

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI

**Determinação e mapeamento de início do ciclo para
culturas de verão no estado do Paraná por meio de
imagens de satélite e dados de precipitação**

GLEYCE K. DANTAS ARAÚJO

CAMPINAS
JANEIRO DE 2010.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI

**Determinação e mapeamento de início do ciclo para
culturas de verão no estado do Paraná por meio de
imagens de satélite e dados de precipitação**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, com a temática “Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento de Áreas Agrícolas e Previsão de Safras”.

GLEYCE K. DANTAS ARAÚJO

Orientador: Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha

Co-orientador: Prof. Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli

CAMPINAS
JANEIRO DE 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Ar15d Araújo, Gleyce Kelly Dantas
Determinação e mapeamento do início do ciclo para
culturas de verão no estado do Paraná por meio de
imagens de satélite e dados de precipitação / Gleyce
Kelly Dantas Araújo. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientadores: Jansle Vieira Rocha, Rubens Augusto
Camargo Lamparelli.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Sensoriamento remoto. 2. Interpolação. 3. Séries
temporais. I. Rocha, Jansle Vieira. II. Lamparelli,
Rubens Augusto Camargo. III. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV.
Título.

Título em Inglês: Determining and mapping the beginning of summer crops
cycle in the state of Parana through satellite imagery and
rainfall data

Palavras-chave em Inglês: Remote Sensing, Interpolation, Time series

Área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável

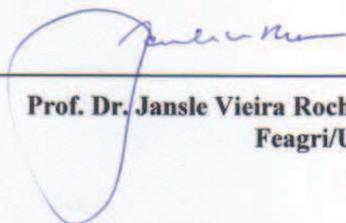
Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Denise Cybis Fontana, Julio Cesar Dalla Mora Esquerdo

Data da defesa: 10/02/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

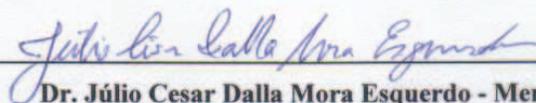
Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Gleyce Kelly Dantas Araújo**, aprovada pela Comissão Julgadora em 10 de fevereiro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



**Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**



**Prof.ª. Dr.ª. Denise Cybis Fontana – Membro Titular
UFRGS**



**Dr. Júlio Cesar Dalla Mora Esquerdo - Membro Titular
Embrapa/CNPTIA**

Aos meus pais e irmãs, por terem
sido o alicerce e a razão de tudo.

DEDICO

A Deus, por sua presença
constante em minha vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, pela oportunidade oferecida;

À Capes, pela concessão de bolsa, que possibilitou melhores condições para a realização deste trabalho;

Ao meu Orientador, Professor Dr. Jansle Vieira Rocha, por assumir o papel da orientação, não só nos ensinando sobre pesquisa científica, mas nos dando exemplo de vida, por seu caráter, profissionalismo, e amizade. Obrigado pelos votos de confiança depositados em mim ao longo destes anos;

Ao professor Dr. Rubens A. C. Lamparelli, pela co-orientação e contribuições ao trabalho, ao Dr. Júlio César D. M. Esquerdo, pela dedicação e transferência de conhecimento, ao técnico de laboratório Agmon, pela doação e amizade adquirida ao longo desses anos;

Aos pesquisadores Flávio Deppe e Ana Ávila que me deram suporte para realização desta pesquisa.

Ao Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), pela disponibilização dos dados meteorológicos do Estado.

À banca examinadora da qualificação, Drs. Júlio César D. M. Esquerdo e Denise Cybis Fontana, que avaliaram criteriosamente meu projeto, o que contribuiu bastante para sua melhora;

As queridas amigas: Adriana Ribeiro, Lie Nishime, Flávia Santos, Daniella Batista, Cristiane Sierra e Adriana Yuri, que mesmo longe continuaram companheiras;

Aos amigos do Labgeo: Michelle Picolli, Jerry Johann, Rafael Aldighiere, Cristiano Arraes, Tânia Regina e a todos os freqüentadores do laboratório.

A Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, pela acolhida, profissionalismo, apoio e amizade.

E principalmente à minha família, que tanto amo, por estar comigo em mais uma etapa da minha vida sempre me apoiando e dando forças para chegar até o fim. Ao Rafael por estar presente em todos os momentos ao longo desses anos pelo seu companheirismo, paciência, compreensão, dedicação, amor e carinho. A Maria Rita, por me acolher em sua casa tornando-se minha segunda mãe. Estas pessoas são o motivo da minha inspiração;

A todos,

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Culturas de verão.....	5
3.1.1 Cultura da Soja	5
3.1.2 Cultura do Milho	16
3.2 Calendário Agrícola.....	23
3.3 Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura.....	24
3.3.1 Resolução Espacial e Temporal de Sistemas Sensores	24
3.3.2 Séries Multitemporais.....	26
3.3.3 Comportamento Espectral da Vegetação.....	27
3.3.4 Índice de Vegetação.....	29
3.4 Mapeamento de culturas.....	30
3.5 O Sistema SPOT.....	31
3.6 Agricultura e Meteorologia	33
3.6.1 Estações Meteorológicas	34
3.6.2 O Modelo ECMWF	34
3.7 Interpolação de dados	36
3.8 Verificação da acurácia das máscaras	38
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1 Material.....	41
4.1.1 Caracterização da área de Estudo	41
4.1.2 Dados Espectrais	43
4.1.3 Dados Meteorológicos.....	44
4.1.4 Verificação da acurácia	45
4.1.4 Recursos computacionais para o processamento, visualização e tratamento dos dados e imagens.....	45
4.2 Métodos	45

4.2.1 Composição decendial das máscaras da cultura de verão	46
4.3 Dados Meteorológicos.....	53
4.3.1 Interpolação de dados meteorológicos	54
4.3.2 Verificação da acurácia	56
4.3.3 Cruzamento de dados espectrais com dados meteorológicos.....	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.1 Máscara da cultura de verão	59
5.1.1 Verificação da acurácia das máscaras	66
5.1.2 Verificação da acurácia das máscaras	66
5.2 Dados Meteorológicos.....	67
5.2.1 Interpolação de dados	67
5.2.2 Perfil de precipitação para a região durante a safra de verão	72
5.3 Determinação e mapeamento do início do ciclo da cultura de verão	87
6. CONCLUSÕES	92
7. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	93
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	95
9. APÊNDICES	106
9.1 Apêndice 1	106
9.2 Apêndice 2.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção e rendimento mundial da soja.	6
Figura 2. Produção nacional da soja.	6
Figura 3. Produção da soja na região sul do país.	8
Figura 4. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja.	9
Figura 5. Zoneamento de risco climático no estado do Paraná.	15
Figura 6. Ranking mundial de área colhida do milho.	16
Figura 7. Produção nacional de milho.	17
Figura 8. Produção de milho na região Sul do país.	18
Figura 9. Estádios vegetativos reprodutivos da cultura do milho.	18
Figura 10. Calendário agrícola médio para cultura da soja.	23
Figura 11. Comportamento espectral de uma folha da soja.	28
Figura 12. Resposta espectral do sensor <i>Vegetation</i>	32
Figura 13. Mapa de localização do estado do Paraná.	41
Figura 14. Classificação Climática do estado do Paraná segundo Köppen.	42
Figura 15. (a) Mapa de temperatura média anual do estado. (b) Mapa de precipitação média anual do estado. Fonte: IAPAR, (2008).	43
Figura 16. (a) Mapa de temperatura média do trimestre mais quente. (b) Mapa de precipitação do trimestre mais chuvoso. Fonte: IAPAR, (2008).	43
Figura 17. Distribuição da rede de estações meteorológicas do SIMEPAR e distribuição espacial do pixel do modelo ECMWF.	44
Figura 18. Fluxograma das principais etapas desenvolvidas no trabalho.	46
Figura 19. Influência de outros alvos em um pixel.	47
Figura 20. Fluxograma das etapas de construção da máscara.	48
Figura 21. Esquema da composição das imagens em RGB.	49
Figura 22. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2005/2006.	50
Figura 23. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2006/2007.	51
Figura 24. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2007/2008.	52
Figura 25. Máscara decendial da cultura de verão para safra 2005/2006.	60
Figura 26. Máscara decendial da cultura de verão para safra 2006/2007.	61
Figura 27. Máscara decendial da cultura de verão para safra 2007/2008.	62
Figura 28. Máscara final da cultura de verão para safra 2005/2006.	63
Figura 29. Máscara final da cultura de verão para safra 2006/2007.	64
Figura 30. Máscara final da cultura de verão para safra 2007/2008.	65
Figura 31. Mapas de precipitação interpolada para o mês de outubro.	69
Figura 32. Mapas de precipitação interpolada para o mês de novembro.	70
Figura 33. Mapas de precipitação interpolada para o mês de dezembro.	71
Figura 34. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2005/2006.	72
Figura 35. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2005/2006.	73
Figura 36. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2005/2006.	73
Figura 37. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2006/2007.	74
Figura 38. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2006/2007.	74

Figura 39. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2006/2007.....	74
Figura 40. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2007/2008.....	75
Figura 41. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2006/2007.....	75
Figura 42. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2006/2007.....	76
Figura 43. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2005/2006.	82
Figura 44. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2005/2006.	82
Figura 45. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2005/2006.	83
Figura 46. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2006/2007.	84
Figura 47. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2006/2007.	84
Figura 48. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2006/2007.	85
Figura 49. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2007/2008.	86
Figura 50. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2007/2008.	86
Figura 51. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2007/2008.	87
Figura 52. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2005/2006.	89
Figura 53. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2007/2008.	90
Figura 54. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2007/2008.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja.....	10
Tabela 2. Estádios vegetativos e reprodutivos de uma planta de milho.	19
Tabela 3. Calendário agrícola para soja, milho e milho safrinha no estado do Paraná.	24
Tabela 4. Algumas características de sistemas sensores	26
Tabela 5. Principais características do sensor <i>Vegetation</i>	32
Tabela 6. Qualidade de classificação associada aos valores do índice kappa.	38
Tabela 7. Matriz de confusão para safra 2005/2006.....	66
Tabela 8. Matriz de confusão para safra 2006/2007.....	67
Tabela 9. Matriz de confusão para safra 2007/2008.....	67
Tabela 10. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2005/2006.	77
Tabela 11. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2006/2007.	77
Tabela 12. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2007/2008.	78
Tabela 13. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2005/2006.....	79
Tabela 14. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2006/2007.....	79
Tabela 15. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2007/2008.....	80
Tabela 16. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2005/2006.	81
Tabela 17. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2006/2007.	83
Tabela 18. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2007/2008.	85

RESUMO

A agricultura está fortemente ligada às condições meteorológicas, tornando-se uma atividade de risco. Sendo assim, um sistema de monitoramento e previsão de safras é necessário para evitar grandes perdas. O monitoramento agrícola, aliado a estudos de variabilidade meteorológica, é de extrema importância, pois determina a melhor época em que deve ocorrer a semeadura, bem como os períodos de maior necessidade hídrica da planta. A utilização do sensoriamento remoto para monitoramento agrícola e sua associação a dados meteorológicos viabilizam o monitoramento de culturas, desde o plantio até a colheita. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi mapear culturas de verão (soja e milho) no estado do Paraná por meio de composições decendiais NDVI de imagens do satélite SPOT *Vegetation* nas safras 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008, e associar a dados de precipitação para determinar e mapear épocas de semeadura. Para isso, foi utilizado o método de classificação digital supervisionada em composições multitemporais das imagens, de forma a gerar máscaras da cultura da soja para cada composição decendial. A verificação da acurácia das máscaras foi realizada utilizando o índice Kappa alcançando valores de 0,70, 0,75 e 0,77, Exatidão Global 0,91, 0,91 e 0,93 e Índice de concordância de Willmot (d) entre 0,93, 0,93 e 0,99. Os perfis temporais de NDVI possibilitaram a detecção do início do ciclo vegetativo das culturas. Foram utilizados dados de precipitação da rede de estações meteorológicas do SIMEPAR e do modelo atmosférico ECMWF. Os dados das estações meteorológicas foram compilados a partir de dados diários a dados decendiais, tendo em vista que as informações do modelo são decendiais. Em seguida foi necessário especializá-las e reamostrá-las para um *grid* de 1 km x 1 km. Essas duas informações foram interpoladas através do Inverso Quadrado da Distância a fim de obter o perfil de precipitação da região estudada durante a safra de verão. A interpolação de dados de precipitação mostrou-se expressiva, uma vez que os valores interpolados e os valores reais foram significativos quando avaliado pelo índice de concordância 'd' de Willmot, variando entre 0,74 a 0,99. Para as três safras em estudo, apenas o comportamento da última foi distinta das demais, onde foi possível detectar atraso da chuva de um mês em relação às outras safras. Com a espacialização da precipitação dentro do estado foi possível fazer o cruzamento entre as máscaras da cultura de verão e os mapas de precipitação decendial, de modo a descobrir o início do desenvolvimento do ciclo da cultura.

Desta forma foi possível perceber que houve um retardamento no início do ciclo da cultura para regiões em que a semeadura ocorreu antes do período mais chuvoso. A associação entre o perfil temporal de NDVI e precipitação permitiu identificar e mapear diferenças entre épocas de início de ciclo dentro do estado do Paraná.

Palavras Chave: sensoriamento remoto, índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), interpolação de dados, SPOT *Vegetation*.

DETERMINING AND MAPPING THE BEGINNING OF SUMMER CROPS CYCLE IN THE STATE OF PARANA THROUGH SATELLITE IMAGERY AND RAINFALL DATA

ABSTRACT

Agriculture is highly dependent on meteorological conditions, making it a risky activity, so, in order to avoid large losses, it is necessary to develop an appropriate crop yield forecasting system. Agricultural monitoring coupled with studies of weather variability is extremely important to determine the best time to sow as well as periods of higher water requirement by the plants. The use of remote sensing for agricultural monitoring in addition to meteorological data enables crop monitoring from planting to harvest. Thus, the goal of this study was to map summer crops in the state of Parana through dekadal composition of SPOT Vegetation NDVI imagery for the 2005/2006, 2006/2007 and 2007/2008 cropping seasons. Supervised classification of multitemporal image composites was used to generate cropland masks for each dekad. Accuracy assessment was performed using Kappa Index reaching values of 0.70, 0.75 and 0.77 and overall accuracy 0.91, 0.91 and 0.93. NDVI temporal profiles were used to detect the beginning of the crop vegetative cycles. Rainfall data from SIMEPAR network of meteorological ground stations and ECMWF atmospheric model were used. The data from the ground stations were compiled from daily to dekadal in order to comply with model data, which is a ten days compilation. Then it was necessary to spatialize and resample them to a 1 km x 1 km grid. These two data were interpolated using the inverse distance to square method to extract the profile of precipitation in the region during the summer harvesting season. The interpolation of rainfall generated good results, once the interpolated values as compared to actual values were significant when evaluated by the agreement index 'd' of Willmot, ranging between 0.74 to 0.99. For the three cropping seasons studied only the behavior of last season was distinct from the others, it was possible to detect a rain delay of one month in relation to other seasons. With the rainfall spacialization within the state it was possible to cross the masks of the summer crops with the maps of the dekadal rainfall, in order to discover the beginning of the crop vegetative cycle. So it was possible to see that there was a delay at the beginning of the crop cycle in areas where the sowing occurred before the rainy season. The association between NDVI temporal profile and rainfall

allowed to identify and to map the differences among starting of the crop vegetative cycle in the state of Parana.

Keywords: remote sensing, normalized difference vegetation index (NDVI), date interpolation, SPOT Vegetation.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja vem ocupando posição de destaque na economia mundial. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (2009), o Brasil é o segundo maior produtor mundial do grão. De acordo com o levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2009) a área plantada para safra 2008/2009 no país atingiu 21,72 milhões de hectares.

O milho é a terceira cultura mais cultivada no mundo. Segundo a CONAB (2009), no Brasil, foi colhida na safra 2008/2009 uma área de 9,3 milhões de hectares, o que coloca o país como o terceiro no ranking mundial de área colhida ficando atrás somente dos Estados Unidos e China (FAO 2009).

Dada a importância de ambos os grãos no cenário brasileiro e internacional, é fundamental ter um sistema de previsão de safras capaz de indicar números precisos sobre a produção com antecedência, visando principalmente evitar perdas, além da busca por novas tecnologias voltadas à redução de riscos. A variabilidade climática é um dos fatores na determinação dos riscos à agricultura, o que ressalta a importância do aprimoramento e desenvolvimento do monitoramento agrícola e previsão de safras.

As consequências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais e a enormes prejuízos econômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados. As condições adversas de tempo são frequentes e muitas vezes imprevisíveis a médio e longo prazo, por isso a agricultura é considerada uma atividade sujeita a risco.

Existem diversas abordagens para o monitoramento da agricultura e a previsão de safras, a maioria delas é baseada em modelos que empregam parâmetros agrometeorológicos, dentre os quais se destacam aqueles que utilizam balanço hídrico.

Entre os índices do balanço hídrico destaca-se o Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA), que quantifica a água recebida pela cultura durante a safra e qualifica o rendimento da mesma. A simulação do balanço hídrico da planta requer a data de início do desenvolvimento do ciclo da cultura. A determinação da melhor época de semeadura para culturas anuais está associada a uma quantidade de precipitação mínima para o primeiro decêndio do plantio e da frequência e intensidade de períodos secos durante a estação da chuva. Existe grande dificuldade em se obter datas de início de ciclo em nível local, por isso

os modelos geralmente utilizam essas épocas por regiões, baseado em um calendário agrícola regionalizado que, muitas vezes, não reflete a condição real de um determinado local.

A escolha da época certa para o plantio é um dos fatores determinantes para o sucesso no crescimento e rendimento da cultura, que necessita de uma certa quantidade de água disponível no solo para o início de seu ciclo vegetativo. Os produtores normalmente se baseiam na existência de chuvas mais consistentes para iniciar o plantio, o que resulta em variação de início de ciclo de uma região para outra, dificultando a determinação deste parâmetro em modelos de estimativa de produtividade. O monitoramento agrícola, baseado em informações espectrais e agrometeorológicas, pode auxiliar neste processo.

As imagens de satélite são fontes de informações importantes para modelos de previsão de safras. Através de uma série temporal de imagens é possível acompanhar o desenvolvimento de uma cultura em áreas extensas. Índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) são muito empregados para a estimativa da biomassa de uma cultura e também mapeamento de áreas de cultivo agrícola.

A existência de sensores em plataformas orbitais como o *Systeme Pour L'Observation de la Terre (SPOT) Vegetation*, que possui baixa resolução espacial e alta resolução temporal, facilita o monitoramento de coberturas vegetais, permitindo a geração desses índices com certa regularidade, favorecendo a análise e o monitoramento de culturas. Essa análise pode ser obtida por meio de gráficos que descrevem o perfil temporal do NDVI, desta forma, será registrado o início do ciclo vegetativo da cultura, que pode ser associado à data de plantio.

Tecnologias de monitoramento agrícola utilizando sensoriamento remoto possuem a vantagem em relação aos métodos tradicionais de previsão de safras, por exemplo, censos ou pesquisas, pois possuem menor subjetividade das informações, maior rapidez na aquisição de dados e o menor custo.

Já a obtenção de dados agrometeorológicos pode ser feita através de redes de estações meteorológicas que registram dados atmosféricos. Porém, dada as dimensões do país, ainda não há uma rede de estações com cobertura suficiente para atender esta necessidade, principalmente em nível local. Modelos de estimativas de parâmetros agrometeorológicos como, por exemplo, o modelo global do *European Center for Medium-range Weather*

Forecast (ECMWF), podem ser utilizados para estimar dados em regiões não cobertas por estações.

O perfil do desenvolvimento da cultura de verão, registrado por imagens multiespectrais, associado a dados de precipitação, pode viabilizar um método de mapeamento e determinação do início do ciclo vegetativo da cultura, com a vantagem de localizar esta informação e diferenciá-la dentro de uma região, mesmo utilizando uma escala de 1 km x 1 km. Esta técnica é importante não só para culturas de verão no estado do Paraná, mas também para qualquer outra cultura em todo país, tendo em vista que a data do início de desenvolvimento do ciclo da cultura é uma entrada importante para a realização do cálculo do balanço hídrico, que por sua vez pode impedir déficit hídrico nos períodos mais críticos.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um método para mapear o início do ciclo das culturas de verão no estado do Paraná por meio de imagens de sensoriamento remoto e dados de precipitação decendial (estações meteorológicas e modelo atmosférico), viabilizando a detecção do início do ciclo vegetativo da cultura por município.

Objetivos específicos:

- Gerar o perfil temporal de NDVI das culturas de verão no estado do Paraná para as safras 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008;
- Gerar máscaras das culturas e verificar a sua acurácia utilizando índices de concordância como exatidão global, índice kappa e índice de concordância de Willmott 'd';
- Obter os perfis de precipitação para as regiões estudadas durante safra de verão, utilizando o banco de dados da rede de estações meteorológica do SIMEPAR e do modelo ECMWF;
- Gerar mapas de precipitações decendiais integrando, por meio de interpolação, dados das estações e do modelo ECMWF;
- Associar o perfil espectral da cultura de verão aos dados de precipitação e observar a influência ao longo de todo seu desenvolvimento;
- Detectar e mapear áreas com diferentes inícios de ciclo vegetativo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Culturas de verão

3.1.1 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é cultivada em mais de 80 países, gerando um volume superior a 200 milhões de toneladas. O Brasil ocupa o segundo lugar no ranking dos maiores produtores e exportadores dessa leguminosa. Utilizada como constituinte em muitos alimentos processados, a soja representa a principal fonte de óleo e proteína para rações destinadas à alimentação animal (IBGE, 2008).

A partir de 1960 a soja se estabelece como cultura economicamente importante no Brasil, mas foi na década seguinte que a soja consolidou-se como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhão de toneladas em 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979. Esse crescimento se deveu, não apenas ao aumento da área cultivada de 1,3 para 8,8 milhões de hectares, mas, também, ao expressivo incremento da produtividade de 1,14 para 1,73t/ha (IBGE, 2008).

O Brasil apresenta-se como segundo maior produtor mundial, conforme Figura 1, responsável por 50 das 200 milhões de toneladas ou 25% da safra mundial (FAO, 2009). Mais de 25 milhões de toneladas da cultura são produzidas na região Centro Oeste do país, a região Sul ocupa segundo lugar na produção com pouco mais de 20 milhões de toneladas produzidas, seguida pelas regiões sudeste, nordeste e norte, conforme Figura 2 (IBGE, 2009).

Por sua importância para o país, a soja é alvo constante de pesquisas que visam principalmente o incremento da produtividade nas lavouras. Avaliando a expansão da cultura da soja nas últimas décadas, SANTOS (2000) relatou que de 1970 a 2000, a produção de 1,5 milhão de toneladas em 1,3 milhão de hectares passou a 31,7 milhões de toneladas em 13,5 milhões de hectares, o que ilustra o aumento da produtividade nas lavouras de soja brasileiras. Segundo o autor, durante a década de 90, o aumento da área plantada de soja foi, em média, de 1% ao ano, enquanto que a produção neste período aumentou 94%. Atualmente, a soja está sendo cultivada em quase todos os estados brasileiros, apresentando, em algumas regiões, rendimentos médios superiores aos obtidos pela soja norte-americana, concorrente direto no mercado internacional.

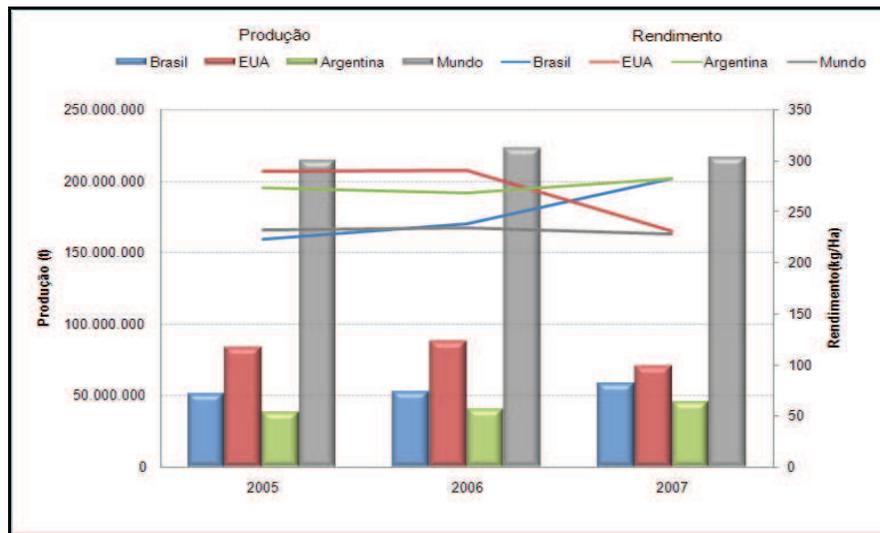


Figura 1. Produção e rendimento mundial da soja.
Fonte: FAOSTAT, (2009).

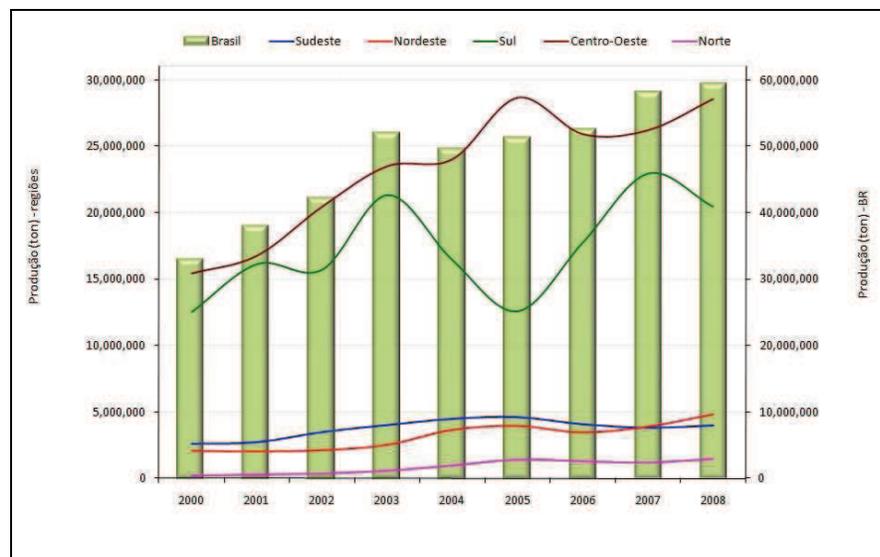


Figura 2. Produção nacional da soja.
Fonte: IBGE, (2009).

De acordo com Embrapa Soja (2007a), muitos fatores contribuíram para que a soja se estabelecesse como importante cultura, primeiro na região sul do país e após nos Cerrados do Brasil central. Alguns desses fatores contribuíram para o crescimento da região Sul, onde se pode destacar:

- Semelhança de ecossistemas entre diversos países produtores, favorecendo o êxito de transferência e adoção de variedades, além das tecnologias de produção;
- Incentivos fiscais aos produtores de trigo durante os anos 50, 60 e 70, beneficiando igualmente o cultivo da soja, que utilizava no verão, as mesmas áreas, mão de obra e maquinaria do trigo;
- Estabelecimento de um importante parque industrial de processamento da soja, de desenvolvimento e produção de máquinas e implementos, assim como, produção de insumos agrícolas (anos 70/80);
- Mercado internacional em alta, principalmente em reposta a frustração de safra de grãos na Rússia e China;
- Substituição de gorduras animais (banha e manteiga) por óleos vegetais saudáveis ao consumo humano;
- Facilidade de mecanização total da cultura;
- Melhorias nos sistemas viários, portuários e de comunicação, agilizando o transporte e as exportações.

Na região sul do Brasil, os programas de melhoramento da soja basearam-se, inicialmente, em introduções de genótipos desenvolvidos no sul dos EUA e, posteriormente, no desenvolvimento de cultivares mais bem adaptado (Cançado e Freitas, 2004).

A soja promoveu expansão significativa das lavouras mecanizadas, trazendo considerável mudança tecnológica, principalmente como reflexo do programa de manejo e conservação dos solos, que visou à sistematização de todas as bacias hidrográficas do estado. O avanço da conservação dos solos, as semeaduras diretas, que já abrangem mais de 80% da área cultivada com soja, a correção dos solos, o manejo de pragas e o uso de sementes fiscalizadas e melhoradas geneticamente pelos órgãos de pesquisa resultaram em significativo ganho de produtividade, passando de médias em torno de 2,1 t/ha, no início da década de 90, para mais de 2,9 t/ha nos últimos anos (Mercante, 2007).

De acordo com Mercante (2007), a produtividade da soja na região oeste do estado do Paraná, quando em condições climáticas favoráveis, alcança valores de 3,0 t/ha. Segundo Cançado e Freitas (2004) para o estado do Paraná a soja é a espécie mais cultivada em termos

de área, bem como a que tem maior participação no valor bruto da produção, respondendo a 17,2%. A soja tem sido uma cultura marcante no cenário estadual, desenvolvendo a agricultura e gerando renda em toda a cadeia. Pela sua vasta e crescente gama de utilizações, deverá manter importância econômica durante o século. A Figura 3 apresenta a quantidade de produção do grão da soja na região Sul do país.

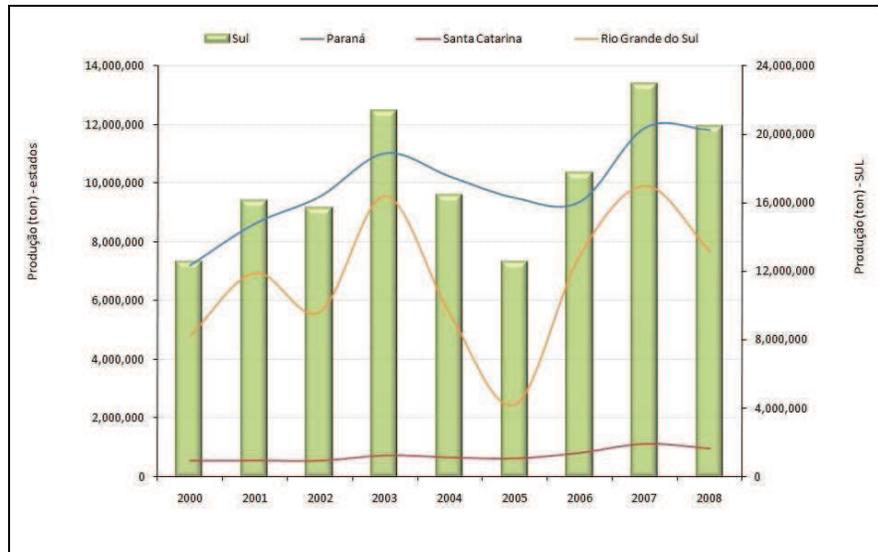


Figura 3. Produção da soja na região sul do país.

Fonte: IBGE (2009).

3.3.1.1 Ciclo Fenológico

O crescimento e o desenvolvimento da soja são medidos pela quantidade de massa seca (matéria seca) acumulada na planta. Com exceção da água, a massa seca consiste em tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais (Borkert et al., 1994).

As cultivares da soja são classificadas quanto ao seu hábito de crescimento (forma e estrutura morfológica) e pelos seus requerimentos em comprimento de dia e temperatura, necessários para iniciar o desenvolvimento floral ou reprodutivo. A classificação quanto à maturidade ou ciclo de maturação é baseada na adaptabilidade de um cultivar de soja em utilizar efetivamente a estação de crescimento de uma determinada região (Borkert et al., 1994).

O ciclo da soja apresenta duas fases principais: o período vegetativo (V) e o período reprodutivo (R). A fase vegetativa tem início com o nascimento da plântula e após a abertura da primeira flor, dando início ao período reprodutivo que se finaliza com a maturação da planta. A Figura 4 apresenta os estádios vegetativos e reprodutivos da soja.

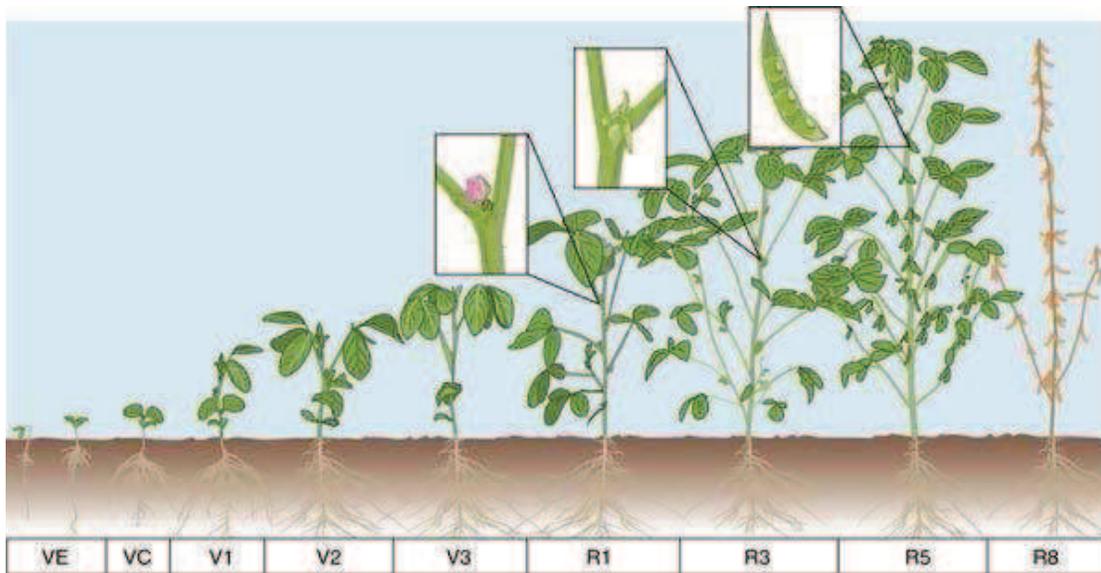


Figura 4. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja.

Fonte: UNIVERSITY OF ILLINOIS EXTENSION (2006), Adaptada por Esquerdo (2007).

De acordo com Fehr e Caviness (1981), os períodos vegetativos e reprodutivos podem ser subdivididos, conforme mostra a Tabela 1. As subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, com exceção dos dois primeiros estádios, que são designados como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). O último estágio vegetativo é designado como Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado por um cultivar específico. O valor de “n” varia em função das diferenças varietais e ambientais. Já a fase reprodutiva apresenta oito estádios, subdivididos em quatro partes: florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento da semente (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8).

Segundo Embrapa Soja (2008b), a germinação da semente de soja é induzida após absorver aproximadamente 50% do seu volume em água. A emergência da plântula ocorre entre 4 e 10 dias após a semeadura, dependendo das condições de umidade, temperatura e

profundidade de semeadura. O período vegetativo se estende até a formação da terceira à quinta folha trifoliolada (40 a 70 dias), quando a planta está apta a receber a indução floral. O período de floração pode variar de 7 a 15 dias, quando se inicia o crescimento do fruto. A maturação fisiológica dos grãos ocorre de 40 a 70 dias após o final da floração. De acordo com a duração de seu ciclo, os cultivares de soja podem ser classificados em precoce (75 a 115 dias), semiprecoce (116 a 125 dias), médio (126 a 137 dias), semitardio (138 a 150 dias) e tardio (acima de 150 dias).

Durante o ciclo da soja, as condições de umidade do solo, aliadas à capacidade do solo em fornecer nutrientes, são as principais responsáveis pelo pleno crescimento das plantas e produção dos grãos. As condições favoráveis de umidade no solo, quando ocorre o período vegetativo (emergência-floração) favorecem o crescimento, resultando em plantas com altura compatível com a colheita mecanizada. O desejável é que as plantas alcancem uma altura acima de 60 cm, por ocasião de maturação, o que contribui para reduzir as perdas de grão na operação de colheita. Por sua vez, condições favoráveis durante o período reprodutivo garantem altos rendimentos de grão (Embrapa Soja, 2007b).

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da cultura da soja

Estádio Vegetativo	Descrição	Estádio Reprodutivo	Descrição
VE	Emergência	R1	Início do florescimento
VC	Cotilédone	R2	Pleno Florescimento
V1	Primeiro nó	R3	Início de formação de vagens
V2	Segundo nó	R4	Plena formação de vagens
V3	Terceiro nó	R5	Início de enchimento de sementes
V4	Quarto nó	R6	Pleno enchimento de vagens
V...	...	R7	Início de maturação
Vn	Enésimo nó	R8	Maturação plena

Fonte: Embrapa Soja, 2007a (Adaptado).

3.3.1.2 Necessidades Fisiológicas da Cultura

O crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura resultam da interação entre o potencial genético do cultivar e o ambiente. Existe interação perfeita entre a planta da soja e o ambiente, de tal modo que, quando há mudanças no ambiente, também ocorre com a planta (Borkert et al., 2004).

A imprevisibilidade das variações meteorológicas confere à ocorrência de adversidades climáticas, o principal fator de risco e de insucesso das culturas agrícolas. Dentre os elementos do clima, os que apresentam maior influência sobre o comportamento e desenvolvimento desta cultura são: a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica, o déficit hídrico, normalmente, é o principal fator responsável por perdas na lavoura (Farias et al., 2001).

A soja tem características peculiares na sua adaptação aos diferentes locais de cultivo, especialmente na reação ao fotoperíodo e temperatura do ar da região, os quais regulam a época de floração, bem como o zoneamento agroclimático dos cultivares. Tais aspectos são muito relevantes, pois determinam em quanto tempo a planta se desenvolve no período vegetativo (Araújo, 2008).

- **Temperatura**

A temperatura reflete o estado energético de uma substância, portanto as oscilações térmicas indicam claramente as variações da quantidade de energia solar que atinge o sistema Terra-atmosfera (Vianello e Alves, 1991).

A soja adapta-se melhor a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30°C. Temperaturas abaixo de 13°C são supressoras ao seu desenvolvimento (Embrapa Soja, 2007b).

- **Luminosidade - Fotoperíodo**

A soja é uma das espécies mais sensíveis ao fotoperíodo, sendo considerada uma planta de dias curtos. A sensibilidade ao fotoperíodo é variável entre as cultivares, assim, a adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul, sendo também, importante na definição do comportamento das cultivares em relação à época de semeadura. Quanto mais ao sul, portanto sob condições de maiores latitudes, os fatores temperatura, fotoperíodo e umidade são os determinantes da melhor época de semeadura para soja, pois variam mais no tempo (Embrapa Soja, 2007b).

- **Necessidades Hídricas**

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em vários processos fisiológicos e bioquímicos da cultura. A demanda evaporativa da atmosfera tem

grande influência no status hídrico da vegetação, por condicionar as taxas de transferência da água no sistema solo-planta-atmosfera (Embrapa Soja, 2007b).

A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção da boa uniformidade na população da planta. A semente da soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50% (Embrapa Soja, 2008a).

A necessidade de água na cultura da soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após esse período (Embrapa Soja, 2007b). Em geral, o consumo mais elevado de água coincide com o período em que a cultura apresenta maiores alturas e índice de massa foliar. A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção máxima do rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições meteorológicas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo. Como o consumo de água pela cultura da soja depende, além de estádios de desenvolvimento, da camada evaporativa da atmosfera, o seu valor absoluto pode variar, tanto em função das condições climáticas de cada região como em função do ano e da época de semeadura (condições de tempo) na mesma região climática (Embrapa Soja, 2007b).

Dentre os componentes que caracterizam a condição atmosférica, o déficit hídrico é aquele que afeta a produção agrícola com maior frequência e intensidade. É amplamente conhecido, ainda, que os efeitos do déficit hídrico dependam da sua intensidade, duração, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (Cunha e Bergamaschi, 1992).

O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e afetando vários outros processos, além de alterar o ambiente físico das culturas (Fontana et al., 1992). Berlato e Fontana (1999) mostraram que os baixos rendimentos da cultura da soja no Rio Grande do Sul estão relacionados aos anos em que ocorrem deficiências hídricas durante os meses de desenvolvimento da cultura, sendo que o total de chuva de dezembro a março explica cerca de 80% da variação interanual dos rendimentos médios de soja no Estado.

De modo geral, deficiência hídrica no período vegetativo reduz o porte e no período reprodutivo reduz a produção de grãos. A limitação na altura da planta por efeito da falta de água pode ser mais acentuada em semeaduras realizadas mais cedo ou mais tarde, em relação à melhor época, e agravada em condições em que haja algumas limitações de fertilidade do solo (Embrapa Soja, 2007b).

Segundo Farias et al. (2001), o período mais crítico da cultura em relação à precipitação é o que vai da floração ao completo enchimento dos grãos, daí a importância do conhecimento da distribuição de chuvas, as previsões para cada ano, e a compatibilidade do ciclo do cultivar com essa condição.

3.3.1.3 Época de Semeadura para a soja

Semeaduras em épocas anteriores ou posteriores ao período mais indicado para uma dada região podem afetar o porte, o ciclo e o rendimento das plantas e aumentar as perdas na colheita. Isto porque a época de semeadura determina a exposição das plantas às variações nas distribuições dos fatores climáticos limitante ao crescimento e ao desenvolvimento de grãos, contribuindo fortemente para a definição dos resultados em termos de altura da planta e de produção (Embrapa Soja, 2007b).

A escolha da época de semeadura destaca-se no controle de deficiência hídrica valendo-se de mecanismo de escape, pois pode ser ajustada para evitar períodos de baixa precipitação durante estádios críticos e fazer coincidir as etapas de florescimento e enchimento de grãos com períodos favoráveis de disponibilidade hídrica (Mota, 1983).

Segundo Embrapa Soja (2007b), a melhor época de semeadura para a soja é a que permite na maioria dos anos, que a implantação da lavoura, o crescimento e a reprodução das plantas ocorram sob as condições favoráveis de umidade e temperatura. Assim, na maioria das regiões produtoras, o melhor período de semeadura da soja é aquele que se inicia assim que as chuvas da primavera repuserem a umidade do solo e a temperatura permitir uma germinação e emergência das plântulas entre 5 e 7 dias e que haja, na maioria dos anos, umidade para as plantas crescerem e produzirem em nível que tornem a atividade viável economicamente.

Para a região Centro-Sul do Brasil a época de semeadura indicada, para a maioria das cultivares, estende-se de 15/10 a 15/12. Os melhores resultados, para rendimento e altura de plantas, na maioria dos anos, são obtidos nas semeaduras realizadas de final de outubro a

novembro. De modo geral, as sementeiras de outubro apresentam menor porte de planta e maior rendimento do que as da primeira quinzena de dezembro. Lavouras semeadas em outubro, com cultivares precoces podem resultar em plantas mais baixas que o desejável e em não fechamento das entre linhas, havendo maior competição pelas plantas daninhas, inclusive no final do ciclo, dificultando a colheita. Isto é mais acentuado nos anos em que ocorre veranico durante o período vegetativo das plantas, fenômeno de ocorrência mais comum no norte do Estado do Paraná e sul de São Paulo. Quando esse fato ocorre, tanto a falta de umidade, como a elevação da temperatura, exercem efeito na redução do porte das plantas, também por antecipar o florescimento. Uma forma de prevenir quanto a isso é iniciar a semeadura da soja pelas áreas mais férteis e mais úmidas (baixadas), da propriedade, onde normalmente produz planta de porte mais alto (Embrapa Soja, 2007b).

Desde 1995, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento recomenda épocas de semeadura, para as culturas de soja, de feijão e de milho, com base em um método de balanço hídrico (Farias et al., 1997; Meirelles et al., 1997; Sans et al., 1997). Com a ausência de métodos de baixo custo aplicável a grandes regiões a FAO motivou a utilização do modelo CSWB (Crop-Specific Water Balance) (Frère e Popov, 1979; Gommès, 1993) como ferramenta de monitoramento e previsão de safras (Rojas, 2007).

Os dois principais resultados do modelo CSWB são correlacionados com o rendimento agrícola: A ETP (Evapotranspiração) e o ISNA (Índice de Satisfação de Necessidade de Água). O ISNA é um índice do modelo CSWB que avalia a quantidade de água recebida pela cultura durante qualquer momento da safra. Normalmente o ISNA é utilizado para a definição de classes qualitativas da produção (ou seja, bom, médio e pobre). Quando o ISNA é igual a 100, indica que não há stress hídrico e bom rendimento, enquanto o ISNA é igual a 50 corresponde ao pobre rendimento da cultura ou falhas na mesma (Rojas, 2007).

Os valores médios desse índice são espacializados para se delimitar as áreas de acordo com o risco de déficit hídrico. No mapeamento das datas de semeadura são feitos fatiamentos das classes indicando-as como sendo de alto, médio e baixo risco para semeadura (Macedo et al., 2001).

Rojas (2007) realizou um estudo no Quênia (África Oriental) para construir e validar um modelo de produção do milho usando dados de sensoriamento remoto e do modelo

CSWB. O critério para definir a data de plantio foi o primeiro decêndio com pelo menos 20 mm de precipitação seguidos por dois decêndios totalizando 20 mm de chuva. Este critério foi desenvolvido no *Agriculture-Hydrology- Meteorology Regional Center in Niamey*. A mesma data de plantio foi utilizada para iniciar o acúmulo dos valores de NDVI até o final do ciclo de cultivo do milho. Este estudo mostrou que o plantio tardio está ligado à redução e/ou fracasso da produção, devido à insuficiência de disponibilidade hídrica no final do ciclo de cultivo.

Farias et al.(2001) delimitaram as áreas com menores riscos de insucesso devido à probabilidade de ocorrência de déficits hídricos durante as fases mais críticas da cultura da soja. A Figura 5 apresenta o zoneamento de risco climático para cada época de semeadura da soja no estado do Paraná.

