cultivos de acordo com o zoneamento estabelecido, uma vez que existe a possibilidade de produzir cana-de-açúcar em mais da metade do ano.

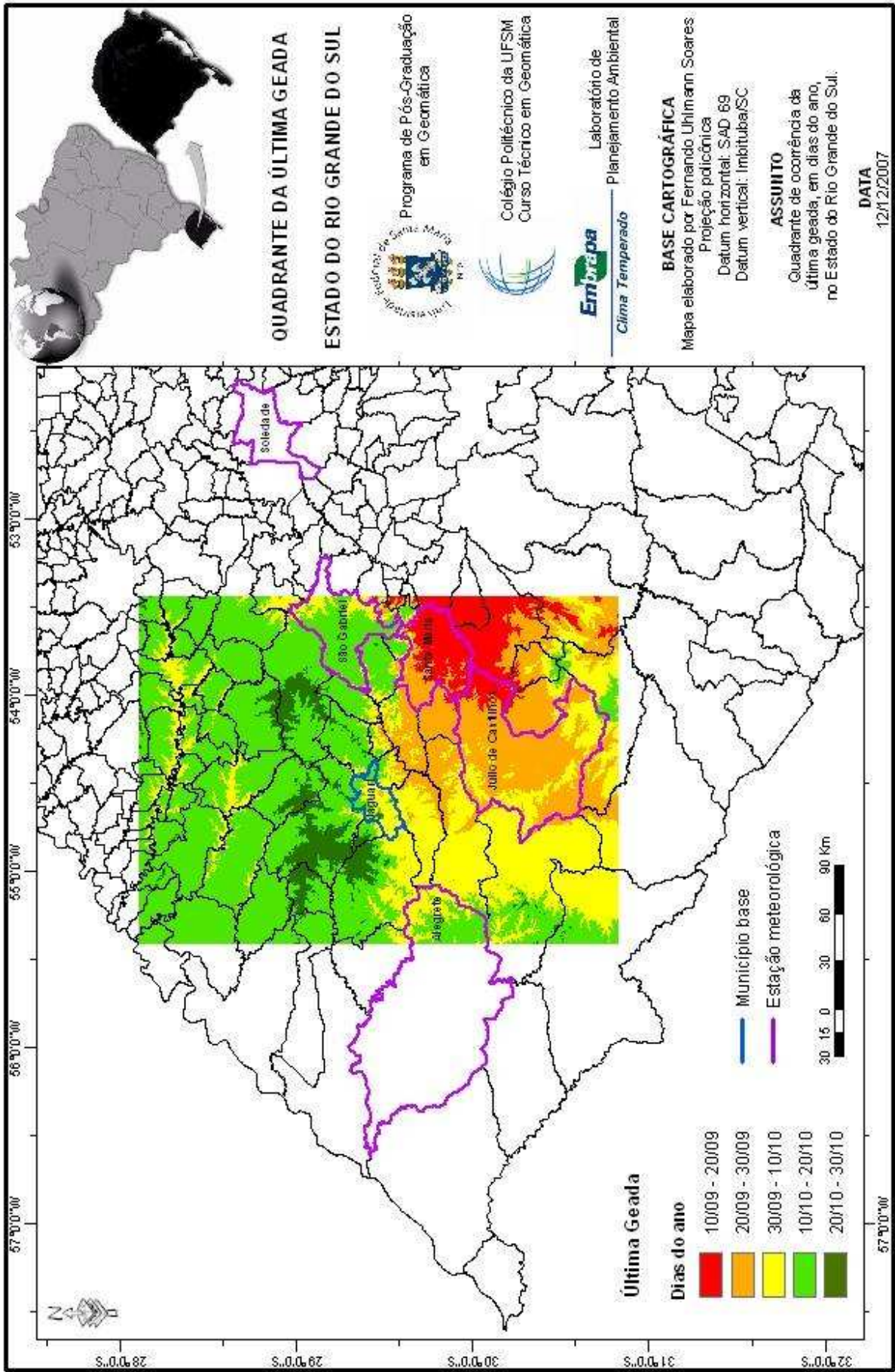


Figura 7 - Mapa da região de abrangência do município de Jaguarí/RS com data da última geada.

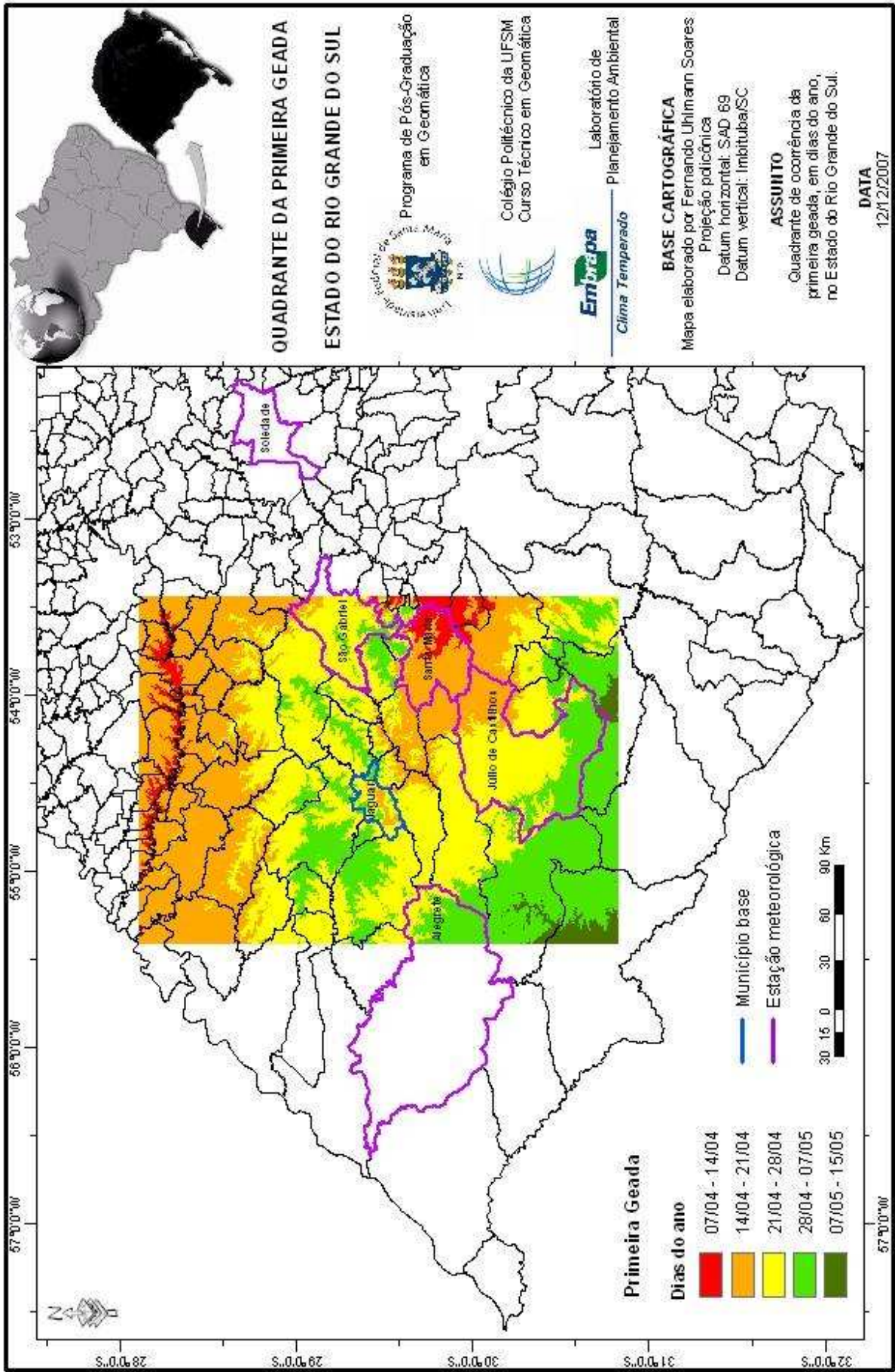


Figura 8 - Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com data da primeira geada.

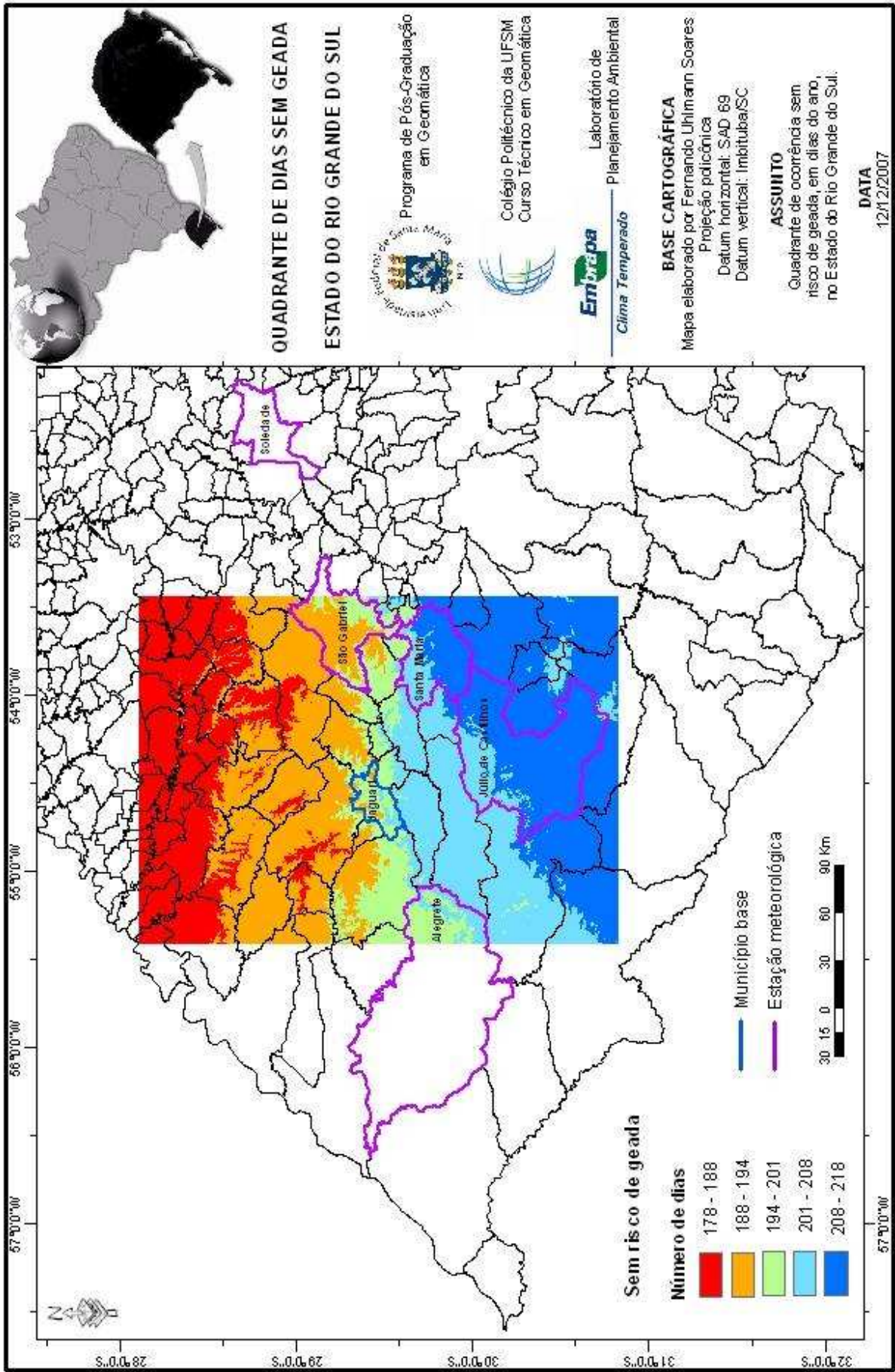


Figura 9 - Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com número de dias sem risco de geada.

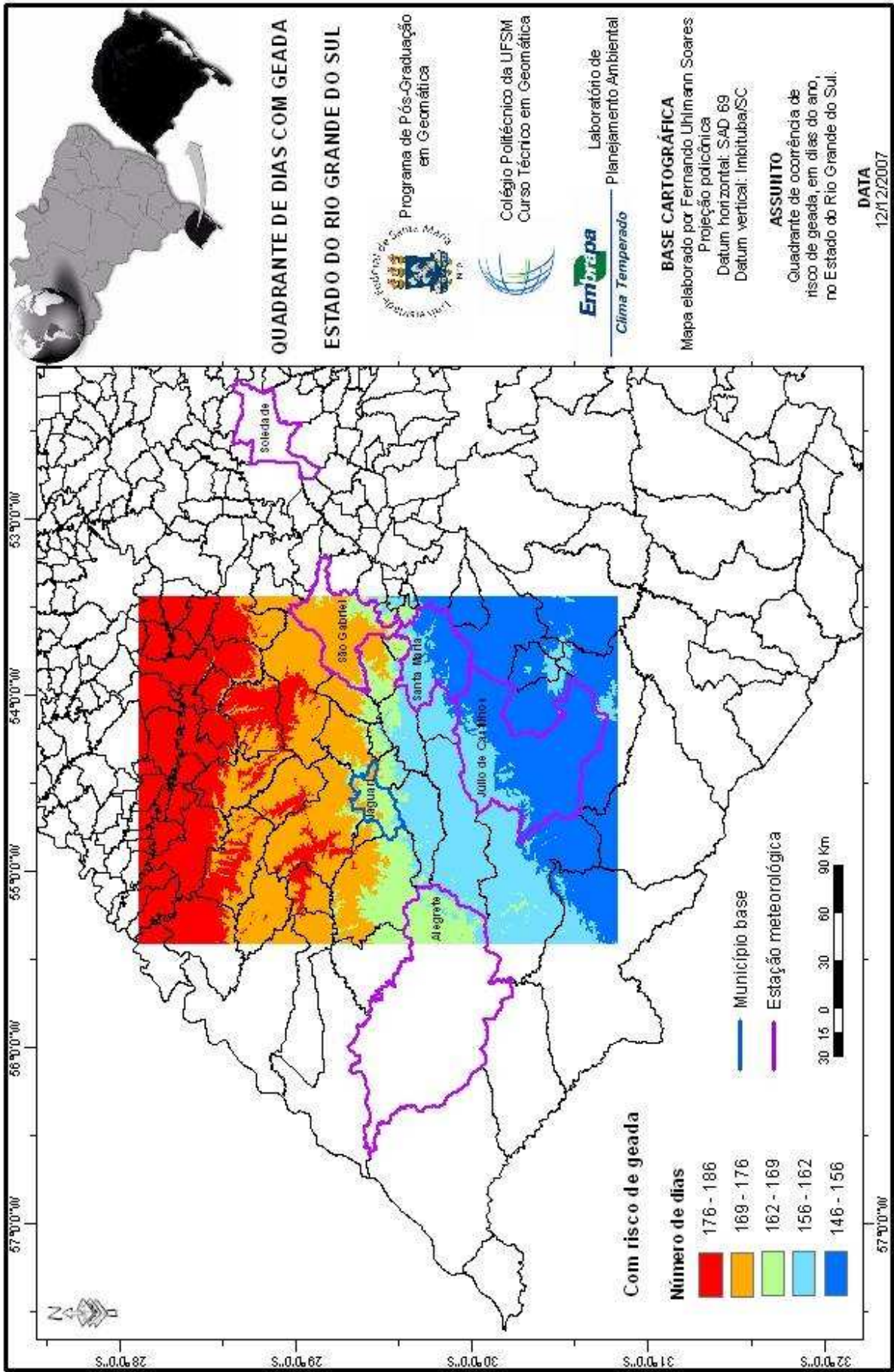


Figura 10 - Mapa da região de abrangência do município de Jaguari/RS com número de dias com risco de geada.