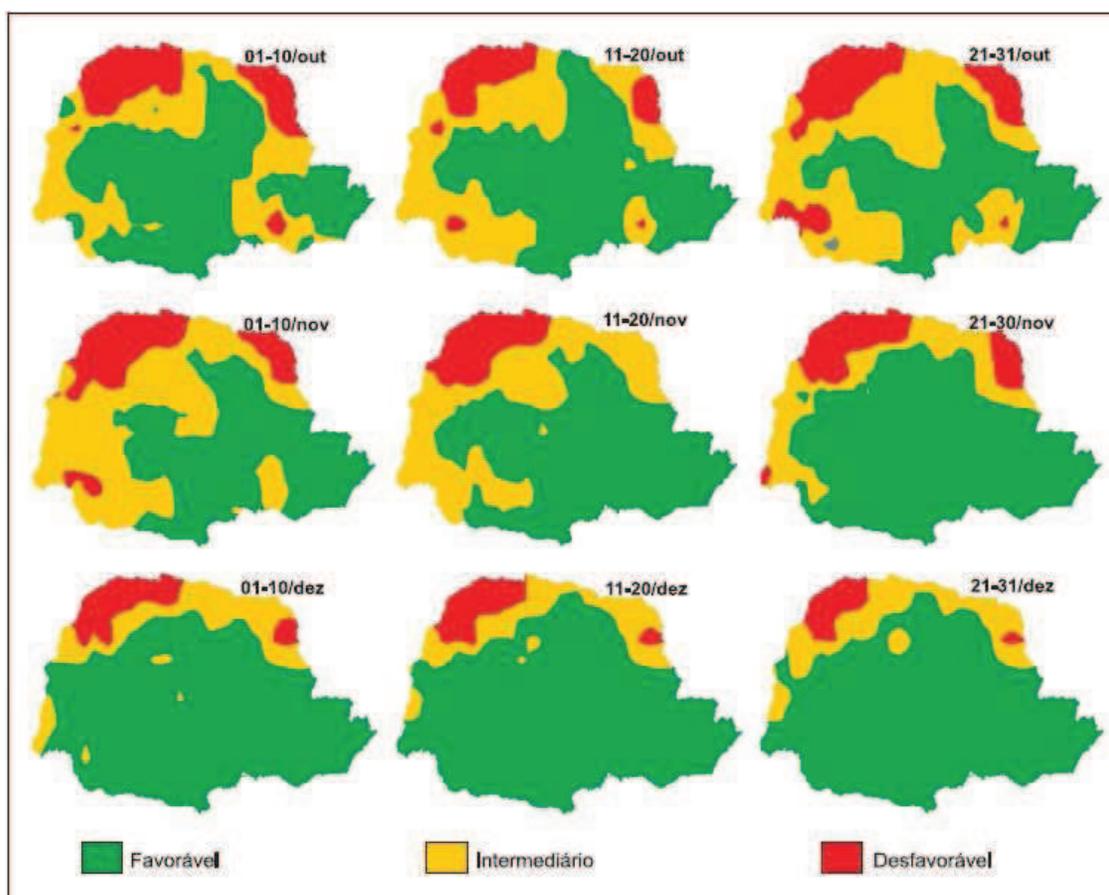


Figura 5. Zoneamento de risco climático no estado do Paraná.

Fonte: Farias et al. (2001).

3.1.2 Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das plantas cultivadas de maior interesse, quanto à sua origem, estrutura e variação. Somente é conhecido em cultivo e, na sua forma atual, não apresenta indicativos de que poderia subsistir sem os cuidados do homem. A pesquisa tem desenvolvido tipos tão diferentes de milho que seu cultivo é possível desde o Equador até o limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600m. Essa adaptabilidade, representada por genótipos variados, é paralela à variedade de sua utilização como alimento, forragem ou na indústria Embrapa Milho e Sorgo (2002).

O milho é a terceira cultura mais cultivada no mundo. No Brasil, foi colhida na safra 2007/08 uma área de 14,7 milhões de hectares, o que coloca o país como o terceiro no ranking mundial de área colhida, conforme Figura 6. Além da sua importância econômica como principal componente na alimentação de aves, suínos e bovinos, o milho cumpre papel técnico importante para a viabilidade de outras culturas, como a soja e o algodão, por meio da rotação de culturas, minimizando possíveis problemas como nematóides de galha, nematóide de cisto e doenças como o mofo branco e outras, dando sustentabilidade para diferentes sistemas de produção em muitas regiões agrícolas do Brasil e do mundo (CIB, 2009).

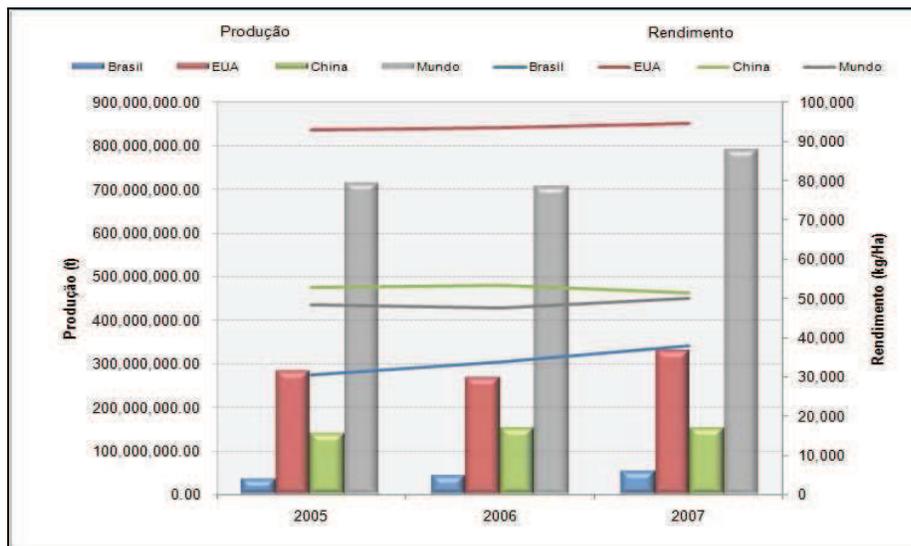


Figura 6. Ranking mundial de área colhida do milho.
Fonte: FAOSTAT, (2009).

A cultura do milho encontra-se amplamente disseminada no Brasil, sendo que, dentre os cereais cultivados no país, o milho é o mais expressivo, com cerca de 57,4 milhões de toneladas de grãos produzidos, em uma área de aproximadamente 14,7 milhões de hectares (CONAB, 2008), referentes a duas safras, normais e safrinha. Isto se deve tanto à sua multiplicidade de usos na propriedade rural quanto à tradição de cultivo desse cereal pelos agricultores brasileiros (Embrapa Milho e Sorgo 2002).

A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto até outubro/novembro, na região Sul. Recentemente, tem aumentado a produção obtida na safrinha, ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, plantado extemporaneamente, em fevereiro ou março, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Tem se verificado nas últimas safras, um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, mas que tem sido compensado pelo aumento dos plantios na safrinha e no aumento do rendimento (Embrapa Milho e Sorgo, 2008). A maior produção do grão no Brasil é da região sul, seguido pela região Centro-oeste que ultrapassou a produção do Sudeste recentemente. As regiões Nordeste e Norte possuem uma pequena produção em relação às outras regiões, como pode ser observado na Figura 7 (IBGE, 2009).

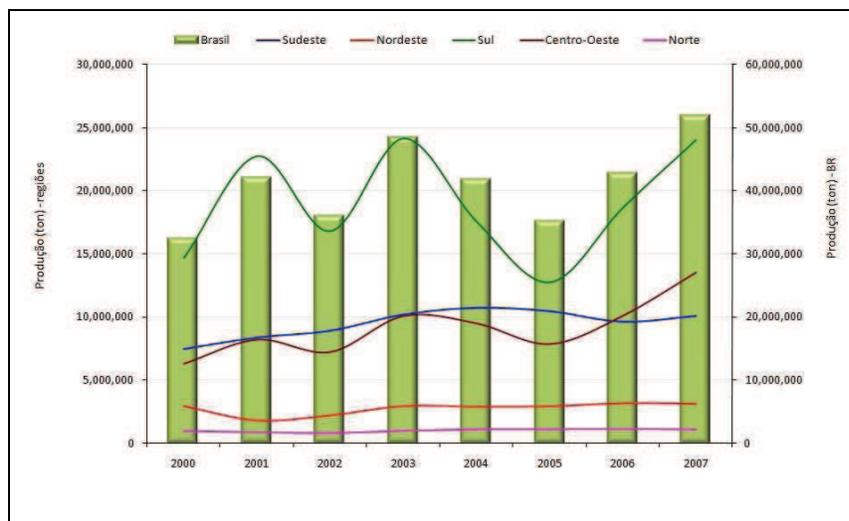


Figura 7. Produção nacional de milho.
Fonte: IBGE, (2009).

De acordo com IBGE (2009) e com a Figura 8 o maior produtor de milho é o estado do Paraná. Entre as safras de 2000 e 2004, o Rio Grande do Sul foi o segundo maior produtor da região. Porém com a queda da produção em 2005, o estado de Santa Catarina ocupou seu lugar e nas safras 2006 e 2007 voltou a ocupar o segundo lugar na produção.

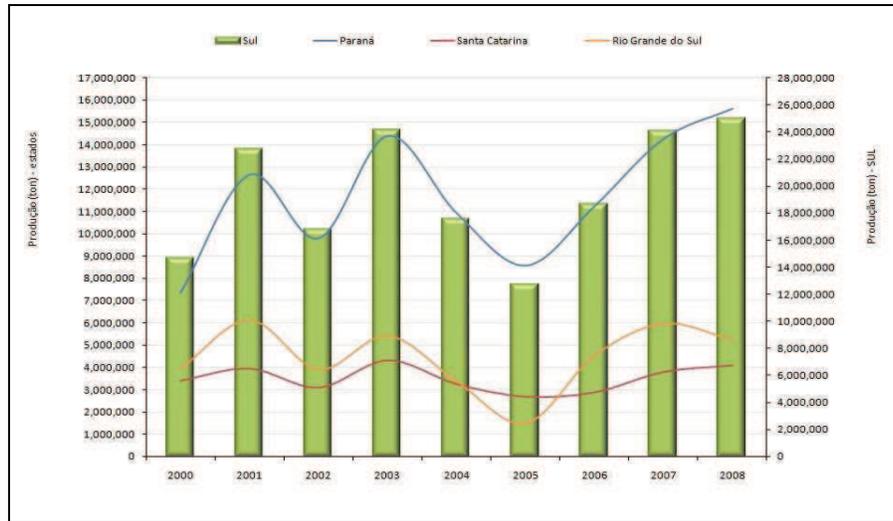


Figura 8. Produção de milho na região Sul do país.
Fonte: IBGE, (2009).

A Figura 9 apresenta os estádios de desenvolvimento da cultura do milho, de acordo com Ritchie et. al (2003), e para melhor entendimento do ciclo de desenvolvimento do milho, a Tabela 2 apresenta a divisão dos períodos vegetativos e reprodutivos.

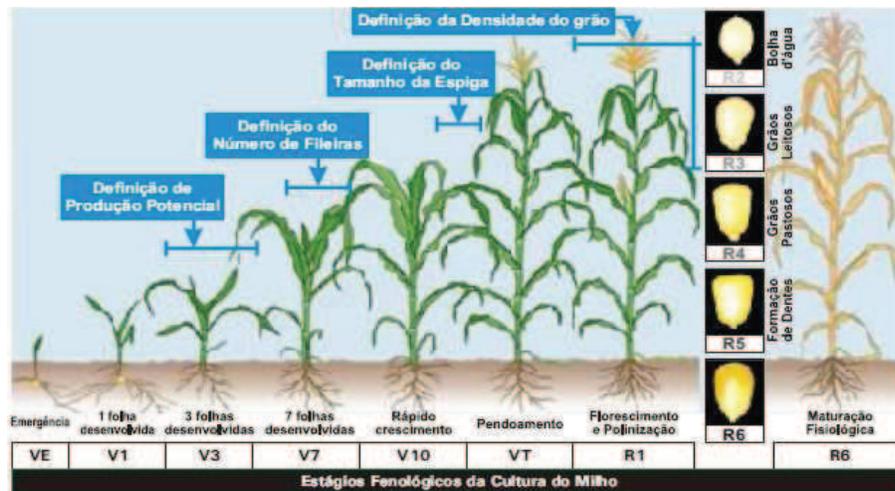


Figura 9. Estádios vegetativos reprodutivos da cultura do milho.
Fonte: Adaptado de Fancelli e Dourado Neto (2000).

Tabela 2. Estádios vegetativos e reprodutivos de uma planta de milho.

Estádio Vegetativo	Descrição	Estádio Reprodutivo	Descrição
VE	Emergência	R1	Florescimento
V1	Primeira Folha	R2	Grão leitoso
V2	Segunda Folha	R3	Grão pastoso
V3	Terceira Folha	R4	Grão farináceo
V6	Sexta Folha	R5	Grão farináceo-duro
V9	Nona Folha	R6	Maturidade fisiológica
V12	Décima segunda Folha		
V15	Décima quinta Folha		
V18	Décima oitava Folha		
VT	Pendoamento		

Fonte: Ritchie et al. (2003)

3.1.2.1 Ciclo Fenológico

O milho inicia seu ciclo fenológico a partir da semente, onde a mesma absorve água e começa seu crescimento, sendo que as condições de calor e umidade é quem determinam a quantidade de dias para emergência da semente após a semente. Em seguida inicia-se o estágio vegetativo da planta, onde as folhas começam a se desenvolver. As subdivisões dos estádios vegetativos são designadas numericamente como V1, V2, V3... V(n), no qual (n) representa o último estágio foliar e VT pendoamento. Na metade da fase vegetativa ocorre alta taxa de desenvolvimento de órgãos florais, acumulando também nutrientes e peso seco, os quais continuarão até os estádios reprodutivos, onde há uma grande demanda no suprimento de água e nutriente para satisfazer a necessidade da cultura (Weismann, 2008).

No final da fase vegetativa já é possível observar o crescimento de estilos-estigmas "cabelos" nas espigas, nesse momento o estresse hídrico causa grande redução na produção de grãos. O início do pendoamento (VT) caracteriza-se quando o último ramo do pendão está completamente visível e os "cabelos" não tenham ainda emergido na espiga (Ritchie et al., 2003).

O ciclo reprodutivo (R) tem início a partir do florescimento da planta R1 é caracterizado pela polinização dos estigmas-estilo. A partir daí os grãos passam a ganhar acúmulo de matéria seca. Ao final da fase reprodutiva o milho atinge cerca de metade de seu peso seco, o estresse ambiental pode diminuir a produtividade pela redução do peso dos grãos, interrompendo o acúmulo de matéria seca (Weismann, 2008).

Na maturação R6 ocorre paralisação total do acúmulo de matéria seca nos grãos e acontece também o início do processo de senescência natural das folhas das plantas, as quais

gradativamente começam a perder a sua coloração verde característica. O ponto de maturidade fisiológica caracteriza o momento ideal para a colheita, ou ponto de máxima produção (Ritchie et al., 2003).

3.1.2.2 Necessidades Fisiológicas da Cultura

O clima é o fator que oferece os maiores desafios para o correto manejo da cultura. Para que haja crescimento e desenvolvimento das plantas, é necessário que os aspectos do clima, tais como temperatura média (diurna e noturna), precipitação e radiação solar estejam de acordo com as exigências da cultura (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

As restrições climáticas (seca, geada, frio, altas temperaturas e excesso de chuvas) sobre a cultura são muito variadas devido aos sistemas de cultivo (épocas de semeadura, principalmente). Além disso, os diferentes tipos de solo, com capacidades de retenção de água variada, induzem a um comportamento distinto das cultivares, podendo provocar perdas drásticas de rendimento (Brunini et al., 2001).

Embora o milho responda à interação dos diversos fatores climáticos, os de maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação e a temperatura. Estes elementos atuam eficientemente nas atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca (Embrapa Milho e Sorgo, 2008).

- **Temperatura**

Na região sul do Brasil, a temperatura representa um fator limitante, durante o período de germinação, as temperaturas ideais do solo para a cultura do milho variam entre 25 °C e 30 °C, no entanto, temperaturas do solo inferiores a 10 °C ou superiores a 40 °C ocasionam prejuízo sensível à germinação. Na floração, temperaturas médias superiores a 26 °C aceleram o desenvolvimento dessa fase, enquanto temperaturas inferiores a 15,5 °C o retardam. Cada grau acima da temperatura média de 21,1 °C nos primeiros 60 dias após a semeadura pode acelerar o florescimento entre dois e três dias (Embrapa Milho e Sorgo, 2006).

Verões com temperatura média diária inferior a 19 °C e noites com temperatura média inferior a 12,8 °C não são recomendados para produção de milho. Por outro lado, temperaturas noturnas superiores a 24 °C proporcionam um aumento da respiração,

ocasionando uma diminuição da taxa de fotossíntese e conseqüente redução da produção. Temperaturas inferiores a 15 °C retardam a maturação dos grãos (Embrapa Milho e Sorgo, 2008).

- **Luminosidade – Fotoperíodo**

Dentre os componentes climáticos que afetam a produtividade do milho, está o fotoperíodo, representado pelo número de horas de luz solar, o qual é um fator climático de variação sazonal, mas que não apresenta muita variação de ano para ano. O milho é considerado uma planta de dias curtos, embora algumas cultivares tenham pouca ou nenhuma sensibilidade às variações do fotoperíodo. Um aumento do fotoperíodo faz com que a duração da etapa vegetativa aumente e proporcione também um incremento no número de folhas emergidas durante a diferenciação do pendão e do número total de folhas produzidas pela planta (Embrapa Milho e Sorgo, 2006).

- **Necessidades Hídricas**

Segundo Weismann (2008) o milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma lavoura de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm. Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de 50%. O efeito da falta de água, associado à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta:

a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado;

b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nessa fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico;

c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos.

De acordo com Brunini et al. (2001) a falta de água no solo é, sem dúvida, a principal causa de redução na produção vegetal. O estresse de água na planta resulta da interação entre a disponibilidade de água no solo, a demanda evaporativa e os fatores fisiológicos.

A ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho pode ocasionar danos em todas as fases. Na fase do crescimento vegetativo, devido ao menor alongamento celular e à redução da massa vegetativa, há uma diminuição na taxa fotossintética. Após o déficit hídrico, a produção de grãos é afetada diretamente, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética. Na fase do florescimento, a ocorrência de dessecação dos estilos-estigmas (aumento do grau de protandria), aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen resultarão em redução no rendimento. Déficit hídrico na fase de enchimento de grãos afetará o metabolismo da planta e o fechamento de estômatos, reduzindo a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produção de fotossimilados e sua translocação para os grãos (Embrapa Milho e Sorgo, 2006).

3.2.1.3 Época de Semeadura para o milho

De acordo com Embrapa Milho e Sorgo (2006), a época de semeadura mais adequada para o milho é aquela que faz coincidir o período de floração com os dias mais longos do ano e a etapa de enchimento de grãos com o período de temperaturas mais elevadas e alta disponibilidade de radiação solar. Isto, considerando satisfeitas as necessidades de água pela planta.

Segundo Gonçalves et al. (2002), no período primavera-verão ele é cultivado em todo o estado do Paraná, em diferentes tipos de solos, com níveis de riscos climáticos e potencial de rendimento variáveis. Outra alternativa é o seu cultivo na época do ano compreendida entre o verão e o outono, caracterizando o que se chama de “safrinha”, onde a semeadura da cultura de verão é antecipada para que após a colheita da mesma ocorra o plantio do milho safrinha. Porém, os riscos climáticos do cultivo nesta época do ano, não estão ainda bem definidos para o Paraná.

A semeadura de milho envolve riscos de várias ordens, tais como: semente de má qualidade, manejo inadequado de fertilizantes, equipamentos e, principalmente, a falta de água. Para a cultura do milho, a água é fator determinante da produção, principalmente, na fase de germinação, e nos períodos de floração e enchimento de grãos. A escolha da época de semeadura é uma forma de selecionar períodos em que as condições climáticas dominantes indicam disponibilidade de água para os períodos críticos (Sans, et al. 2001).

3.2 Calendário Agrícola

Para Almeida (2005) a decisão do agricultor em escolher qual o melhor período para iniciar a instalação de suas lavouras depende de um conjunto de variáveis, que definem o calendário agrícola médio de uma região. Algumas destas variáveis envolvem basicamente um planejamento prévio, e em outros casos, uma oportunidade de condições ideais nem sempre previsíveis. O agricultor é o profissional que trabalha com uma atividade essencialmente sob riscos, sejam eles econômicos, estruturais e ambientais. Por exemplo, as condições de ambiente iniciais que possam garantir a instalação das lavouras, com a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas, dado pelas condições de umidade disponível no solo segundo sua capacidade de armazenamento, que basicamente são provenientes das chuvas, disponibilidade de insumos e sementes, um período que permita obter o maior potencial produtivo de uma cultura e conseqüentemente maior ganho econômico, entre outros fatores. Assim, o mês de novembro apresenta as condições termofotoperiódicas e de início de estação chuvosa, que permitem o melhor aproveitamento genético da cultura da soja (Embrapa Soja, 2004).

Devido ao alto risco de geada nos meses de junho e julho, principalmente nas áreas acima de 600 m de altitude a semeadura do milho inicia-se a partir de outubro, evitando riscos de perda de produção (Embrapa Milho e Sorgo, 2006). A Figura 10 ilustra o período mais crítico da deficiência hídrica pela cultura da soja, considerando o desenvolvimento normal de cultivares pertencentes ao grupo de maturação de 116 a 125 dias, que dão início à floração, em média, a partir de 50 dias após a semeadura.

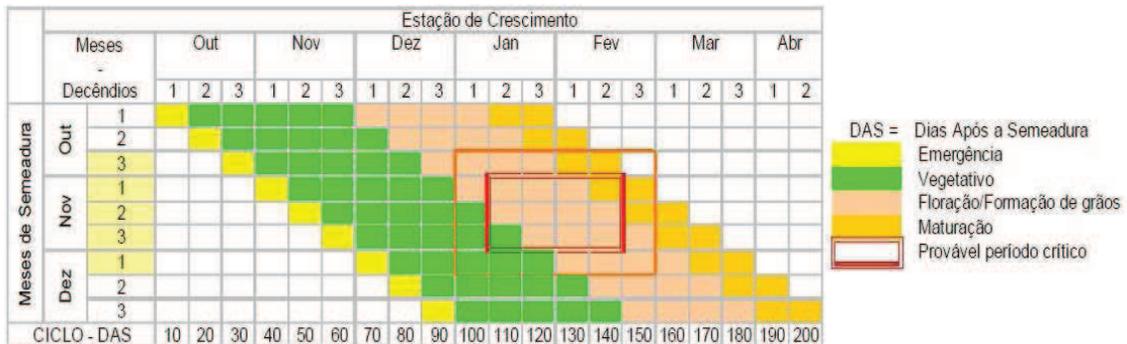


Figura 10. Calendário agrícola médio para cultura da soja.
Fonte: Almeida (2005).

A Tabela 3 apresenta o calendário agrícola para as culturas de soja e milho no estado do Paraná segundo Yamaoka (2008).

Tabela 3. Calendário agrícola para soja, milho e milho safrinha no estado do Paraná.

Culturas	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Ciclo
Soja Antecipada				■	■	■	■	■					115-137
Soja Normal					■	■	■	■	■	■			115-125
Soja Tardia						■	■	■	■	■	■		126-150
Milho Antecipado			■	■	■	■	■	■					135-150
Milho Normal				■	■	■	■	■	■				125-150
Milho Tardio					■	■	■	■	■	■			115-135
Milho Safrinha							■	■	■	■	■	■	110-125

Fonte: Adaptado de Yamaoka (2008).

3.3 Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta valiosa no monitoramento agrícola devido a sua cobertura sinóptica e habilidade de “enxergar” em diversos comprimentos de onda (Labus et al., 2002). Na agricultura, as aplicações estão relacionadas ao monitoramento da extensão, vigor e tipo de cobertura vegetal (Rees, 1990).

Para o monitoramento da atividade agrícola, é preciso fazer um acompanhamento periódico, visto que as culturas levam um determinado tempo para se desenvolver. Para acompanhar a dinâmica agrícola, o caráter global, multiespectral e repetitivo fazem com que o sensoriamento remoto seja altamente qualificado para essa atividade, principalmente em países de grandes dimensões como o Brasil (Sanchez et al, 2005).

Para fazer um acompanhamento agrícola de determinada cultura é necessário o conhecimento do comportamento espectral da mesma.

3.3.1 Resolução Espacial e Temporal de Sistemas Sensores

Para atividades agrícolas, a variação da cobertura vegetal em cada estágio de desenvolvimento é percebida em dias, além disso, na agricultura os dados provenientes do sensoriamento remoto são usados predominantemente com objetivos de acompanhamento e previsão, sendo assim, é necessário fazer uso de imagens atuais.

Não existe propriamente um tipo de sensor remoto para a agricultura, pelo menos não no sentido de que só a agricultura seria atendida por esse sensor ou, por outro lado, que apenas esse sensor serviria à agricultura. O que existem são características dos sensores que podem ser mais ou menos adequadas à obtenção de dados sobre a agricultura.

Pode-se dizer que, do ponto de vista da agricultura, o que vai determinar a resolução temporal adequada é o uso que se vai fazer dos dados e quais as peculiaridades do agrossistema que se quer monitorar. Então, se o objetivo for o de acompanhar o desenvolvimento das principais culturas anuais, o intervalo ideal entre uma observação e outra deveria ficar em torno de 10 dias. Para as culturas semiperenes e perenes este intervalo pode aumentar e ficar entre 15 e 30 dias. Já a detecção de desastres, como por exemplo, enchentes, exigiria uma disponibilidade quase imediata dos dados, uma questão de 1 a 3 dias (Simonett et al., 1983).

Quando se trata de resolução espacial para agricultura, essa resolução vai depender do nível de detalhamento que se pretende observar. Em aplicações que envolvam a estimativa da produtividade agrícola através de suas características espectrais, que necessitam do monitoramento constante de dosséis agrícolas de grandes culturas sem a necessidade de informações detalhadas, a resolução espacial mais indicada pode ficar em torno de 500 x 500 m a 1000 x 1000 m (Pax-Lenney e Woodcock, 1997).

A resolução radiométrica está relacionada à capacidade de um sistema sensor em discriminar pequenas variações na quantidade de radiação refletida ou emitida pelos alvos. Para representar essas variações no formato de uma imagem digital, os diferentes valores do sinal são quantizados em uma escala binária e representados através de uma escala monocromática, onde ao sinal com intensidade zero é atribuído o preto e ao sinal de máxima intensidade é atribuído o branco. Para se expressar a resolução radiométrica emprega-se a expressão 2^n , sendo “n” o nível de quantização da imagem, ou seja, o número de bits utilizado na geração da imagem digital. A maioria das imagens geradas a partir de sensores remotos utiliza uma quantização de 8 bits. Desta forma, a quantidade de níveis de cinza possível de ser representada na imagem é dada por 2^8 , ou seja, 256 (Mather, 1999).

Deste modo, a Tabela 4 apresenta as principais características dos sensores que são usualmente utilizados para fins agrícolas.

Tabela 4. Algumas características de sistemas sensores

Satélite	Sensor	Resolução Espacial	Resolução Temporal
NOAA	AVHRR/3	1,1 km	12 horas
SPOT	Vegetation	1,0 km	24 horas
Terra/Aqua	MODIS	250 m 500 m 1,0 km	1 ou 2 dias
Landsat 5	TM	30 m	16 dias
CBERS 2	CCD	20 m	26 dias

Doraiswamy et al. (2003) utilizaram imagens com diferentes resoluções espaciais (Landsat e NOAA/AVHRR) em um modelo para estimar a produtividade da cultura do trigo no Norte de Dakota-EUA e constataram que, devido à baixa resolução espacial, as imagens AVHRR não foram adequadas para a classificação das áreas cultivadas. Porém, os dados AVHRR possibilitaram detectar stress hídrico que retardou o crescimento da cultura e a antecipou a senescência antecipou a senescência.

Laparelli et al. (2008) comparou o mapeamento da semeadura da soja na região oeste do Paraná utilizando imagens MODIS/TERRA e TM/Landsat 5 e concluiu que O mapeamento da soja utilizando o sensor MODIS produziu 70% de confiabilidade sob o ponto de vista do usuário. A principal conclusão é a viabilidade de mapear a soja pelo sensor MODIS com as vantagens de que as imagens MODIS têm melhor resolução temporal o MODIS é bastante apropriado, em relação ao sensor TM, para mapear a cultura de soja.

3.3.2 Séries Multitemporais

O uso de séries multitemporais em uma área cultivada permite acompanhar tanto o comportamento da cultura ao longo do desenvolvimento como também comparar diferentes comportamentos ao longo dos anos.

Uma imagem de satélite de uma única data pode não fornecer informações espectrais suficientes para permitir identificar todas as culturas plantadas numa determinada estação. Mas, imagens multitemporais podem prover maiores informações sobre a área plantada e indicações sobre o crescimento e desenvolvimento de culturas, que podem ser elementos-chave na discriminação espectral de diferentes culturas (Sanches et al., 2005). Os autores relatam que a discriminação de culturas em imagens de satélite não é tarefa trivial e envolve inúmeros fatores. No entanto, uma análise multitemporal aliada ao padrão de cultivo, à

experiência do intérprete e ao conhecimento da área de estudo e das culturas, possibilita um bom resultado na identificação de culturas agrícolas em imagens de satélite.

Através de uma série de imagens é possível acompanhar o desenvolvimento de uma cultura em áreas extensas, segundo Martinko et al. (2000), a análise de séries temporais de imagens pode permitir comparar as condições atuais de uma cultura com as condições apresentadas na semana anterior, ou no ano anterior, na mesma época. Além disso, Jakubauskas et al. (2002) relatam que a análise de imagens multi-temporais pode ser utilizada na discriminação de áreas cultivadas, uma vez que cada cultura apresenta comportamentos distintos de reflectância ao longo do tempo.

De acordo com Yi et al. (2007), as imagens multitemporais do sensor MODIS mostraram-se eficientes para identificar e mapear áreas de milho no noroeste do Rio Grande do Sul. Fontana et al. (2001) utilizando imagens AVHRR-NOAA, analisaram as diferenças entre os perfis de NDVI em regiões produtoras de soja no Rio Grande do Sul e conseguiram realizar o acompanhamento da evolução da biomassa da soja, em nível regional. Fernandes (2009) avaliou o potencial de uso de imagens multitemporais do sensor SPOT *Vegetation* para a identificação de áreas canavieiras do estado de São Paulo, onde o resultado desta identificação em escala estadual mostrou-se eficiente alcançando índices de determinação entre 0,77 e 0,82.

3.3.3 Comportamento Espectral da Vegetação

A interação da radiação solar com a vegetação se dá principalmente nas folhas, órgãos vegetais altamente especializados na absorção da Radiação Eletromagnética (REM), onde ocorre o processo da fotossíntese (Salisbury e Ross, 1992; Nobel et al., 1993). A Figura 11 ilustra a curva de refletância de uma folha de soja, cujo comportamento pode ser generalizado como típico de uma folha de qualquer vegetação sadia. Verifica-se que a refletância varia em função do comprimento de onda, com regiões do espectro mais significativas e distintas nos comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

A energia refletida pelas coberturas vegetais e captada pelos satélites é influenciada pelo solo. A influência do solo na refletância das coberturas vegetais está relacionada às

características da cultura, como espaçamento, porte, vigor e fase de desenvolvimento (Guyot, 1989).

As culturas agrícolas de curto período de desenvolvimento apresentam grandes modificações na quantidade de material vegetal contido no dossel da plantação durante o seu ciclo fenológico, ocorrendo diferença nas possíveis interações da radiação eletromagnética com a cultura (absorção, transmissão ou emissão e reflexão), tornando possível monitorá-las, ou seja, registrar informações dessas culturas por meio de sensores remotos (Formaggio, 1989).

Kollenkark et al (1982), estudando a cultura da soja, relatam que a refletância espectral dos dosséis vegetais pode ser alterada por práticas culturais de espaçamento, população de plantas, data de plantio, bem como pelo porte, vigor e fase fenológica da cultura. No início do desenvolvimento, o comportamento espectral do dossel vegetal é altamente influenciado pelo solo, já que as plantas estão germinando e a cobertura vegetal praticamente não existe. À medida que a soja cresce e a cobertura vegetal aumenta, a influência do solo diminui e o comportamento do dossel tende a se ajustar ao comportamento das plantas verdes. Ao entrar em senescência, o porte das plantas e o vigor vegetal diminuem, reduzindo a cobertura vegetal e alterando o comportamento espectral do dossel que volta ao padrão do solo.

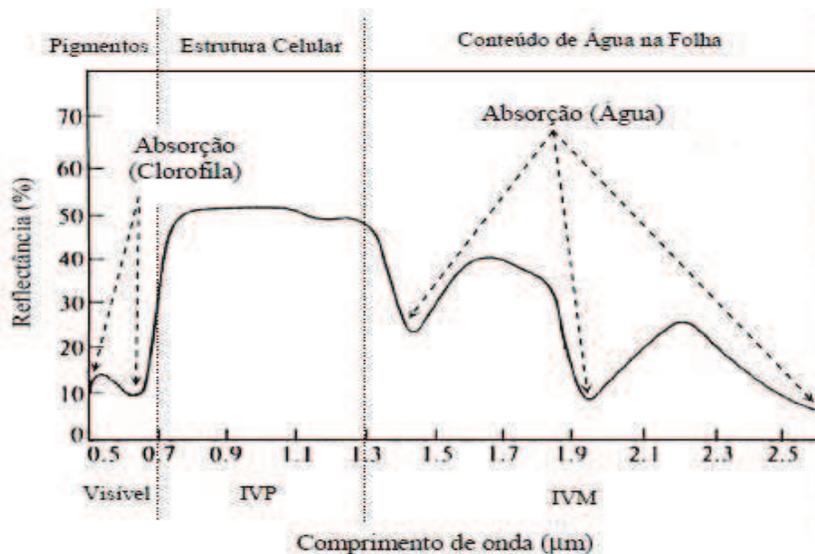


Figura 11. Comportamento espectral de uma folha da soja
Fonte: Hoffer (1978). Adaptado por Esquerdo (2007).

3.3.4 Índice de Vegetação

Com a finalidade de ressaltar a resposta espectral da vegetação em relação à resposta espectral dos solos são utilizados os índices de vegetação (Jackson, 1983). Jackson e Huete (1991) afirmam que um índice de vegetação ideal deve ser capaz de responder às sutis variações dos estádios fenológicos da vegetação e não pode ser fortemente influenciado por variações nas condições e tipos de solo, na geometria de iluminação e de visada e nas condições atmosféricas. Ou seja, os índices espectrais devem ser aplicados independentemente da situação. Um índice de vegetação ideal deveria minimizar os efeitos variáveis do brilho de fundo e enfatizar as variações decorrentes da densidade de vegetação (Barbosa, 1998).

Os índices de vegetação são combinações matemáticas da resposta espectral de diferentes bandas do espectro eletromagnético, sendo que os principais índices citados na literatura utilizam os valores de refletância em duas faixas de comprimento de onda, o vermelho (R) e o infravermelho próximo (NIR). O contraste da resposta da vegetação nestes comprimentos de onda faz com que a vegetação seja realçada em relação aos demais alvos, facilitando a sua identificação e o seu monitoramento a partir de dados de sensoriamento remoto (Asrar et al., 1984; Baret e Guyot, 1991). Para tentar diferenciar a cobertura vegetal de outros alvos e os tipos de vegetação entre si, vêm sendo desenvolvidos inúmeros índices de vegetação baseados em medidas espectrais (Huete, 1988).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é amplamente utilizado por proporcionar um forte sinal da vegetação e oferecer um bom contraste com outros objetos da superfície terrestre (Tucker e Sellers, 1986). Esse índice foi proposto por Rouse et al. (1973), ele é baseado na razão normalizada da diferença entre as refletâncias da vegetação nos comprimentos de onda equivalentes ao vermelho e ao infravermelho próximo, conforme equação I.

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) \div (\text{IVP} + \text{V}) \quad (\text{I})$$

Onde:

IVP = refletância na banda do infravermelho próximo;

V = refletância na banda do vermelho.

O NDVI, bem como outros, pode ser relacionado com propriedades particulares da vegetação, como quantidade de biomassa, porcentagem de cobertura e índice de área foliar (Huete, 1988; Asner, 1998), sendo útil também para o acompanhamento fenológico da cobertura vegetal natural (Venturieri e Santos, 1998).

3.4 Mapeamento de culturas

Sabendo-se que cada superfície apresenta comportamentos espectrais distintos ao longo do espectro eletromagnético, os dados de sensores multiespectrais podem ser utilizados na identificação e mapeamento das superfícies terrestres, desde que se conheçam as características espectrais dessas superfícies nas bandas imageadas pelos sensores (Hoffer, 1978).

O processo de classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto consiste em associar cada pixel da imagem a um rótulo ou classe descrevendo um objeto real. Existem duas abordagens neste processo, a primeira denomina-se classificação supervisionada, onde o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas (formando a área de treinamento) e o software localiza todos os demais pixels pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística pré-estabelecida. A segunda chama-se classificação não-supervisionada, nesta o próprio software decide, por análise de agrupamento, quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma dessas classes (Crósta, 2002).

Dentro da classificação supervisionada, o método do Paralelepípedo considera uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento, cuja forma é um quadrado ou um paralelepípedo, definido pelo conjunto de treinamento. Todos os pixels situados dentro do paralelepípedo serão classificados como pertencentes à classe definida (Crósta, 2002).

Segundo Congalton (1992), a coleta de dados que representa a situação real de campo na época da obtenção da imagem, é uma parte essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto.

Diversas pesquisas têm mostrado o potencial de uso do sensoriamento remoto na agricultura, como mapeamento e monitoramento de culturas (Maselli e Rembold, 2001; Pellegrino, 2001; Doraiswamy et al., 2003; Rudorff, 2005; Rocha, 2006; Esquerdo, 2007).

Wood et al. (2003) demonstraram um método para o mapeamento da variabilidade das culturas de trigo e cevada por meio do sensoriamento remoto. Obtiveram correlações entre os parâmetros de produtividade (números de planta por metro quadrado) e os dados de NDVI medidos das imagens aéreas, com o coeficiente de determinação de 70% em mais de 85% dos casos estudados.

3.5 O Sistema SPOT

O Spot 4 (*Systeme Pour L'Observation de la Terre*), em operação desde 24 de Março de 1998, classifica-se como um satélite de órbita baixa, situando-se a 820 quilômetros de altitude com inclinação orbital de 98,7°, permanecendo em órbita polar heliosincrônica (SPOT, 2008), o que garante que todas as cenas sejam adquiridas a uma altitude praticamente invariável, garantindo constância na resolução espacial e na escala (Epiphanyo, 2001). O sistema Spot-4 é constituído por dois sensores, o sensor *HRVIR (Haute Resolution Visible et Infra Rouge)* e o sensor *Vegetation (VGT)*.

O sensor SPOT *Vegetation* é uma câmara multiespectral que possui um sistema de imageamento do tipo *pushbroom*, com baixa resolução espacial (1,1 km). As funções desse sensor são permitir um monitoramento contínuo regional e global da biosfera continental e das culturas. Com seu grande campo angular consegue cobrir 90% da Terra num só dia, e os outros 10% no dia seguinte. A largura da imagem é de 2200 km (Vegetation, 2009). A Figura 12 apresenta os valores da resposta espectral do sensor *Vegetation* de cada banda utilizada e a Tabela 5 apresenta as principais características do sensor.

Um dos produtos do SPOT *Vegetation* que será de grande importância para realização desse trabalho são as imagens de NDVI, disponibilizadas gratuitamente pelo *The Image Processing and Archiving Centre VITO*, com intervalo temporal diário, decenal e mensal. Nos casos de imagens decenais e mensais, o valor de NDVI apresentado é o maior valor registrado no intervalo de tempo, neste caso utilizando-se o produto VGT -S10 (síntese de 10 dias) que consiste na fusão de segmentos adquirida em 10 dias. Todos os segmentos deste período são comparados novamente pixel por pixel para escolher o "melhor" valor de refletância, ou seja, o melhor valor de refletância dentro desses 10 dias será utilizado para

compor a imagem decendial no período (Vito, 2009). A vantagem no uso desse produto é a obtenção de uma imagem livre de nuvem, fator importante devido ao período de estudo.

Tabela 5. Principais características do sensor *Vegetation*.

Banda	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial	Resolução temporal	Faixa Imageada	Órbita
Azul	0,43 – 0,47				822 km,
Vermelho	0,61 – 0,68				Síncrona com o Sol,
Infravermelho próximo	0,78 – 0,89	1 km	1 dia	2250 km	Inclinação 98,7°, Cruzamento Equatorial 10h30min
Infravermelho de ondas curtas	1,58 – 1,75				

Fonte: Adaptado de Jensen (2009).

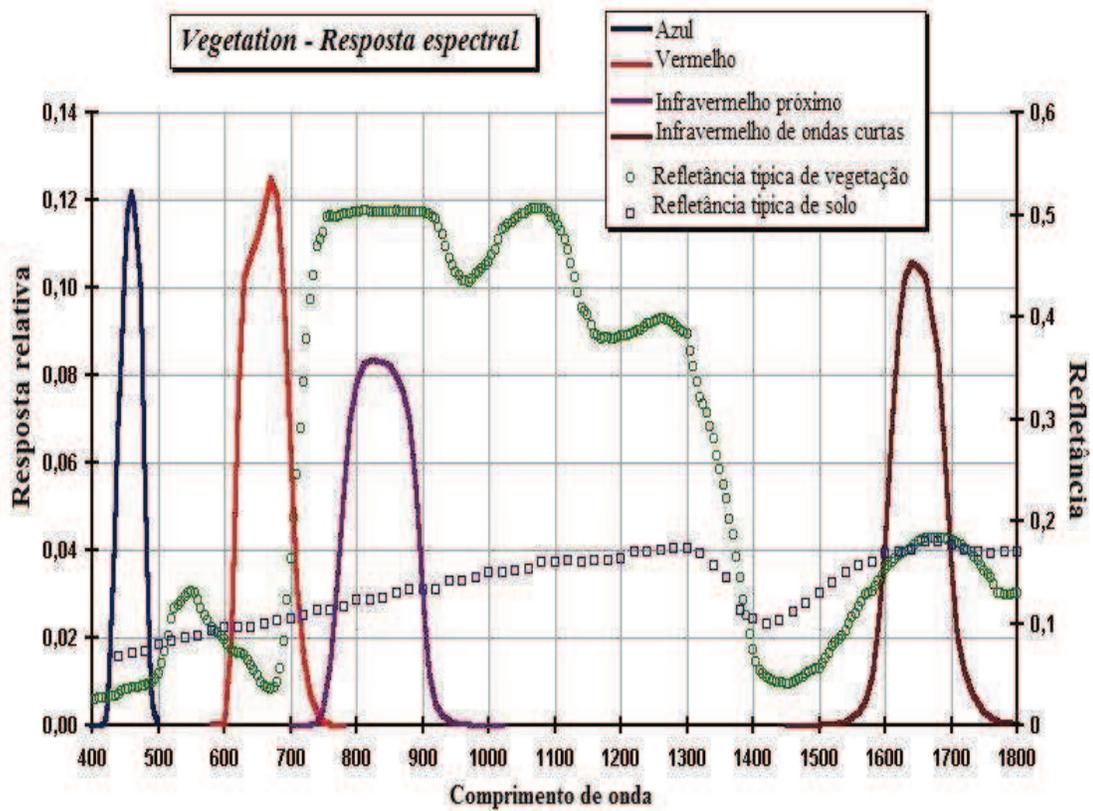


Figura 12. Resposta espectral do sensor *Vegetation*

Fonte: Vegetation, 2009.

3.6 Agricultura e Meteorologia

Dentre as atividades econômicas, a que exige maior dependência das condições do tempo e do clima é a agricultura. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, que vão desde o preparo do solo para semeadura até a colheita. Daí a importância do estudo da agrometeorologia (Pereira, et al., 2002).

Tem crescido em todas as partes do globo a necessidade de obtenção e transferência de dados meteorológicos em tempo real para dar suporte às diversas atividades de pesquisa como: agricultura, recursos hídricos, construção civil, pesquisa e desenvolvimento, monitoramento ambiental, e biologia. Por outro lado tem crescido substancialmente também a preocupação com as adversidades e os impactos dos desastres naturais. Considerando-se que 70% ou mais destes extremos e adversidades são diretamente relacionados aos aspectos meteorológicos, para estabelecer as estratégias e medidas pró-ativas eficientes e efetivas o monitoramento das variáveis meteorológicas deve ser contínuo, prático e ágil (Obasi, 2001).

De acordo com Brunini et al (2005) a caracterização da variabilidade climática e os efeitos das adversidades meteorológicas, não podem ser entendidos como uma resposta de um parâmetro somente. Estas devem ser observadas sob o ponto de vista da cultura ou estágio fenológico e, além disto, esta análise deve ser enfocada avaliando-se o comportamento temporal e espacial dos parâmetros meteorológicos e agrometeorológicos.

Adversidades climáticas como a seca (71% dos casos) é o principal fenômeno gerador de prejuízos e aumento dos custos para a cultura de soja no Brasil (Farias et al. 2001). Apesar de todo o progresso que as pesquisas têm alcançado com cultivares com maior potencial de rendimento, estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos, têm limitado o rendimento cultura (Maehler et al. 2003).

A soja pode ser cultivada sob condições ambientais muito variáveis e predominantemente sem irrigação, sendo assim, está sujeita ao déficit hídrico e, dependendo da maior ou menor intensidade deste, o desenvolvimento da planta é afetado (Confalone & Dujmovich, 1999), ou seja, a soja necessita da água em todas as fases do seu crescimento e do seu desenvolvimento e sua falta ou não pode determinar se a lavoura terá um bom rendimento ou uma quebra expressiva de produção.