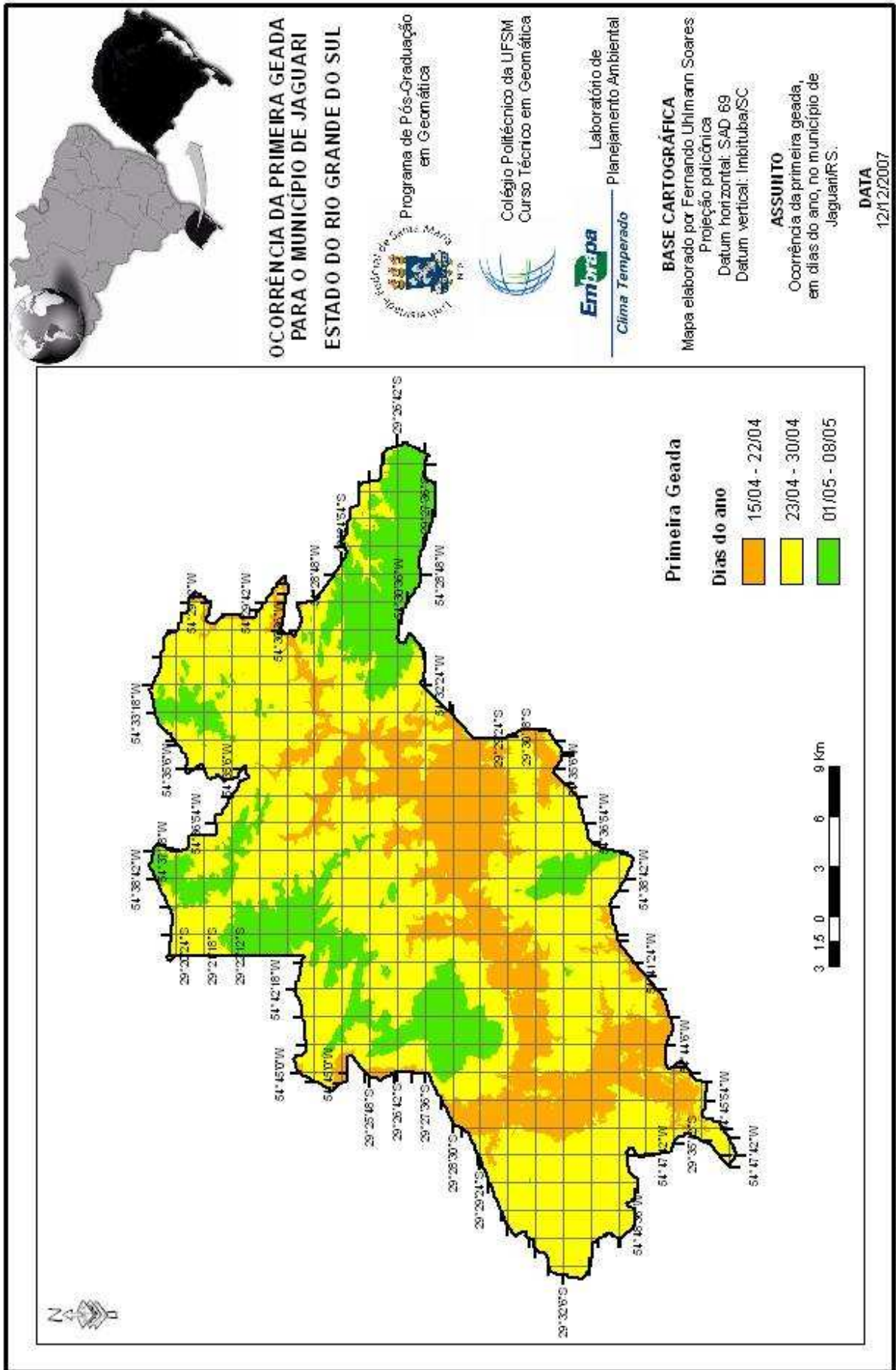


Figura 11 - Mapa de ocorrência da primeira geada para o município de Jaguari.

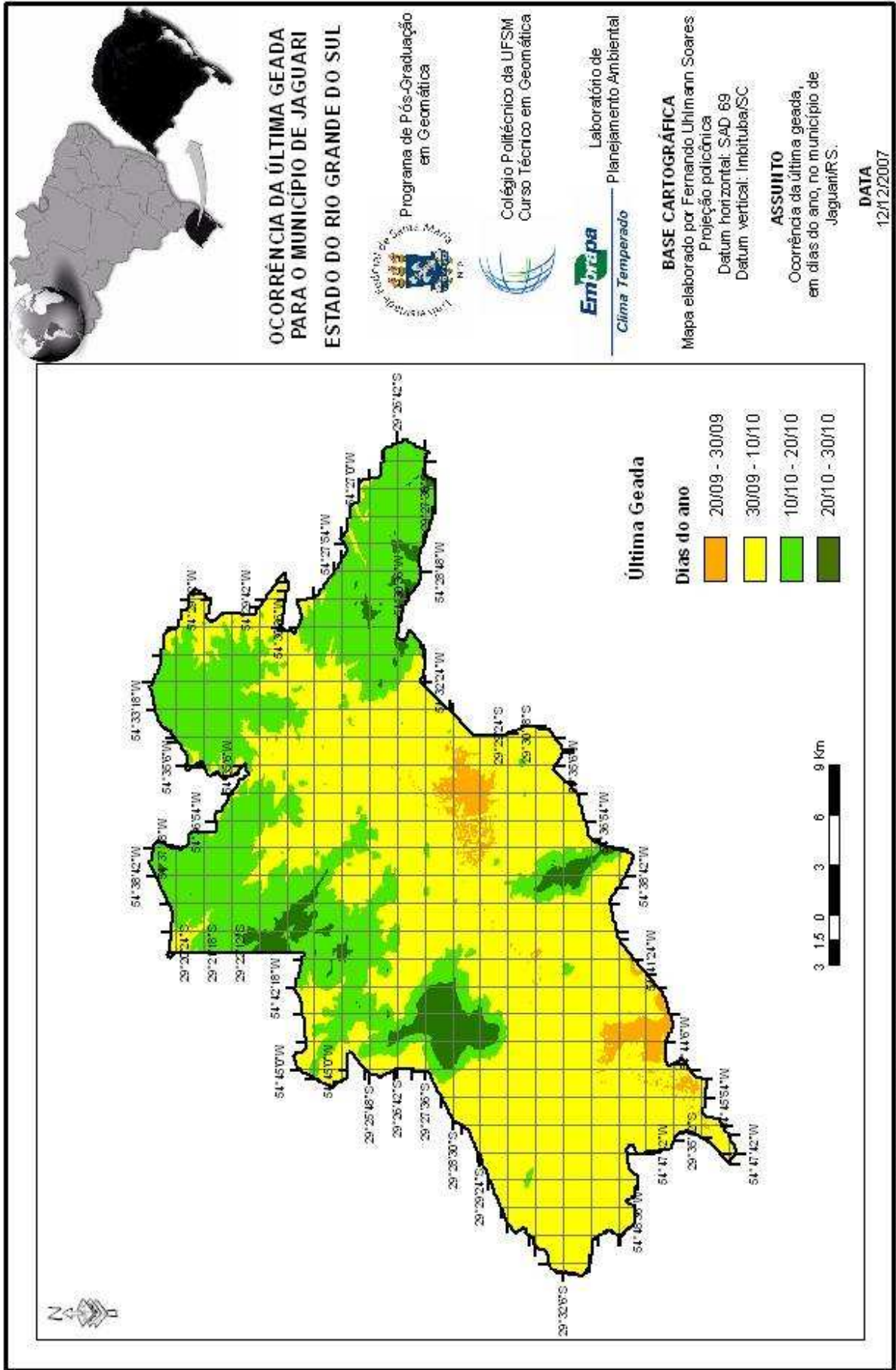


Figura 12 - Mapa de ocorrência da última geada para o município de Jaguari.

4 CONCLUSÃO

A identificação da distribuição do risco de geadas pode auxiliar na definição das regiões para plantio da cultura canavieira, separando as áreas de maior risco das de menor. Conhecendo esse fator, pode-se programar o plantio para que a maturação fisiológica se complete anteriormente ao período de risco evitando perdas de produção.

Os mapas elaborados possibilitaram a análise espacial da informação, permitindo avaliar as áreas mais adequadas para a produção de cana-de-açúcar em parte do Estado do Rio Grande do Sul.

Mais especificamente em relação ao município de Jaguari, área correspondente ao estudo de caso, observa-se que existe grande potencial de expansão da canavicultura. Isso se deve ao fato de que o município não está inserido nas regiões de maiores riscos de geada.

Como se trata da cidade com maior produção de cana-de-açúcar que as áreas vizinhas, verifica-se a possibilidade de estender seus plantios às regiões limítrofes mais favoráveis, onde é possível o cultivo em mais de meio ano.

CAPÍTULO V

ANÁLISE DO USO DA TERRA EM JAGUARI/RS

O município de Jaguari, banhado pelo rio Jaguari, afluente do rio Ibicuí, é conhecido como a “Cidade das Belezas Naturais”. Na economia jaguariense, baseada no setor primário, destacam-se a produção de fumo, soja, arroz, uva e cana, sendo o município um dos principais produtores de cana-de-açúcar do Estado do Rio Grande do Sul.

Na atividade rural, as imagens de satélites possibilitam inúmeros levantamentos para o conhecimento da realidade espacial dos lugares. Para que se possa estruturar e viabilizar planejamento e políticas agrícolas eficientes, existe a necessidade de informações confiáveis e atualizadas referentes ao uso atual e ocupação da terra.

O uso adequado da terra, visando sua proteção e ao aumento gradativo da sua capacidade produtiva, requer sempre um planejamento inicial, efetivo e eficiente. As imagens de satélites oferecem uma visão clara, abrangente e atual do uso da terra, pois seus modernos sistemas de sensores permitem que, com o uso de programas para o tratamento e processamento das imagens, sejam obtidas análises precisas do fenômeno de interesse.

Para tanto, o uso de imagens de sensores orbitais como o CCD/CBERS torna-se ferramenta estratégica por permitir a obtenção de informações temáticas com menor custo e menor subjetividade, quando comparado a métodos convencionais.

Assim, através de imagem CCD/CBERS-2, o presente estudo busca avaliar o uso da terra para o município de Jaguari/RS, procurando identificar, prioritariamente, os plantios de cana-de-açúcar na região e ser fonte de informações para auxiliar em análises futuras dos processos de mudanças no uso e na cobertura do solo.

1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Jaguari (Figura 13), situa-se no Estado do Rio Grande do Sul e representa a área de estudo de caso do presente trabalho. Tem sua sede localizada nas coordenadas geográficas de latitude $29^{\circ}29'49''\text{S}$ e longitude $54^{\circ}41'24''\text{W}$ e está a uma altitude média de 112 metros.

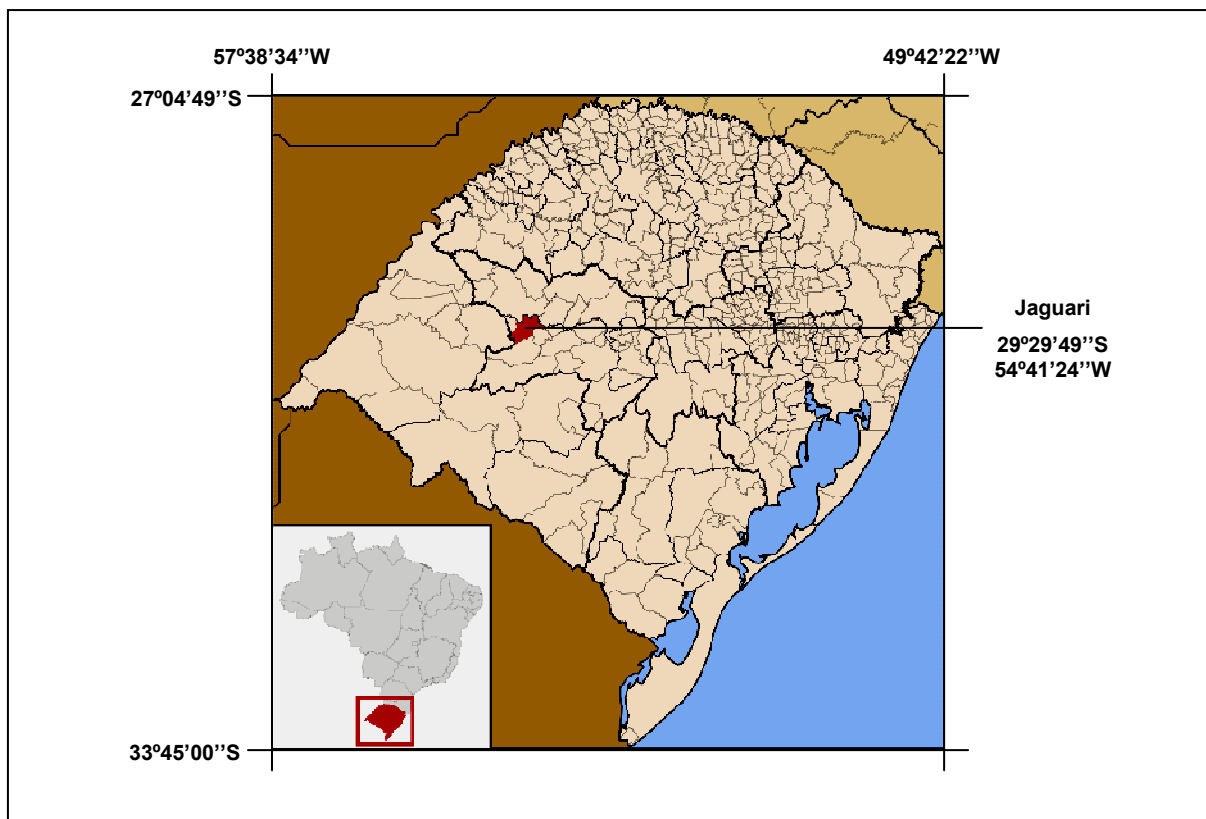


Figura 13: Localização do município de Jaguari/RS
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Jaguari>

A contagem da população, em 2007, estimada pelo IBGE (2007), confere ao município 11.626 habitantes e área de 673km^2 . Jaguari foi escolhida para a pesquisa por ser uma das cidades de maior importância agrícola em relação à produção de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foi selecionada uma cena CBERS-2, sensor CCD, com data de 01/12/2006 e órbita/ponto: 161/133. Esta imagem foi suficiente para cobrir todo o município de Jaguari, além de ser um produto sem cobertura de nuvens ou ruídos e tratar-se de um período representativo no desenvolvimento da planta, com boa resposta espectral de seu dossel. Optou-se pelo uso da imagem CBERS devido à quantidade de cenas disponibilizadas no banco de dados do INPE, bem como nenhum custo para aquisição e a viabilidade técnica em proceder à classificação do sensor.