Junior et al. (2009) estudaram a relação existente entre clima e agricultura, utilizando a produção de grãos de soja na microrregião de Londrina nas safras de 2005/2006 e 2006/2007

no sentido de visualizar a dinâmica atmosférica dos dois períodos e relacioná-las com a disponibilidade hídrica do solo, e ainda o impacto destes no rendimento de grãos de soja na região. Os autores constataram que a safra 2005/2006 ocorreu uma seca que afetou o rendimento final, diferentemente da safra 2006/2007, em que índices pluviométricos foram bastante ideais, gerando um aumento de 18% de rendimento médio (kg/ha) na produção da microrregião. Deste modo, pôde ser visualizado, mesmo que em curto espaço de tempo, os impactos e conseqüências da relação clima x agricultura.

3.6.1 Estações Meteorológicas

A observação de superfície, realizada nas estações meteorológicas, consiste da coleta rotineira de dados referentes aos diversos elementos meteorológicos, que caracterizam o estado da atmosfera, ou seja, o tempo. Essa coleta de dados exige normas com relação à localização, tipo e instalação dos equipamentos, e padronização dos horários de observação e dos procedimentos operacionais, como calibração e aferição dos equipamentos, o que permite comparação dos dados coletados em diferentes estações meteorológicas, cuja diferença deve ser creditada unicamente à variação do macroclima, (Pereira et al., 2002).

As estações agrometeorológicas objetivam coletar dados meteorológicos de interesse às atividades agrícolas e que por isso realizam algumas observações não encontradas em outros tipos de estação, como temperatura do solo e evaporação.

Segundo Pereira et al. (2002), o Brasil por suas dimensões continentais ainda não apresenta uma rede de estações meteorológicas que atenda às suas necessidades. Há um maior número nas áreas mais desenvolvidas e poucas em áreas mais remotas. Melo e Fontana (2007) relatam que, além da baixa densidade de estações, a defasagem de tempo entre a coleta dos dados e o recebimento destes também dificulta a utilização de dados medidos em estações meteorológicas no monitoramento de culturas no Brasil.

3.6.2 O Modelo ECMWF

O país apresenta dificuldades na utilização de dados meteorológicos provenientes de estações meteorológicas para o monitoramento de culturas, devido ao reduzido número de

estações distribuídas ao longo de seu território, ao lento processo de coleta e distribuição de dados, a concentração em algumas áreas e a escassez em outras e até mesmo a burocracia no processo de disponibilização dessas informações.

Uma alternativa que pode suprir essa carência é o uso do modelo atmosférico global ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*), que segundo Person e Grazziani (2007) é pioneiro em modelagem numérica e modelos de circulação global.

O ECMWF coleta informações meteorológicas de estações espalhadas por todo mundo, radares meteorológicos, satélites entre outras fontes, essas informações são coletadas para as horas sinóticas (00, 06, 12, 18 UTC). Estes dados são usados para produzir parâmetros meteorológicos e agrometeorológicos. Então transferidos para o JRC (*Joint Research Centre*) e colocados à disposição de outros parceiros para posterior processamento. Através de equações que descrevem características atmosféricas os dados são processados para formar um estado fisicamente válido da atmosfera e também transformados em grades de 0,5 grau de latitude e longitude, resultando em parâmetros para o mundo inteiro (ECMWF, 2009). Recentemente sua grade diminuiu para uma resolução melhor de 0,25 grau. São produzidos mapas decendiais e mensais e transferidos para o JRC.

Existe um banco de dados na página eletrônica do JRC para disponibilização desses dados com séries históricas desde 1974. Os dados simulados são de precipitação (mm), radiação global ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{dia}$), temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), balanço hídrico climático (mm) e deposição de neve (cm), com intervalos diários, decendiais e mensais (JRC, 2008).

Melo e Fontana (2006) avaliaram a qualidade dos dados de temperatura e precipitação do modelo ECMWF comparando com dados observados em estações de superfície no estado do Rio Grande do Sul. Os autores relatam que para temperaturas simuladas pelo modelo foram superestimados $5,2^{\circ}\text{C}$ em média. Constataram também que os dados de precipitação apresentam grande dispersão quando comparados com as estações, porém essa dispersão observada nos dados é devida ao fato de no Estado do Rio Grande do Sul, existir grande variabilidade espacial das precipitações pluviais, principalmente nos meses de verão, que não é percebida em uma grade regular de 0,5 grau de latitude e longitude.

Deppe et al. (2006) validaram dados de precipitação do ECMWF com dados observados da rede de estações do SIMEPAR durante o ano de 2005 no estado do Paraná. As

informações foram interpoladas e reamostradas para um *grid* de 1 km. No período de comparação há uma fase coerente entre as duas fontes de informação. Porém nas maiores diferenças os maiores valores foram observados nas estações meteorológicas nos meses de períodos de grande acúmulo de precipitação com evento de chuvas frontais, assim podem existir subestimativas nas estimativas do modelo. Já para o período do verão, onde ocorre chuvas convectivas, a chuva foi subestimada pela estação devido a forma de medição, enquanto o modelo tende a detectar melhor esse tipo de informação. Assim os autores concluíram que para o período em questão o modelo possui suficiente informação para aplicações decendiais como balanço hídrico e cálculos de evapotranspiração.

3.7 Interpolação de dados

Em estudos relacionados ao planejamento agrícola é fundamental o conhecimento da distribuição espacial da precipitação entre outras variáveis climáticas, pois são fatores que influenciam o crescimento da cultura. A associação de modelos matemáticos e estatísticos tem explicado o comportamento de fenômenos da natureza, principalmente na agricultura. Dados meteorológicos, obtidos através de observações ou então estimados, estão sendo cada vez mais utilizados como dados de entrada em modelos, por exemplo, modelos de monitoramento de culturas, crescimento, rendimento ou produtividade.

A geoestatística é constituída por um conjunto de ferramentas (determinísticas e estatísticas) desenvolvidas para o entendimento e modelagem da variabilidade espacial de atributos. A principal vantagem da utilização da geoestatística é definir a dependência espacial e/ou temporal de uma variável e assim aperfeiçoar o processo de amostragem. (Bönisch, 2001).

Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, chegou a conclusão que apenas a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Portanto, foi necessário levar em consideração a distância entre as observações. A partir daí surge o conceito de geoestatística que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. Em 1971 Matheron baseado nas informações de Krige desenvolve a teoria das variáveis regionalizadas a partir dos fundamentos da geoestatística.

Métodos de interpolação de dados são utilizados para determinar modelos de representação espacial. Tais modelos representam fenômenos que possuem valores em todos

os pontos de sua extensão. Os valores de infinitos números de pontos em toda sua superfície são derivados de um conjunto limitado de amostra (Nogueira e Amaral, 2009).

De acordo com Camargo (1997), para gerar superfícies que aproximem o fenômeno estudado de forma realista é necessário modelar sua variabilidade espacial. Os modelos que objetivam gerar superfícies a partir de procedimento de interpolação, de forma geral, representam a variável em estudo como combinação da variabilidade em larga e pequena escala. Assim, podem-se tomar três grandes abordagens: Modelos determinísticos de efeitos locais, modelos determinísticos de efeitos globais e Modelos estatísticos de efeitos locais e globais.

O método do inverso da distância de uma potência ou método da média ponderada é um modelo determinístico de efeito local e pode ser exato ou aproximado dependendo da configuração utilizada, Camargo (1997). Neste método, os dados são ponderados durante a interpolação, tal que a influência de um ponto relativo ao outro declina com o seu afastamento do nó da grade. O peso é assumido para os dados através do uso de uma potência de peso que controla de que maneira os fatores de ponderação vão diminuir à medida que a distância do nó da grade aumenta. Quanto maior a potência de peso menor o efeito que os pontos têm na grade de nós durante a interpolação (Soares, 2006).

Normalmente, o método do inverso da distância de uma potência comporta-se como um interpolador exato. Quando se calcula o nó da grade, os pesos atribuídos para os pontos dados são frações e a soma de todos os pesos é igual a um. Quando uma determinada observação é coincidente com o nó da grade, a distância entre esta observação e o nó da grade é zero, e a esta observação é dado peso um, enquanto a todas as outras são dados peso zero (Soares, 2006).

Diversos autores fizeram uso da geoestatística na análise de dados climáticos. Deppe et al. (2006) realizaram estudo de comparação entre dados de estações meteorológicas de superfície do Instituto Tecnológico do SIMEPAR no estado do Paraná e interpolando com dados espaciais do modelo ECMWF, observaram diferenças maiores entre as informações estimadas e observadas para a região sul do estado. Mello et al. (2003), utilizaram os métodos de krigagem e quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas no estado de São Paulo, constatando boa precisão em ambos os métodos. Reis et al. (2005) espacializaram dados de precipitação para projetos de drenagem na área do estado de

Goiás a fim de verificar a variabilidade espacial das precipitações e observaram a menor diferença absoluta observada entre os valores gerados foi obtida entre as variantes do método de Krigagem, no entanto, os melhores resultados, quando comparados os valores de precipitação esperados e aqueles gerados pela interpolação, foram obtidos com o método do Inverso da Potência a Distância.

3.8 Verificação da acurácia das máscaras

A verificação da acurácia das máscaras geradas pela classificação digital pode ser realizada através da obtenção de matrizes de erros calculando assim, o índice de Exatidão Global e Índice Kappa dos resultados obtidos. Para Vieira (2000) os usuários necessitam saber quão confiáveis são os dados provenientes dos mapas temáticos, derivados da classificação de um produto do sensoriamento remoto, e através da matriz de confusão e possível derivar medidas e consequentemente verificar erros oriundos do processo de atribuição dos pixels a determinadas classes. Segundo Congalton (1991) uma matriz de erro pode ser usada como ponto de partida para aplicação de uma série de técnicas estatísticas, tanto descritiva quanto analítica. A Tabela 6 apresenta a avaliação da qualidade da classificação proposta por Landis e Koch (1977).

Tabela 6. Qualidade de classificação associada aos valores do índice kappa.

<i>Índice kappa</i>	<i>Qualidade</i>
0	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,01 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

- Exatidão Global

Através da estatística descritiva obtém-se o índice de Exatidão Global, onde é calculada a razão total de pixels classificados corretamente (diagonal da matriz) pelo número total de pixels da matriz. A equação III mostra como é calculada a Exatidão Global.

$$EG = \frac{A}{n} * 100 \quad (III)$$

Onde:

EG = Exatidão Global;

A = Acerto geral (pontos amostrais com acertos);

n = Número de pontos amostrais.

- Índice Kappa

O Índice Kappa é um parâmetro utilizado para a determinação de exatidão de dados, nesse caso relacionados ao mapeamento e uso da Terra através do Sensoriamento Remoto. Segundo Weber et al. (2005), é importante salientar que nesse cruzamento é levado em conta o aspecto locacional dos erros, pois as informações do campo estão associadas à posição do ponto de visada.

O método favorece a visualização dos resultados da classificação temática e expressa a relação entre os erros associados ao sistema de classificação, os de inclusão e os de omissão, (Mangabeira et al., 2003). O Índice Kappa é determinado pela equação IV.

$$K = \frac{\left[n * \sum_{i=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_{i.} * x_{.j}) \right]}{\left[n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i.} * x_{.j}) \right]} \quad (IV)$$

Onde:

K = Coeficiente Kappa de concordância;

n = Número de observações (pontos amostrais);

r = Número de linhas da matriz de erro;

x_{ij} = Observação na linha i e coluna j;

x_{i.} = Total marginal da linha i;

x_{.j} = Total marginal da coluna j.

- Índice de Concordância de Willmott 'd'

Para verificar a concordância da máscara também fez-se uso do índice de concordância de Willmott 'd', que é determinado através da equação V, dado por uma aproximação matemática que avalia a exatidão e o afastamento dos valores estimados em relação aos observados (Willmott, 1981), onde a variação é de zero (nenhuma concordância)

até um (concordância perfeita). Foram utilizados os dados observados pelo IBGE de área plantada do período em questão em relação aos dados estimados pela máscara.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)^2}{\sum_{i=1}^n (| pi - \bar{o} | + | oi - \bar{o} |)^2} \quad (V)$$

Onde:

- pi : é o valor estimado ou previsto;
- oi : é o valor observado ou medido;
- n: número de observações;
- \bar{o} : média aritmética dos valores observados;
- \bar{p} : média aritmética dos valores previstos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Caracterização da área de Estudo

A área de estudo consiste no estado do Paraná, localizado na região Sul do Brasil, conforme Figura 13, e um dos principais produtores de soja e milho do país. Foram estudadas as safras da cultura de verão nos anos 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008.

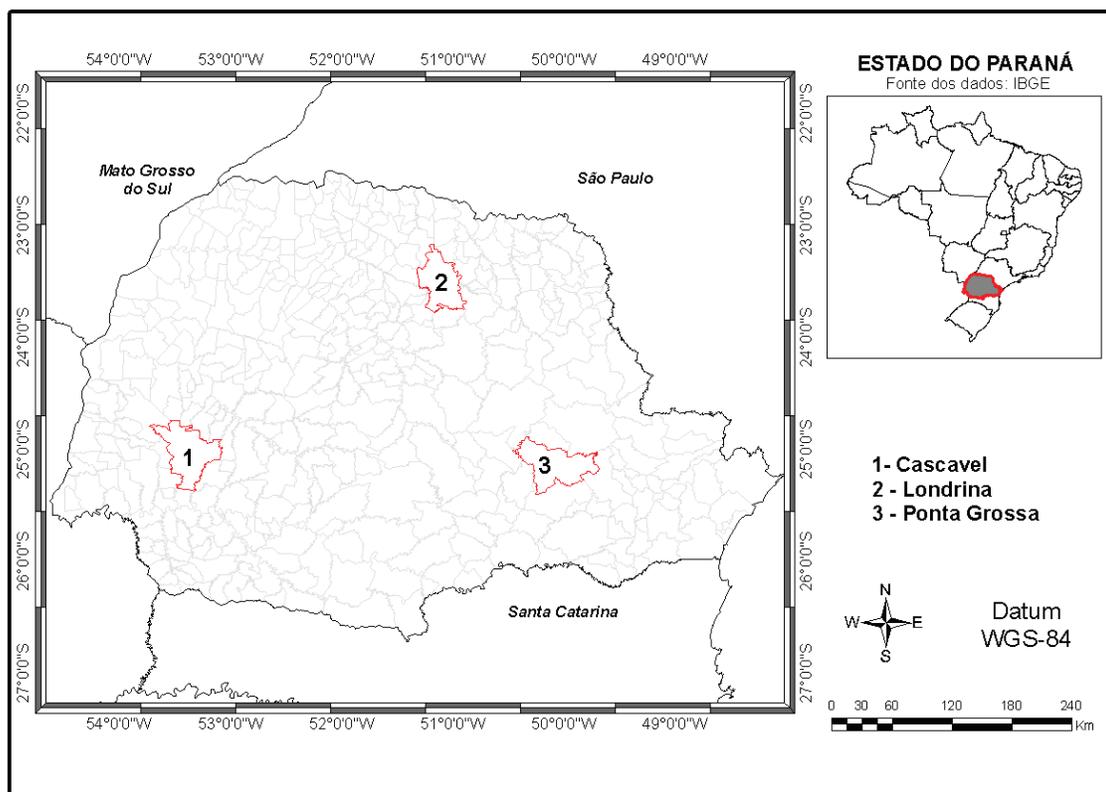


Figura 13. Mapa de localização do estado do Paraná.

O conhecimento do tipo climático de uma região fornece indicativos de larga escala sobre as condições médias de pluviosidade e temperatura esperados. Esse é um primeiro indicativo para se planejar todas as atividades humanas (tipos de construção, vestimenta, etc) e explorações vegetais e animais (IAPAR, 2000). O Paraná localiza-se em uma região de clima

subtropical, com temperaturas médias, e possui pequena parte de seu território na região de clima tropical. A amplitude térmica do estado varia entre 12°C e 13°C.

O clima no estado predominantemente temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa – Köeppen, com temperaturas moderadas, chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno, a média de temperatura é inferior a 16°C e, nos meses de verão, as máximas superam 30°C, com temperatura média anual de 21°C. Na porção sul, apresenta clima temperado propriamente dito tipo climático Cfb – Köeppen com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. A carta climática do estado está representada na Figura 14.

De acordo com o SIMEPAR (2009) durante os meses da primavera é observado um aumento natural no volume das chuvas em todo estado do Paraná. As chuvas são decorrentes do deslocamento de sistemas frontais e também de eventos de curta duração que se desenvolvem no estado devido à associação das altas temperaturas com a maior quantidade de umidade no ar.



Figura 14. Classificação Climática do estado do Paraná segundo Köeppen.
Fonte: IAPAR, (2008).

As Figuras 15 e 16 ilustram respectivamente a temperatura média anual (a), precipitação média anual do estado (b), o trimestre mais quente do ano (a) e o trimestre mais chuvoso (b), que corresponde ao período de plantio da cultura de verão no estado.

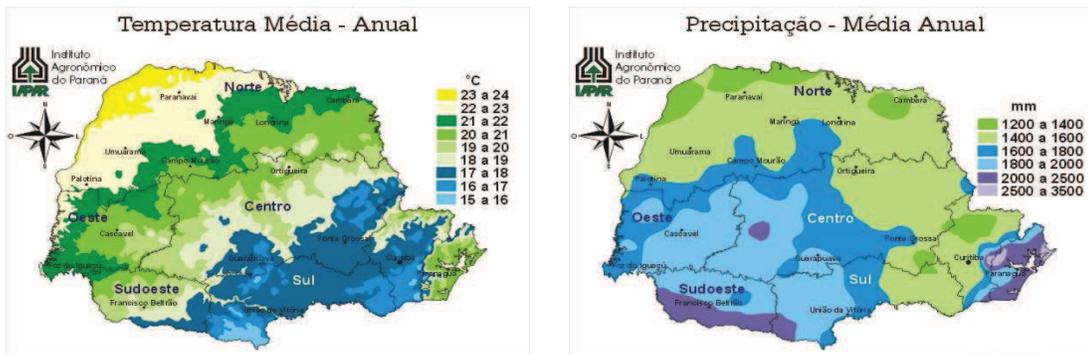


Figura 15. (a) Mapa de temperatura média anual do estado. (b) Mapa de precipitação média anual do estado. Fonte: IAPAR, (2008).

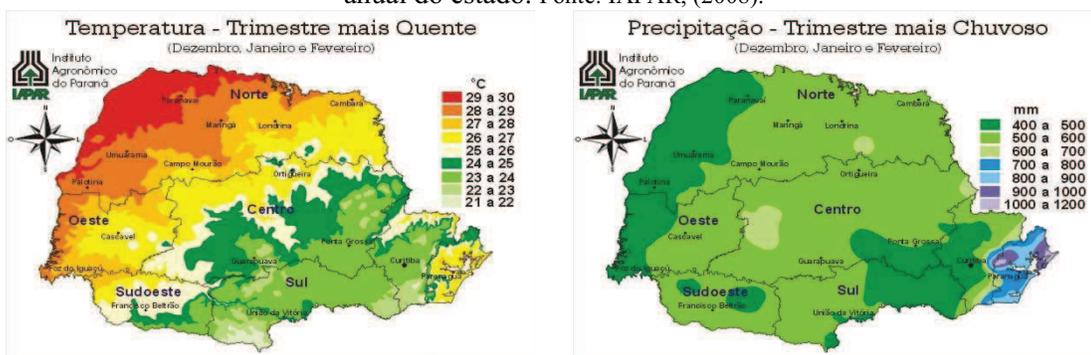


Figura 16. (a) Mapa de temperatura média do trimestre mais quente. (b) Mapa de precipitação do trimestre mais chuvoso. Fonte: IAPAR, (2008).

4.1.2 Dados Espectrais

Para realização deste estudo foram utilizadas imagens decendiais de NDVI do sensor SPOT Vegetation, (produto VGT – S10) que possui resolução espacial de 1,1 km. As imagens desse sensor já possuem correções atmosféricas, porém a resolução radiométrica do sensor Vegetation são de 8 bits em uma escala de nível de cinza (NC). A conversão para o valor real de NDVI foi feita através da equação II, disponível em Vito, (2009).

$$NDVI = 0,004 \times NC + (-0,08) \quad (II)$$

Onde:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada);

NC = Valor digital em 8 bits.

Para realização do estudo foram utilizadas as imagens dos meses de Junho a Junho das safras 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008, totalizando 117 imagens espectrais para as três safras.

4.1.3 Dados Meteorológicos

Foram utilizados dados de precipitação diária (mm) das 37 estações meteorológicas do SIMEPAR, essas informações foram disponibilizadas em arquivo *.xls*. As informações de precipitação do modelo ECMWF foram disponibilizados pelo JRC (Joint Research Center), unidade AgriFish. Os dados foram adquiridos em formato raster (geo tif) e resolução temporal decenal. A Figura 17 ilustra a distribuição espacial da rede de estações do SIMEPAR e do modelo ECMWF.

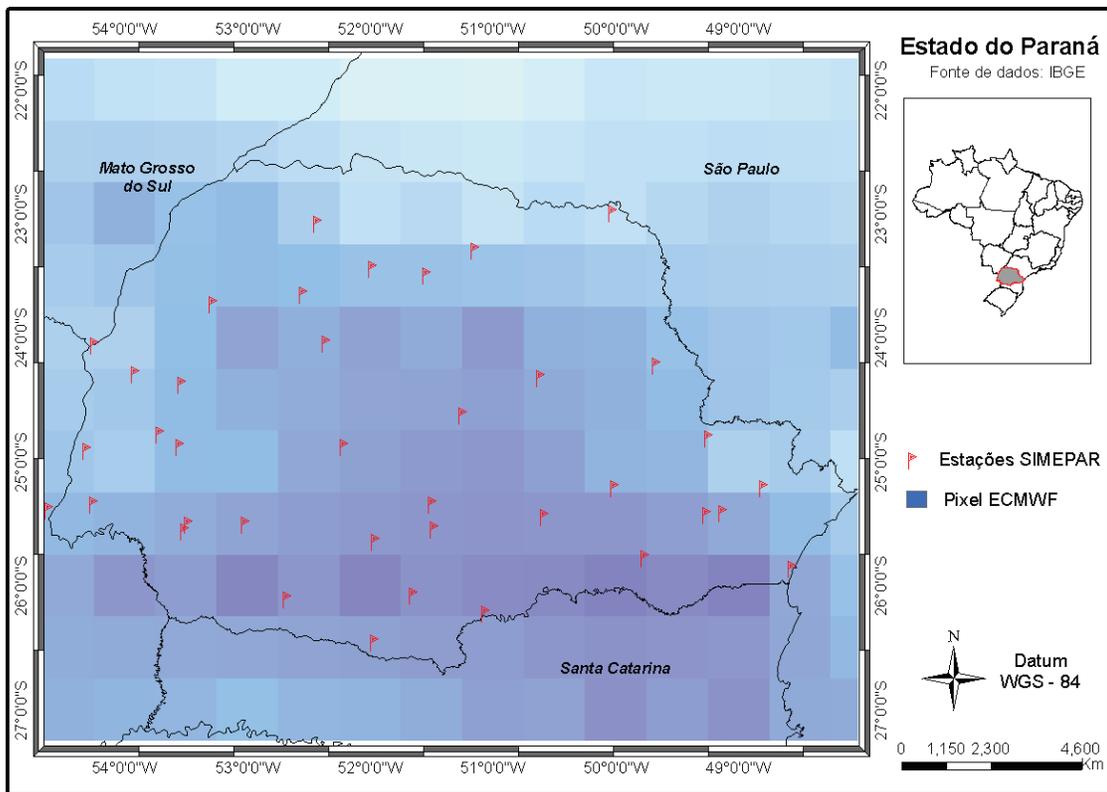


Figura 17. Distribuição da rede de estações meteorológicas do SIMEPAR e distribuição espacial do pixel do modelo ECMWF.

4.1.4 Verificação da acurácia

- Imagens de média resolução espacial

Para verificação da acurácia das máscaras foram utilizadas imagens do sensor Landsat 5 TM do período em estudo, para isso, foi necessário compor um mosaico com as imagens de modo que houvesse cobertura de todo o estado.

- Dados de área plantada

Para verificar a concordância da máscara em relação aos dados oficiais utilizaram-se dados de área plantada das culturas de soja e milho para o estado (excluindo a safrinha). As estáticas agrícolas oficiais, em nível municipal, foram obtidas na página de internet do IBGE (SIDRA → Agricultura).

4.1.4 Recursos computacionais para o processamento, visualização e tratamento dos dados e imagens

Para o pré-processamento das imagens de NDVI fez-se uso da linguagem de programação IDL (Interactive Data Language), versão 7.0, com este programa foi possível fazer o recorte da área de interesse diminuindo o tamanho dos arquivos, unir as imagens multitemporais e gerar o perfil automático de cada safra.

O processamento das imagens do sensor *Vegetation* foi realizado por meio do software ENVI 4.5 (*The Environment for Visualizing Images*), onde, foi possível realizar a composição decendial em RGB para cada safra. Na visualização dos resultados utilizou-se o ArcGis 9.3. Para o processamento dos dados meteorológicos utilizou-se o software SURFER 8.0 (Golden Software). E para tratamento e análise dos dados foi utilizado o programa Microsoft Excel. E para o cruzamento entre as máscaras decendiais e os mapas de precipitação interpolados utilizou-se o softwares IDRISI Kilimanjaro.

4.2 Métodos

A Figura 18 apresenta um fluxograma das principais etapas de desenvolvimento no trabalho, onde o principal objetivo foi detectar diferentes épocas de semeaduras.

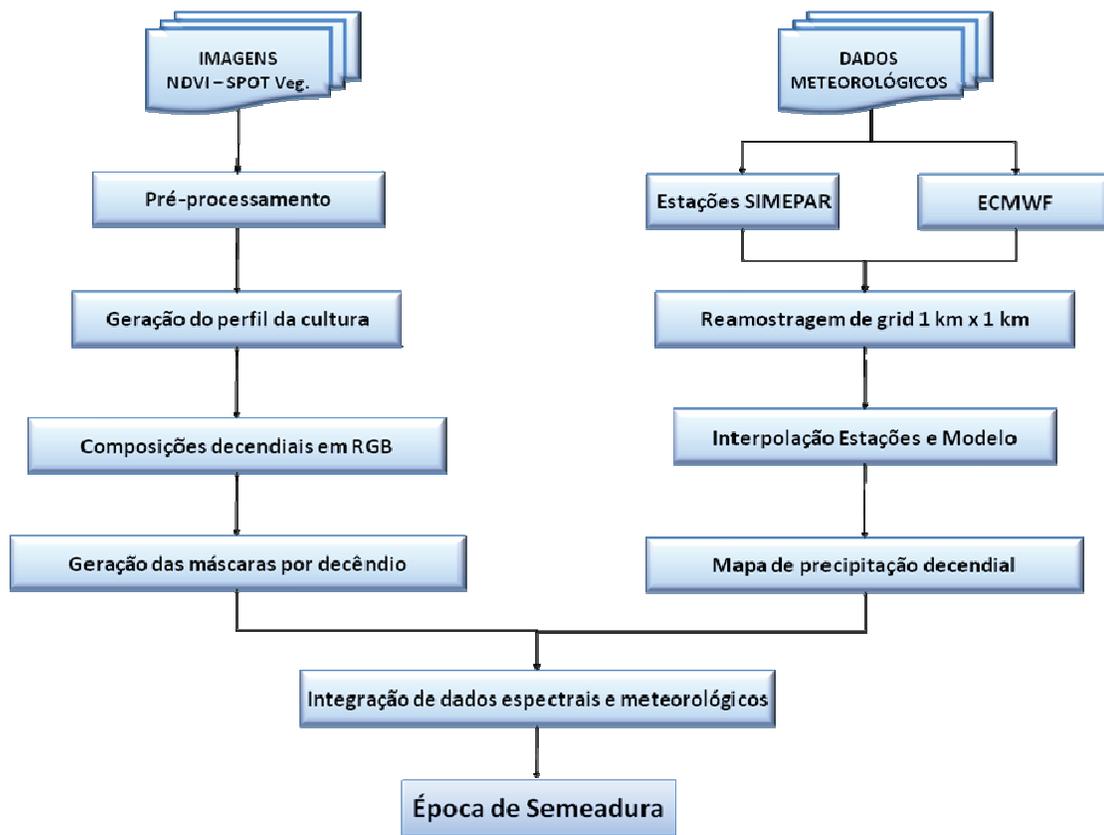


Figura 18. Fluxograma das principais etapas desenvolvidas no trabalho.

4.2.1 Composição decencial das máscaras da cultura de verão

Para a composição decencial das máscaras da cultura de verão foram utilizadas imagens do sensor SPOT *Vegetation*, pois é adequado ao monitoramento de coberturas vegetais, tendo em vista sua alta resolução temporal, além de serem disponibilizados gratuitamente. Um de seus produtos são as imagens de NDVI temporal, onde o melhor valor de NDVI em 10 dias de cada pixel é utilizado para compor uma imagem decencial (Vito, 2009).

Antes de iniciar o mapeamento cultura de verão foi necessário analisar o comportamento do NDVI ao longo de seu ciclo vegetativo, tendo em vista a baixa resolução espacial do sensor utilizado, uma vez que pode haver outros alvos espectrais juntamente com a cultura de verão em um único pixel, influenciando seu comportamento espectral ao longo da

safra. Genovese et al. (2001) integraram dados de NDVI do NOAA/AVHRR - GAC (resolução espacial de 4,4 x 4,4 km²) com um mapa de uso da terra, gerado a partir do CORINE (“Co-ordination of Information on the Environment”, programa de mapeamento do uso da terra na Europa, coordenado pela Comissão Européia), com resolução espacial de 100m x 100 m, para reduzir problemas com pixels não-puros. Assim, criaram o CNDVI que está baseado na proporção dos alvos do mapa. Para Johann et al. (2009) o estudo do comportamento de diferentes alvos é relevante para o sensoriamento remoto, pois a partir deste conhecimento é possível construir máscaras destes alvos com base nos valores de NDVI. Os autores também afirmam que a mistura de diferentes alvos (pixels não-puros) e em diferentes proporções, pode influenciar no comportamento final do perfil do pixel. Isto, muitas vezes pode originar dificuldades na geração de máscaras de diferentes culturas agrícolas, uma vez que a mistura de alvos, pode descaracterizar em alguns casos, o comportamento esperado de um determinado pixel. Desta forma, este pixel não será selecionado na geração das máscaras. A Figura 19 ilustra um pixel com a influência de outros alvos ao longo de seu perfil espectral (curva azul ‘Não_puroA’) e perfis de pixels sem influência de alvos.

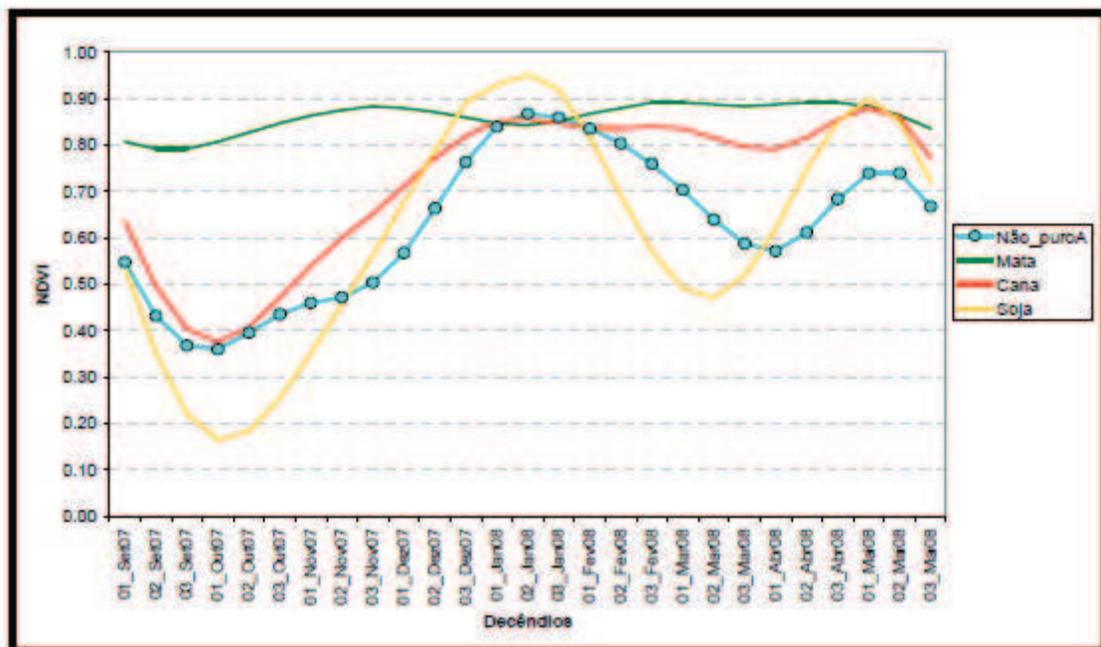


Figura 19. Influência de outros alvos em um pixel.
(Adaptado de Johann et al., 2009).

Devido à distribuição não uniforme de chuvas, as diferenças entre cultivares e consequentemente diferentes ciclos, a cultura de verão passa a ser semeada em épocas diferentes dentro do estado. Assim torna-se mais trabalhoso mapear a cultura de modo a incluir toda a safra, por esta razão, optou-se em construir máscaras por decêndio para o estado do Paraná. A Figura 20 apresenta as principais etapas realizadas na confecção das máscaras.

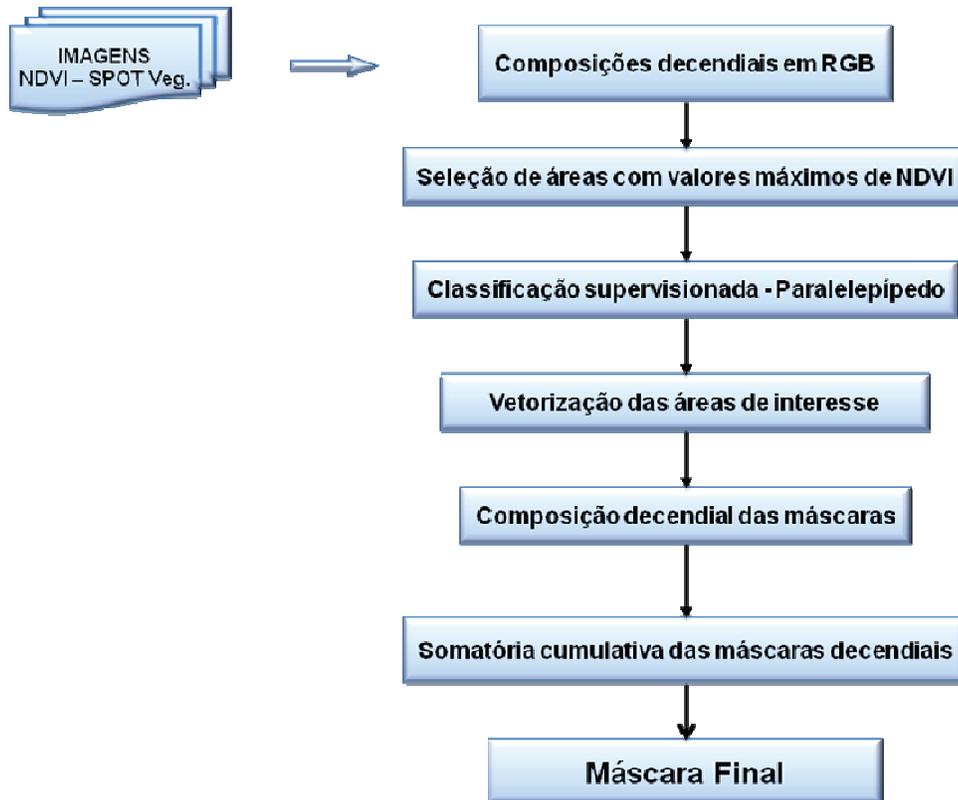


Figura 20. Fluxograma das etapas de construção da máscara.

Antes de iniciar o processo de mapeamento da cultura foram feitas composições multitemporais em RGB das imagens de NDVI, de modo a destacar apenas a cultura verão. Desta forma, as imagens do período que apresentaram maior vigor vegetativo foram colocadas no canal R, em seguida as imagens com menor vigor vegetativo nos canais G e B. Por exemplo, se o ciclo da cultura inicia-se no primeiro decêndio de outubro, provavelmente seu pico vegetativo estará no primeiro decêndio de dezembro, assim, a imagem correspondente ao primeiro decêndio de dezembro será alocada no canal R, a imagem referente ao início do ciclo

da cultura e ao menor valor vegetativo (primeiro decêndio de outubro) foi colocada no canal G e no canal B a imagem com o segundo decêndio de menor vigor vegetativo (segundo decêndio de outubro). A Figura 21 apresenta as etapas para composição das imagens em RGB, as Figuras 22, 23 e 24 apresentam o resultado da composição decencial para as três safras.

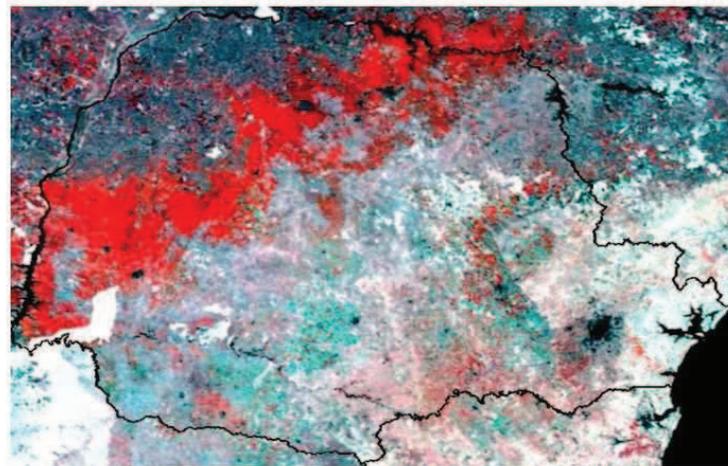
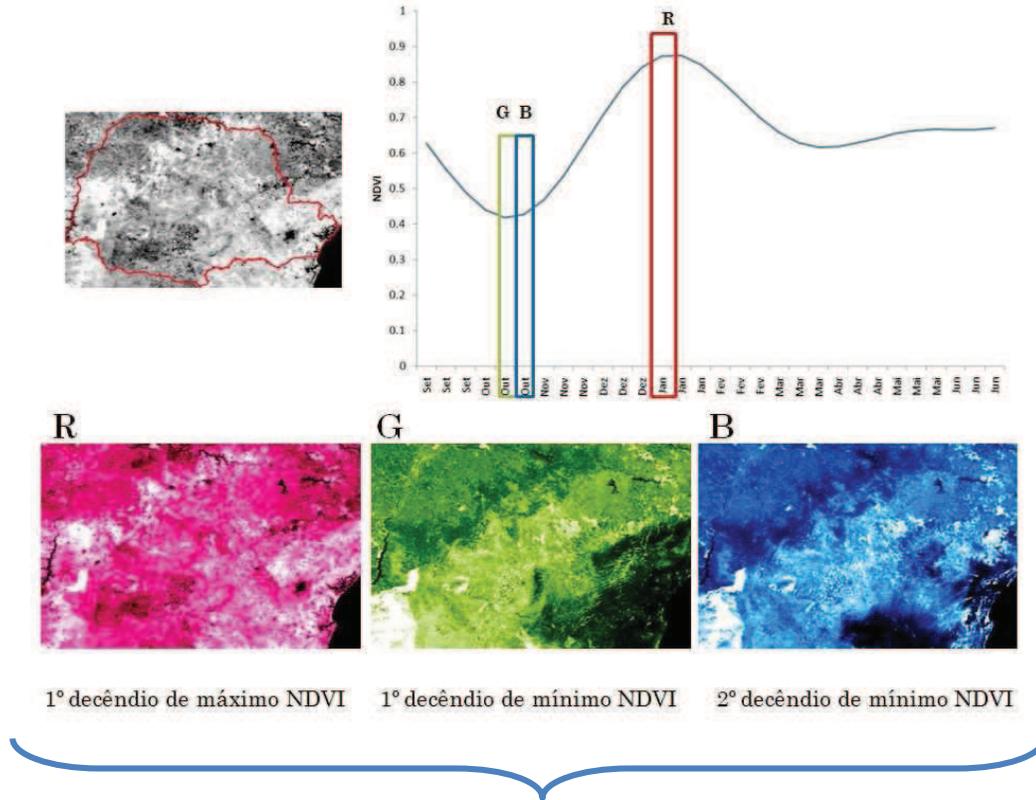


Figura 21. Esquema da composição das imagens em RGB.

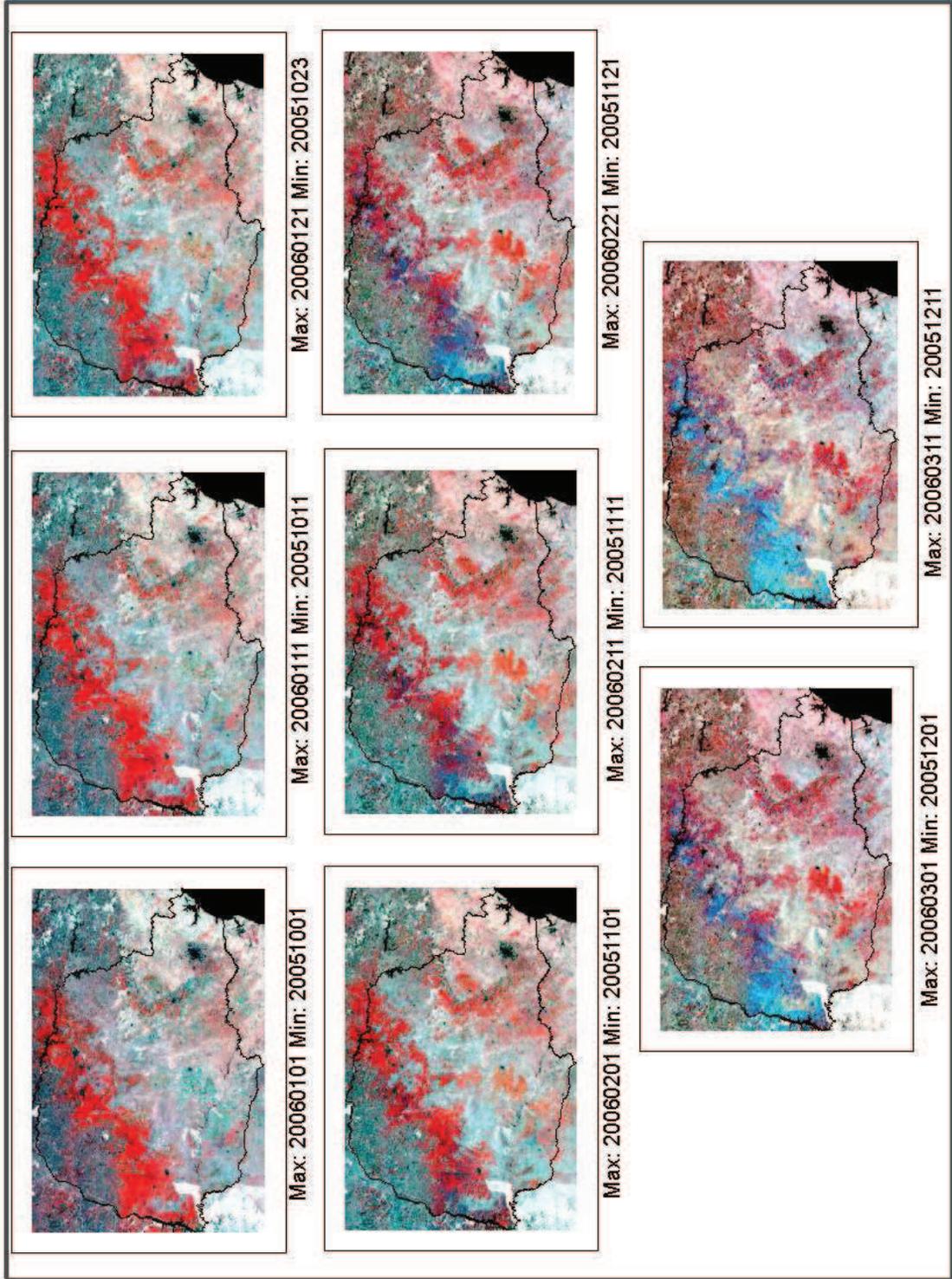


Figura 22. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2005/2006.