Na etapa de pré-processamento foi necessário proceder a reprojeção da imagem CBERS para o sistema de coordenadas geográficas e datum horizontal SAD69 através do programa computacional ERDAS 9.1. Posteriormente, a correção geométrica da cena foi realizada a partir de registro imagem-imagem entre a CBERS e uma LANDSAT já georreferenciada, utilizando-se o ArcGIS 9.2.

Para a realização da classificação supervisionada, foram coletadas, com receptor GPS de navegação, amostras de treinamento baseadas no reconhecimento de campo. Foram definidas áreas irregulares localizadas sobre os seguintes temas: cana-de-açúcar, mata nativa, culturas diversas, solo exposto e corpos d'água.

A saída de campo foi realizada no mês correspondente ao da imagem trabalhada, em dezembro de 2007, a fim de facilitar a localização das áreas produtoras e confirmar se o dossel da cultura não traria confusão quando da análise espectral. Foram selecionados as 10 maiores áreas já possuidoras de cana-de-açúcar na data de aquisição da imagem, dezembro de 2006, e coletados vários outros pontos relativos à mata nativa e culturas diversas.

As áreas de cobertura vegetal e das classes em geral foram obtidas através da composição falsa-cor com o uso das bandas 4 (Infravermelho), 3 (Vermelho) e 2 (Verde) do sensor CCD instalado na plataforma CBERS-2. O SIG ArcGIS 9.2 foi o aplicativo utilizado na elaboração final da carta-imagem e do mapa de uso e cobertura da terra.

Procedeu-se a classificação por meio do algoritmo de classificação automática *pixel a pixel* Maxver, denominado “*Maximum Likelihood Parameters*”, no ENVI 4.2. Para Soares (2005), o classificador por Máxima Verossimilhança é a técnica de classificação supervisionada mais popular para tratamento de dados de satélites. Este classificador computa as probabilidades de um determinado *pixel* pertencer a cada uma das classes, associando-o em seguida a qual *pixel* possui maior probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 14 é apresentada a carta-imagem do município de Jaguari no Estado do Rio Grande do Sul. A mesma composição falsa-cor que lhe deu origem, 432, foi utilizada para proceder à classificação digital do município, mostrada na Figura 15.

Pela estatística da classificação supervisionada Maxver, obteve-se uma exatidão total de quase 95%. O índice kappa foi de 0,9268 o que significa o quão legítimas as interpretações são, já que se trata de uma medida de concordância usada em escalas nominais que fornece uma idéia do quanto as observações se afastam daquelas esperadas.

A classe denominada “culturas diversas” foi a que apresentou maior confusão, com 22,75% de omissão, pois tem resposta espectral semelhante às demais classes por agrupar diversos cultivos. Já para a classe “cana-de-açúcar” o percentual de omissão ficou estabelecido em aceitáveis 3,85%.

O estudo do uso e cobertura da terra mostra que o cultivo de cana-de-açúcar é significativo, embora as classes de mata nativa e culturas diversas compreendam as maiores áreas. Nesse sentido procedeu-se a vetorização das áreas produtoras de cana-de-açúcar e averiguou-se que o município conta, segundo a classificação da imagem, com aproximadamente 1000ha de plantios. Este valor corresponde, quase que fielmente, ao dado de 900ha de área plantada divulgado pelo IBGE, confirmando a confiabilidade da classificação digital realizada.

A Figura 16, representativa do mapa da distribuição canavieira junto à ocorrência de última geada para Jaguari, amplia as informações já fornecidas pelos mapas de zoneamento (Figura 12) e de classificação (Figura 15). Confirma, também, que a estrutura fundiária de quase a totalidade das propriedades é de pequenas e médias unidades agrárias que variam, de acordo com seus proprietários, em até 10 hectares aproximadamente.

Por fim, os maiores agrupamentos de círculos vermelhos, obtidos a partir da vetorização das áreas de cana-de-açúcar, correspondem às propriedades com maiores áreas produtoras. Foi escolhido o mapa de zoneamento de última geada (Figura 12) para confronto das informações por este representar as possíveis datas de início de plantios que podem sugerir um melhor uso, desde que possível, das áreas onde as geadas terminam mais cedo.

Por fim, a matriz de confusão que estabeleceu a confiança na classificação da imagem, pode ser analisada nos seus diversos critérios de acordo com os dados a seguir.

Tabela 6 – Matriz de confusão da classificação supervisionada do município de Jaguari/RS.

Matriz de Confusão: D:\dissertacao\ROIs\maxver						
Acurácia Geral = 94.7062% (7478/7896),						
Coefficiente Kappa = 0.9268						
Verdade Terrestre (Pixels)						
Classe	Cana	Água	Mata	Solo	Culturas	Total
Sem classe	0	0	0	0	0	0
Cana	3371	0	0	0	0	3371
Água	0	1121	0	0	248	1369
Mata	0	0	1534	0	0	1534
Solo	0	0	4	610	0	614
Culturas	135	31	0	0	842	1008
Total	3506	1152	1538	610	1090	7896
Verdade Terrestre (%)						
Classe	Cana	Água	Mata	Solo	Culturas	Total
Sem classe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cana	96.15	0.00	0.00	0.00	0.00	42.69
Água	0.00	97.31	0.00	0.00	22.75	17.34
Mata	0.00	0.00	99.74	0.00	0.00	19.43
Solo	0.00	0.00	0.26	100.00	0.00	7.78
Culturas	3.85	2.69	0.00	0.00	77.25	12.77
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Classe	Comissão (%)	Omissão (%)	Comissão (Pixels)	Omissão (Pixels)		
Cana	0.00	3.85	0/3371	135/3506		
Água	18.12	2.69	248/1369	31/1152		
Mata	0.00	0.26	0/1534	4/1538		
Solo	0.65	0.00	4/614	0/610		
Culturas	16.47	22.75	166/1008	248/1090		
Classe	Prod. Acc. (%)	User Acc. (%)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)		
Cana	96.15	100.00	3371/3506	3371/3371		
Água	97.31	81.88	1121/1152	1121/1369		
Mata	99.74	100.00	1534/1538	1534/1534		
Solo	100.00	99.35	610/610	610/614		
Culturas	77.25	83.53	842/1090	842/1008		