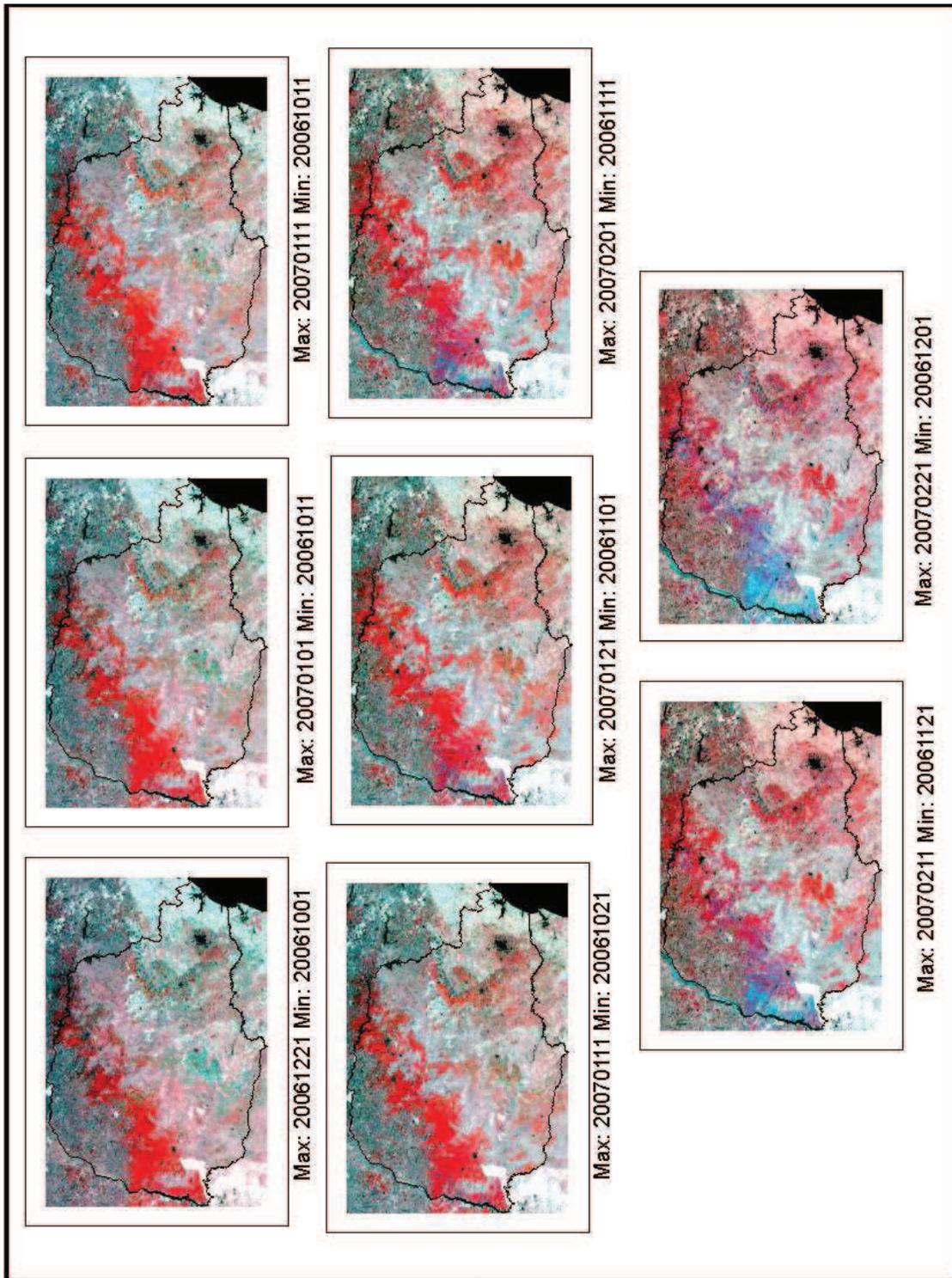


Figura 23. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2006/2007.

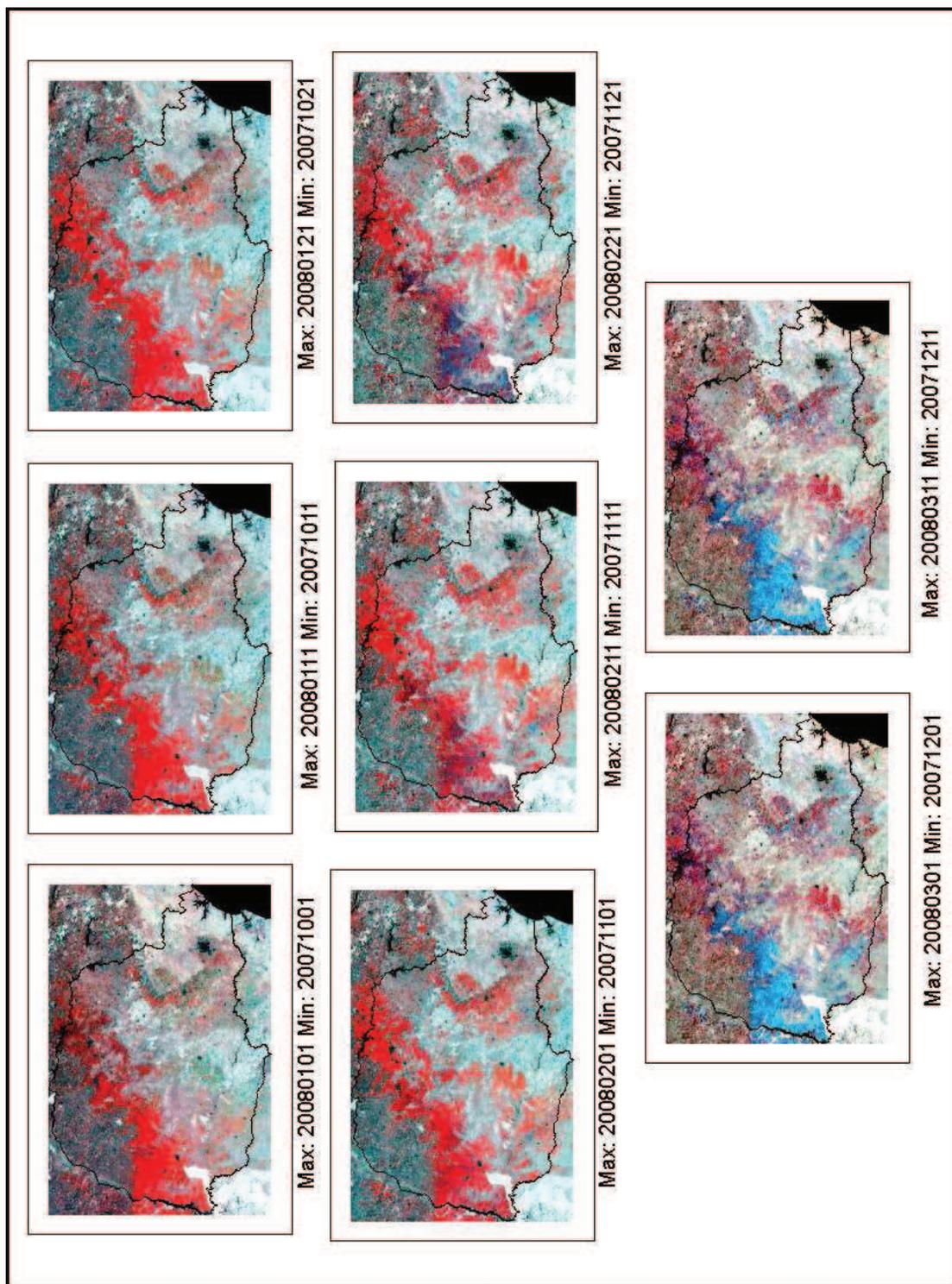


Figura 24. Composições decendiais em RGB do ciclo vegetativo da cultura de verão para safra 2007/2008.

Para mapear a cultura de verão nas composições em RGB foi utilizado o método de classificação digital supervisionada denominado “Paralelepípedo”. Mather (1999) descreve esse classificador como determinístico, onde são identificados os valores mínimos e máximos dos histogramas das amostras das classes em cada banda, que são usados para definir os vértices de um paralelepípedo no espaço de atributos. Deste modo, o pixel cujo valor do nível de cinza se encontrar dentro desse paralelepípedo será classificado como pertencente a uma determinada classe em cada banda espectral selecionada para classificação.

Neste procedimento foi necessário selecionar áreas de interesse, no caso, o maior vigor vegetativo da cultura de verão dentro de cada composição. O algoritmo utilizou essas regiões para criar uma imagem de classificação supervisionada com duas classes, sendo uma denominada ‘Cultura de Verão’ e a outra ‘Não Cultura de Verão’. Em seguida selecionou-se apenas a classe cultura de verão, que foi convertida para um arquivo vetorial, tornando possível criar a máscara da cultura para cada composição ao longo dos decênios.

Para obtenção da máscara final de cada safra fez-se uma sobreposição das máscaras decenais, segundo Eastman (1998), uma operação de sobreposição permite a produção de novos planos com base em algumas combinações lógicas ou matemáticas de dois ou mais planos de entrada. Neste caso a operação seguiu a seguinte regra: a primeira abrange a segunda exceto nos casos em que zero, ou seja, houve uma somatória cumulativa das máscaras decenais resultando em uma única máscara.

4.3 Dados Meteorológicos

- **Estações Meteorológicas**

Para este trabalho fez-se uso das 37 estações meteorológicas da rede do SIMEPAR. Foram empregados dados de precipitação a partir do mês de setembro até o mês de maio do ano seguinte, referentes às safras em estudo. Os dados das estações meteorológicas foram compilados a partir de dados diários a dados decenais a fim de se obter granularidade em todas as informações, tendo em vista que os dados do sensor SPOT *Vegetation* e do modelo global ECMWF são decenais.

Essas informações foram colocadas em planilhas do Excel, onde foi possível fazer a verificação de dados faltantes, a planilha final foi possível organizar as estações de forma que

em cada linha houvesse informações de precipitação de toda a rede de estações, e separada em colunas as informações por decêndio. Para a identificação dessas informações no programa de interpolação fez-se uso do número de identificação (ID) de cada estação, latitude, longitude e altitude.

- **Modelo ECMWF**

Foram empregados dados do modelo atmosférico ECMWF, também utilizando a variável precipitação para o mesmo período. Foi necessário selecionar a área de estudo e compor um arquivo shapefile e fazer o recorte da área, gerou-se um arquivo com número de pixel maior que o perímetro da área de estudo para facilitar a interpolação entre os dados, desta forma o arquivo shapefile criado foi de 176 pixels. Com isto, pode-se realizar a etapa de recorte de área das imagens do modelo ECMWF.

4.3.1 Interpolação de dados meteorológicos

Inicialmente foi necessário espacializar as informações de precipitação devido a diferença de resolução espacial entre as estações meteorológicas que fornecem dados de superfície e do modelo ECMWF que fornecem dados espaciais com um *grid* de aproximadamente 50 km x 50 km. Dessa forma foi necessário reamostrar ambas as informações para um *grid* de 1km x 1 km.

Trabalhar com dados de estações meteorológicas pode ser uma tarefa difícil, principalmente quando se trata de dados de precipitação. Isso porque as estações meteorológicas estão sujeitas a manutenção e aos cuidados do homem, esses fatos podem comprometer a coerência dos dados nelas coletados.

Em um banco de dados pode-se encontrar problemas com dados faltantes, onde pode haver uma grande seqüência de dados ou alguns dias faltantes. Esses dados geralmente podem ser estimados e preenchidos através do uso de algoritmos que calculam de alguma forma esse valor utilizando dados de estações meteorológicas vizinhas que tenham o valor observado. Porém, esse método pode comprometer o banco de dados, principalmente quando se trata da estação do verão, onde as chuvas são bem isoladas e em grande volume, isso porque pode chover com grande intensidade em um município e em outro município vizinho pode não

haver chuva naquele dia. Neste caso, se for utilizado o trabalho de preenchimento de dados pode ser que o algoritmo superestime ou subestime esse valor.

Assim, para esse trabalho de interpolação de dados entre estações meteorológicas e modelo ECMWF optou-se em utilizar as estações com dados faltantes sem qualquer manipulação tendo em vista poucas falhas nos dados, prevenindo a imputação de informações super estimadas ou subestimadas dentro do banco de dados. Outro fator que ajudou na decisão da imputação de dados ou não foi o uso do modelo ECMWF, pois este não possui dados faltantes, desta forma, no local onde não há informações das estações há a cobertura do modelo.

A escolha do interpolador levou em consideração a época em que foi realizado o estudo, pois se trata de um período com ocorrência de chuvas concentradas em regiões, também conhecidas como chuvas convectivas, onde há diversas nuvens pequenas com grandes volumes de chuvas em pequenas áreas. Portanto, optou-se em utilizar o interpolador Inverso Quadrado da Distância (IQD), pois a correlação que ele busca é de uma área relativamente pequena.

Foram calculadas estatísticas básicas a fim de avaliar dados interpolados em relação às estações meteorológicas e ao modelo ECMWF, tais estatísticas são:

- R^2 (Coeficiente de determinação): indica o quanto da variação de Y pode ser explicado pela variação de X, ou seja, mede a distância dos dados observados à reta ajustada, medindo o grau de precisão.
- R (Coeficiente de correlação): Mede o grau de associação entre duas características a partir de uma série de observações.
- d Índice de concordância de Willmott (1985): índice que exprime a distância dos valores de x e y em relação à reta 1:1. É, portanto uma mensuração do grau de exatidão, o índice de concordância é calculado conforme equação V.
- RMSE (Raiz do erro médio quadrático): mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos, calcula-se o RMSE conforme equação VI.
- MBE (Erro médio (*Mean Bias Error*)) Indica o desvio médio dos valores observados em relação aos valores estimados, é calculado através da equação VII.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|pi - \bar{o}| + |oi - \bar{o}|)^2} \quad (V)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)^2}{n}} \quad (VI)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (pi - oi)}{n} \quad (VII)$$

Onde:

pi : é o valor estimado ou previsto;

oi : é o valor observado ou medido;

n : número de observações;

\bar{o} : média aritmética dos valores observados;

\bar{p} : média aritmética dos valores previstos.

4.3.2 Verificação da acurácia

- Dados espectrais

A análise de exatidão do mapeamento foi realizada através da obtenção de matrizes de confusão ou matrizes de erros, calculando assim, os índices de exatidão do trabalho. Na matriz de erro são considerados dois tipos de erros, que são:

- Erro de inclusão: são pixels que pertencendo a outra classe o classificador colocou na classe de interesse;
- Erro de omissão: são os pixels que pertencendo a uma determinada classe de interesse o classificador colocou em outra(s) classe(s).

Para obter-se a Matriz de Erros ou Matriz de Confusão e Coeficiente Kappa foram adotados os seguintes passos:

- Obtenção de 400 (quatrocentos) pontos amostrais, no mosaico das cenas LANDSAT 5-TM (Referência imagem) utilizando-se o método de amostragem aleatória estratificada desproporcional;

- Identificação na imagem (Referência imagem) e na imagem obtida pelo classificador (Referência Máscara) as categorias de ‘Cultura de Verão’ e ‘Não Cultura de Verão’. Os resultados desta identificação foram tabulados numa planilha do Excel;
- Uma vez tabulados os 400 pontos amostrais nesta planilha, através da ferramenta de “Relatórios de tabelas e gráficos dinâmicos” gerou-se uma tabela de dupla-entrada relacionando os resultados obtidos entre a “Referência imagem” e a “Referência Máscara”;
- Com base nesta tabela de dupla-entrada determinou-se os Erros de Inclusão (EI), Erros de Omissão (EO), Exatidão Global (EG) e Coeficiente Kappa (K).

Utilizou-se um processo automático de extração de dados de imagens por meio de um sistema computacional em IDL baseado no trabalho de Esquerdo (2006). Os dados estimados pela máscara foram extraídos e tabulados em planilhas do Excel e comparados com os dados observados pelo IBGE de área plantada para calcular o índice de concordância de Willmott ‘d’.

- Dados Meteorológicos
 - Validação dos dados interpolados

Antes de iniciar a verificação da acurácia entre os dados interpolados, primeiramente foi necessário interpolar os dados precipitação das estações meteorológicas, tendo em vista que essas são fontes de informações pontuais, em seguida separadamente interpolaram-se os dados do modelo. Desta forma, a acurácia entre os dados foi feita com ambas as informações espacializadas.

4.3.3 Cruzamento de dados espectrais com dados meteorológicos

A SEAB/DERAL aconselha os produtores iniciar o plantio quando houver a ocorrência de pelo menos três decêndios com precipitação de 30 mm, 50 mm e 75 mm, possibilitando uma reserva útil de água no solo para emergência da semente. Com base nesses critérios, foi realizado o cruzamento entre as máscaras decendiais da cultura de verão e os mapas interpolados de precipitação a fim de se descobrir o início do desenvolvimento do ciclo da cultura em cada safra.

Utilizando a ferramenta de multiplicação do software IDRISI Kilimanjaro foi possível fazer o cruzamento entre os mapas de precipitação e as máscaras da cultura de verão por decêndio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Máscara da cultura de verão

A melhor forma encontrada para mapear a época de semeadura da cultura de verão no estado do Paraná foi através de composições decenciais de imagens em RGB das safras em estudo, desta forma, o mapeamento da cultura por decêndio mostrou apenas as regiões onde havia plantio. Através das Figuras 25, 26, e 27 é possível observar a evolução do plantio em todo estado ao longo dos decêndios para cada safra.

Após os processamentos realizados nas imagens, e a partir das classificações supervisionadas e das sobreposições das várias datas das imagens em cada uma das safras monitoradas, foram construídas as máscaras da cultura de verão, conforme apresentado nas Figuras 28, 29 e 30 representando as safras 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008, respectivamente.

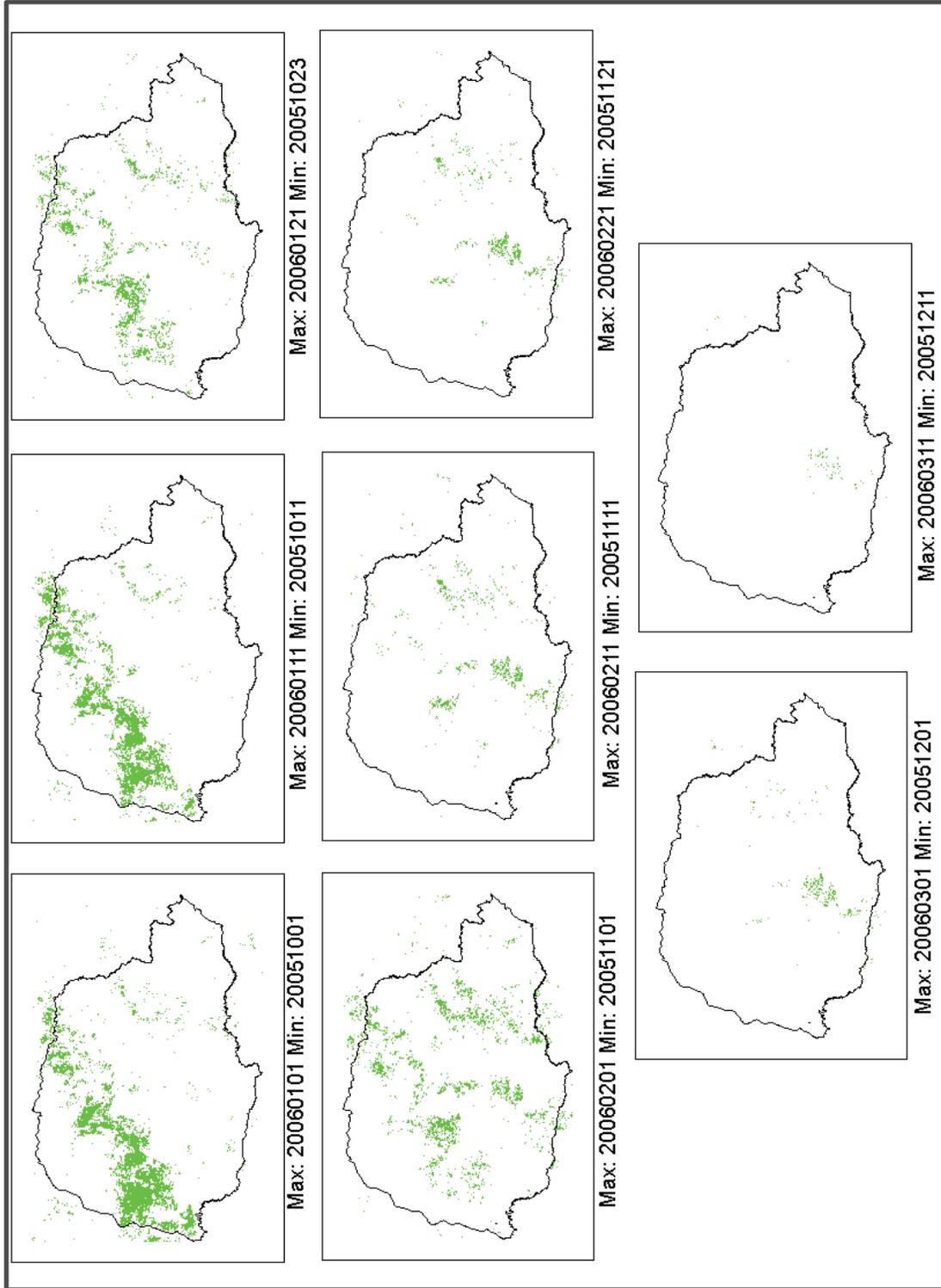


Figura 25. Máscara decennial da cultura de verão para safra 2005/2006.

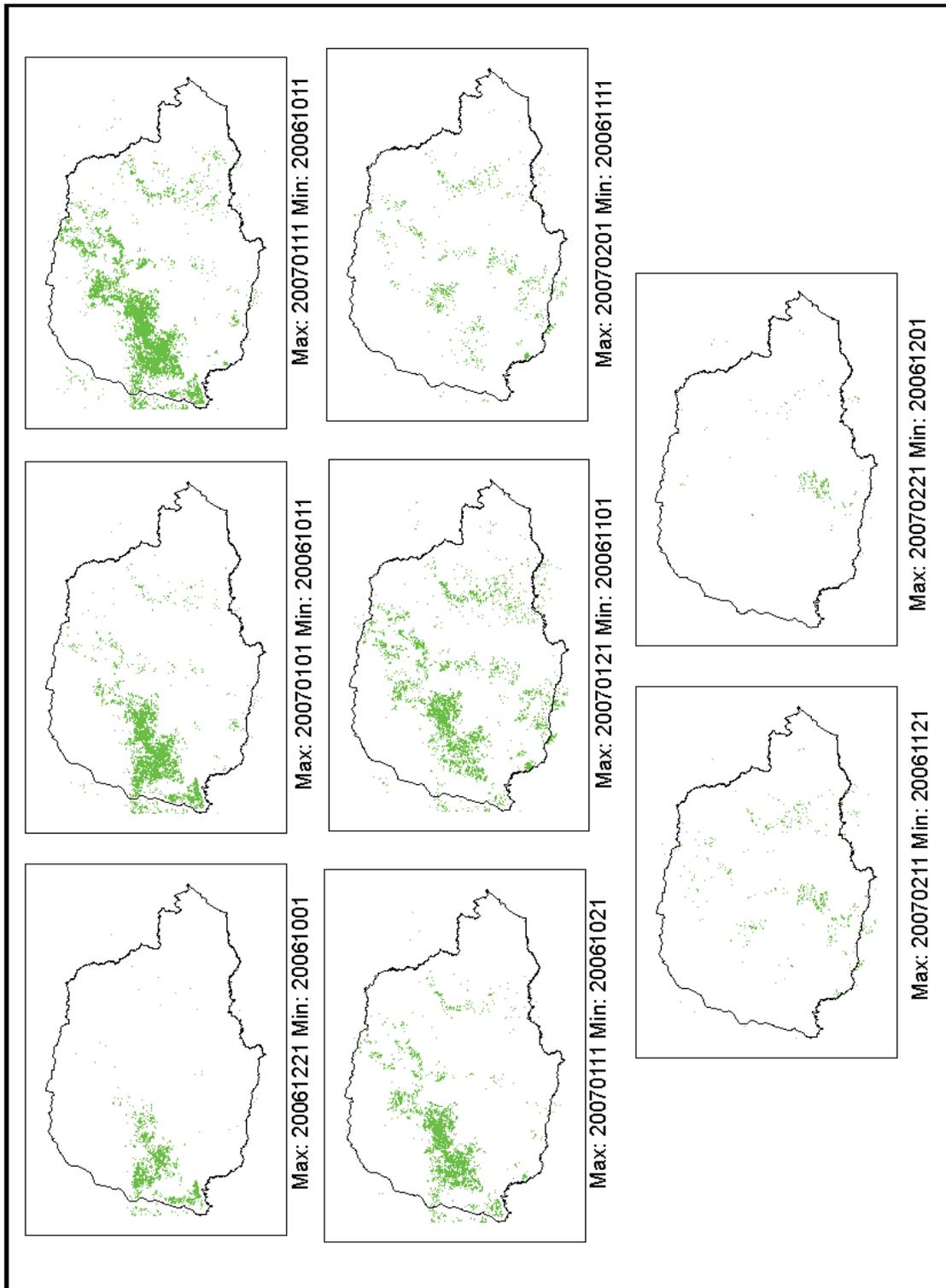


Figura 26. Máscara decennial da cultura de verão para safra 2006/2007.

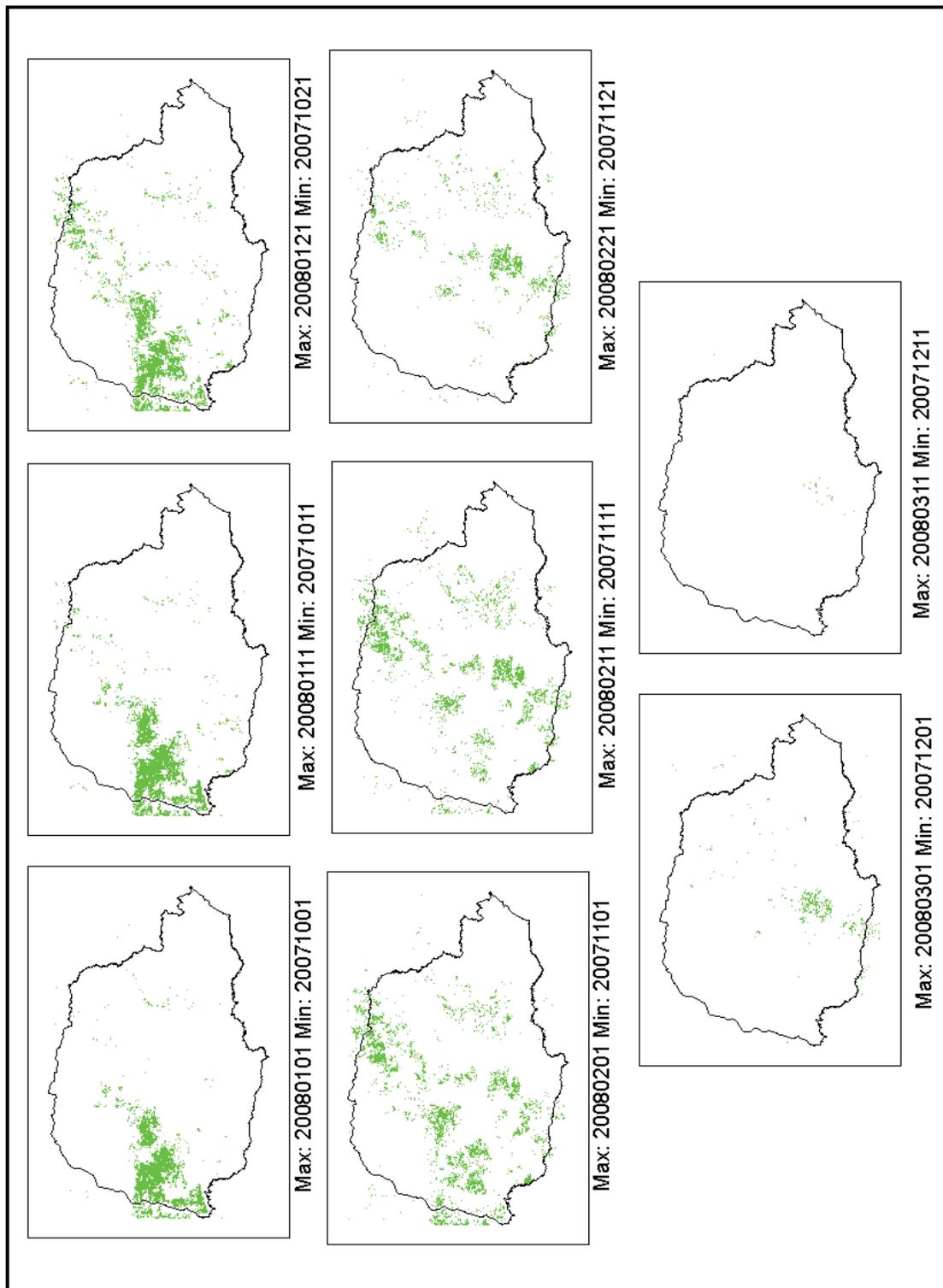


Figura 27. Máscara decennial da cultura de verão para safra 2007/2008.

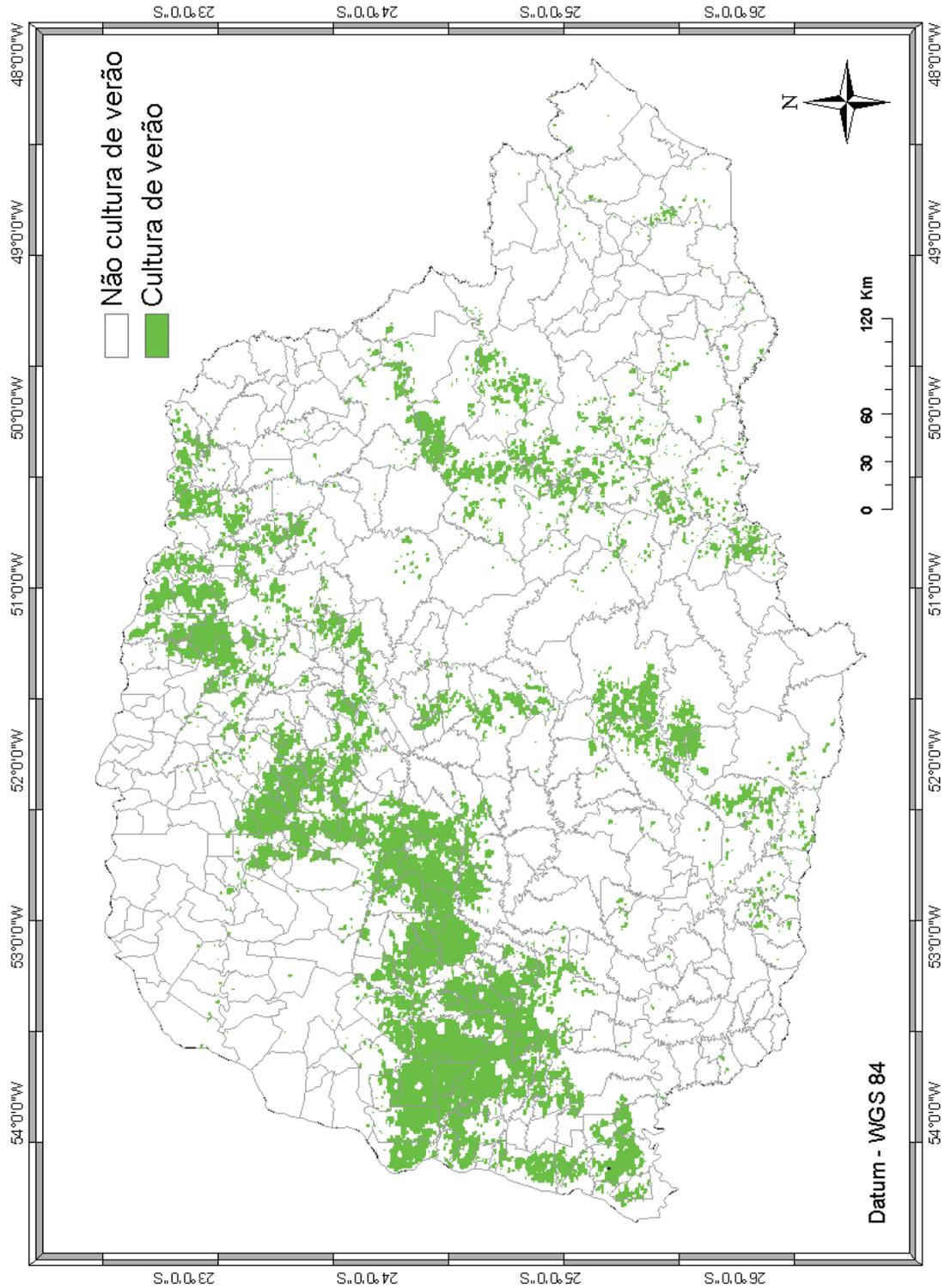


Figura 28. Máscara final da cultura de verão para safra 2005/2006.

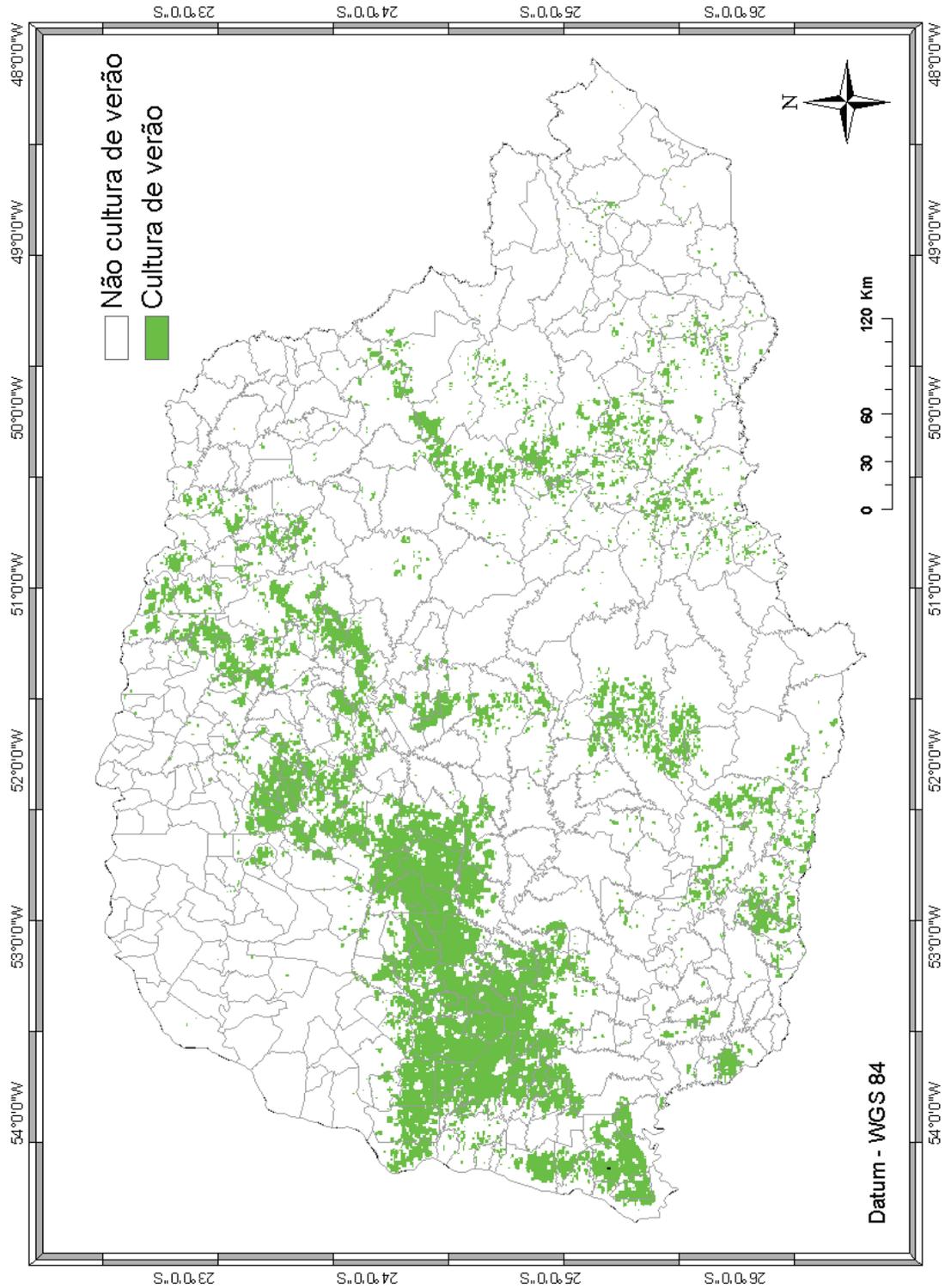


Figura 29. Máscara final da cultura de verão para safra 2006/2007.

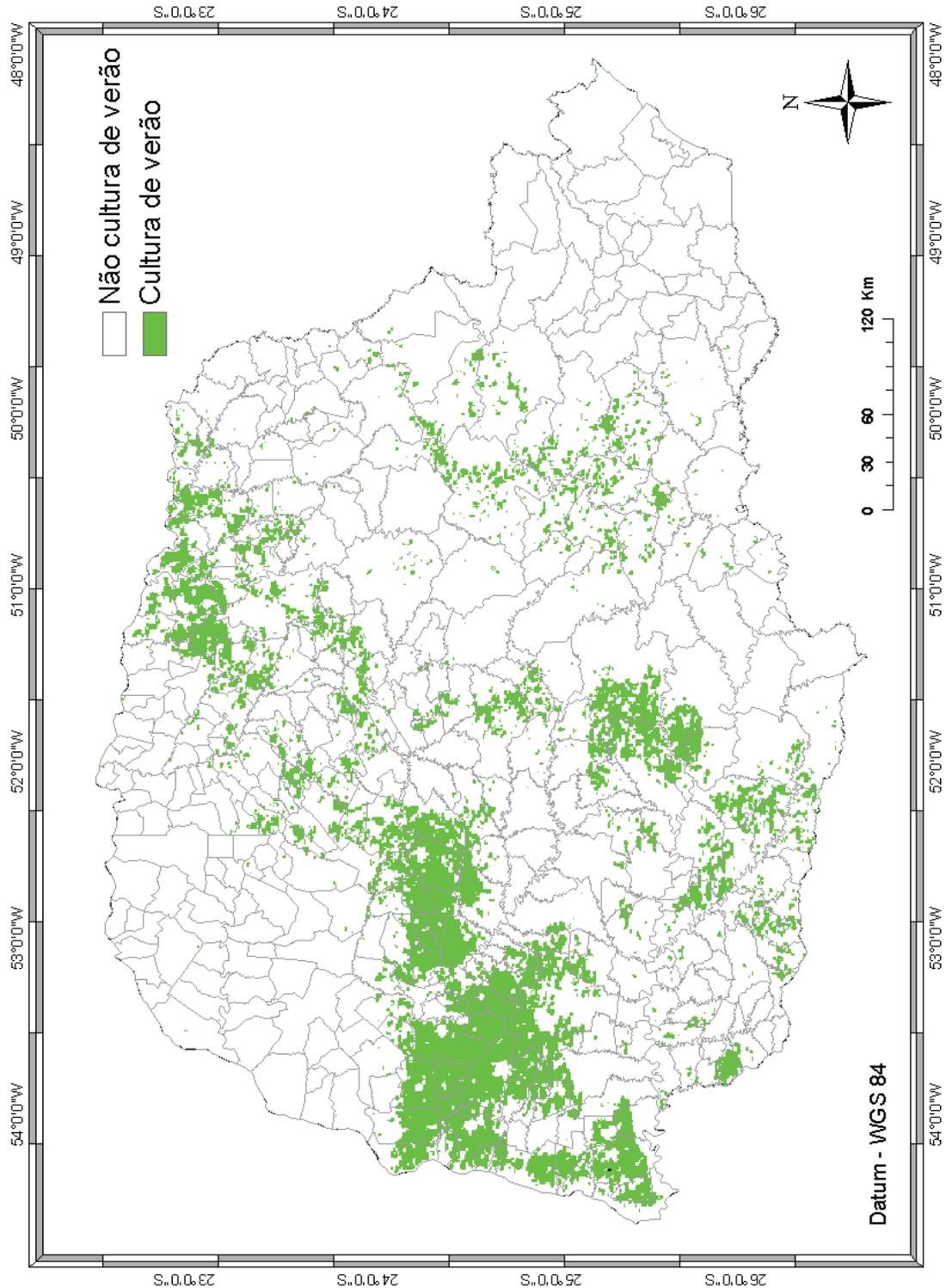


Figura 30. Máscara final da cultura de verão para safra 2007/2008.

5.1.2 Verificação da acurácia das máscaras

Do total das 400 amostras, pela soma da diagonal principal da matriz de erros observou-se que nas safras 2005/06, 2006/07 e 2007/08 respectivamente 363, 364 e 372 amostras foram classificadas corretamente. Com base nisto, obteve-se o índice de exatidão global (EG) de 0,91, 0,91 e 0,93. Ou seja, 91%, 91% e 93% das amostras foram corretamente identificadas pelo classificador quando comparada com as imagens Landsat 5/TM, mostrando uma boa confiabilidade do mapeamento em relação à realidade de campo.

Já o índice kappa (K) foi determinado para avaliar a exatidão dos dados permitindo uma visualização dos resultados da classificação temática em relação às imagens Landsat 5/TM. O resultado indicou um coeficiente kappa de 0,70, 0,75 e 0,77. O índice kappa refere-se a um método para avaliar a concordância ou discordância entre duas situações, desta forma, houve uma concordância de 70%, 75% e 77% das amostras na área de interesse, portanto, pode-se dizer que a classificação na área estudada aproximou-se da realidade do campo.

O índice de concordância de Willmott (d) mediu a dispersão dos dados em relação à reta 1:1, ou seja, foi medida a exatidão dos valores estimados (máscara da cultura de verão) em relação aos observados (dados divulgados pelo IBGE), desta forma, observa-se valores de 'd' 0,93 para safra 2005/2006, 0,93 para safra 2006/2007 e 0,99 para a safra 2007/2008.

De acordo com os parâmetros exigidos por Landis e Koch (1997) o resultado da acurácia das máscaras foi considerado como "muito bom". Já os valores do índice de concordância 'd' ficaram próximos de 1, ou seja, houve alta concordância entre os valores estimados pela máscara em relação aos observados pelo IBGE. Com base nisso, essas máscaras podem ser utilizadas como apoio na identificação da cultura de verão do estado do Paraná. As Tabelas 7, 8 e 9 mostram a matriz de contingência para cada safra.

Tabela 7. Matriz de confusão para safra 2005/2006.

<i>(Referência Máscara)</i>	<i>Referência Imagem</i>		<i>Total geral</i>	<i>Erro de Inclusão</i>
	<i>Não cultura de verão</i>	<i>Cultura de verão</i>		
<i>Não cultura de e verão</i>	241	7	248	2,80%
<i>Cultura de verão</i>	30	122	152	19,7%
<i>Total geral</i>	271	129	400	-
<i>Erro de Omissão</i>	11,1%	5,4%	-	-

Tabela 8. Matriz de confusão para safra 2006/2007.

<i>(Referência Máscara)</i>	<i>Referência Imagem</i>		<i>Total geral</i>	<i>Erro de Inclusão</i>
	Não cultura de verão	Cultura de verão		
Não cultura de verão	243	11	254	4,30%
Cultura de verão	25	121	146	17,10%
<i>Total geral</i>	268	132	400	-
<i>Erro de Omissão</i>	9,30%	8,30%	-	-

Tabela 9. Matriz de confusão para safra 2007/2008.

<i>(Referência Máscara)</i>	<i>Referência Imagem</i>		<i>Total geral</i>	<i>Erro de Inclusão</i>
	Não cultura de verão	Cultura de verão		
Não cultura de verão	159	25	184	13,60%
Cultura de verão	3	213	216	1,40%
<i>Total geral</i>	162	238	400	-
<i>Erro de Omissão</i>	1,90%	10,50%	-	-

5.2 Dados Meteorológicos

Os gráficos do perfil de precipitação analisados encontram-se no Apêndice I, porém alguns gráficos serão apresentados nesse capítulo para fins de discussões.

5.2.1 Interpolação de dados

O uso da interpolação de dados para integração entre a rede de estações do SIMEPAR e o modelo ECMWF foi útil permitindo a espacialização da precipitação ao longo do estado, desta forma, foi possível obter o perfil de precipitação médio para cada município onde foi mapeado início do desenvolvimento do ciclo da cultura de verão. Assim, é possível verificar que o NDVI responde muito bem a presença e/ou ausência de precipitação, este fato é confirmado quando analisado os três períodos de estudo, onde o plantio da última safra apresentou-se atrasado em relação às outras devido ao atraso da precipitação naquele ano.

O comportamento da precipitação para o estado do Paraná é observado nos mapas de interpolação que são apresentados nas Figuras 31, 32 e 33. Através dos mapas observa-se que durante outubro para as safras 2005/2006 e 2006/2007 a chuva foi bem distribuída durante o mês. Já na safra 2007/2008, a ocorrência de chuva no 1º decêndio foi quase nula, normalizando a situação nos decêndios seguintes. Em Novembro para safra 2005/2006, as

chuvas diminuíram no 1º e 2º decêndio do mês. Para safra 2006/2007 a diminuição mais perceptível foi no 2º decêndio e na safra 2007/2008 percebe-se um grande volume de chuvas no 1º decêndio e uma brusca queda no 3º decêndio. No mês de Dezembro nota-se que a chuva comporta-se de maneira mais uniforme durante o mês para as três safras.