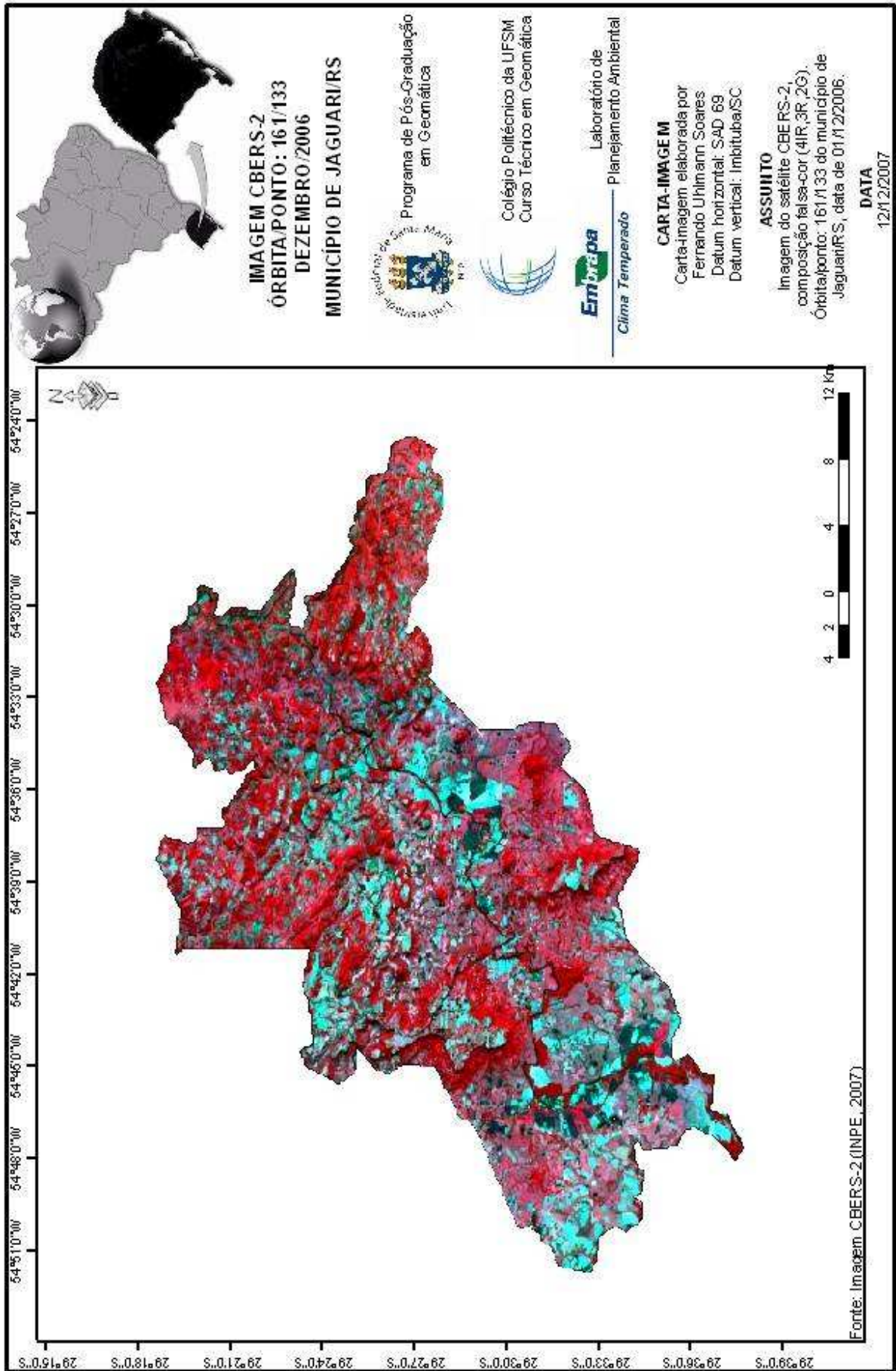


Figura 14 - Carta-imagem do município de Jaguari/RS a partir de composição falsa-cor 432 do sensor CCD do satélite CBERS-2.

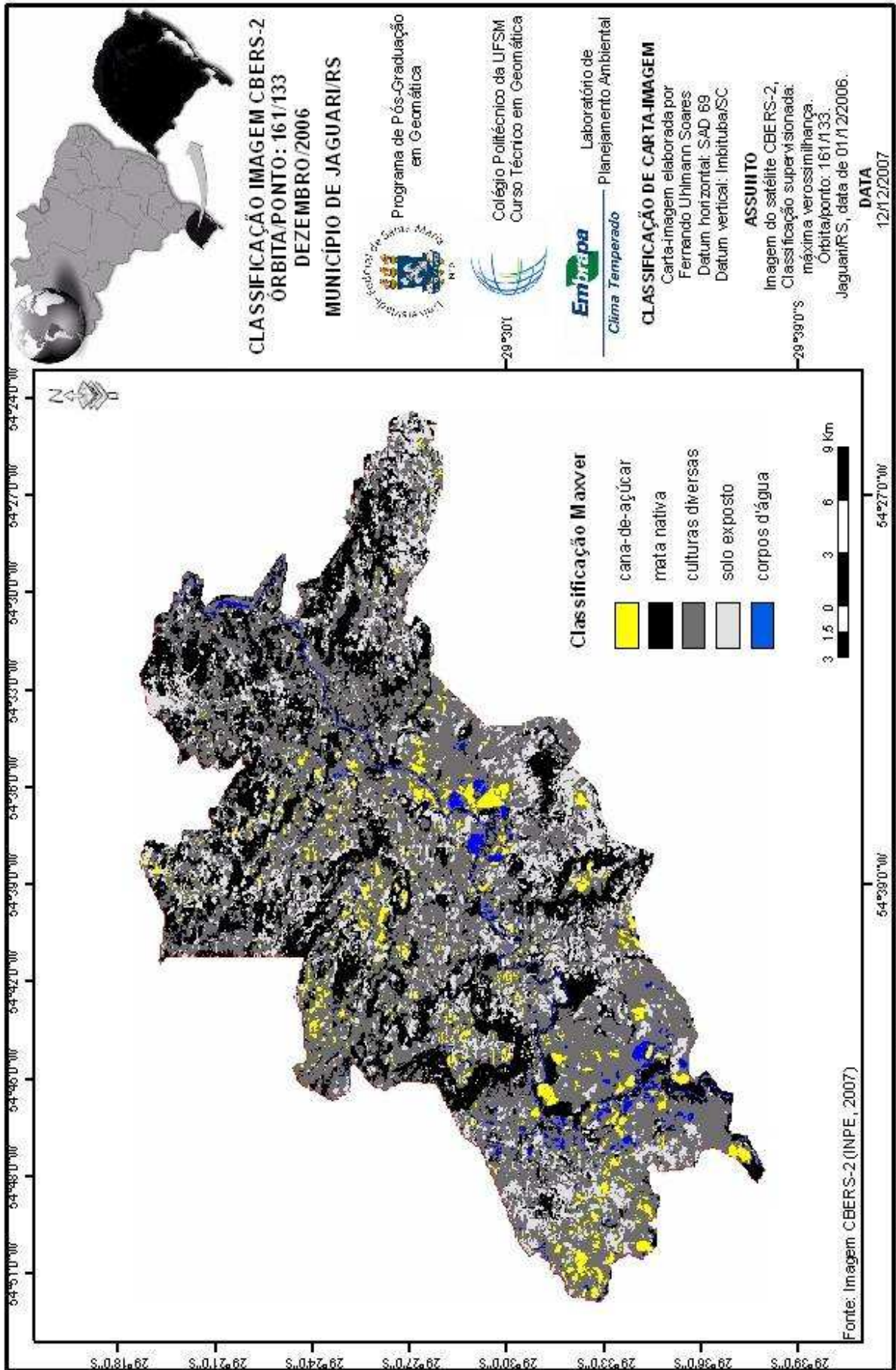


Figura 15 - Mapa da classificação supervisionada do município de Jaguari/RS.