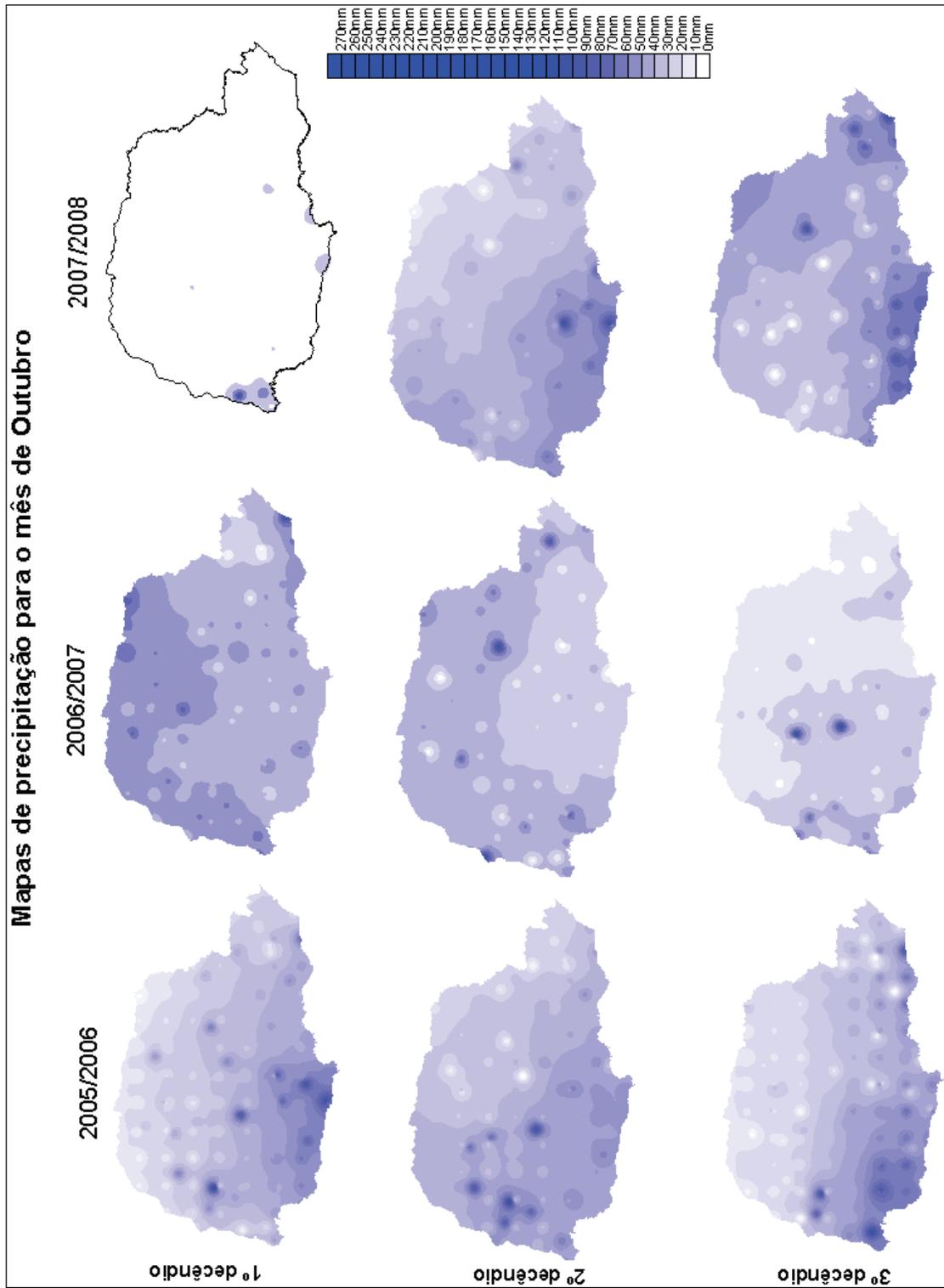


Figura 31. Mapas de precipitação interpolada para o mês de outubro.

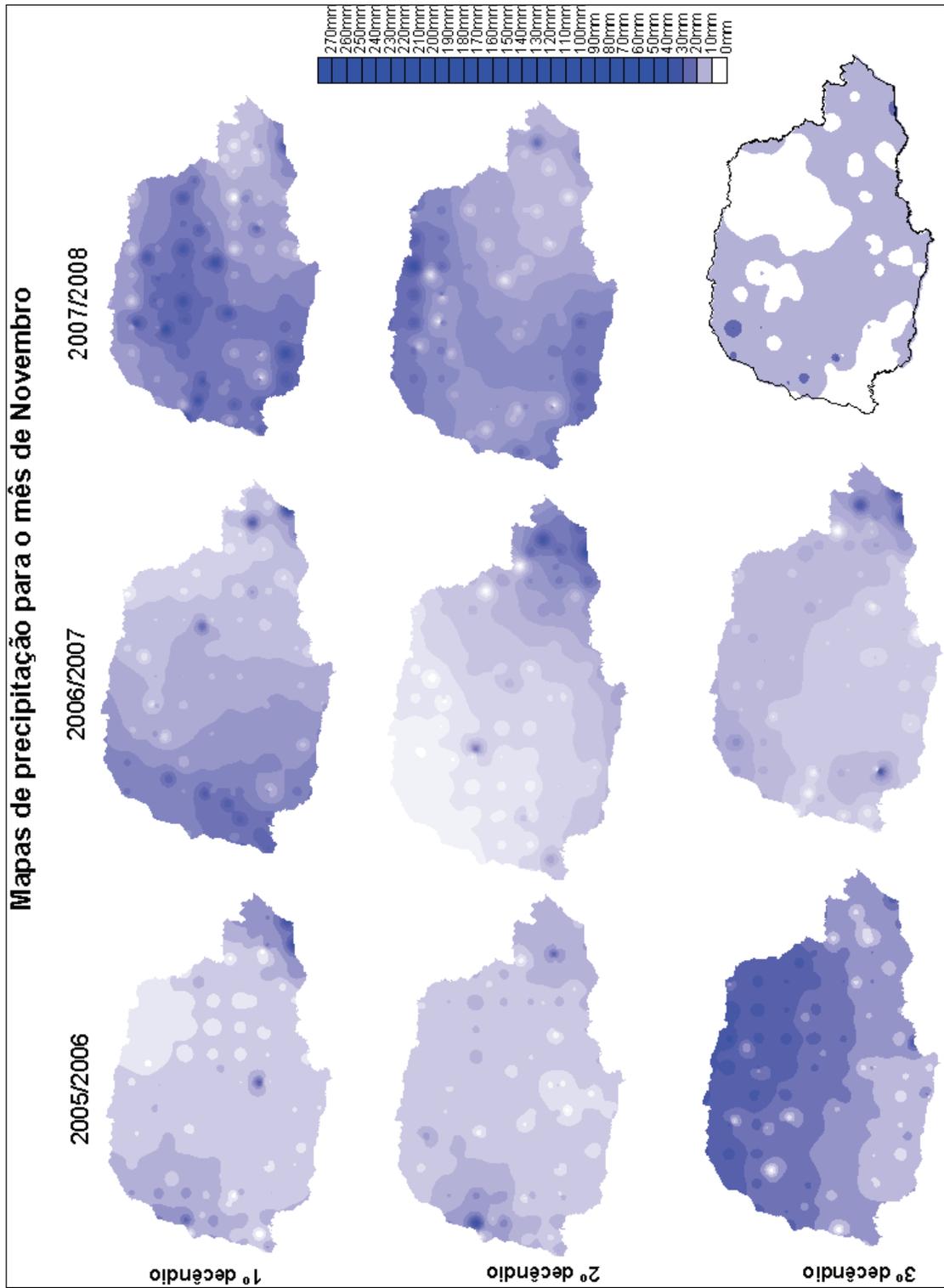


Figura 32. Mapas de precipitação interpolada para o mês de novembro.

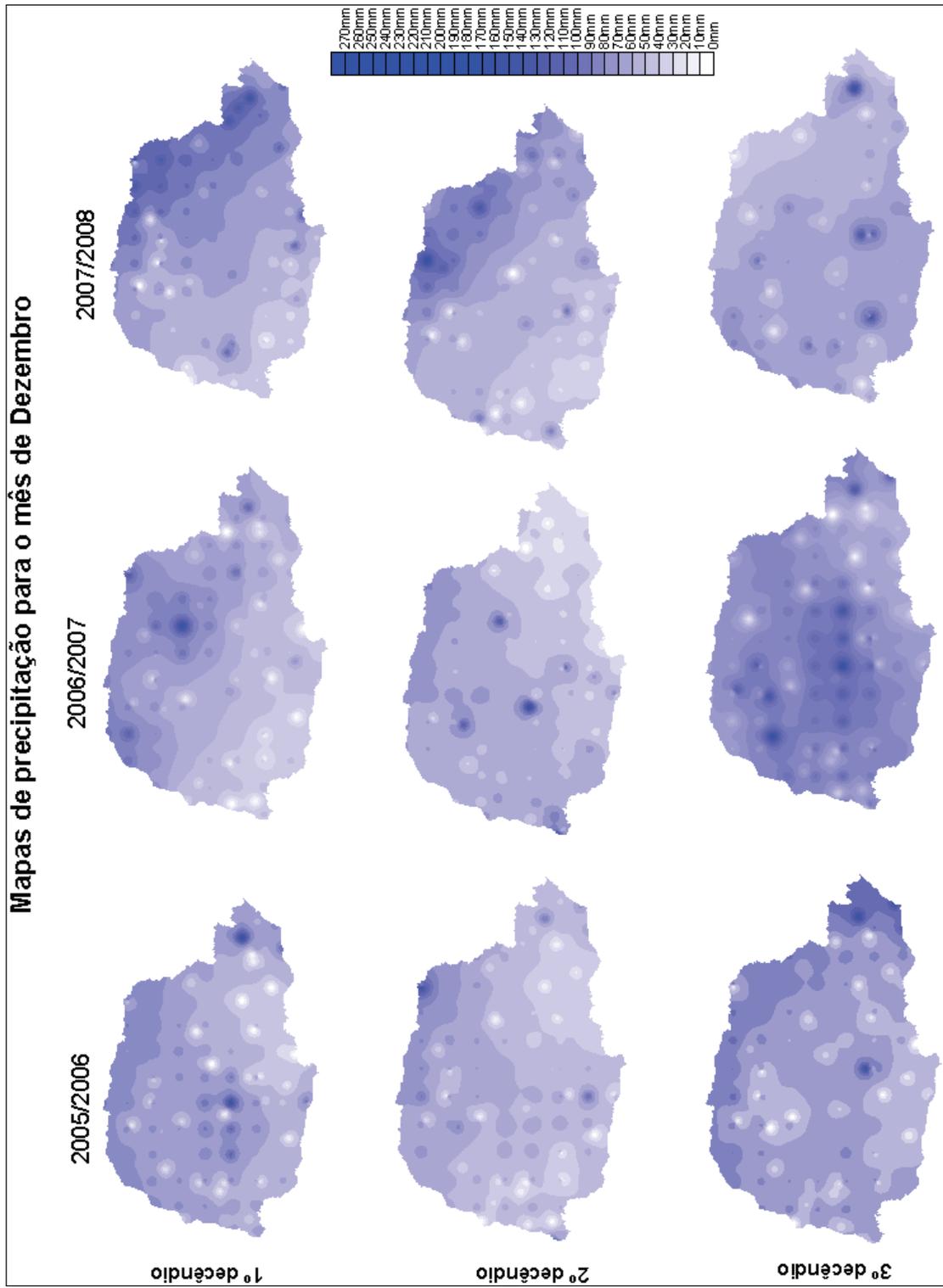


Figura 33. Mapas de precipitação interpolada para o mês de dezembro.

5.2.2 Perfil de precipitação para a região durante a safra de verão

A verificação do comportamento da precipitação é de extrema importância para agricultura, principalmente para culturas que possuem períodos sensíveis à deficiência hídrica. A estação de chuvas para o estado do Paraná inicia-se entre os meses de outubro e novembro, nessa época as chuvas geralmente são concentradas em algumas regiões.

As figuras ilustradas apresentam os gráficos dos municípios de Cascavel, que se localiza a oeste do estado, Londrina, que se encontra na região norte e Ponta Grossa, localizado a leste do Paraná. Tais municípios estão ilustrados nesse capítulo devido à localização de cada um dentro do estado, pois apresentam diferentes tipos de solo, clima e relevo.

No perfil de precipitação durante a safra 2005/2006 houve um grande volume de chuvas no mês de setembro e outubro o que possibilita a reposição de água no solo e possivelmente o início da semeadura, porém os meses de novembro e dezembro percebe-se uma queda nesse volume, como mostram as Figuras 34, 35 e 36.

A interpolação entre os dados das estações meteorológicas e o modelo ECMWF mostrou comportamento similar, exceto quando se nota o fenômeno de chuvas isoladas que são observadas apenas nas estações meteorológicas. O modelo ECMWF não registra esse acontecimento porque as medidas das variáveis meteorológicas são feitas de forma espacial.

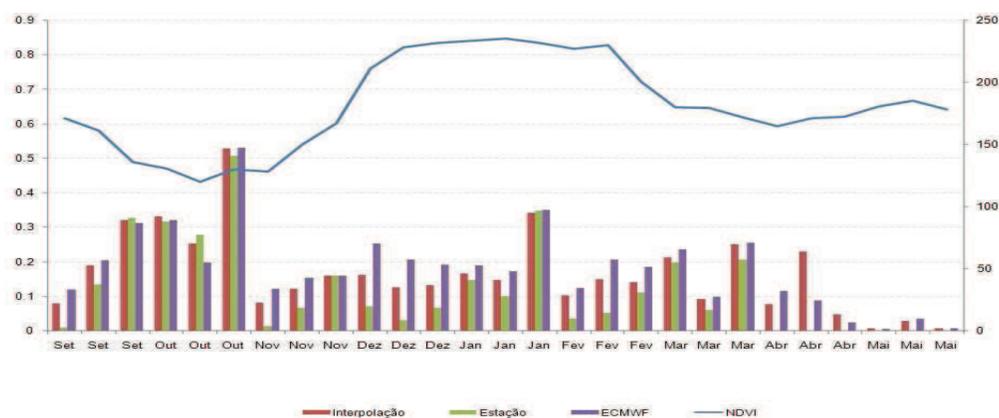


Figura 34. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2005/2006.

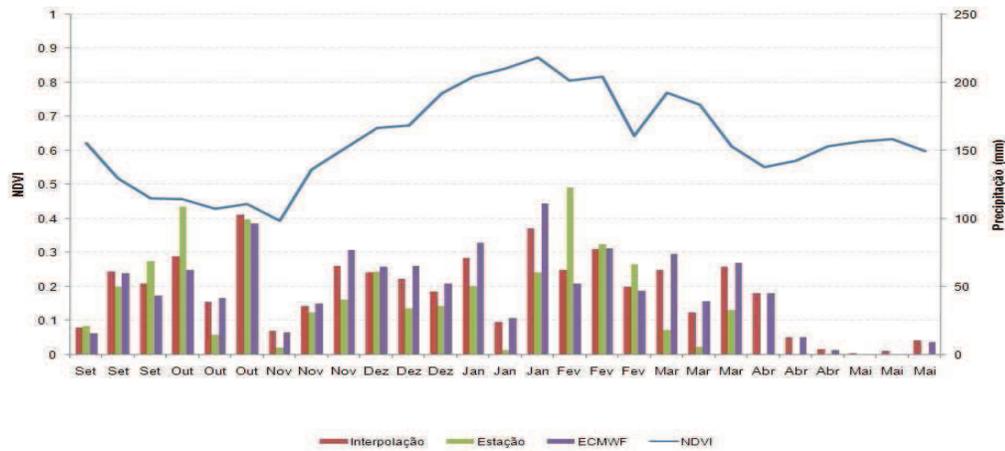


Figura 35. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2005/2006.

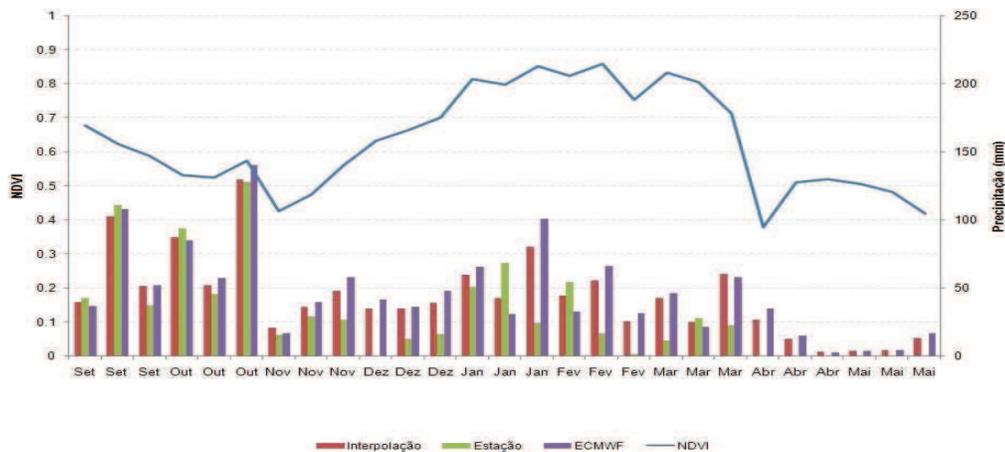


Figura 36. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2005/2006.

Na safra 2006/2007 o volume de chuvas para o início do ciclo foi menor em relação a safra anterior, porém, ainda foram registrados altos valores de precipitação, nos meses de dezembro e janeiro houve um aumento significativo. Nesta mesma safra na região de Londrina observa-se que o volume de chuvas foi menor em comparação as outras duas regiões no início do ciclo, altos valores de chuva só foram registrados a partir do terceiro decêndio de novembro, como mostram as Figuras 37, 38 e 39.

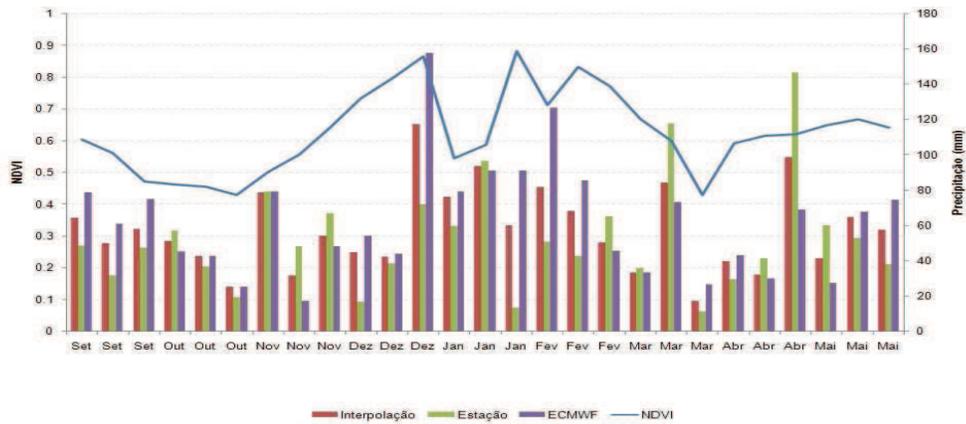


Figura 37. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2006/2007.

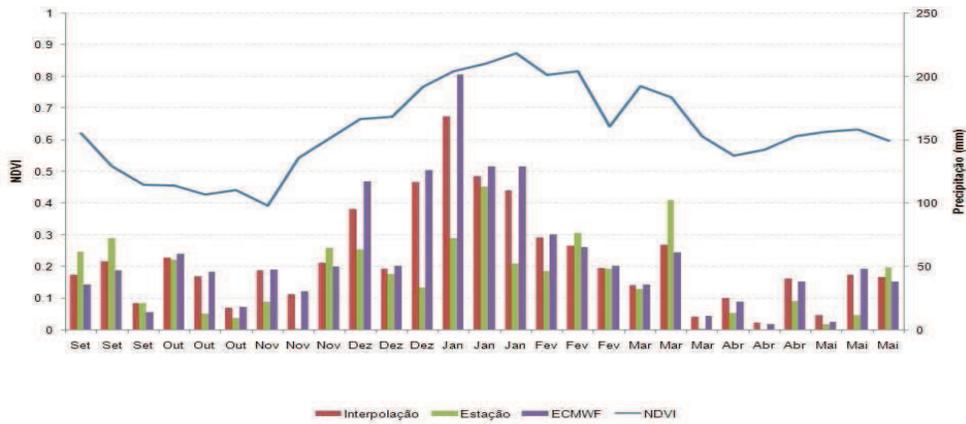


Figura 38. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2006/2007.

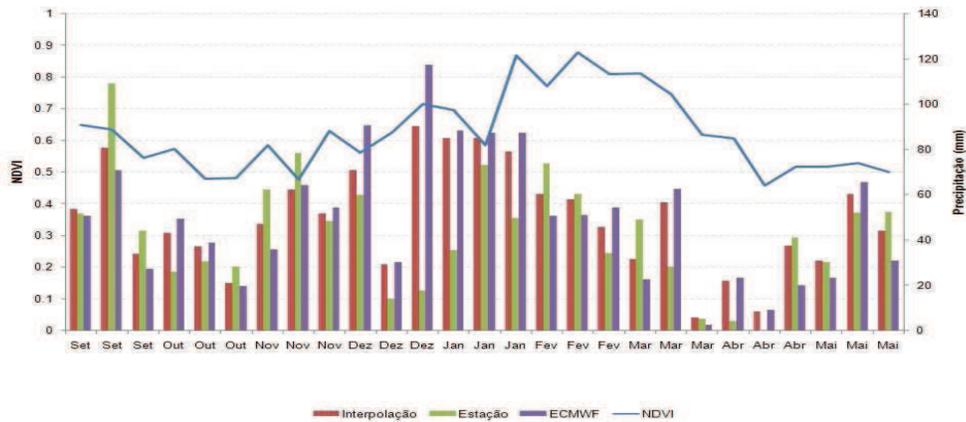


Figura 39. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2006/2007.

Na safra 2007/2008, ao analisar o comportamento da precipitação, nota-se que houve um pequeno atraso da chuva em relação aos anos passados, o volume de chuvas foi muito pequeno nos meses de setembro e outubro, durante o mês de novembro foram registrados os maiores valores de chuva para toda safra, conforme Figuras 40, 41 e 42.

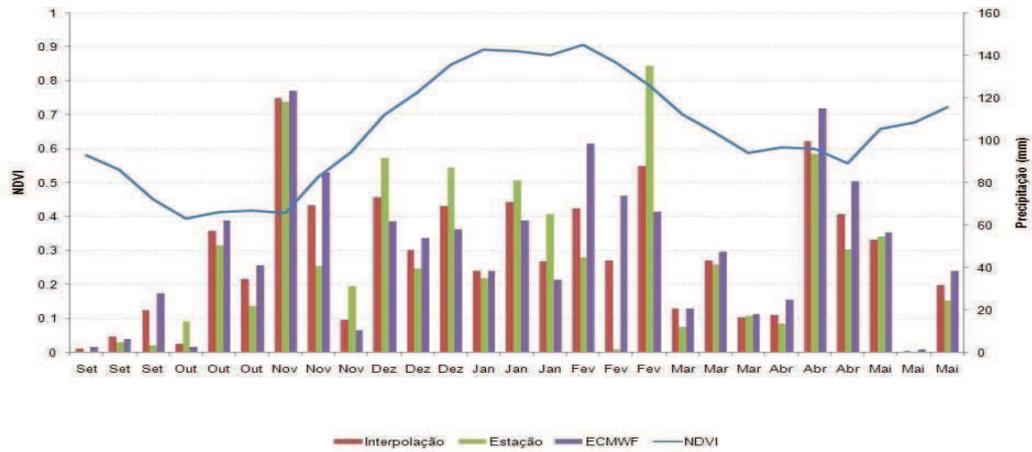


Figura 40. Perfil de NDVI e precipitação de Cascavel para safra 2007/2008.

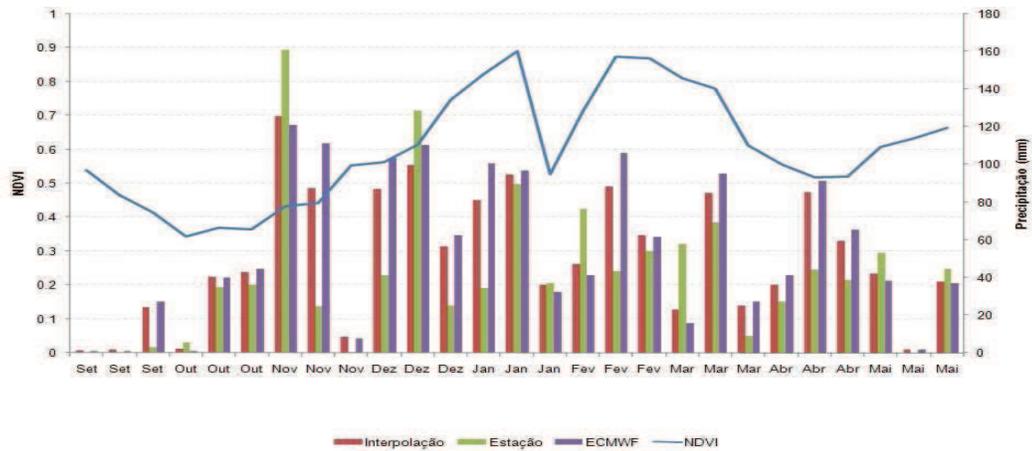


Figura 41. Perfil de NDVI e precipitação de Londrina para safra 2006/2007.

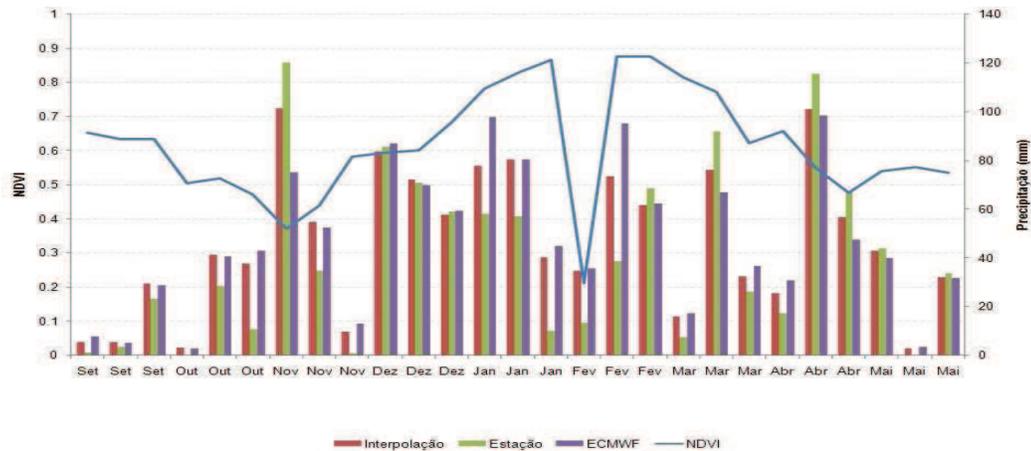


Figura 42. Perfil de NDVI e precipitação de Ponta Grossa para safra 2006/2007.

5.2.2.1 Estação meteorológica x Interpolação (Estação e Modelo)

As Tabelas 10, 11 e 12 apresentam as estatísticas calculadas para a interpolação de dados em relação às estações meteorológicas.

Para safra 2005/2006 verificou-se um coeficiente de determinação (R^2) variou entre 0,49 a 0,98 e coeficiente de correlação (R) variou na faixa de 0,70 a 0,99. Houve uma tendência de queda desses valores quando os dados de precipitação observados nas estações eram menores em relação à interpolação. Os resultados mostram que o índice de concordância (d) está significativo, pois os valores foram próximos a 1, variando apenas a partir da quarta casa decimal para todos os municípios analisados. A Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) e o Erro médio Observado (MBE) foi baixo apenas para duas estações mostrando que a dispersão e o desvio entre os dados foi menor naquele local.

Na safra 2006/2007 a média do R^2 caiu para faixa de 0,25 a 0,91 e R para 0,50 a 0,96, menos significativos, porém quando se analisa o d percebe-se que a concordância entre os dados das estações e da interpolação ainda continuam expressivas. E ainda o RMSE e o MBE também são baixos, ou seja, os valores estimados pelo interpolador não variaram em relação à estação e também houve um baixo desvio entre os valores observados e estimados.

Na safra 2007/2008 o R^2 e R voltaram a subir, onde a faixa de valores para esses parâmetros esteve entre 0,18 a 0,92 para o coeficiente de determinação e 0,41 a 0,96 para

coeficiente de correlação. Isso mostra que os valores voltam a ter concordância. O d continua significativo e o RMSE e MBE ainda mais baixos em relação às safras anteriores.

Tabela 10. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2005/2006.

	<i>Estação x Interpolação Safra 05/06</i>				
	R^2	d	$M B E$	$RMSE$	R
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,75	0,99987	17,00	9,80	0,87
<i>Campo Mourão</i>	0,80	0,99765	-6,39	3,52	0,90
<i>Cascavel</i>	0,95	0,99778	-11,24	3,24	0,97
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,67	0,99993	60,26	15,06	0,82
<i>Guarapuava</i>	0,55	0,99988	55,11	13,46	0,75
<i>Guaira</i>	0,90	0,99988	52,54	13,15	0,95
<i>Londrina</i>	0,49	0,99982	54,83	12,88	0,70
<i>Palotina</i>	0,96	0,99992	56,83	14,57	0,98
<i>Pinhão</i>	0,90	0,99991	54,05	13,71	0,95
<i>Ponta Grossa</i>	0,67	0,99987	52,02	12,73	0,82
<i>Santa Helena</i>	0,98	0,99992	51,71	13,70	0,99
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,97	0,99996	59,05	15,74	0,99
<i>Toledo</i>	0,85	0,99990	54,51	13,61	0,97

Tabela 11. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2006/2007.

	<i>Estação x Interpolação Safra 06/07</i>				
	R^2	d	$M B E$	$RMSE$	R
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,71	0,9994	-14,68	4,95	0,85
<i>Campo Mourão</i>	0,32	0,9993	1,04	5,00	0,57
<i>Cascavel</i>	0,48	0,9992	-8,07	4,67	0,69
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,25	0,9996	-6,82	7,29	0,51
<i>Guarapuava</i>	0,69	0,9991	-12,10	3,94	0,83
<i>Guaira</i>	0,73	0,9992	-4,91	4,96	0,86
<i>Londrina</i>	0,36	0,9998	-15,14	7,65	0,60
<i>Palotina</i>	0,83	0,9989	0,52	3,80	0,92
<i>Pinhão</i>	0,51	0,9997	-10,39	5,47	0,71
<i>Ponta Grossa</i>	0,25	0,9997	-6,93	5,28	0,50
<i>Santa Helena</i>	0,91	0,9973	-6,64	2,46	0,96
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,84	0,9978	-4,86	3,16	0,91
<i>Toledo</i>	0,58	0,9991	-2,93	3,96	0,76

Tabela 12. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação às estações meteorológicas para safra 2007/2008.

	<i>Estação x Interpolação Safra 07/08</i>				
	<i>R²</i>	<i>d</i>	<i>M B E</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i>
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,90	0,9980	-6,39	3,31	0,95
<i>Campo Mourão</i>	0,51	0,9998	-14,94	6,62	0,72
<i>Cascavel</i>	0,75	0,9992	-0,71	4,16	0,87
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,60	0,9995	-6,52	5,22	0,78
<i>Guarapuava</i>	0,18	0,9999	-18,51	9,17	0,42
<i>Guaira</i>	0,65	0,9996	-15,59	6,18	0,81
<i>Londrina</i>	0,60	0,9995	-8,98	6,14	0,77
<i>Palotina</i>	0,92	0,9988	-3,01	3,07	0,96
<i>Pinhão</i>	0,82	0,9995	-4,03	4,06	0,91
<i>Ponta Grossa</i>	0,83	0,9985	-8,79	3,60	0,91
<i>Santa Helena</i>	0,90	0,9966	-3,68	2,29	0,95
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,81	0,9977	-3,87	2,73	0,94
<i>Toledo</i>	0,86	0,9973	-3,87	2,90	0,93

5.2.2.2 Modelo ECMWF x Interpolação (Estação e Modelo)

As Tabelas 13, 14 e 15 mostram as estatísticas calculadas para interpolação em relação ao modelo ECMWF.

Para as três safras estudadas observa-se um alto coeficiente de determinação e alto coeficiente de correlação, porém o índice de concordância apresentou-se menor se comparado com os valores obtidos nas estações meteorológicas. Para safra 2005/2006 a faixa de valores de R^2 esteve entre 0,57 a 0,94 e R variou entre 0,76 a 0,97, já o d oscilou entre 0,83 e 0,99, mas ainda pode-se considerar que os dados tenham boa concordância. O desvio médio dos valores observados (MBE) foi pequeno, o que significa que houve pouca variação entre os valores observados no modelo ECMWF e estimados pelo interpolador, já o RMSE sofreu pequena variação em relação aos dados medidos em todos os municípios.

A safra 2006/2007 apresentou valores menos expressivos se comparados a todas as safras estudadas, onde o R^2 apresentou valores entre 0,45 a 0,98 e R oscilou entre 0,68 a 0,99, e a maior oscilação no índice de concordância também foi encontrada nessa safra onde se encontrou grande intervalo de 0,74 a 0,98. Dentre os municípios estudados o que apresentou maior MBE foi Santa Helena com desvio de 17,09. Já o RMSE variou entre 1,73 e 5,06.

Na safra 2007/2008 houve um aumento nos valores de R^2 e R , onde foram encontradas variações de 0,60 a 0,98 e 0,78 a 0,99 respectivamente. Simultaneamente, o índice de concordância também aumentou, entretanto continuou oscilando entre 0,85 a 0,99. O RMSE variou de 1,36 a 5,15 em relação aos dados estimados pelo interpolador e o desvio do conjunto de dados dessa safra esteve entre -1,69 a 7,60.

Tabela 13. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2005/2006.

	<i>ECMWF x Interpolação Safra 05/06</i>				
	R^2	d	$M B E$	$RMSE$	R
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,76	0,8358	-4,71	4,89	0,82
<i>Campo Mourão</i>	0,65	0,9843	1,39	2,83	0,81
<i>Cascavel</i>	0,91	0,9926	6,68	2,43	0,96
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,92	0,9945	3,70	2,23	0,96
<i>Guarapuava</i>	0,89	0,9920	0,150	2,30	0,94
<i>Guaira</i>	0,57	0,9731	5,810	4,39	0,76
<i>Londrina</i>	0,90	0,9954	2,228	1,73	0,95
<i>Palotina</i>	0,60	0,9630	1,341	5,06	0,77
<i>Pinhão</i>	0,90	0,9923	2,8783	2,41	0,95
<i>Ponta Grossa</i>	0,94	0,9954	2,8256	1,75	0,97
<i>Santa Helena</i>	0,81	0,9804	9,0365	4,11	0,90
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,85	0,9841	4,8964	3,91	0,92
<i>Toledo</i>	0,82	0,9865	4,6559	3,16	0,91

Tabela 14. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2006/2007.

	<i>ECMWF x Interpolação Safra 06/07</i>				
	R^2	d	$M B E$	$RMSE$	R
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,84	0,9217	10,07	3,62	0,92
<i>Campo Mourão</i>	0,84	0,9286	0,71	3,33	0,92
<i>Cascavel</i>	0,82	0,9086	7,38	3,74	0,91
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,86	0,9523	4,12	2,28	0,93
<i>Guarapuava</i>	0,92	0,9588	4,44	2,42	0,96
<i>Guaira</i>	0,78	0,9259	5,13	3,73	0,88
<i>Londrina</i>	0,98	0,9847	3,64	2,29	0,99
<i>Palotina</i>	0,73	0,9139	5,25	3,97	0,86
<i>Pinhão</i>	0,75	0,9073	5,43	3,58	0,87
<i>Ponta Grossa</i>	0,90	0,9630	1,36	2,07	0,95
<i>Santa Helena</i>	0,47	0,7493	17,09	6,04	0,69
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,47	0,7895	9,30	4,80	0,68
<i>Toledo</i>	0,75	0,8968	7,02	3,80	0,87

Tabela 15. Estatísticas básicas utilizadas para avaliar o interpolador em relação ao modelo ECMWF para safra 2007/2008.

<i>ECMWF x Interpolação Safra 07/08</i>					
	<i>R²</i>	<i>d</i>	<i>M B E</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i>
<i>Assis Chateaubriand</i>	0,90	0,9699	4,21	2,43	0,95
<i>Campo Mourão</i>	0,93	0,9786	3,39	2,17	0,97
<i>Cascavel</i>	0,85	0,9587	2,05	2,69	0,92
<i>Foz do Iguaçu</i>	0,98	0,9918	2,39	1,36	0,99
<i>Guarapuava</i>	0,92	0,9775	-1,69	1,80	0,96
<i>Guaíra</i>	0,76	0,9163	7,71	3,90	0,87
<i>Londrina</i>	0,96	0,9846	4,20	2,10	0,98
<i>Palotina</i>	0,82	0,9443	5,07	3,42	0,91
<i>Pinhão</i>	0,86	0,9626	0,12	2,41	0,93
<i>Ponta Grossa</i>	0,90	0,9743	1,28	2,00	0,95
<i>Santa Helena</i>	0,60	0,8544	7,60	5,15	0,78
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	0,88	0,9316	6,90	3,81	0,90
<i>Toledo</i>	0,86	0,9576	4,16	2,82	0,93

Esses valores indicam que todos os índices calculados apresentam um grau de precisão aceitável para interpolação da precipitação. Tendo em vista que a MBE e RMSE fornecem o resultado do desempenho do conjunto de dados a longo e curto prazo, respectivamente, verificou-se que os valores do modelo ECMWF mostraram-se superiores aos das estações meteorológicas do SIMEPAR, isso pode ter ocorrido devido à pequena quantidade de dados faltantes ou então a forma em que os dois dados são medidos (pontualmente e espacialmente).

5.2.2.3 Validação dos dados interpolados

Foi possível perceber que a significância entre os dados foi alta quando o volume de chuvas foi baixo durante a safra, assim constatou-se que 2006/2007 foi a safra em que os dados estiveram menos significativos. Já para a safra 2005/2006 e principalmente na 2007/2008 houve uma maior concordância entre os dados, tendo em vista que a última apresentou menor volume de chuvas, porém nenhum município avaliado alcançou índice de concordância próximo a 1. As Tabelas 16, 17 e 18 apresentam os cálculos realizados.

Na safra 2005/2006 nota-se que apesar do coeficiente de determinação apresentar-se entre 0,34 e 0,78, o índice de concordância 'd' esteve entre 0,64 e 0,89, consequentemente, a correlação entre os dados também foi obtida pouca variação de 0,58 a 0,89.

Para safra 2006/2007 o coeficiente de determinação variou entre 0,11 a 0,64, a concordância entre os dados foi insignificante para a grande maioria, onde a faixa de valores foi de 0,49 a 0,77 e a correlação entre os dados foi de 0,33 a 0,80.

Na safra 2007/2008 o coeficiente de determinação apresenta-se melhor em relação à safra anterior, onde esteve entre 0,44 a 0,67, o índice de concordância para essa safra volta a ser significativo com valores entre 0,78 a 0,87 e a correlação entre 0,67 e 0,82.

Deste modo, constatou-se que em períodos com menor volume de chuvas, as estações e o modelo possuem maior concordância entre si, exceto quando há ocorrência de chuvas isoladas, tanto nas estações, quanto em qualquer outra região onde apenas o modelo conseguiu registrar essa informação.

Tabela 16. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2005/2006.

<i>Estações (interpoladas) x ECMWF (interpolado) Safra 05/06</i>			
	<i>R²</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
<i>Assis Chateaubriand</i>	<i>0,50</i>	<i>0,64</i>	<i>0,70</i>
<i>Campo Mourão</i>	<i>0,34</i>	<i>0,71</i>	<i>0,58</i>
<i>Cascavel</i>	<i>0,78</i>	<i>0,87</i>	<i>0,89</i>
<i>Foz do Iguaçu</i>	<i>0,70</i>	<i>0,88</i>	<i>0,84</i>
<i>Guarapuava</i>	<i>0,52</i>	<i>0,84</i>	<i>0,72</i>
<i>Guaira</i>	<i>0,54</i>	<i>0,74</i>	<i>0,73</i>
<i>Londrina</i>	<i>0,34</i>	<i>0,73</i>	<i>0,59</i>
<i>Palotina</i>	<i>0,53</i>	<i>0,69</i>	<i>0,73</i>
<i>Pinhão</i>	<i>0,69</i>	<i>0,89</i>	<i>0,83</i>
<i>Ponta Grossa</i>	<i>0,58</i>	<i>0,84</i>	<i>0,76</i>
<i>Santa Helena</i>	<i>0,72</i>	<i>0,84</i>	<i>0,85</i>
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	<i>0,74</i>	<i>0,85</i>	<i>0,86</i>
<i>Toledo</i>	<i>0,70</i>	<i>0,82</i>	<i>0,84</i>

As Figuras 43, 44 e 45 ilustram os dados das estações interpoladas com o modelo interpolado para safra 2005/2006.

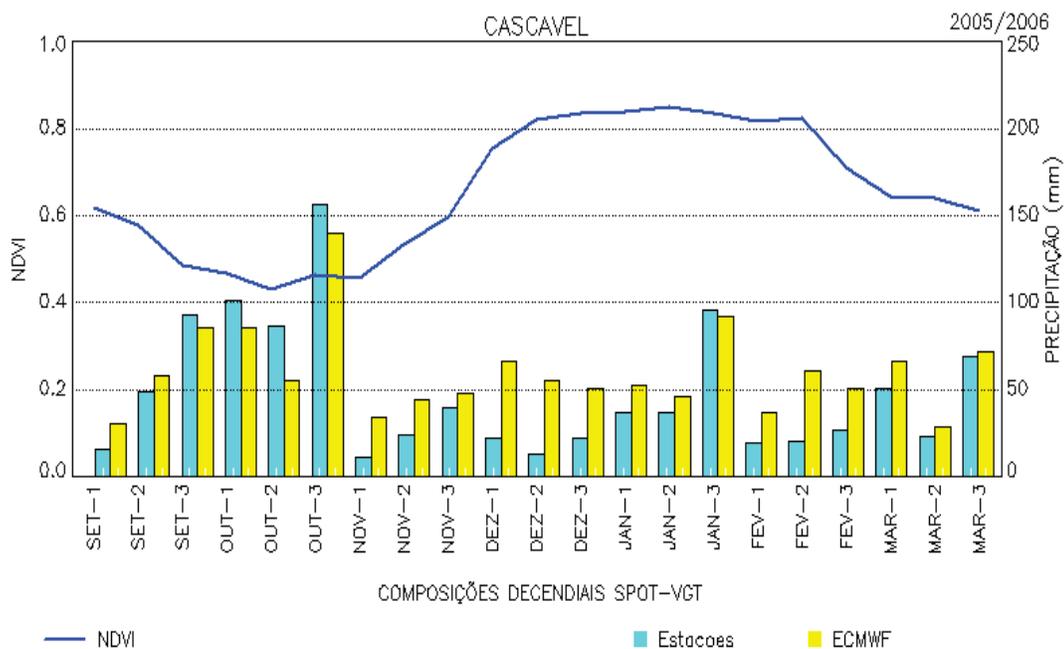


Figura 43. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2005/2006.

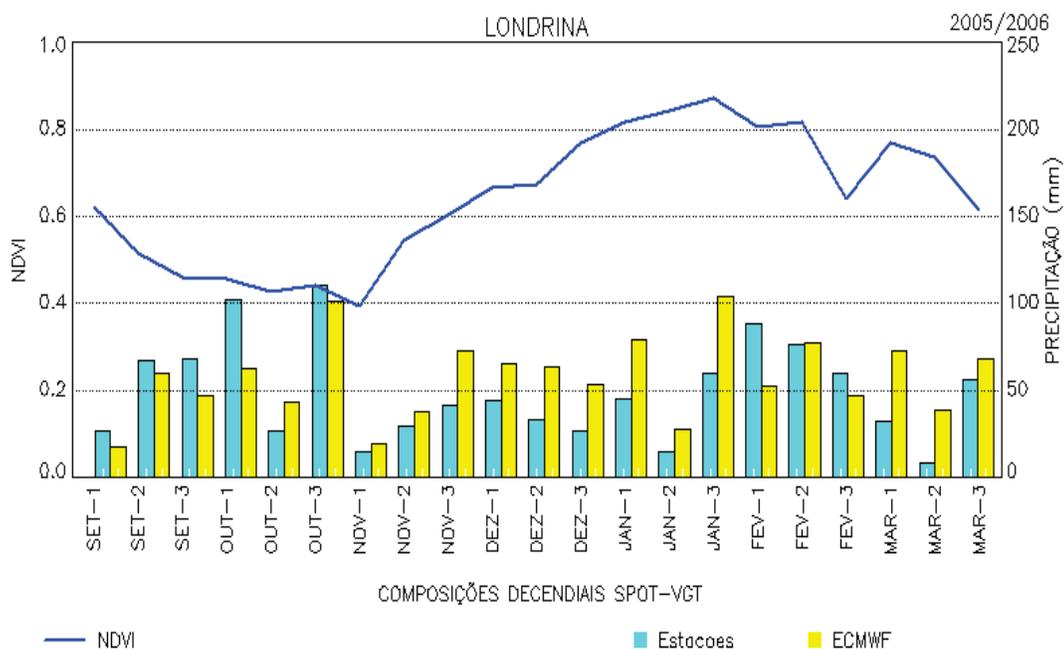


Figura 44. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2005/2006.

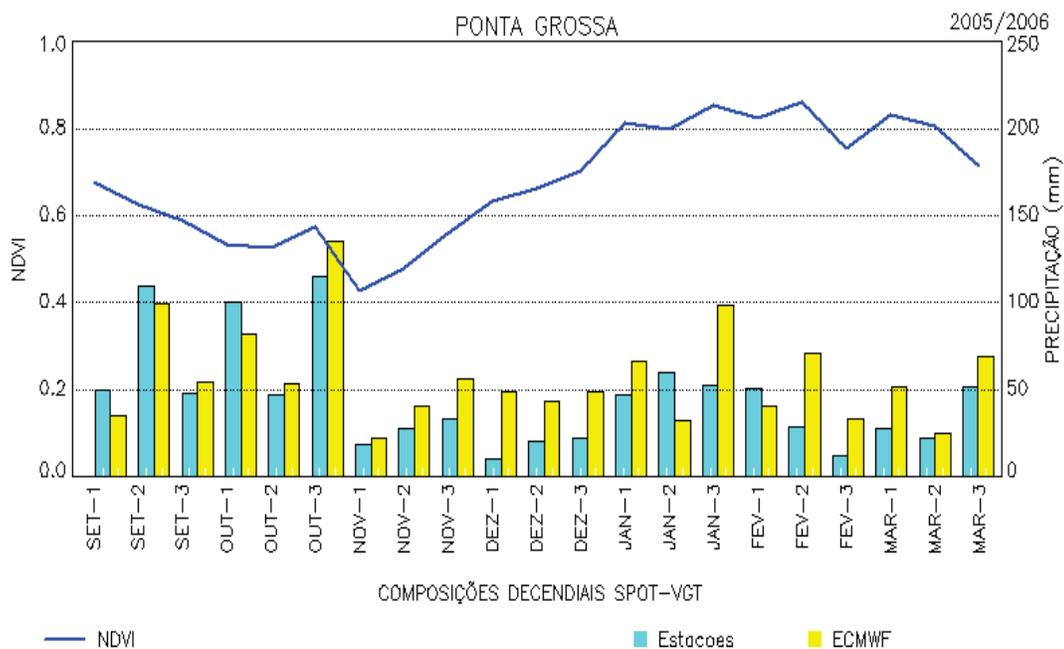


Figura 45. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2005/2006.

Tabela 17. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2006/2007.

<i>Estação x ECMWF (interpolados) Safra 06/07</i>			
	<i>R²</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
<i>Assis Chateaubriand</i>	<i>0,41</i>	<i>0,71</i>	<i>0,64</i>
<i>Campo Mourão</i>	<i>0,18</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>
<i>Cascavel</i>	<i>0,32</i>	<i>0,65</i>	<i>0,57</i>
<i>Foz do Iguaçu</i>	<i>0,11</i>	<i>0,49</i>	<i>0,33</i>
<i>Guarapuava</i>	<i>0,64</i>	<i>0,77</i>	<i>0,80</i>
<i>Guaira</i>	<i>0,40</i>	<i>0,76</i>	<i>0,63</i>
<i>Londrina</i>	<i>0,47</i>	<i>0,68</i>	<i>0,69</i>
<i>Palotina</i>	<i>0,42</i>	<i>0,77</i>	<i>0,65</i>
<i>Pinhão</i>	<i>0,44</i>	<i>0,73</i>	<i>0,66</i>
<i>Ponta Grossa</i>	<i>0,32</i>	<i>0,58</i>	<i>0,57</i>
<i>Santa Helena</i>	<i>0,22</i>	<i>0,60</i>	<i>0,47</i>
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	<i>0,15</i>	<i>0,57</i>	<i>0,39</i>
<i>Toledo</i>	<i>0,33</i>	<i>0,69</i>	<i>0,57</i>

As Figuras 46,47 e 48 ilustram a comparação entre os dados interpolados para safra 2006/2007.

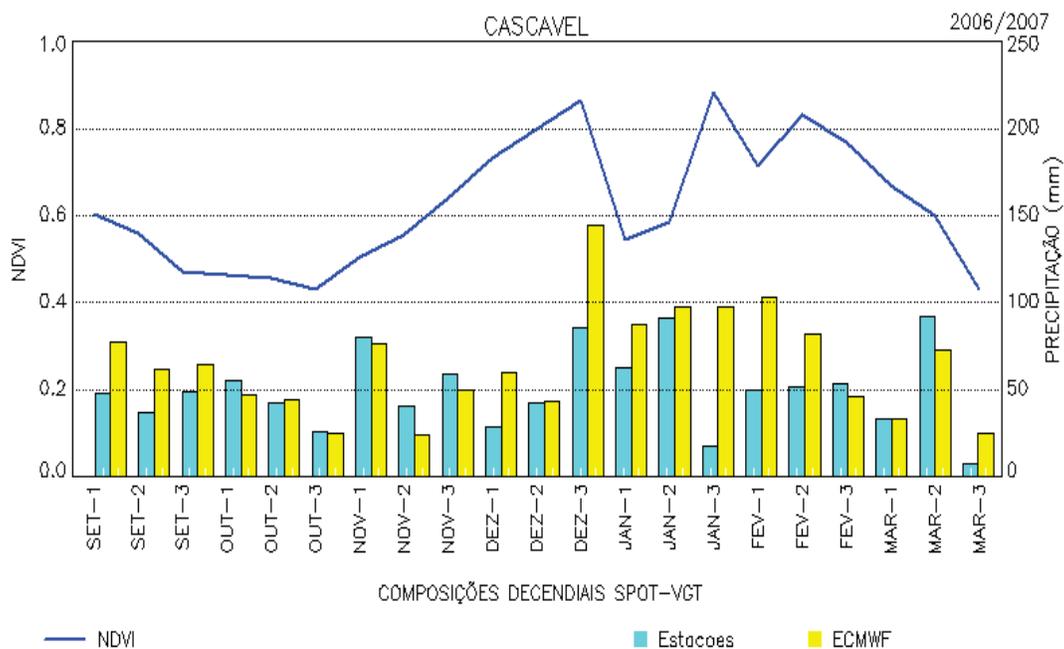


Figura 46. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2006/2007.

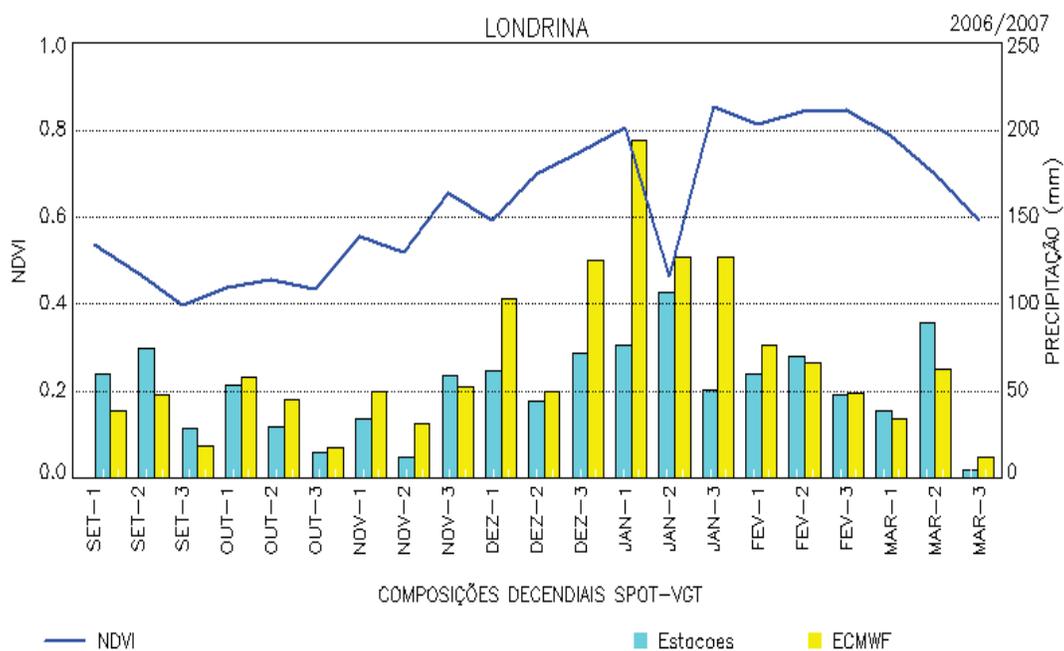


Figura 47. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2006/2007.

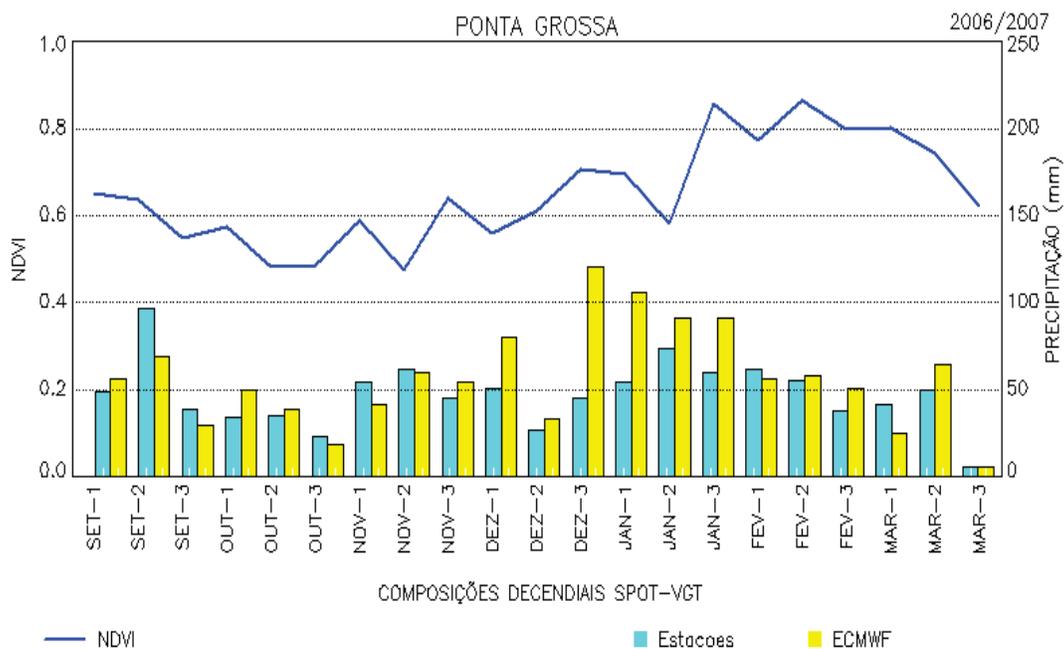


Figura 48. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2006/2007.

Tabela 18. Avaliação entre estações interpoladas x modelo interpolado para safra 2007/2008.

<i>Estação x ECMWF (interpolados) Safra 07/08</i>			
	<i>R²</i>	<i>D</i>	<i>R</i>
<i>Assis Chateaubriand</i>	<i>0,65</i>	<i>0,86</i>	<i>0,80</i>
<i>Campo Mourão</i>	<i>0,59</i>	<i>0,85</i>	<i>0,77</i>
<i>Cascavel</i>	<i>0,58</i>	<i>0,85</i>	<i>0,76</i>
<i>Foz do Iguaçu</i>	<i>0,66</i>	<i>0,86</i>	<i>0,81</i>
<i>Guarapuava</i>	<i>0,62</i>	<i>0,87</i>	<i>0,79</i>
<i>Guaira</i>	<i>0,47</i>	<i>0,74</i>	<i>0,65</i>
<i>Londrina</i>	<i>0,57</i>	<i>0,82</i>	<i>0,76</i>
<i>Palotina</i>	<i>0,63</i>	<i>0,84</i>	<i>0,79</i>
<i>Pinhão</i>	<i>0,57</i>	<i>0,84</i>	<i>0,76</i>
<i>Ponta Grossa</i>	<i>0,59</i>	<i>0,84</i>	<i>0,77</i>
<i>Santa Helena</i>	<i>0,44</i>	<i>0,78</i>	<i>0,67</i>
<i>São Miguel do Iguaçu</i>	<i>0,57</i>	<i>0,85</i>	<i>0,76</i>
<i>Toledo</i>	<i>0,67</i>	<i>0,87</i>	<i>0,82</i>

As Figuras 49, 50 e 51 apresentam a situação dos dados interpolados para safras 2007/2008.

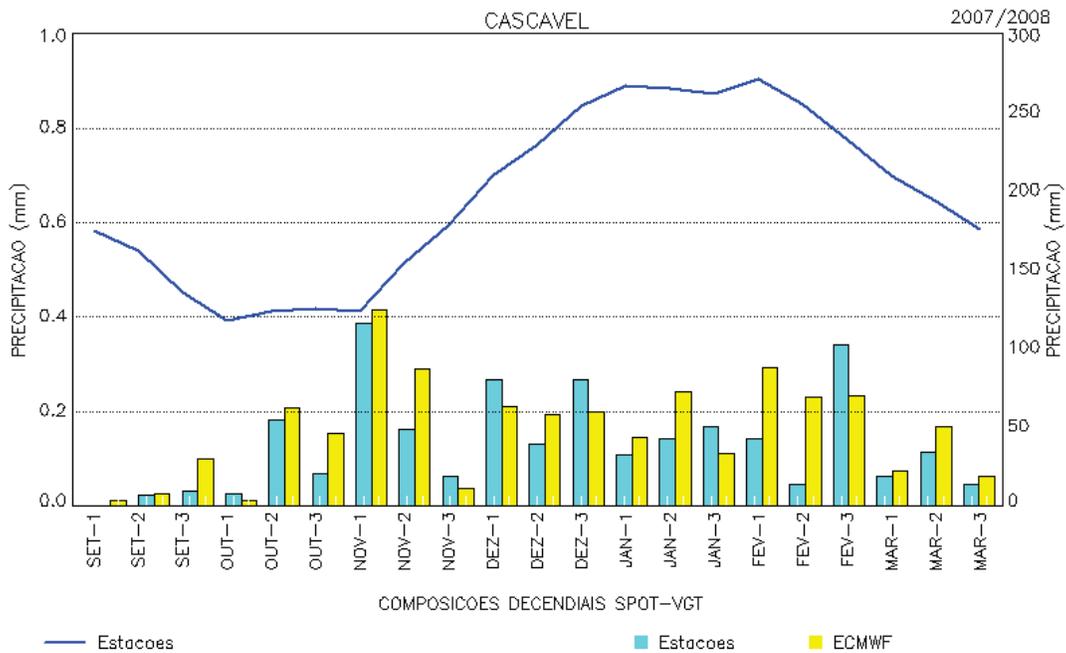


Figura 49. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Cascavel na safra 2007/2008.

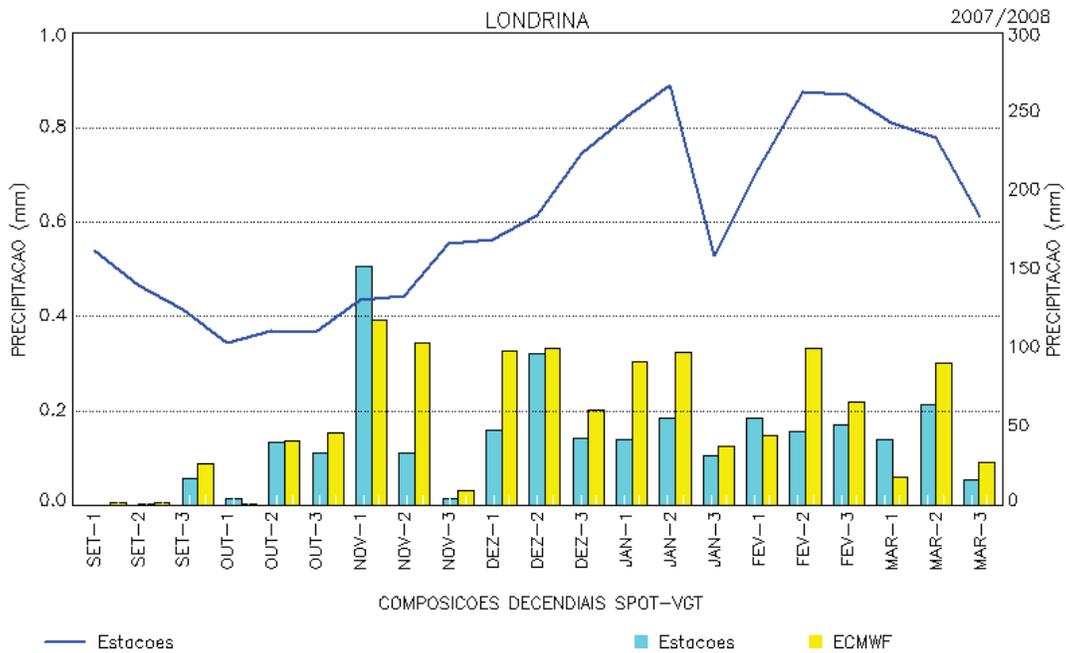


Figura 50. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Londrina na safra 2007/2008.

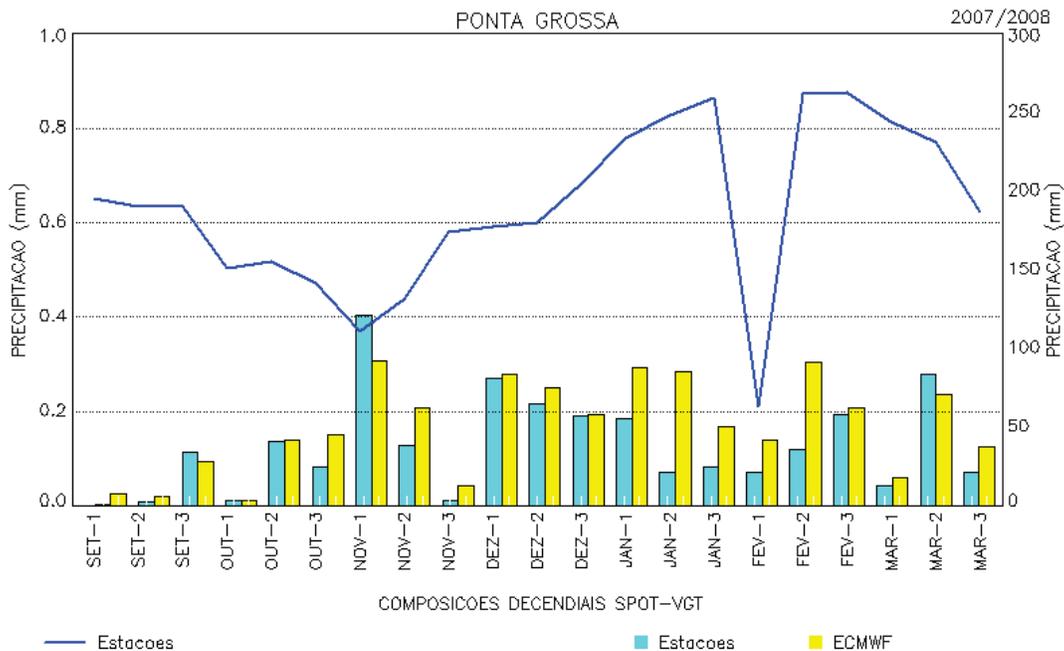


Figura 51. Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para o município de Ponta Grossa na safra 2007/2008.

Com isso, verificou-se que o interpolador se comportou de forma aceitável para este trabalho. Pois o interpolador o Inverso Quadrado da Distância leva em conta as estações vizinhas, desconsiderando as estações mais distantes, e esse foi um fator importante para sua escolha.

5.3 Determinação e mapeamento do início do ciclo da cultura de verão

Se a precipitação se antecipar, a semeadura da cultura de verão é antecipada, particularmente com cultivares precoces. Essa prática vem sendo adotada por muitos produtores com a intenção de antecipar a colheita da cultura e viabilizar o cultivo do milho safrinha. Esse plantio antecipado está relacionado a alguns fatores externos, por exemplo, regiões mais quentes onde ocorre inverno úmido, solos de alta fertilidade e temperaturas favoráveis à emergência das plantas.

No cruzamento dos mapas de precipitação com as máscaras da cultura de verão foi possível identificar o início do desenvolvimento do ciclo da cultura em escala estadual. A Figura 52 mostra que para safra 2005/2006 o ciclo teve início no segundo decênio de outubro

para região oeste (cinturão da soja) e parte do leste do estado. A segunda data de início de desenvolvimento do ciclo foi o terceiro decêndio de outubro, onde foi identificado em parte da região noroeste e leste do estado. A terceira data que apresenta início de ciclo encontra-se no primeiro decêndio de outubro na região leste e central do estado. Nos períodos que compreende o segundo decêndio de novembro e segundo decêndio de dezembro é possível localizar alguns pontos com início de ciclo na região central do estado.

A Figura 53 mostra o início de desenvolvimento do ciclo para safra 2006/2007, onde é possível verificar que o ciclo foi antecipado em relação à safra anterior, este fato ocorreu devido ao grande volume de chuvas já no mês de setembro. Observa-se que a região oeste do estado tem duas datas para início de ciclo uma no primeiro decêndio de outubro e outra no segundo decêndio de outubro. A região noroeste e parte da região leste do estado apresentaram duas datas distintas, uma no terceiro decêndio de outubro e outra no primeiro decêndio de novembro. E a região central apresentou início de ciclo entre o primeiro e terceiro decêndio de novembro.

A Figura 54 apresenta o início de ciclo para safra 2007/2008 que se mostrou atrasado em relação às safras 2005/2006 e 2007/2008. Através da figura é possível observar que apenas a região de Foz do Iguaçu teve início de ciclo no segundo decêndio de outubro. Na região oeste já é possível observar o desenvolvimento da cultura no terceiro decêndio de outubro, porém é no primeiro decêndio de novembro que a cultura passa a se desenvolver ao longo de todo o estado.

Deste modo, constatou-se que o estado do Paraná possui em média três épocas de plantio distintas. A primeira inicia-se no decorrer do mês de outubro, quando chuva repõe a umidade do solo que foi perdida durante o inverno. Este fato é observado para a região oeste do estado e para todo o cinturão da soja. A segunda época ocorre no início de novembro principalmente na região leste do estado nos municípios de Ponta Grossa, Tibagi, Castro e Jaguariaíva. A terceira semeadura ocorre entre o final de novembro e início de dezembro para a região central do estado onde se encontram os municípios de Guarapuava, Pinhão e Palmas. Este estudo mostrou que o início do desenvolvimento do ciclo de desenvolvimento da soja e do milho está ligado ao início de chuvas.

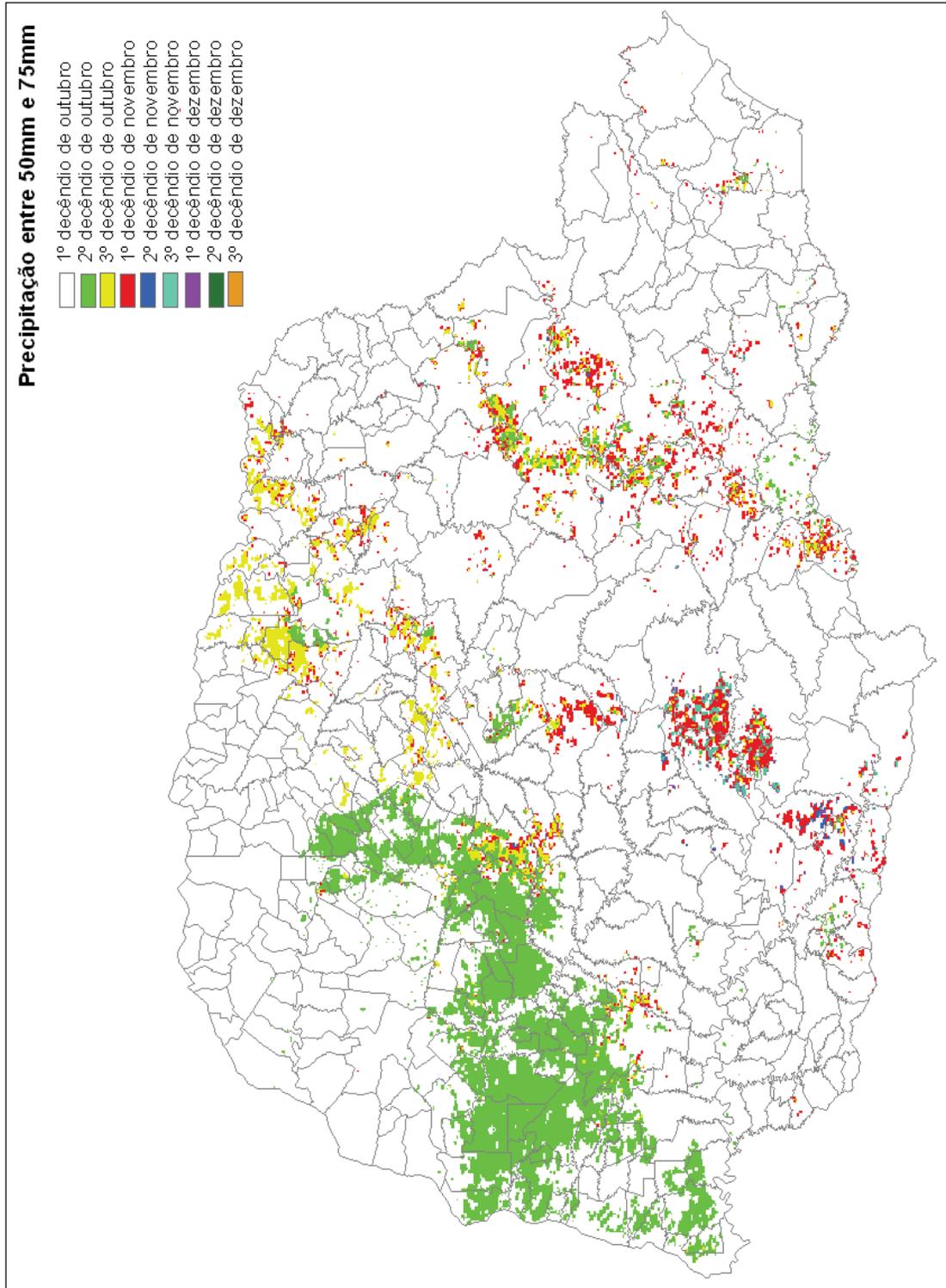


Figura 52. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2005/2006.

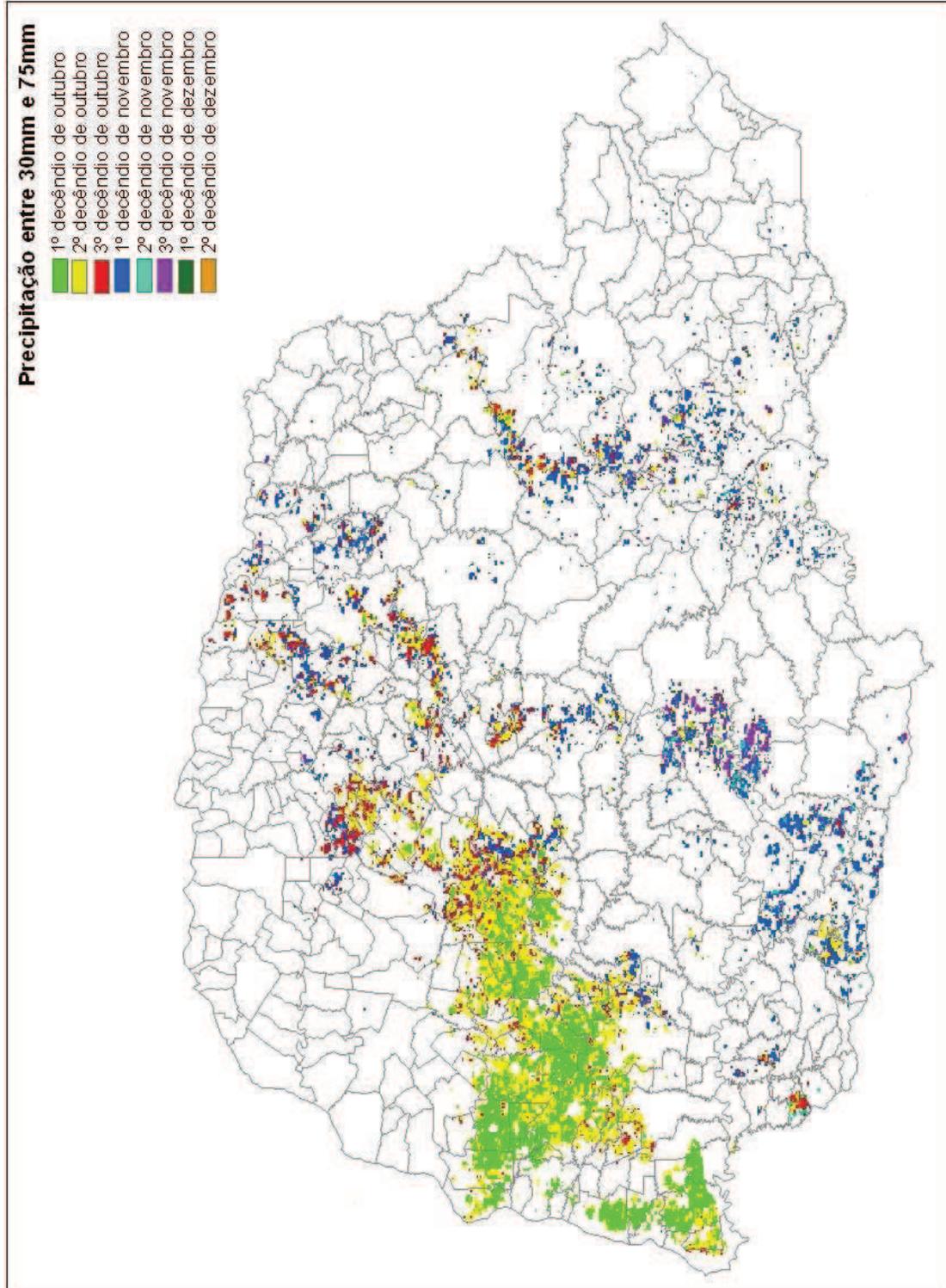


Figura 53. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2007/2008.

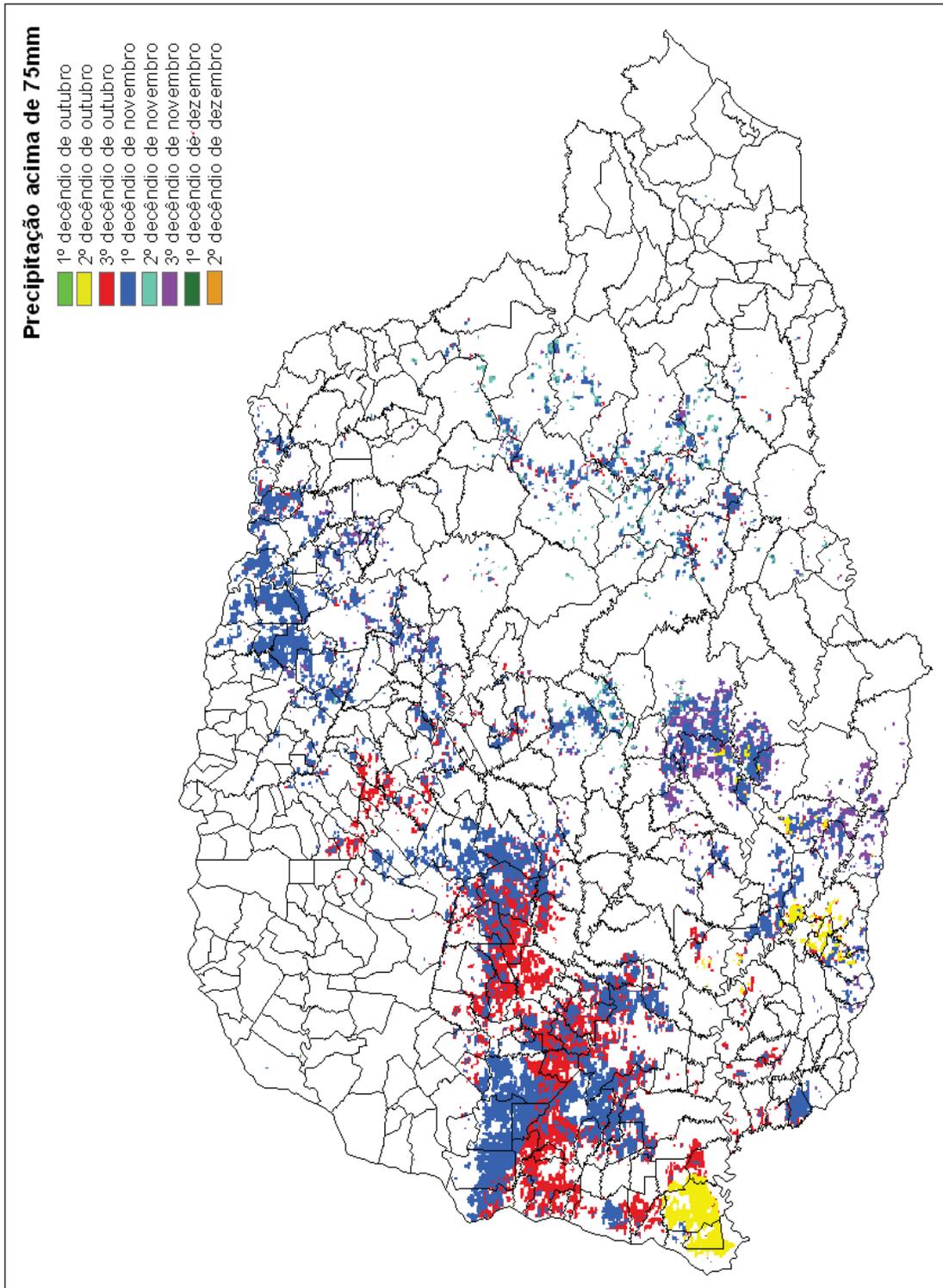


Figura 54. Início do ciclo da cultura de verão para safra 2007/2008.

6. CONCLUSÕES

- Através do cruzamento de mapas de precipitação e máscaras decendiais da cultura de verão foi possível identificar o início do desenvolvimento do ciclo da cultura de verão no estado do Paraná.
- A avaliação da acurácia para as três máscaras mostrou-se precisa, foram encontrados bons índices de acerto na interpretação do mapeamento em relação aos dados encontrados na imagem de referência. Na concordância entre os dados observados pelo IBGE em relação aos dados estimados pelas máscaras os resultados foram bem próximos de 1, ou seja, as máscaras para a cultura estavam bem próximos a realidade de campo, tendo em vista, que o objetivo do trabalho era apenas identificar áreas de ocupação da cultura.
- A utilização de composições decendiais mostrou-se eficaz para mapear culturas de verão, porém resultados mais satisfatórios serão encontrados se utilizado sensor com melhor resolução espacial, assim, seria possível identificar áreas de ocupação da cultura bem como quantificá-la de forma precisa.
- A interpolação de dados em alguns instantes não se mostrou eficaz, como por exemplo, decêndios onde foi registrada precipitação isolada, o que acabou provocando superestimação na interpolação entre estações e modelo, porém quando não há essa ocorrência o comportamento tanto das estações quanto do modelo são bem similares, Assim, pode-se afirmar que é possível fazer uso apenas do modelo ECMWF em locais onde não há estações meteorológicas, porém não é aconselhável quando se trata de períodos de verão, devido à ocorrência de chuvas convectivas.

7. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

O planejamento e monitoramento do ciclo de produção agrícola são atividades fundamentais, porém muitas vezes prejudicadas pela falta de informação ou subjetividade da mesma e tempo hábil para execução. Desta forma, o uso do sensoriamento remoto torna-se cada vez mais importante, contribuindo significativamente no monitoramento de áreas agrícolas, permitindo alcançar metodologias eficazes e de baixo custo.

O uso de imagens do sensor SPOT *Vegetation* permitiu o monitoramento da cultura de verão no estado do Paraná, devido a sua temporalidade. Foi possível também detectar diferentes épocas de início de desenvolvimento do ciclo da cultura em escala regional.

Obtendo a informação do início do ciclo da cultura é possível monitorá-la em tempo real, porém é necessário que as imagens para monitoramento sejam disponibilizadas em tempo hábil. No caso do sensor SPOT *Vegetation* isso é possível em intervalos de 10 dias. Com a imagem da primeira data do início do ciclo da safra atual é possível se basear em imagens da safra anterior para descobrir o comportamento da cultura, desta forma, é possível encontrar áreas onde há aumento ou diminuição de área plantada e imediatamente ao final da safra será possível quantificá-la.

Sem informações meteorológicas o trabalho de monitoramento da agricultura torna-se mais difícil devido sua grande dependência com adventos meteorológicos. Outro ponto importante desse trabalho foi a utilização de dados do modelo ECMWF, devido a grande dificuldade em se obter informações meteorológicas ou até mesmo a ausência de uma rede de estações densa ao longo do território brasileiro. A utilização desse modelo pode suprir a carência dessas estações, pois há uma grande série histórica de dados meteorológicos disponibilizados, além de serem oferecidos de forma gratuita, com acesso direto via internet. Porém sua resolução espacial foi um problema encontrado ao integrar dados de estações com o modelo, pois as imagens apresentavam pixels de $0,5^\circ$ de latitude e longitude, ou seja, cada pixel da imagem era de aproximadamente 50 km x 50 km, provavelmente esse fato causou baixa concordância entre os dados. Hoje, as informações do modelo ECMWF já são disponibilizadas com resolução espacial de $0,25^\circ$, entretanto essa mudança foi recente o que impossibilitou o uso dessa nova grade para a realização do trabalho.

Por fim, ressalta-se que o uso de dados públicos, gratuitos e com boa periodicidade viabiliza um sistema de monitoramento em nível regional/estadual/nacional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I. R. **O clima como fator de expansão da cultura da soja no Centro-Oeste.** 112p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP, 2005.

ANTUNES, J. F. G. & ESQUERDO, J. C. D. M. Monitoramento agrícola usando análise harmônica de séries temporais de dados NDVI/AVHRR-NOAA. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Natal, 2009. P.49-55.

ARAÚJO, M. A. **Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa – Paraná.** 124p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

ASNER, G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v.64, p. 234-253. 1998.

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; HATFIELD, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v.76, n.2, p.300-306, 1984.

BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.** São José dos Campos. 164 p. (INPE-7237-TDI/690). Dissertação Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.2, p.161-173, 1991.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e o rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125. 1999.

BÖNISCH, S. **Geoprocessamento Ambiental com Tratamento de Incerteza: O Caso do Zoneamento Pedoclimático para a Soja no Estado de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), 2001 – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BORKERT, C. M.; YORUNORI, J. T.; FERREIRA, B. S. c.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G. J. **Seja o doutor da soja.** Arquivo agrômico nº5. Empraba Soja 1994.

BRUNINI, O., ABRAMIDES, P. L. G., BRUNINI, A. P. C., BLAIN G. C. Caracterização das adversidades meteorológicas nas regiões produtoras de citrus no estado de São Paulo. In III Simpósio de Citricultura Irrigada. **Anais...** Bebedouro, SP, 2005.

BRUNINI, O.; ZULLO JR J.; PINTO, H.S.; ASSAD, E.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A.P.; PATTERNIANI, M.E.Z. Riscos climáticos para a cultura de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p-519-526, 2001.

CAMARGO, E. **Desenvolvimento, Implementação e Teste de Procedimentos Geoestatísticos (Krigagem) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), 1997 – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CANÇADO, R. A., FREITAS, R. J. S. **Avaliação microbiológica de grãos de milho (*Zea mays* Linné) e soja (*Glycine Max.* (Linné) Merrill) provenientes de cultivo convencional das sementes naturais e geneticamente modificadas**. 148p. Tese de Doutorado – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2004.

Conselho de Informações sobre Biotecnologia - CIB. **Guia do milho - Tecnologia do campo à mesa**. 2009. Disponível em: http://www.cib.org.br/pdf/cartilha_milho.pdf. Acesso em 10 de Dezembro de 2009.

CONAB. - **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2009 <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/11graos_08.09.pdf>. Acesso em: 27 de Novembro 2009.

CONAB. - **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2008 <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: 27 de Junho 2008.

CONFALONE, A., DUJMOVICH, M.N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.183-187, 1999

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v. 37, p.35-46, 1991

CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Bethesda. 54, 1669-1671, 1992.

CRÓSTRA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4 ed. rev. Campinas: Instituto de Geografia – UNICAMP, 2002. p164.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. **Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas**. In: Bergamaschi, H. (Coord.) *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, Ed da Universidade-UFRGS, 1992. p.85-97.

DEPPE, F.; MARTINI, L.; LONHMANN, M.; ADAMI, M. Validation studies of ECMWF precipitation data with observed SIMEPAR ground data (meteorological stations). In: 2°

International Workshop on Crop Monitoring and Forecasting in South America, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

DORAISWAMY, P.C.; MOULIN, S.; COOK, P.W.; STERN, A. Crop Yield Assessment from Remote Sensing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.69, n.6, p.665-674, 2003.

EASTMAN, J. Ronald – **Manual do usuário** - Exercícios tutoriais Idrisi for Windows, versão 2.0. Tradução para o português, H. Hasenack e E. Weber. Porto Alegre, 1998. 240p.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; BALDWIN, D. G.; EMERY, W. J.; ZULLO JÚNIOR, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.3925-3942, 2006.

ECMWF – **Europe Centre Medium – Range Weather Forecasts**. Disponível em: <http://www.ecmwf.int/>. Acesso em 29 de janeiro de 2009.

EMBRAPA MILHO E SORGO, **Sistemas de Produção 2**. Versão eletrônica. 4ª edição, 2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>. Acesso em 07 de dezembro de 2009.

EMBRAPA MILHO E SORGO, **Manejo da cultura do milho**. Circular técnica 87. sete Lagoas, MG 12p. 2006.

EMBRAPA MILHO E SORGO, **Fisiologia do milho**. Circular técnica 22. setes Lagoas, MG. 23p. 2002.

EMBRAPA SOJA (EMBRAPA SOJA/CNPSSO), **Tecnologias de Produção da soja no Paraná**. Sistema de Produção 1. Londrina: Embrapa Soja. Disponível em: <http://www.cnpso.Embrapa Soja.br/producaosojapr/SojanoBrasil.htm>. Acesso em 28 de outubro de 2008a.

EMBRAPA SOJA (EMBRAPA SOJA/CNPSSO), **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja, 2008b.

EMBRAPA SOJA (EMBRAPA SOJA/CNPSSO), **Complexo agroindustrial da soja brasileira**. Circular Técnica 43. Londrina: Embrapa Soja, 2007a. 12p.

EMBRAPA SOJA (EMBRAPA SOJA/CNPSSO), **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Circular Técnica 51. Londrina: Embrapa Soja, 2007b. 263p.

EMBRAPA SOJA (EMBRAPA SOJA/CNPSSO) **TECNOLOGIAS de produção de soja – Paraná 2005**. Londrina: 2004. 224p.

EPIPHANIO, J. C. N., **Satélite de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP. P. 37, 2001.

ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. Campinas, SP. 186p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas 2007.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 360p, 2000.

FAO FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION – **Faostat**. Dados estatísticos sobre a produção mundial de soja e milho. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Acesso em 11 de Dezembro de 2009.

FARIAS, J.R.B., ASSAD, E.D., ALMEIDA, I.R. et al. Identificação de regiões com riscos de déficit hídrico à cultura da soja. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.345-347.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L., Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras da soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n. 3, p. 415-421, 2001. (Número especial).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 12 p., 1981. (Special Report, 80).

FERNANDES, J. L. **Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de imagens SPOT *Vegetation* e dados meteorológicos**. Campinas. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP. 2009.

FONTANA, D.C.; Berlato, M.A.; Bergamachi, H. **Alterações micrometeorológicas da soja submetida a diferentes regimes hídricos**. Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.27, n.5, p.661-669. 1992.

FONTANA, D. C.; DUCATI, J. R.; WEBER, E.; BERLATO, M. A.; FIGUEIREDO, D. C.; BERGAMASCHI, H. **Monitoramento e previsão da safra de soja 1999/2000 no Brasil**. Porto Alegre: UFRGS/CONAB, 2001, 121P. (Série Relatório Técnico).

FORMAGGIO, A.R. **Características Agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e feijão**. Piracicaba. 161p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP, Piracicaba, 1989.

FRÈRE, M.; POPOV, G., 1979, **Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting**. **FAO Plant Production and Protection**, Paper No. 17 (Rome: FAO).

GENOVESE, G.; VIGNOLLES, C.; NÉGRE, T.; PASSERA, G. A methodology for a combined use of normalised difference vegetation index and CORINE land cover data for crop yield monitoring and forecasting: a case study on Spain. **Agronomie**, v.21, p.91-111, 2001.

GOMMES, R., 1993, **FAOINDEX**, Version 2.1. Agrometeorology Group (Rome: FAO).

GONÇALVES S. L., CARAMORI, P. H., WREGE, M. S., SHIOGA P., GERAGE, A. C.. **Épocas de semeadura do milho “safrinha”, no Estado do Paraná, com menores riscos climáticos**. Acta Scientiarum. v. 24, n. 5, p. 1287-1290, Maringá, 2002.

GUYOT G. **Signatures spectrales des surfaces naturelles**. Collection “Télé-détection stellitaire”. Caen: Édition Paradigme, 1989, 178p.

HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, Inc. 1978. cap 5, p.227-289.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p. 295-309. 1988.

IAPAR - **Instituto Agrônomo do Paraná**. As cartas climáticas do estado do Paraná, edição 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em 11 de Dezembro de 2009;

IAPAR - **Instituto Agrônomo do Paraná**. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em 20 de dezembro de 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas Agropecuárias, **Tabela de previsão de safras** – website, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas Agropecuárias, **Indicadores IBGE – Estatísticas da produção agrícola** – 2008.

JACKON, R.D. Spectral indices in n-Space. **Remote Sensing of Environment**, v.13, p.409-421, 1983.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

JAKUBAUSKAS, M.E.; LEGATES, D.R.; KASTENS, J.H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.37, p.127-139, 2002.

JENSEN, J.R. 1949. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ed por: EPHIPHANIO, J.C.; FORMAGGIO, A.R.; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S. São José dos Campos/SP: Parêntese, 598p, 2009.

JOHANN, J. A., ARAÚJO; G. K. D; ROCHA, J. V. Avaliação do perfil temporal de NDVI decendial do sensor SPOT Vegetation em pixels “puros” e “não puros” derivados de mapa de uso da terra realizado a partir do sensor Landsat-5/TM. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. Natal/RN. **Anais...**São José dos Campos: Inpe, p.223-229, 2009.

JRC - **Joint Research Centre**. Dados meteorológicos simulados pelo modelo do ECMWF. 2008. Disponível em: <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Aboutus/FOODSEC/Data-Distribution>. Acesso em 16 de setembro de 2008.