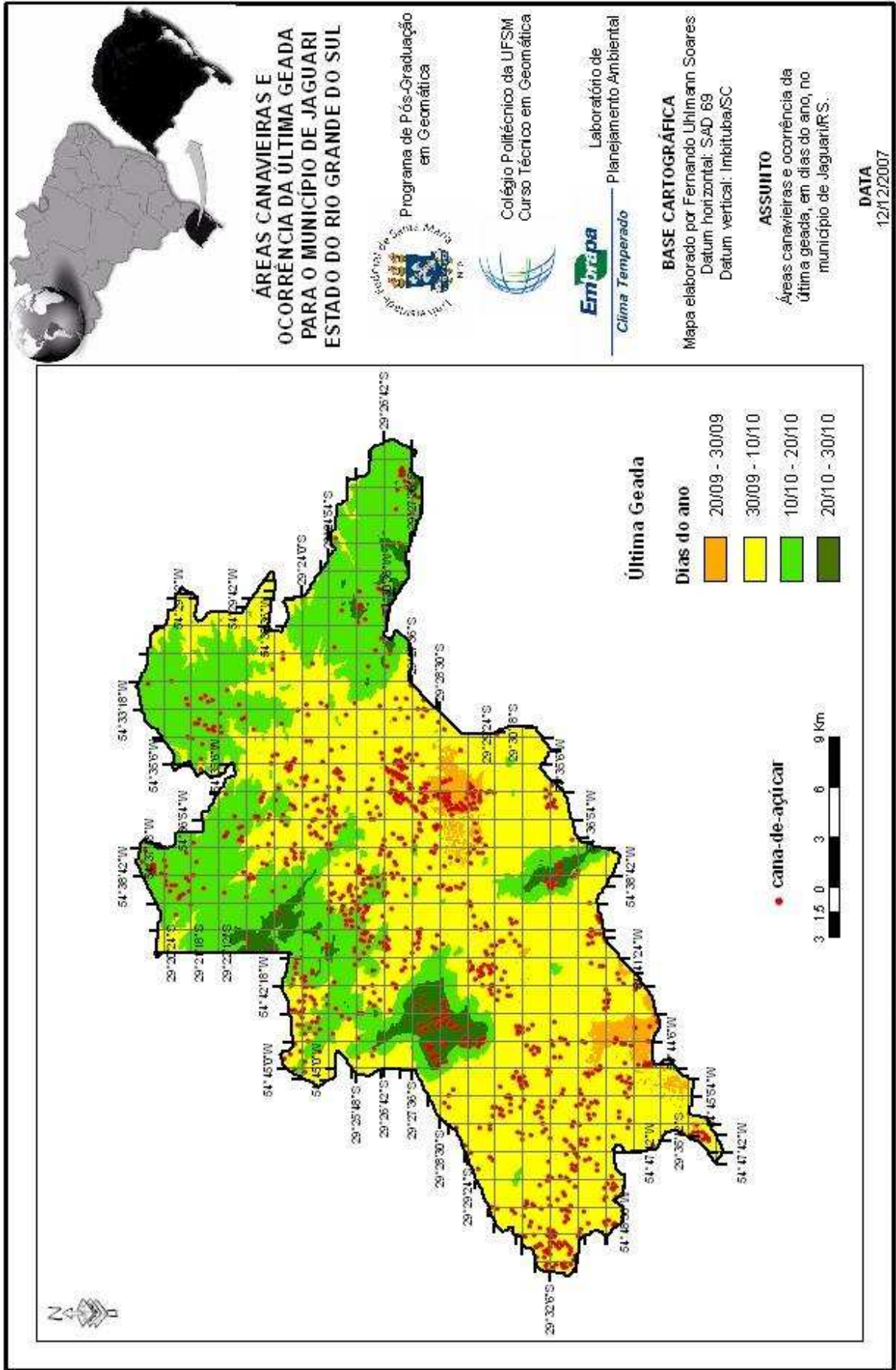


Figura 16 - Mapa da distribuição canavieira junto à ocorrência de última geada para o município de Jaguari/RS.

4 CONCLUSÃO

Os mapas elaborados permitiram avaliar a situação da produção de cana-de-açúcar para o município de Jaguari através da análise espacial das informações. Resultam, portanto, em instrumentos de utilidade para o planejamento da atividade canavieira, para a ampliação da pesquisa e viabilização de investimentos a serem realizados no contexto regional.

A classificação da cena de maneira supervisionada representou com fidelidade a área de estudo, sendo um importante elemento para o planejamento de produção futura por demonstrar onde estão estabelecidas as atuais áreas de plantio canavieiro.

Assim, atendeu ao propósito de localizar espacialmente a produção canavieira, mesmo existindo grande variabilidade de espécies cultivadas, como também a influência do relevo muito acidentado.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas elaborados (Figuras 1, 2, 3 e 4) possibilitaram a análise espacial da informação, de modo claro e objetivo, em relação à situação da produção de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul. Portanto, resultam em instrumentos de utilidade para o planejamento da atividade canavieira, ampliação da pesquisa e viabilização de investimentos a serem realizados nos contextos estadual e municipal.

Este estudo foi importante na verificação da atual situação canavieira do estado, pois através dele pode-se constatar que ainda é incipiente a produção, produtividade e percentual de superfície de cana-de-açúcar nos municípios. No entanto, vale ressaltar que a área plantada no estado, abrange a maior parte dos seus municípios independentemente do uso final dado ao gênero agrícola.

Esses primeiros mapas possibilitaram selecionar a cidade de Jaguari como área para estudo de caso, pois seus índices na produção canavieira destacam-se em relação aos demais municípios vizinhos. A escolha da região central deu-se em função da disponibilidade de dados climáticos para esta área, cedidos pelo Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

A análise geral do Estado do Rio Grande do Sul foi importante por realçar uma das áreas mais importantes na produção canavieira, o se que confirma com a instalação agroindustrial de microdestilarias, como a Limana, no município de Jaguari. Assim, após a espacialização dos dados iniciais, foi iniciado um trabalho mais detalhado sobre a região central e mais específico em relação ao município de Jaguari.

Nesse sentido, o uso das ferramentas de geoprocessamento consorciadas aos estudos de clima, confirmou-se importantíssimo tanto na análise e verificação das áreas com aptidão para produção canavieira, quanto à instalação industrial sucroalcooleira.

Para o prosseguimento do estudo, foi realizado um recorte de parte do modelo digital de elevação do terreno (Figura 6) do Rio Grande do Sul que abrangesse as estações

meteorológicas disponíveis. Os municípios de Alegrete, Júlio de Castilhos, Santa Maria, São Gabriel e Soledade serviram, então, para caracterizar o quadrante que teve como área de estudo de caso, a cidade de Jaguari.

Os mapas de última e primeira geadas (Figuras 7 e 8), representativos das prováveis datas para início de plantios e de colheitas, respectivamente, forneceram a base principal para a caracterização do risco de geada. Neles, observa-se que as geadas estendem-se entre os meses de abril, para primeira geada, a outubro para a última geada, caracterizando o zoneamento agroclimático para a região.

Relacionando os mapas de zoneamento (Figuras 7 e 8) com o DEM (Figura 6) percebe-se que a influência da altitude é marcante no estabelecimento das datas de geadas. Regiões localizadas na área da depressão central e com altitudes menores que os terrenos vizinhos, devem iniciar seus plantios primeiro que o planalto meridional ou as serras do sudeste, em virtude do término antecipado da última geada. No mesmo sentido, os municípios da depressão central procederiam à colheita antecipada, pois a primeira geada ocorre com antecedência nesta região.