JÚNIOR, L. N., CARMELLO V., FÁVARO, F. N. Precipitação pluviométrica e rendimento de grãos: Análise rítmica climática das safras 2005/2006 e 2006/2007 na microrregião metropolitana de Londrina - PR. In: 12º encontro de geógrafos da America Latina. **Anais...**Montevideo, Uruguai, 2009.

KOLLENKARK, J. C., C. S. T. DAUGHTRY, M. E. BAUER, T. L. HOUSLEY. Effects of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopies. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 751–758, 1982.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johanesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, 52 (6): 119-139, 1951.

LABUS, M.P.; NIELSEN, G.A.; LAWRENCE, R.L.; ENGEL, R.; LONG, D.S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.23 n.20, p.4169-4180, 2002.

LAMPARELLI, R. A. C.; CARVALHO, W. M. O. de; MERCANTE, E.. Mapeamento de semeaduras de soja (*Glycine max* (L.)Merr.) mediante dados MODIS/Terra E TM/Landsat 5: um comparativo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, June 2008 .

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977

MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.225-231, 2003.

MACEDO, M. A; ASSAD, D. E.; CÂMARA, G.; OLIVEIRA, J. C.; BARBOSA, A. M. Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3 (nº especial – Zoneamento agrícola), p. 581-587, 2001.

MANGABEIRA, J. A. C., AZEVEDO, E. C., LAMPARELLI, R. A. C. Avaliação do levantamento do uso das terras por imagens de satélite de alta e média resolução espacial. **Comunicado técnico 11**. Campinas: Embrapa, 2003.15p.

MASELLI, F.; REMBOLD, F. Analysis of GAC NDVI Data for Cropland Identification and Yield Forecasting in Mediterranean African Countries. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 67,n.5, p.593-602, 2001

MATHER, P. M. Computer processing of remotely-sensed images: An introduction. 2ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MEIRELES, E.J.L., SILVA, S.C., ASSAD, E.D. Estudo espaço-temporal do risco climático do feijoeiro, ciclo de 90 dias, em Goiás. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.348-350.

MELO, R.W. e FONTANA, D.C. Estimativa do rendimento de soja usando dados do modelo do ECMWF em um modelo agrometeorológico-espectral no estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p.279-286.

MELO, R.W.de; FONTANA, D.C. Avaliação de dados meteorológicos disponíveis no website do Joint Research Centre. p.105-112. In: 2º INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND FORECASTING IN SOUTH AMERICA, 2006. **Proceedings...** Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006.

MELLO, C. R. de; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MERCANTE, E. **Dinâmica espectral da cultura da soja ao longo do ciclo vegetativo e sua relação com a produtividade na região oeste do Paraná**. 244p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 2007.

MARTINKO, E.A.; PRICE, K.P.; EGBERT, S.L. WHISTLER, J.L.; JAKUBAUSKAS, M.E. CROOKS, T.J. Building three decades of remote sensing and decision support: The NASA Great Plains RESAC and the Kansas Applied Remote Sensing (KARS) Program. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.66, n.10, p.1158-1165, 2000.

MOTA, F.S. da Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F. de J. (Coord.) **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463p.

NOBEL, P.S.; FORSETH, I.; LONG, S.P. Canopy structure and light interception. In: Hall, D.O.; Scurlock, H.R.; Bolh ar-Nordenkamp; Leegood, R.C.; Long, S.P. **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, 1993. cap.2, p.79-90.

NOGUEIRA, j. D. L., AMARAL, R. F., Compara o entre os métodos de interpola o (Krigagem e Topo to Raster) na elabora o da batimetria na área da folha Touros – RN. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto, 2009... Anais, Natal – RN, INPE.

OBASI, G.O.P. 2001 - Foreword - In "**Automated Weather Stations for Applications in Agriculture and Water Resources Management**" - Editors - K. Hubbard and M.V.K. Sivakumar . March 6-10-2000 - Lincoln - Nebraska. Pg. I.

PELLEGRINO, G.Q. **Utiliza o de dados espectrais do satélite NOAA14/AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açucar**. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP. 2001.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplica es Práticas**. Guaíba/RS: Agropecuária, 2002.

PERSON, A.; GRAZZIANI, F. **User guide to ECMWF forecast products**. Meteorological Bulletin M3.2, version 4, mar, 2007.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C.E. The effect of spatial resolution on the ability to monitor the status of agricultural lands. **Remote Sensing of Environment**, v.61, n. 2, p. 210-220, Aug. 1997.

REES, W.G. **Physical Principles of Remote Sensing**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. 247p.

REIS, M H.; GRIEBELER N. P.; SARMENTO P. H. L.; OLIVEIRA L. F. C. de; OLIVEIRA J. M. Espacializa o de dados de precipita o e avalia o de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...**, INPE, p. 229-236.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. In: Encarte de informa es agron micas n.103 – Arquivo do agrônomo n 15, Set, p.1-20, 2003.

ROCHA, J.V. **Crop monitoring in South America (MERCOSUR + Bolivia)**. Bulletin no. 7/2006 (August, 2006). Ispra, Italy: JRC (Joint Research Centre), 2006.

ROERINK, G.J.; MENENTI, M.; VERHOEF, W. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.9, p.1911-1917, 2000.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1

Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. **Proceedings**. Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309- 317. (NASA SP-351). 1973

ROJAS, O. Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agro-meteorological data in Kenya. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n.17, p.3775-3793, 2007.

RUDORFF, C.M.; SUGAWARA, L.M.; VIEIRA, C.A.O.; RIZZI, R. **Classificação de soja pelo método de superfícies de resposta espectro-temporal**. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Ed. Bookimage, 2007. p.111-21.

RUDORFF, B.F.T. et al. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-deaçúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, v.52, n.1, p.21-39, 2005.

SANCHES, I. D. A., EPIPHANIO, J. C. N., FORMAGGIO, A. R. **Culturas agrícolas em imagens multitemporais do satélite Landsat**. Agric., v. 52, n. 1, 14p, São Paulo, 2005.

SANTOS, A.B. **Evolução diferenciada entre os estados brasileiros do cultivo e do processamento industrial da soja – período de 1970 a 1999**. 98p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.

SANS, L.M.A., ASSAD, E.D., AVELLAR, G. et al. Riscos climáticos para a cultura do milho nos estados de Minas Gerais, Tocantins, Mato Grosso, e Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p.357-359.

SANS, L. M. A., ASSAD, E. D., GUIMARÃES, D. P., AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.527-535, 2001.

SEAB – **Secretaria da agricultura e do abastecimento do Paraná. Situação mensal do plantio**, colheita e comercialização de produtos agrícolas. 2009. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>. Consultado em 6 de Agosto de 2009.

SIMEPAR - **Sistema Meteorológico do Paraná**. Dados da rede de estações meteorológicas.

SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná. Previsões **Climáticas para Primavera 2009**. Disponível em: http://www.simepar.br/tempo/clima/aviso_primavera2009.html. Acesso em: 16 de Março de 2010.

SIMONETT, D. S.; REEVES, R. G.; ESTES, J. E.; BERTKE, S. E.; SAILER, C. T. **The development and principles of remote sensing**. In: Colwell, R. N. Ed. Manual of remote sensing. 2.ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry (ASP), 1983. p.1-35.

SOARES, I. **“Tratamento de dados de intensidade de sinal celular utilizando interpolação**. 2006.

SPOT © CNES, Free VEGETATION Products (10 days synthesis) Disponível em:
<<http://free.vgt.vito.be/home.php>> Acesso em : 15 de outubro de 2008.

TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, v. 7, n. 11, p.1395-1416, Nov. 1986.

VEGETATION. **Vegetation Programme**. Disponível em:
<http://spot-vegetation.com/vegetationprogramme/index.htm>. Acesso em 15 de Dezembro 2009.

VENTURINE, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. Ed. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Embrapa Soja, 1998. p.351- 371.

VIANELLO, L.R.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 2000. 327p. Thesis (Doctor of Philosophy). University of Nottingham, 2000, p. 128-175.

VITO – **Produto VGT-S10**. Disponível em: <http://www.vgt.vito.be/faq/faq.html>. Acesso em 29 de janeiro de 2009.

YAMAOKA, R.S. **Ação regionalizada na produção de oleaginosas: avanços da pesquisa e perspectivas futuras**. In: Seminário ações do IAPAR no programa Paranaense de Bioenergia – SEAB. 2008. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/biodiesel/seminario270508>. Consultado em 20 de junho de 2009.

YI, J. R., SHIMABUKURO, Y. E. QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. **Eng. Agríc.** Vol.27 nº.3 Jaboticabal, Set/Dez 2007.

WEBER, E., FONTANA, D. C., DUCATI, J., SILVA, T. R., SARAIVA, T. S., FREITAS, L. A. S. Comparação entre resultados de classificação de imagens Landsat e CBERS para estimativa de área cultivada com soja no planalto do Rio Grande do Sul. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. **Anais...** 2005, Goiânia, 328p.

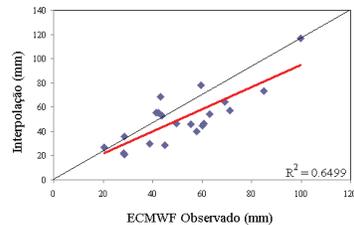
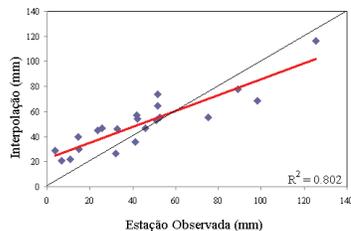
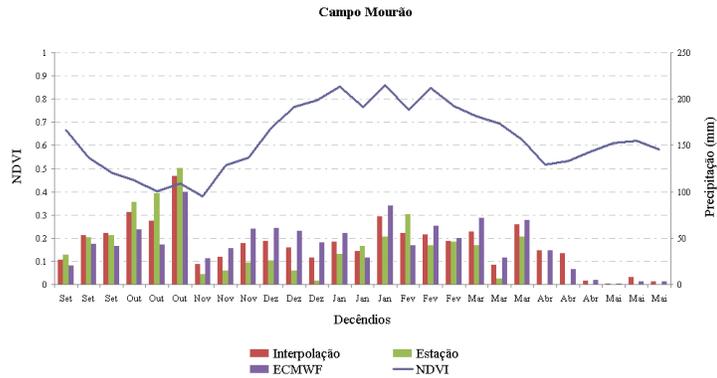
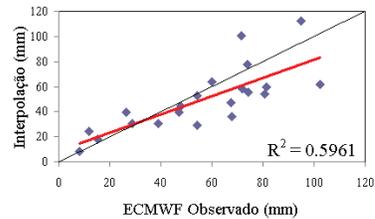
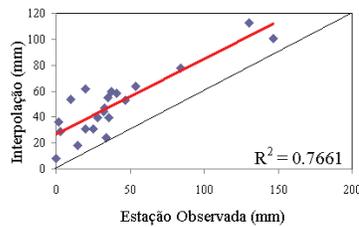
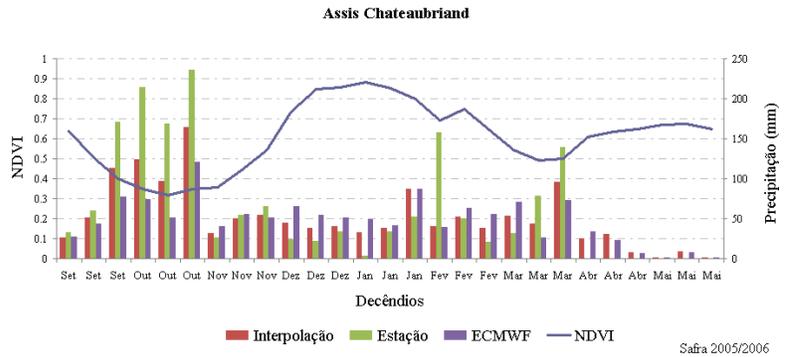
WEISSMANN, M. **Fases de desenvolvimento da cultura do milho**. 6p. Tecnologia e Produção – Culturas: Safrinha e Inverno, 2007.

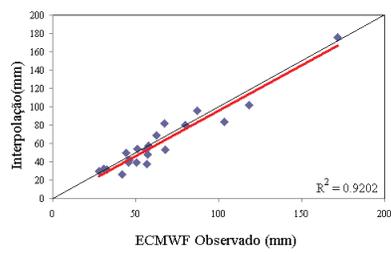
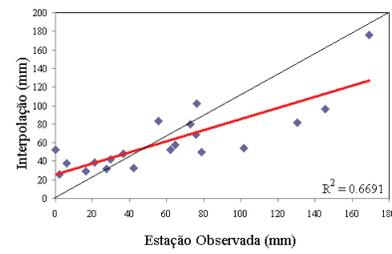
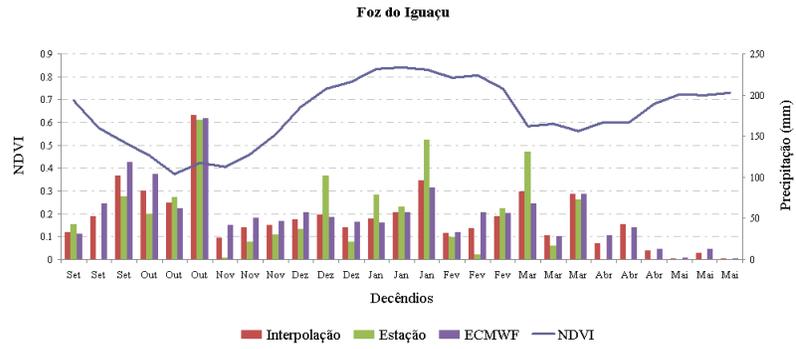
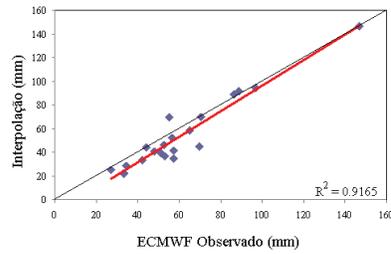
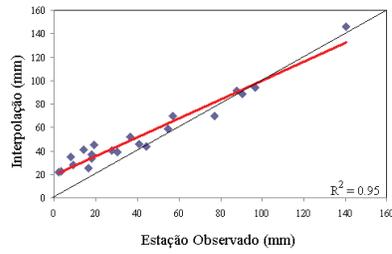
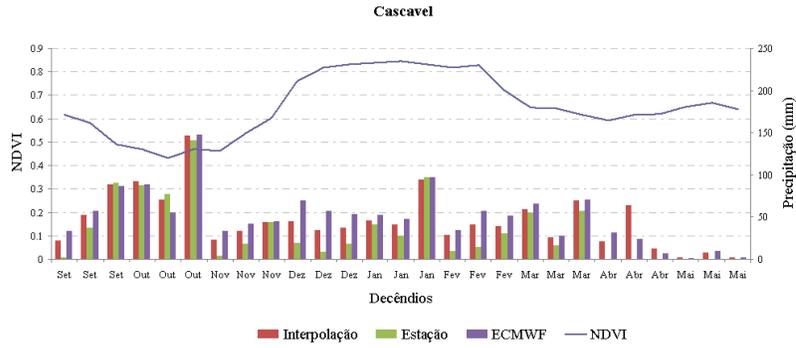
WOOD, G. A.; TAYLOR, J. C.; RICHARD, J. G. Calibration Methodology for mapping within-field crop variability using remote sensing. **Biosystems Engineering**. v. 84, n. 4, p. 409-423, 2003.

9. APÊNDICES

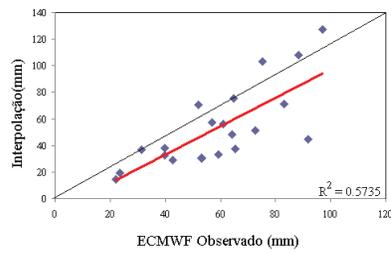
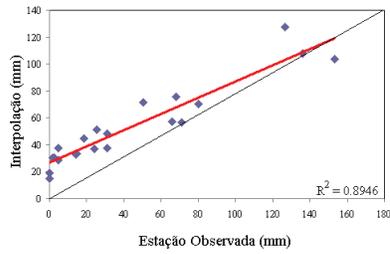
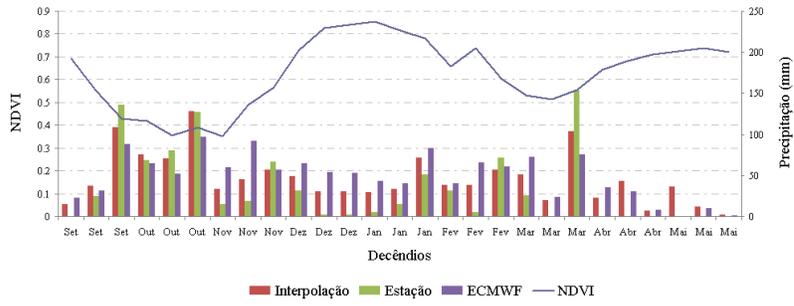
9.1 Apêndice 1 Perfil do NDVI e precipitação para os municípios de Assis Chateaubriand, Campo Mourão, Cascavel, Foz do Iguaçu, Guaira, Guarapuava, Londrina, Palotina, Pinhão, Ponta Grossa, Santa Helena, são Miguel do Iguaçu e Toledo.

Safra 2005/2006:

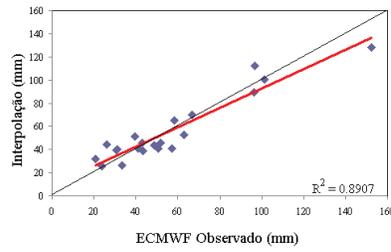
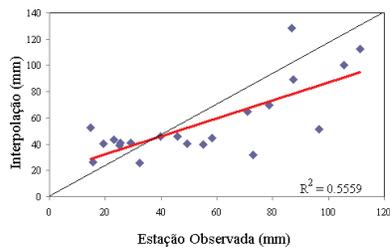
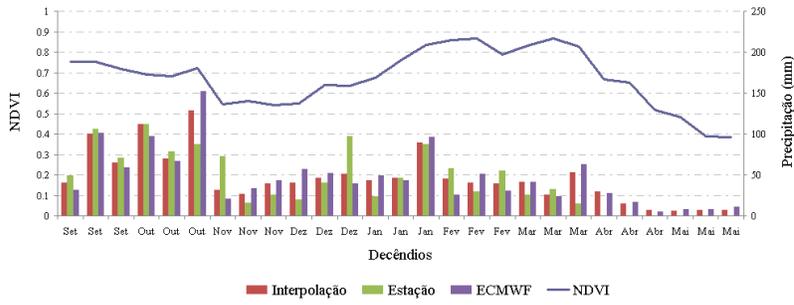




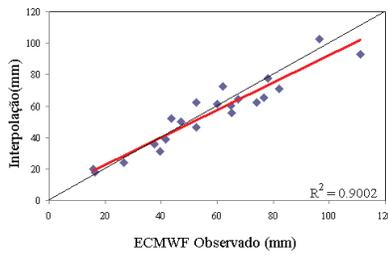
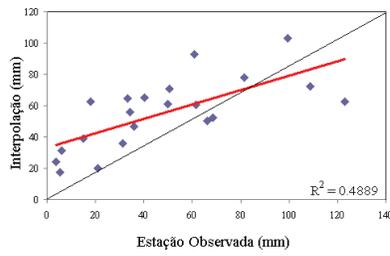
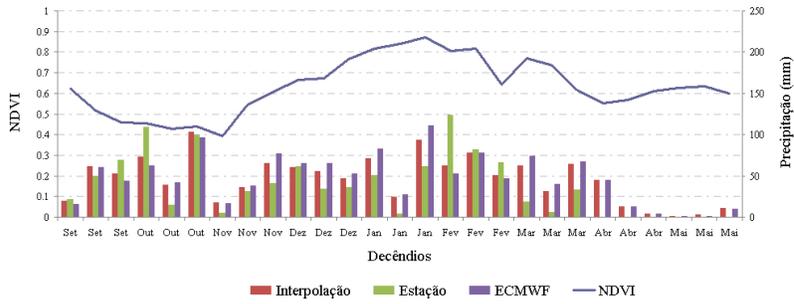
Guaira



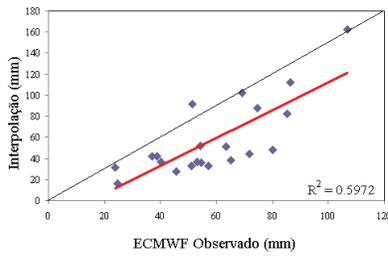
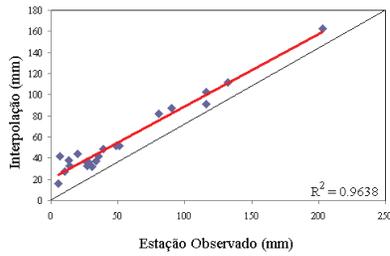
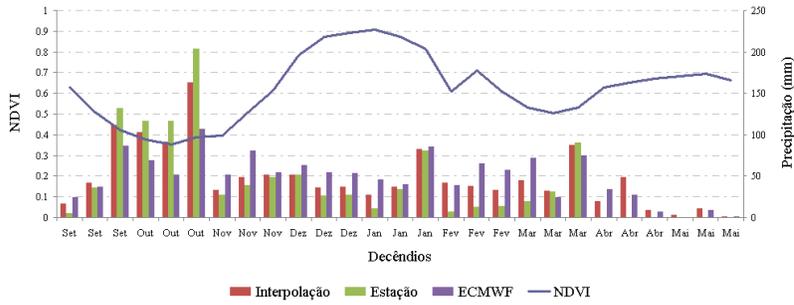
Guarapuava



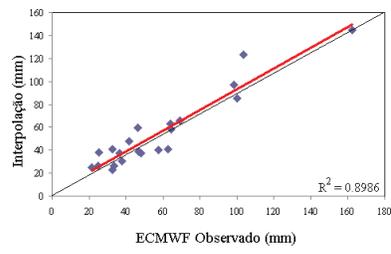
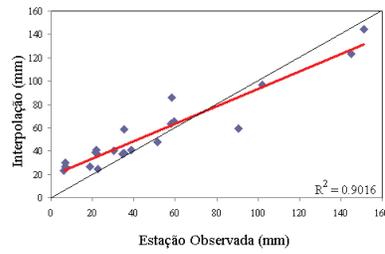
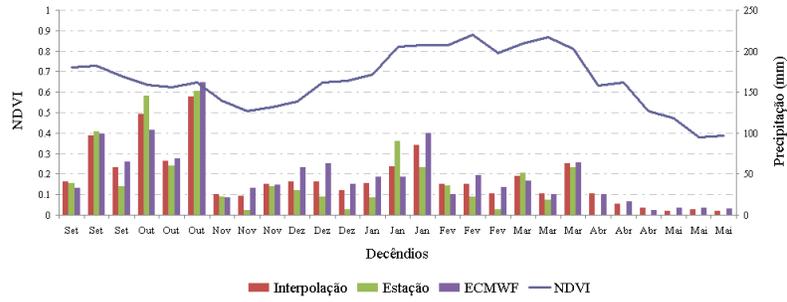
Londrina



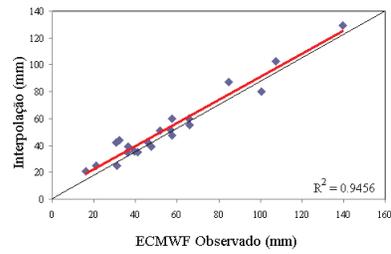
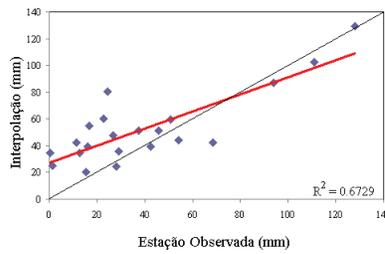
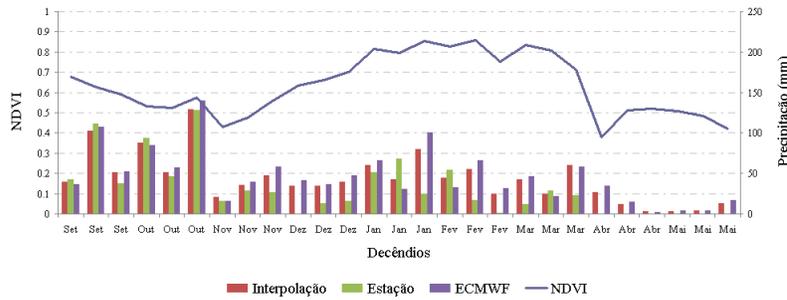
Palotina



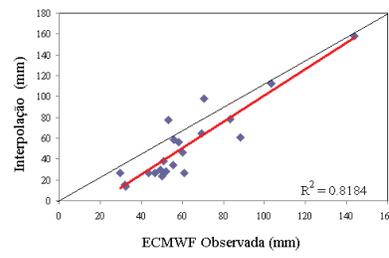
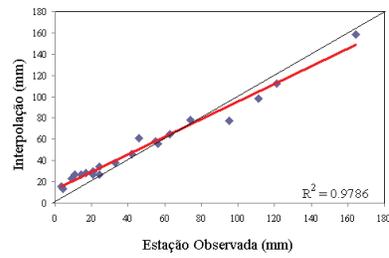
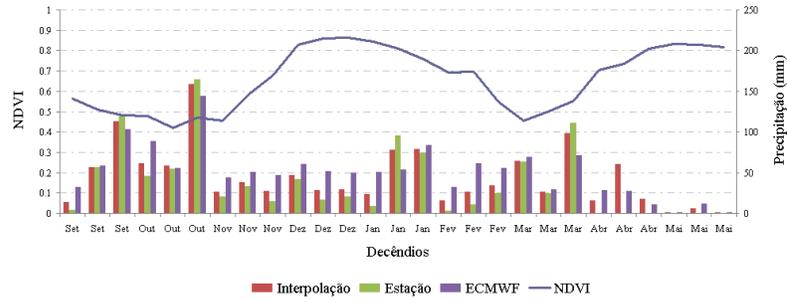
Pinhão



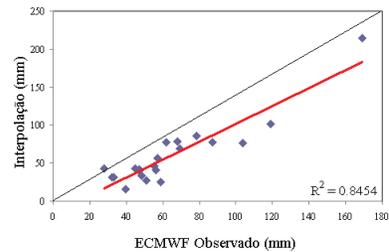
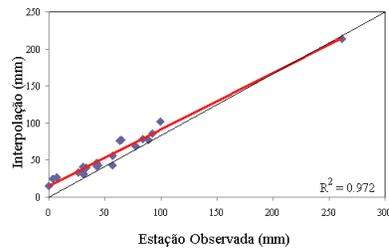
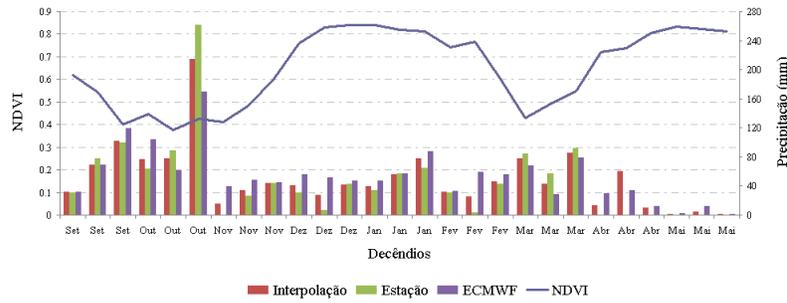
Ponta Grossa



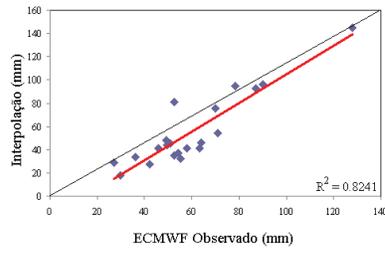
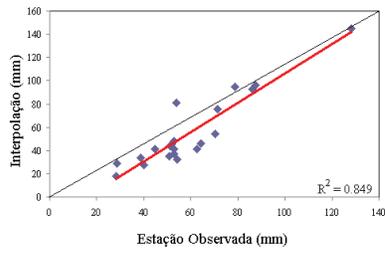
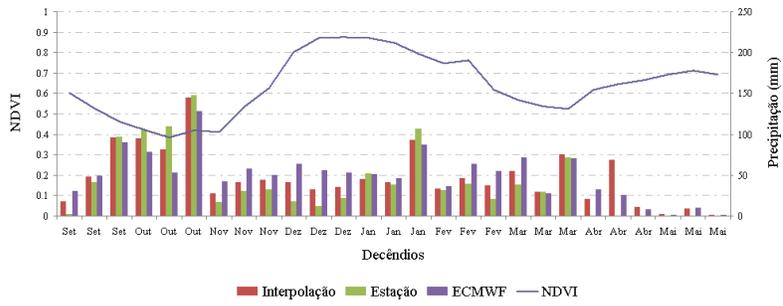
Santa Helena



São Miguel do Iguaçu

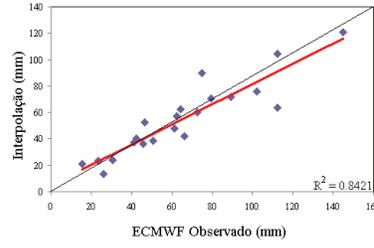
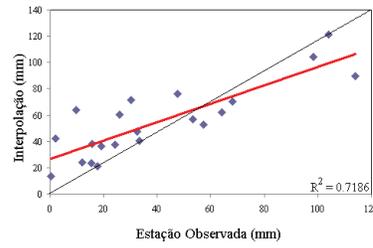
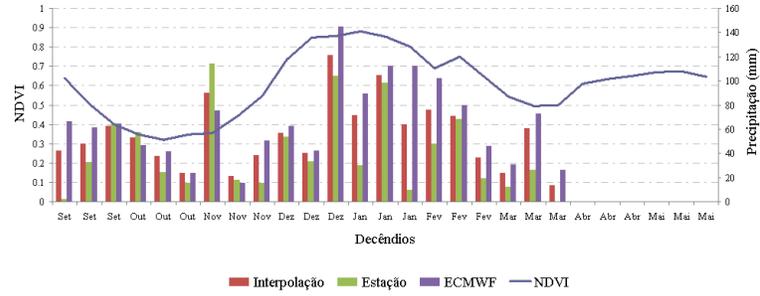


Toledo

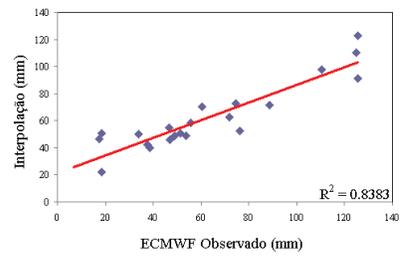
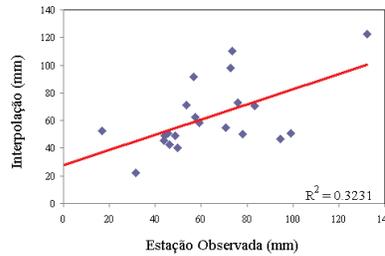
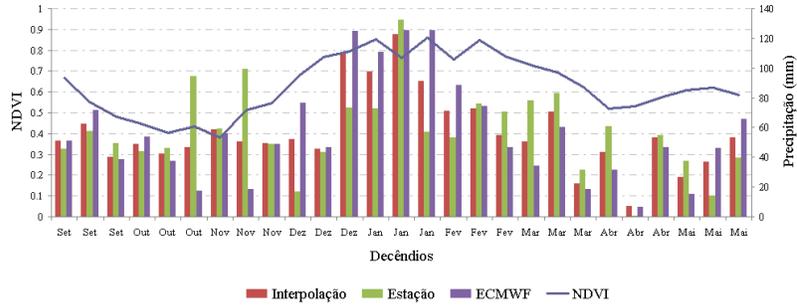


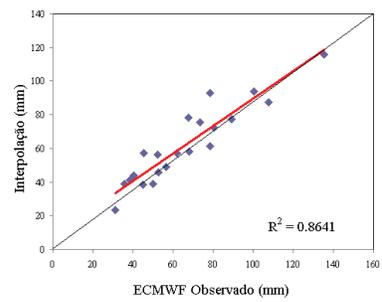
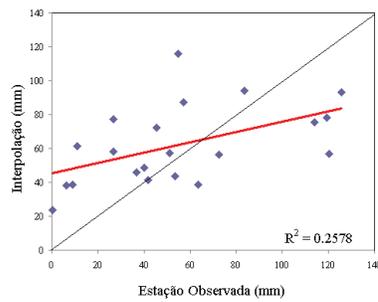
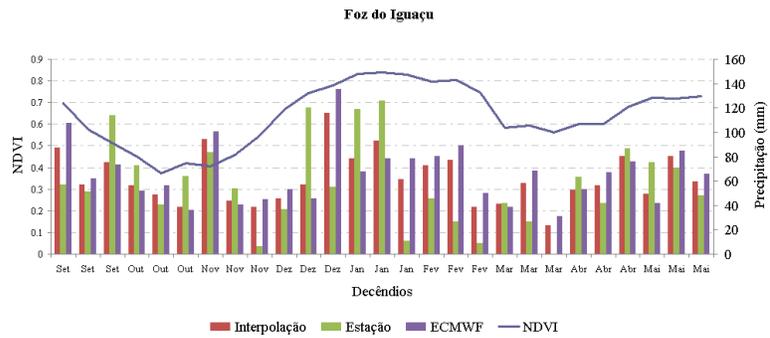
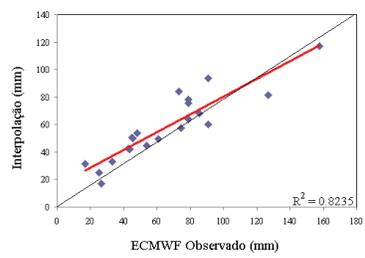
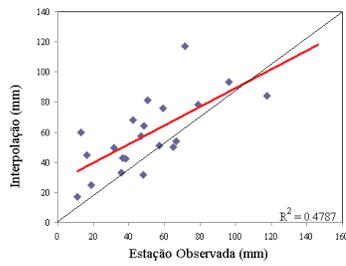
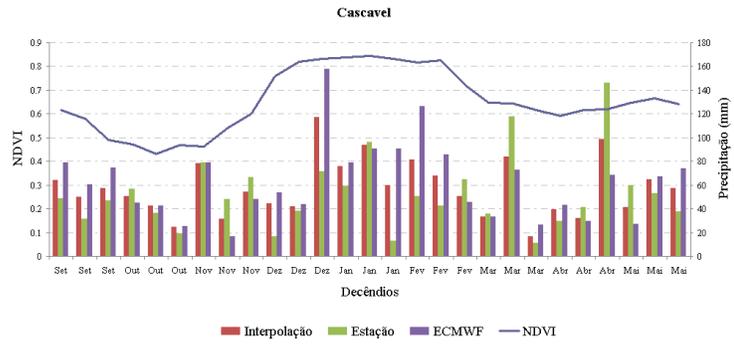
Safra 2006/2007:

Assis Chateaubriand

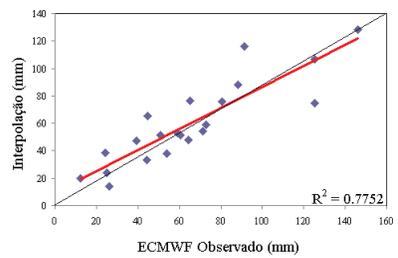
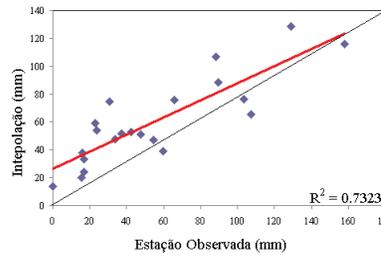
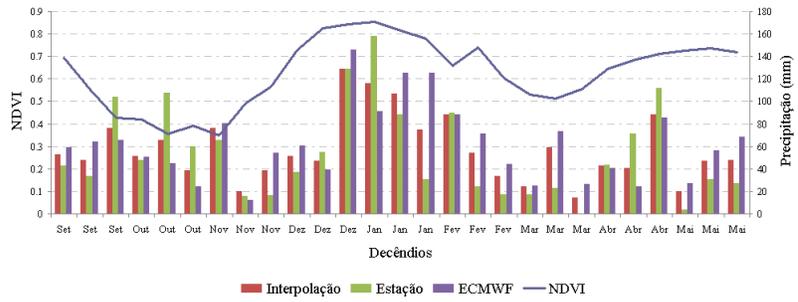


Campo Mourão

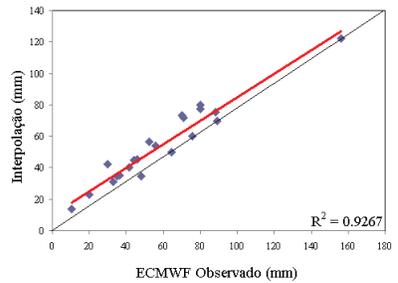
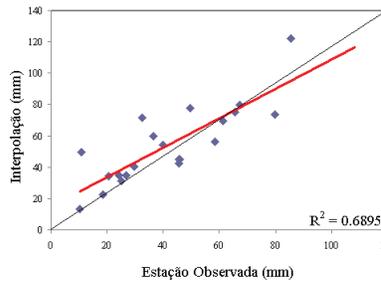
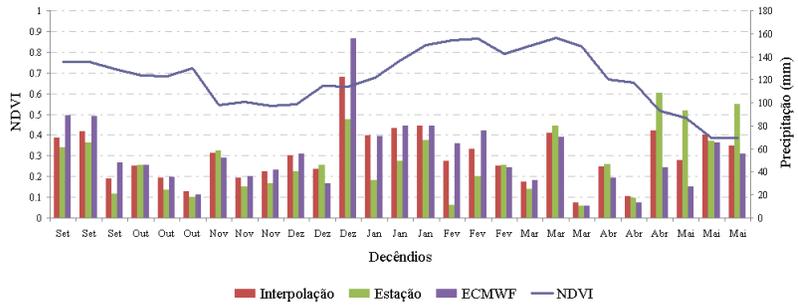




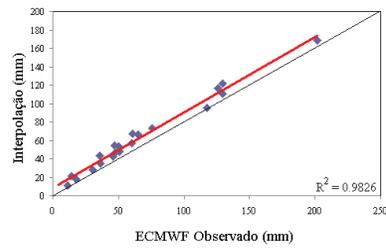
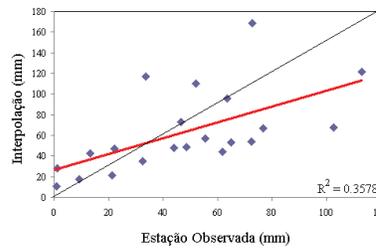
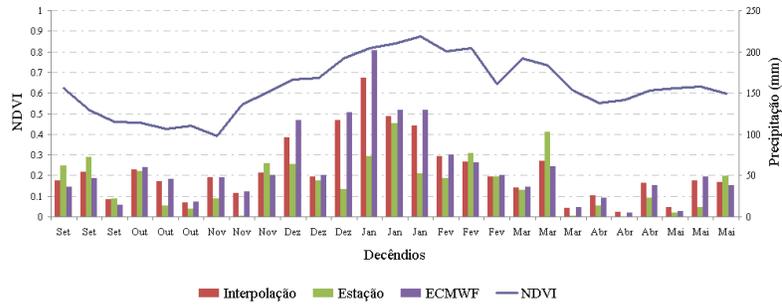
Guaira



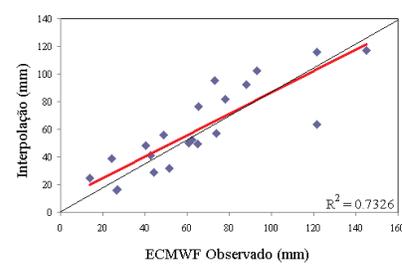
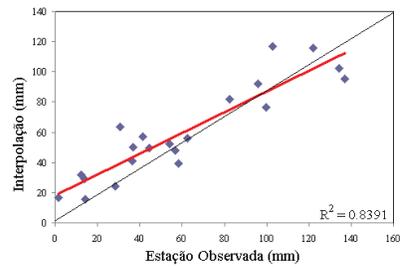
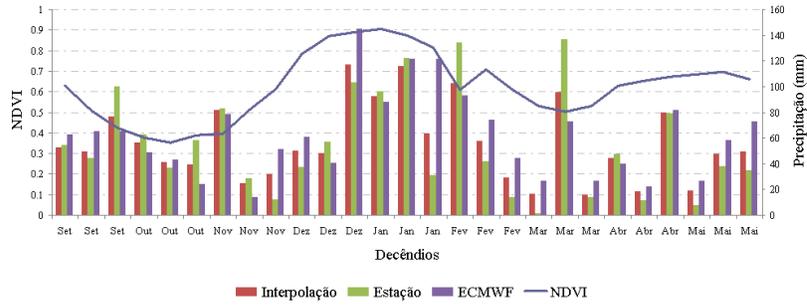
Guarapuava



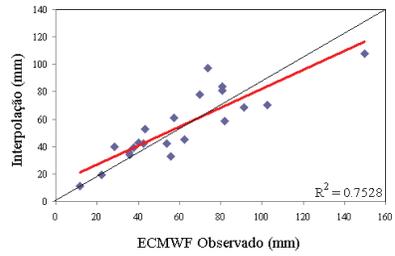
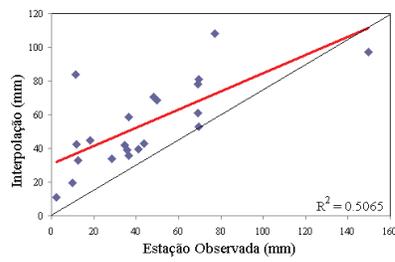
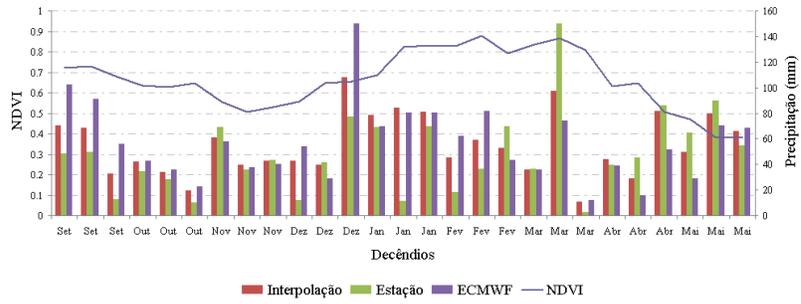
Londrina



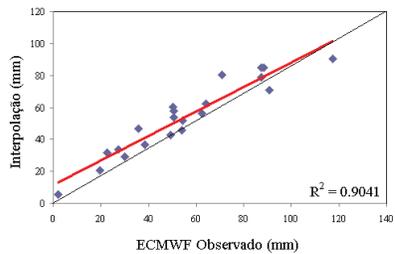
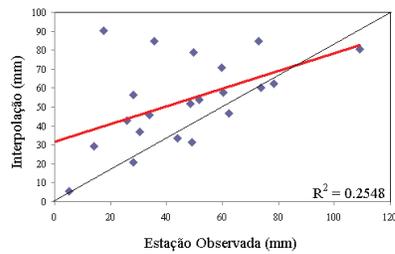
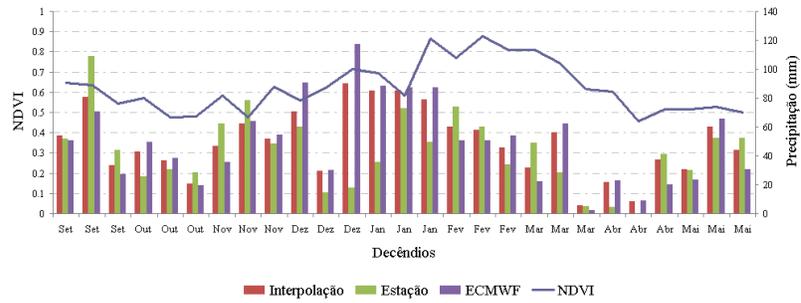
Palotina



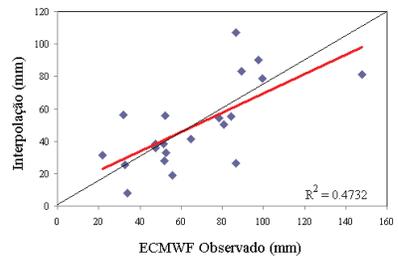
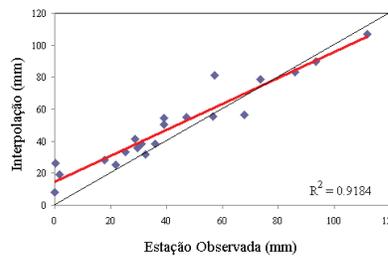
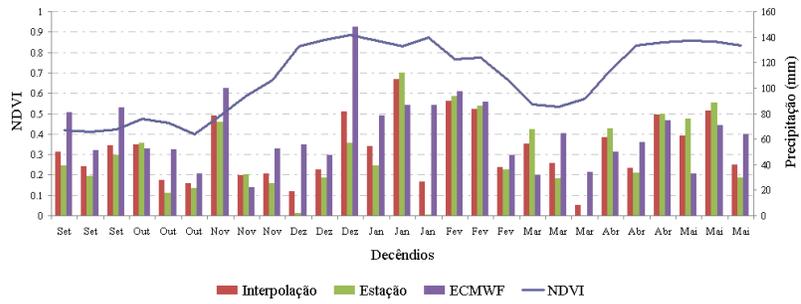
Pinhão