Os mapas de número de dias sem risco ou com risco de geadas (Figuras 9 e 10) confirmam essas características. Neles é possível verificar correspondência com a altitude do terreno, uma vez que as regiões da depressão central possuem em torno de 7 meses sem risco de geadas, enquanto que as regiões mais elevadas apenas 6 meses para o cultivo canavieiro.

Em relação ao estudo de caso (Figuras 11 e 12), verifica-se que o município de Jaguari está inserido em uma zona intermediária de risco climático, pois possui mais de meio ano sem probabilidade de ocorrerem geadas. Enquanto o número de dias de risco fica entre 162 a 169 dias no ano, existem em média 194 a 201 dias sem risco.

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 15), extraído a partir da composição falsa-cor da imagem CBERS (Figura 14), serviu para localizar os plantios no município de Jaguari. Posteriormente, a Figura 16 demonstra que a ocupação do terreno com cana-de-açúcar é extremamente dispersa por todas as áreas.

Analisando o mapa de uso do solo (Figura 15) e o modelo de elevação do terreno (Figura 6), constata-se que as áreas menos plantadas situam-se na porção norte do município onde estão presentes as maiores altitudes.

Por fim, o mapa da última geada para Jaguari (Figura 12) identifica um período maior de atuação de geadas na parte norte, embora a cidade possa ser descrita como uma área de riscos aceitáveis quando comparada aos municípios vizinhos que possuem mais de 6 meses de risco de geadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, R. de F. et al. Mapeamento de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3709-3716.

ARONOFF, S. **Geographical information systems: a management perspective**. Ottawa: WDI Publications, 1989.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas - aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 1998.

ATLAS Geográfico Escolar. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

BARBOSA, A. P. et al. Utilização de imagens CBERS 2 na análise do uso da terra como subsídio ao desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE. Florianópolis: INPE, 2007. p. 763-768.

BENSEBAA, K. **Estimação da resolução espacial da câmera CCD dos satélites CBERS 1 e 2**. 2006. 90. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BEZERRA, H. da S.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Análise do potencial dos dados do CBERS-2 para a discriminação de classes representativas de cobertura da terra do Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 777-784.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Balanco nacional da cana-de-açúcar e de agroenergia 2007**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2007. 140 p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Brasil e agronegócio**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2007. 58p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano agrícola e pecuário 2007/2008. Desenvolvimento e inclusão social mais uma vez juntos**. Brasília: Secretaria de Política Agrícola, 2007. 25p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano nacional de agroenergia 2006-2011**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 118p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano nacional de agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. atual. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.

BRUNINI, O. **Zoneamento de culturas bioenergéticas no Estado de São Paulo**. 2007. Artigo em hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/zoneamento/Index.htm>. Acesso em: 09 out. 2007.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação - UNICAMP. 1996. 197 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

COSTA NETO, P. L. de O. **Estatística**. São Paulo: E. Blücher, 2002. p. 53-58.

CREPANI, E. et al. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador: INPE, 1996. p. 129-135.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP. IG/UNICAMP, 1999.

CUNHA, G. R. da; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 377-385, 2001.

DOMINGUES, E. et al. Classificação supervisionada de uso da terra em escala regional: o Estado do Acre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 6679-6685.

EMBRAPA Clima Temperado. Pelotas. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

_____. **Monitoramento por Satélites**. Campinas, 1994. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

_____. **Agroenergia**. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.cnpae.embrapa.br/>> Acesso em: 12 jul. 2007.

ESRI. **ArcGIS 9 – ArcMap** (software). Redlans: ESRI, 1999. Vários CDs.

FEE – Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br/>>. Acesso em: 21 nov. 2007.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Diretrizes ambientais para o desenvolvimento dos municípios do litoral norte. **Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental** n.1. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/programas/zee/>>. Acesso em: 08 dez. 2007.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. 2.ed., rev. e ampl. Canoas: Centro Universitário La Salle, 2005.

FLORES, C. A. et al. **Zoneamento edáfico para as culturas da mamona, soja, girassol e canola na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 26 p. -- (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 174).

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos, INPE, 2000.

FRANÇA, D. de A.; FERREIRA, N. J.; FREITAS, S. R. de. Detecção de mudanças do uso e cobertura da terra em São José dos Campos – SP e vizinhanças e avaliação dos seus impactos no clima local. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3905-3912.

GARCIA, L. M. F. **Processamento digital de imagens**. São Jose dos Campos, INPE, 2000.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 1994.

GRODSKI, L. et al. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 93-99, 1996.

HEIDRICH, A. L. **Além do latifúndio: geografia do interesse econômico gaúcho**. Porto Alegre: Ed. da, UFRGS, 2004. 212 p.

IBGE **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/>>. Acesso em 15 jan. 2007.

C. JUNIOR, A. F. et. al. Uso do sensor CBERS para o monitoramento da cobertura do solo do município de Águas Lindas de Goiás. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 843-850.

LEÃO, C. et al. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007.,p. 939-946.

LLOPIS, J. P. **Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio**. Ed. Editorial Club Universitario. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante: San Vicente, 2006.

LOBÃO, J. S. B.; FRANÇA-ROCHA, W. de J. S. da.; SILVA, A. de B. Aplicação dos Índices KAPPA & PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia: INPE, 2005. p. 1207-1214.

LOPES, F.; ZANARDI, R. P. Utilização de imagens CBERS-2 no estudo comparativo da cobertura vegetal da região dos Campos de Cima da Serra – município de Vacaria/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 947-952.

MAGNOLI, D.; OLIVEIRA, G.; MENEGOTTO, R. **Cenário gaúcho**: representações históricas e geográficas. São Paulo: Moderna, 2001.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando a produção de açúcar e álcool. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 15., 2007, Aracajú. **Anais XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracajú, 2007.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 09 nov. 2007.

MARX, K. **Do Capital**. São Paulo: Nova Cultural, 1999. (Os pensadores).

MEYER, P. L. **Probabilidade**: aplicações à estatística. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1983. p. 230-231.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. rev. Viçosa: Ed. UFV, 2003. 307 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCIL, L.R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**. Porto Alegre: Agropecuária, 2002. 190 p.

REVISTA Biodiesel. **Evolução do programa nacional do álcool**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 5 nov. 2007.

RODRIGUES, M. A. Conceitos básicos de sistemas de informações geoambientais e áreas de aplicação em cadastro técnico municipal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 15, 1991, São Paulo. **Anais Congresso Brasileiro de Cartografia**. São Paulo: EDUSP, 1990, v.3, p. 542-546.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 386-399, 2001.

SCHLINDWEIN, J. R. et al. Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do satélite CBERS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 1103-1107.

SEPLAG – Secretaria do Planejamento e Gestão/RS. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/>>. Acesso em: 1º jul. 2007.

SOARES, D. de M.; FREITAS, M. W. D. de; ARRAUT, E. M. Análise comparativa entre imagens dos sensores CCD/CBERS2 e ETM+ na classificação da cobertura vegetal no semi-árido brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia: INPE, 2005. p. 640-648.

WALDHEIM, P. V. et al. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.29, n.2, p.30-43, 2006.

WREGE, M. S. et al. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. **REVISTA BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA**, Santa Maria, v.13, n.1, p. 113-122, 2005.

WREGE, M. S. **Delimitação de regiões com potencial de cultivo econômico da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no estado do Paraná por meio da análise de riscos climáticos**. 2004. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. São Paulo. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica/>>. Acesso em: 30 out. 2007.

UDOP – União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 02 nov. 2007.