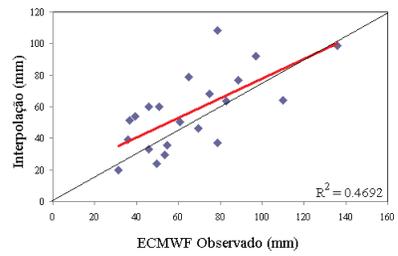
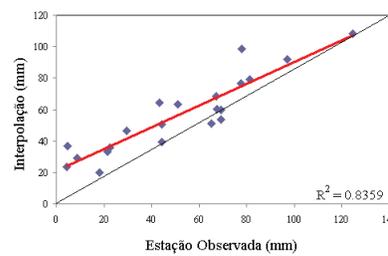
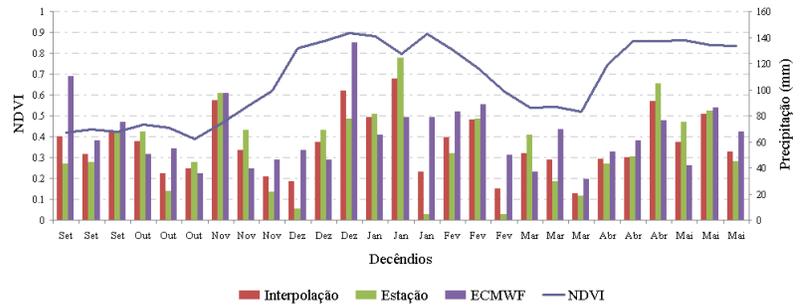
Ponta Grossa



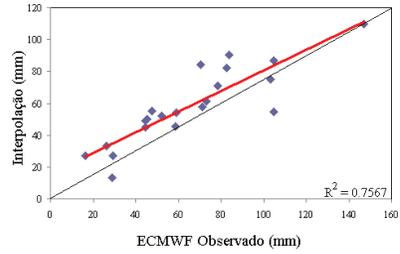
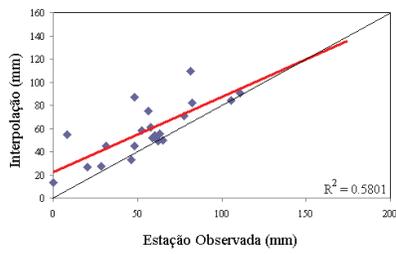
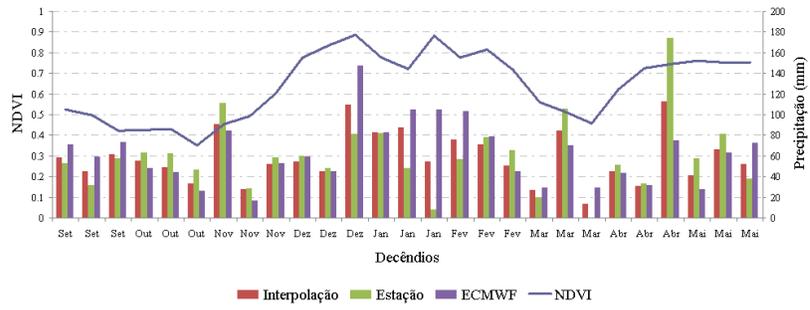
Santa Helena



São Miguel do Iguaçú

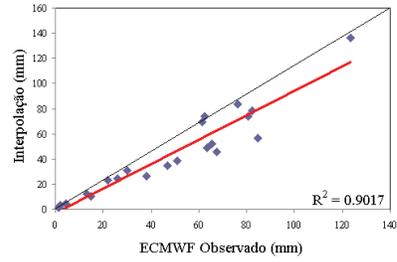
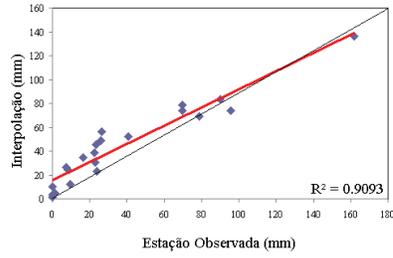
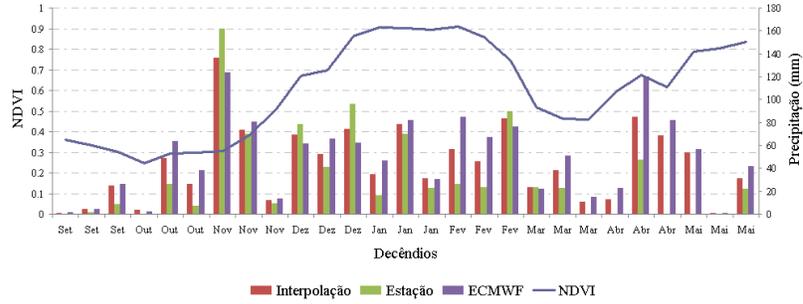


Toledo

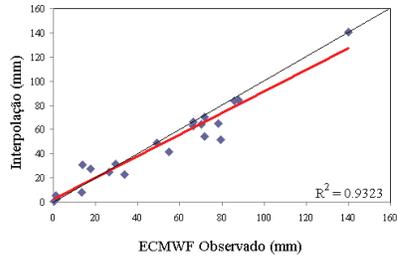
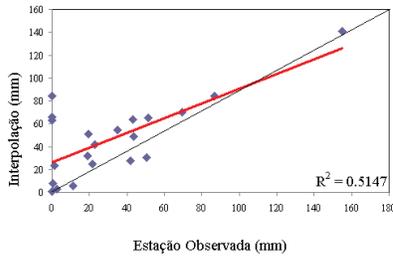
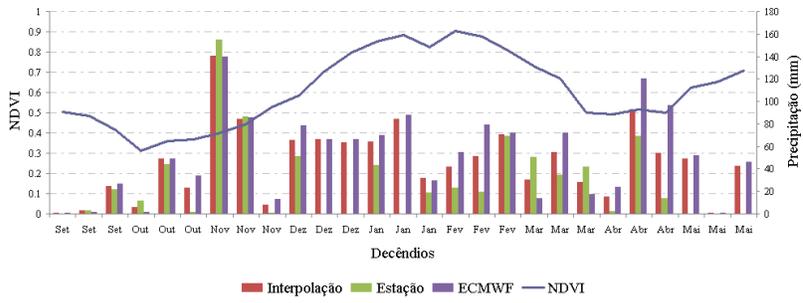


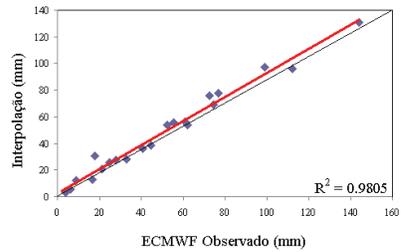
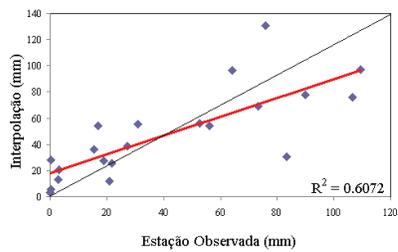
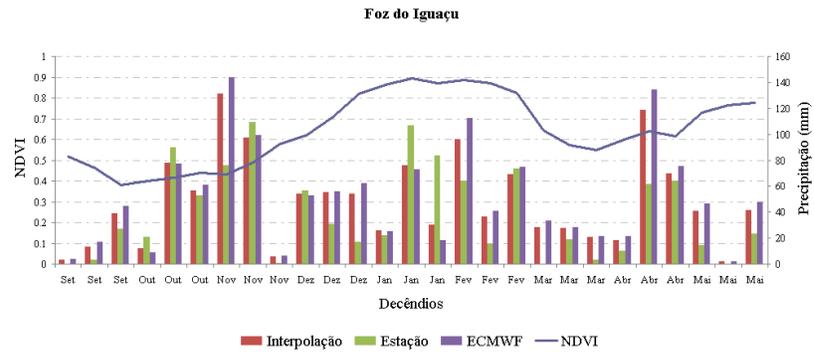
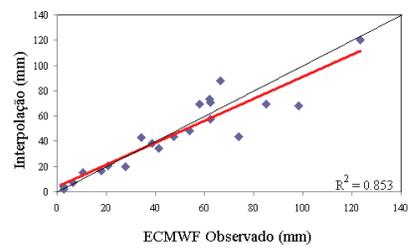
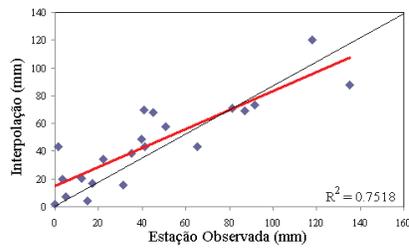
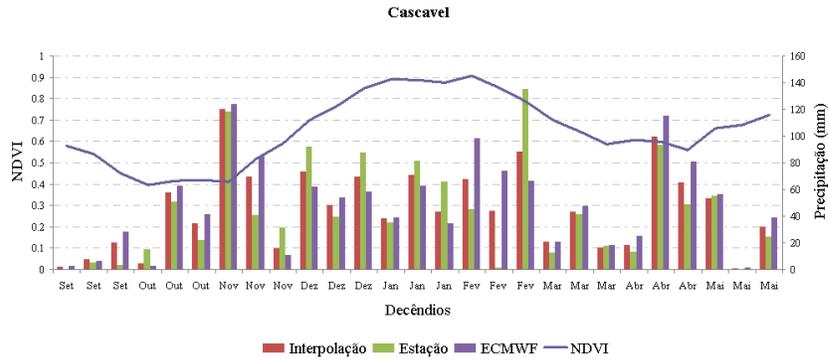
Safra 2007/2008

Assis Chateaubriand

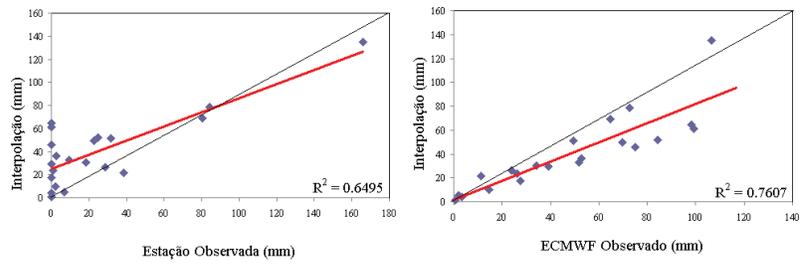
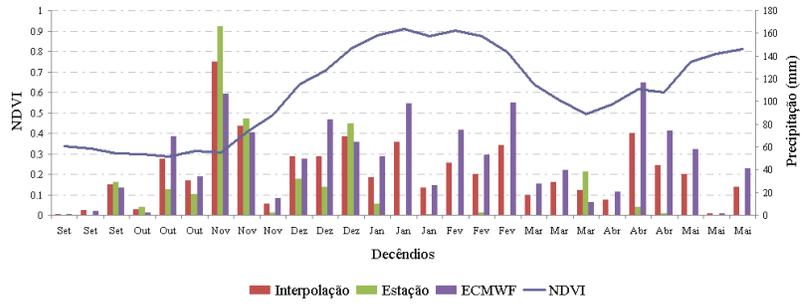


Campo Mourão

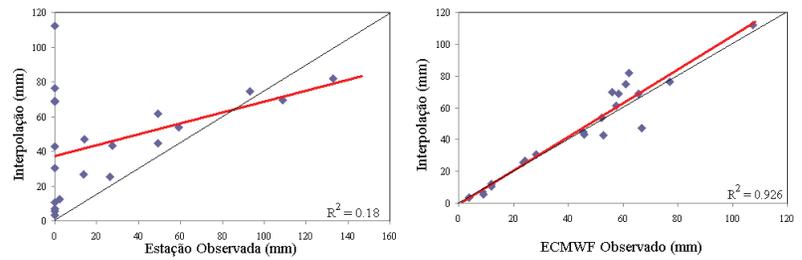
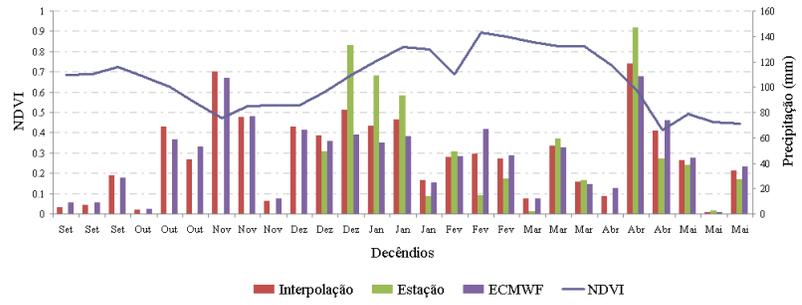




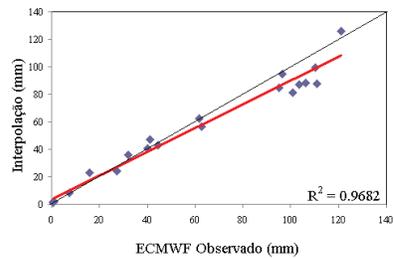
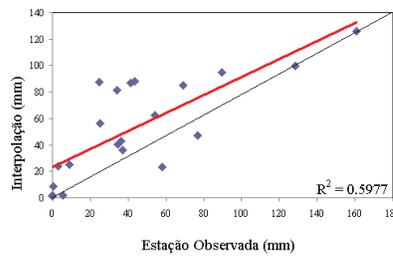
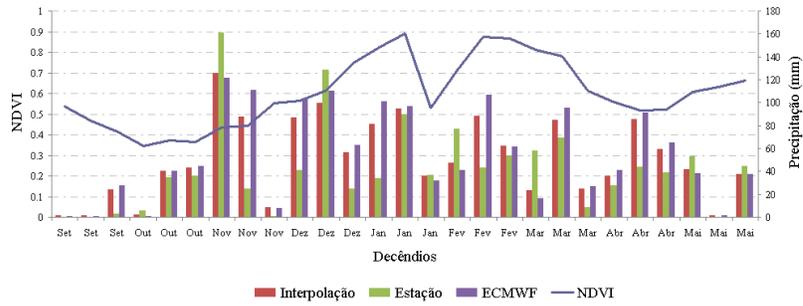
Guaira



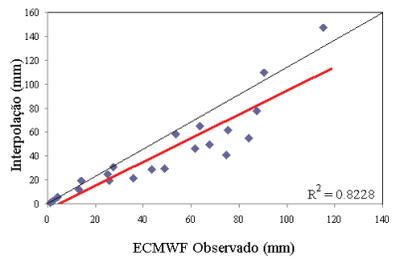
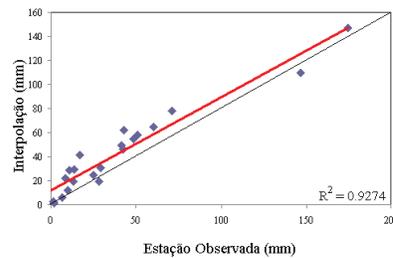
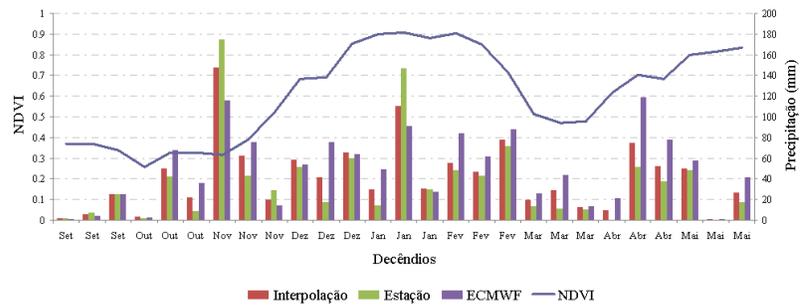
Guarapuava



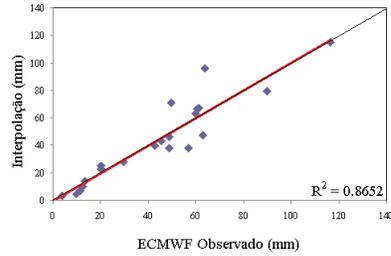
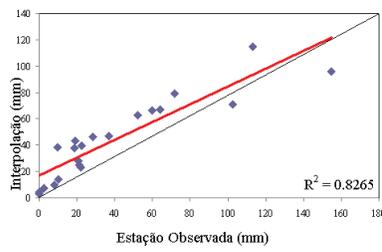
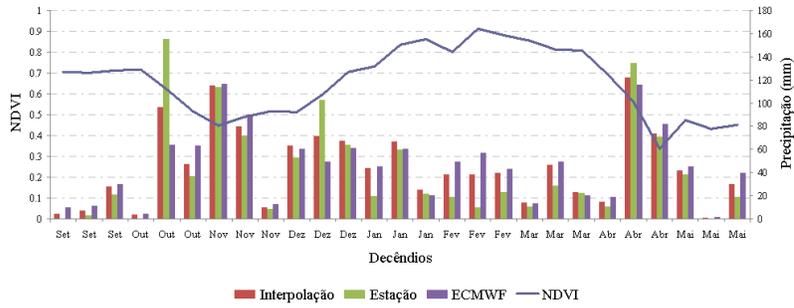
Londrina



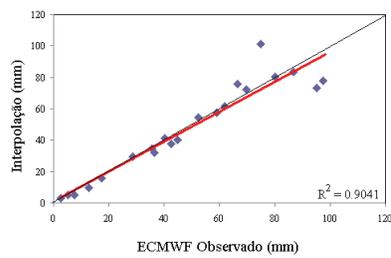
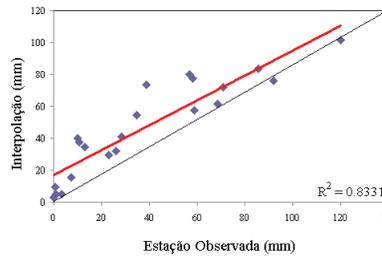
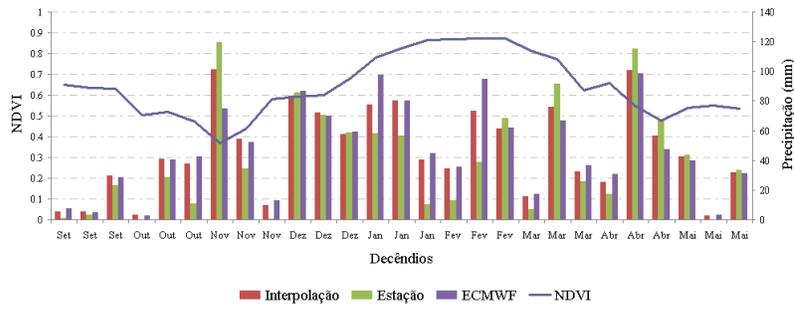
Palotina



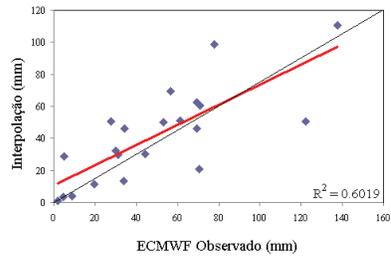
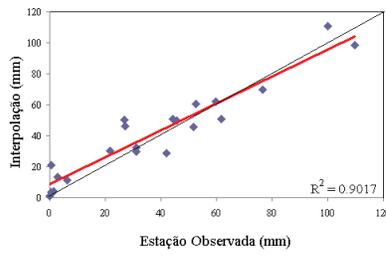
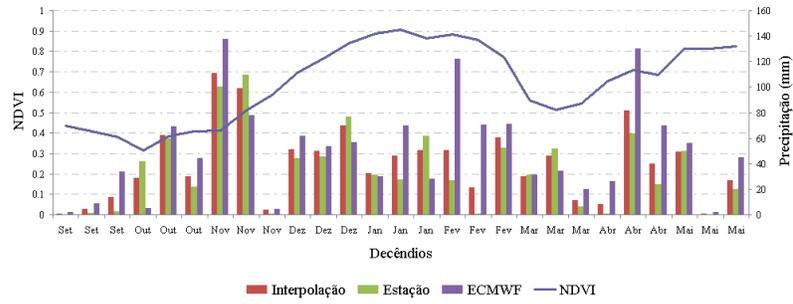
Pinhão



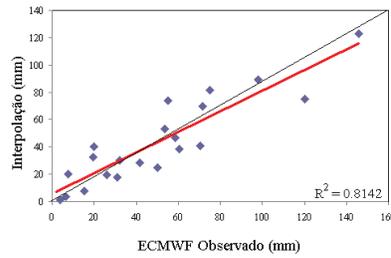
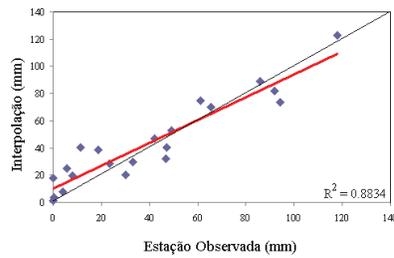
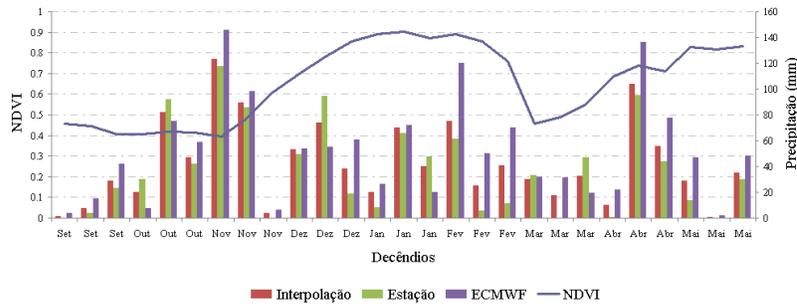
Ponta Grossa



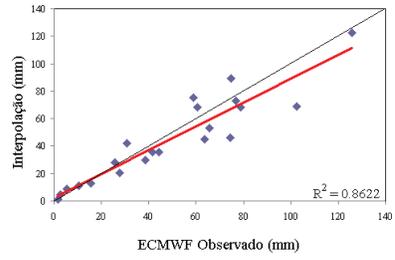
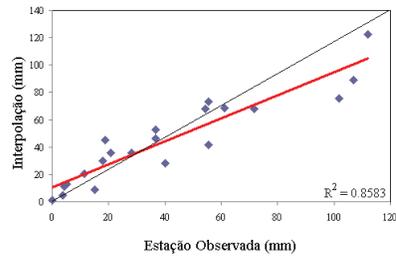
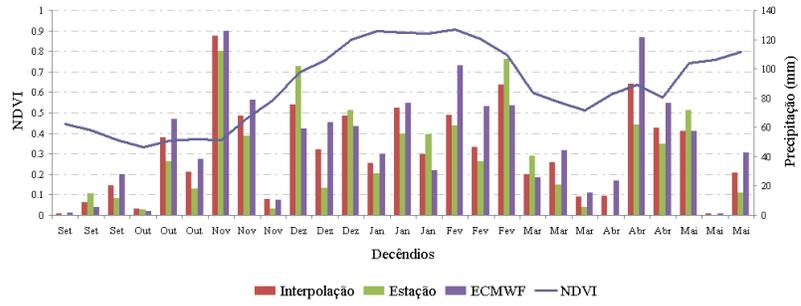
Santa Helena



São Miguel do Iguaçu

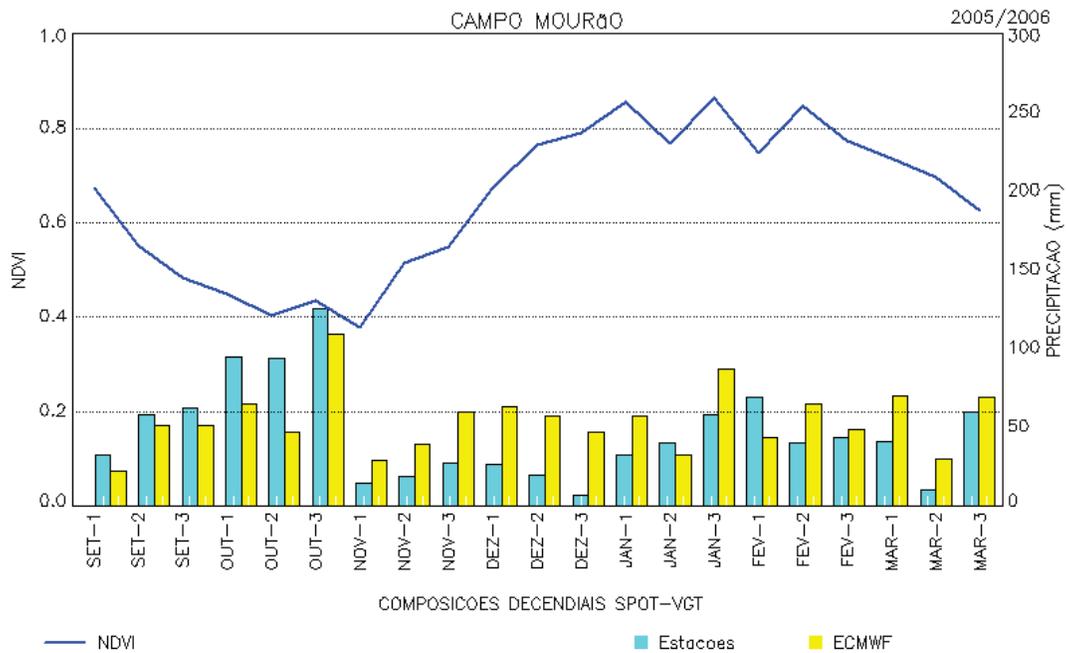
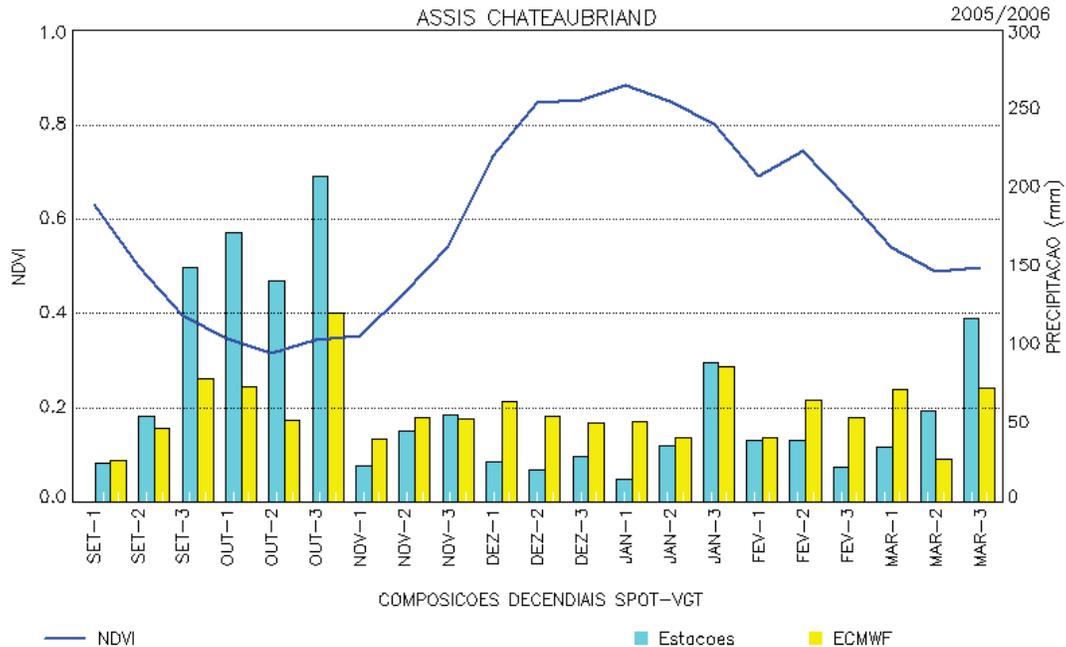


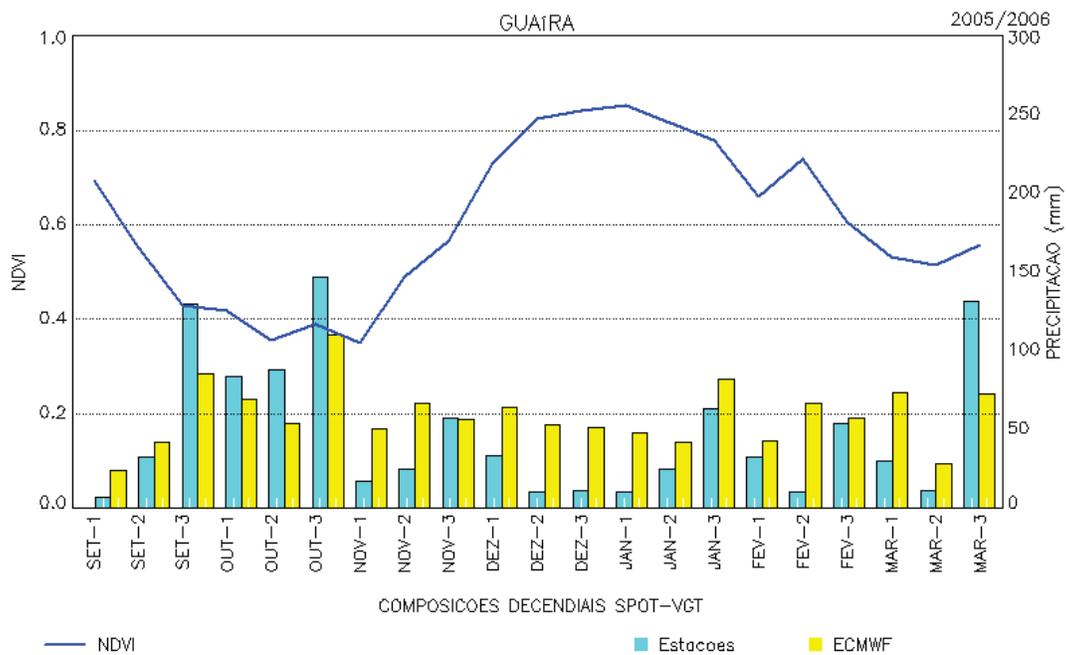
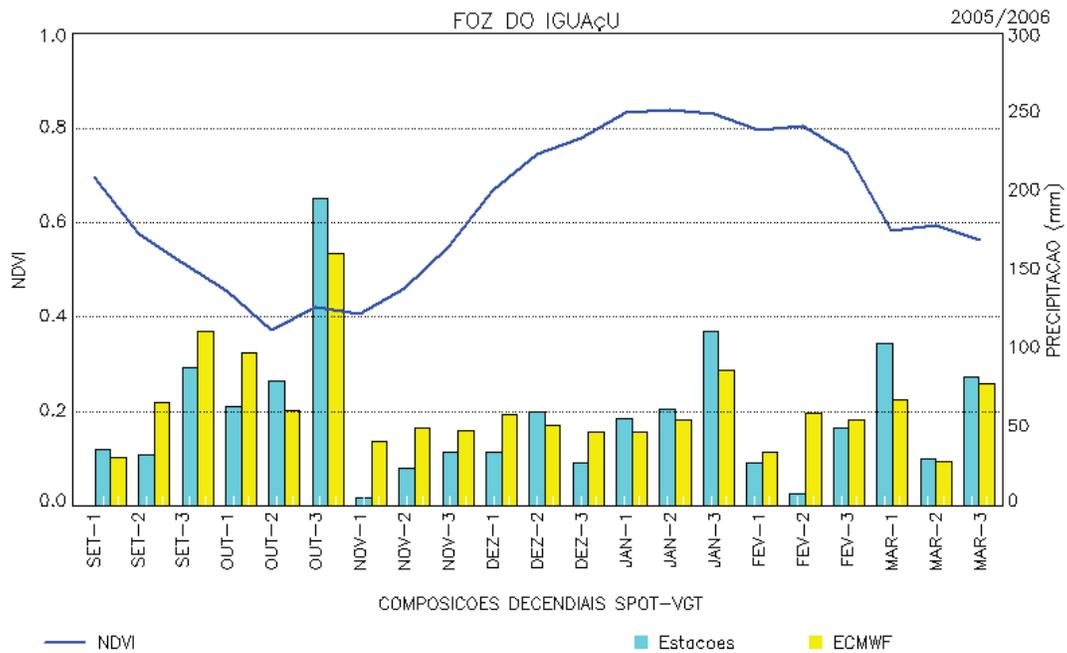
Toledo

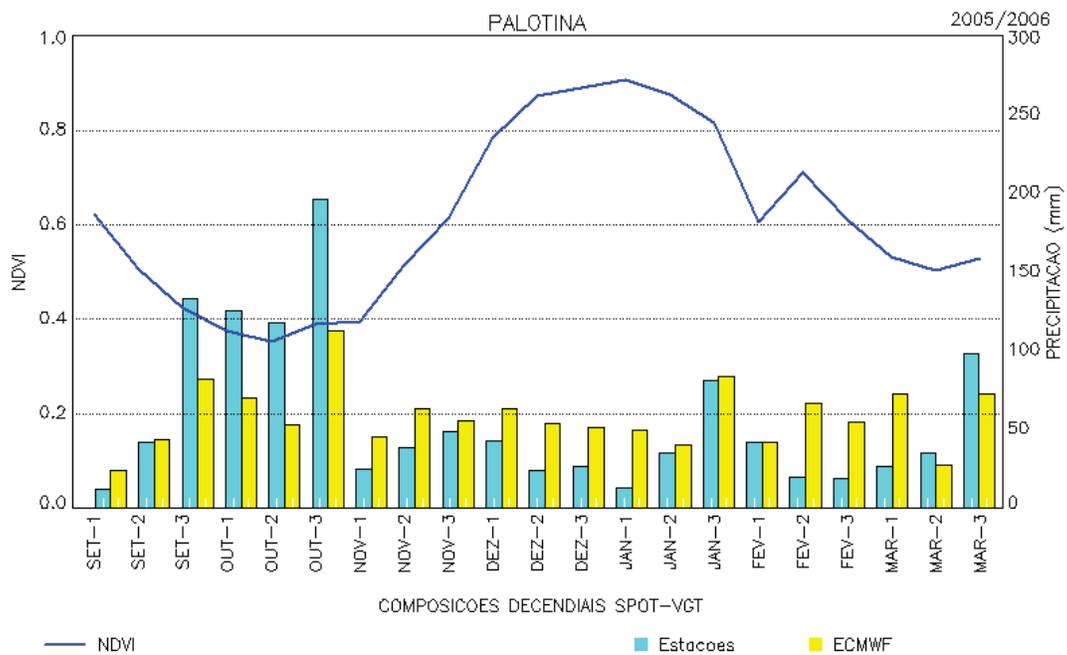
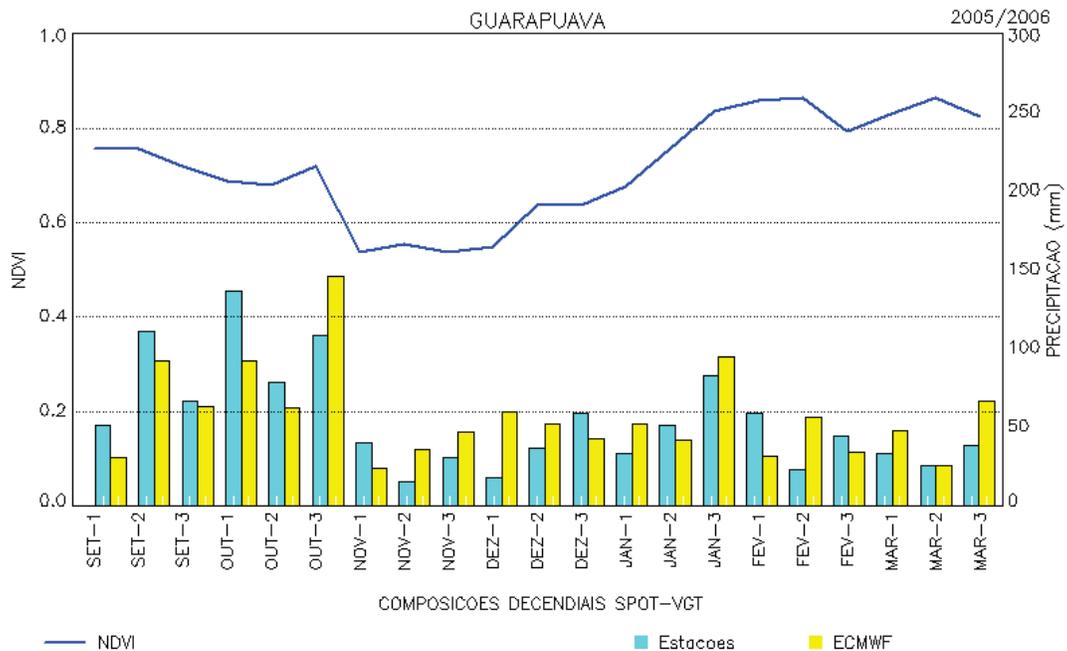


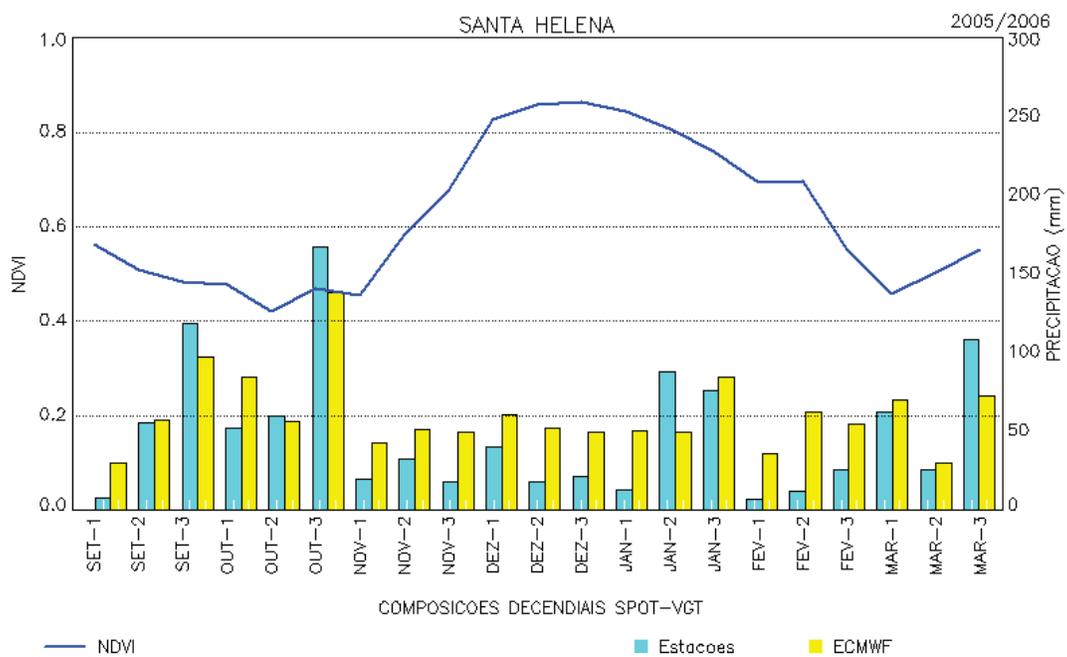
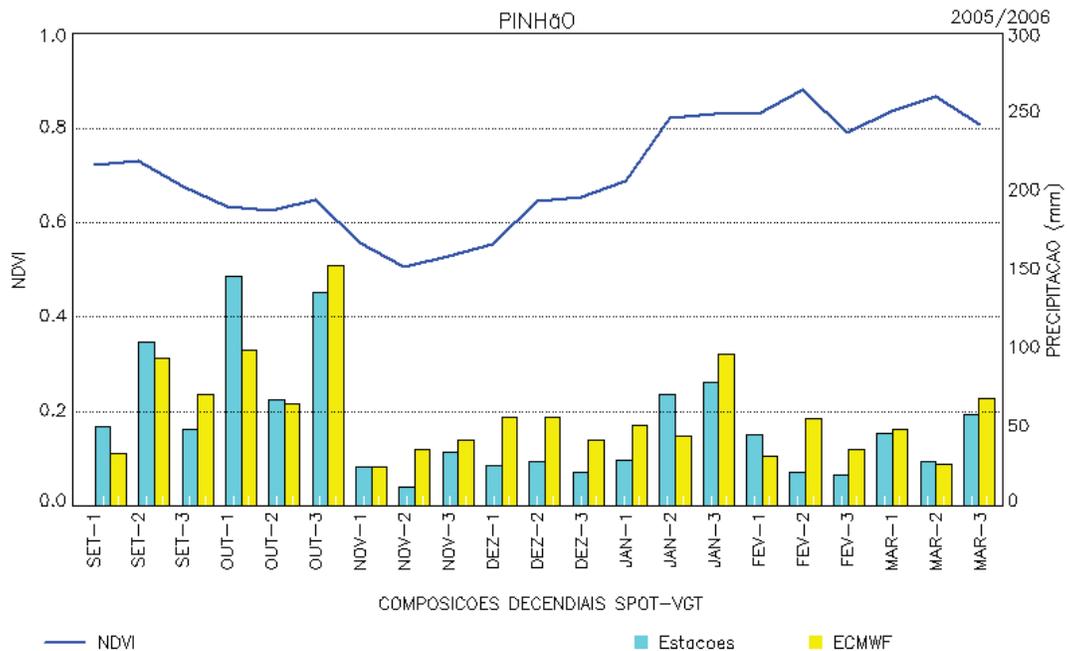
9.2 Apêndice 2 Comparação entre dados das estações interpoladas e dados do modelo interpolado para os municípios de Assis Chateaubriand, Campo Mourão, Cascavel, Foz do Iguaçu, Guaíra, Guarapuava, Londrina, Palotina, Pinhão, Ponta Grossa, Santa Helena, São Miguel do Iguaçu e Toledo.

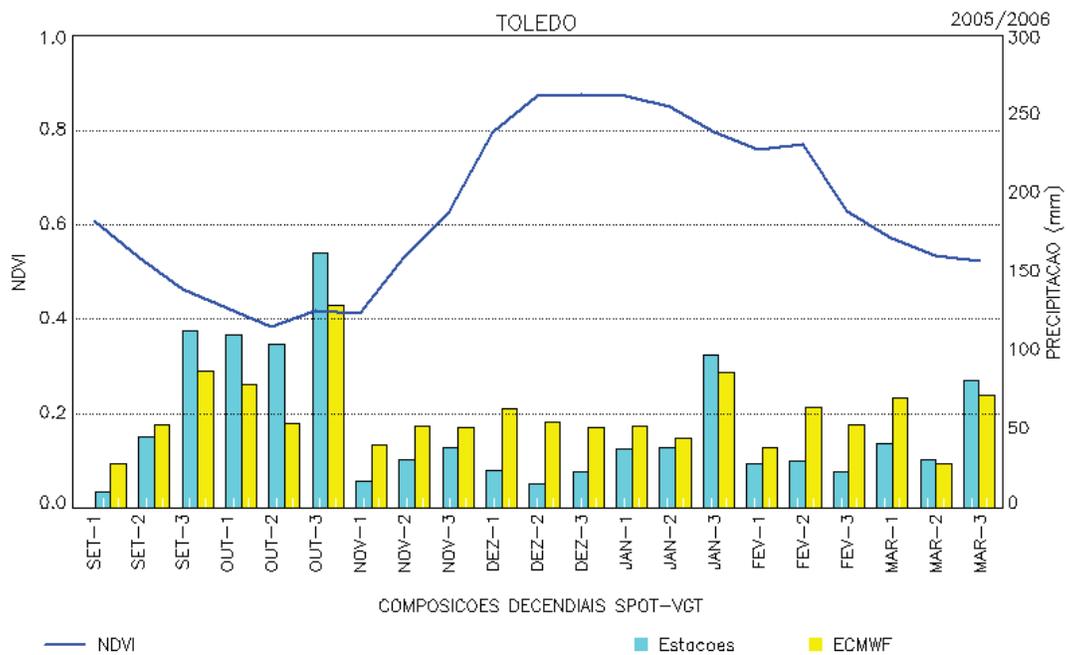
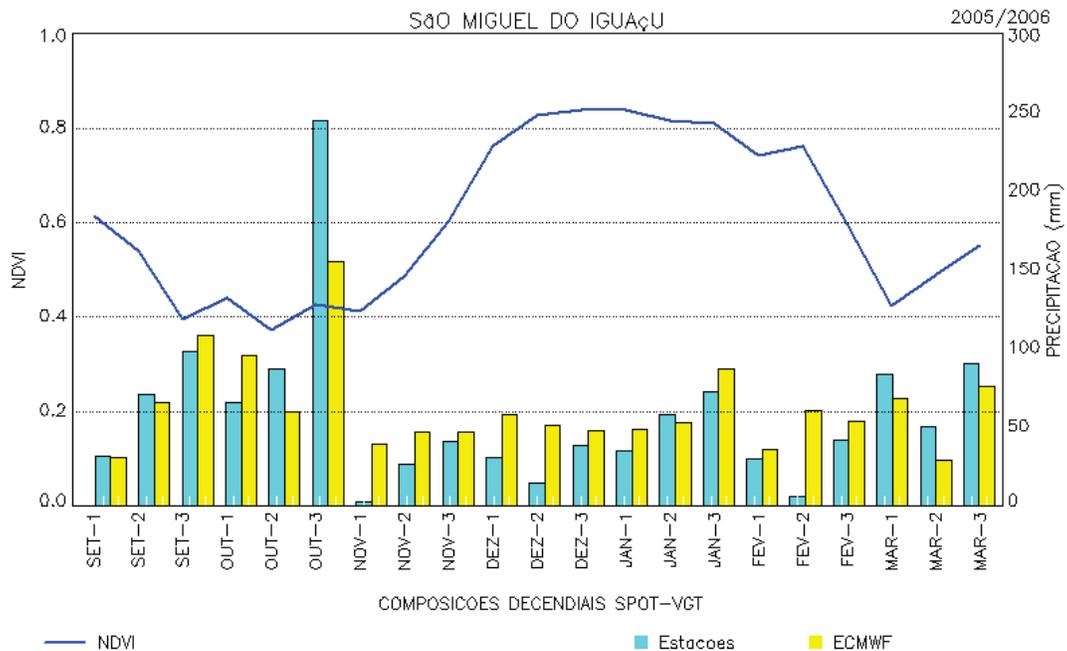
Safra 2005/2006



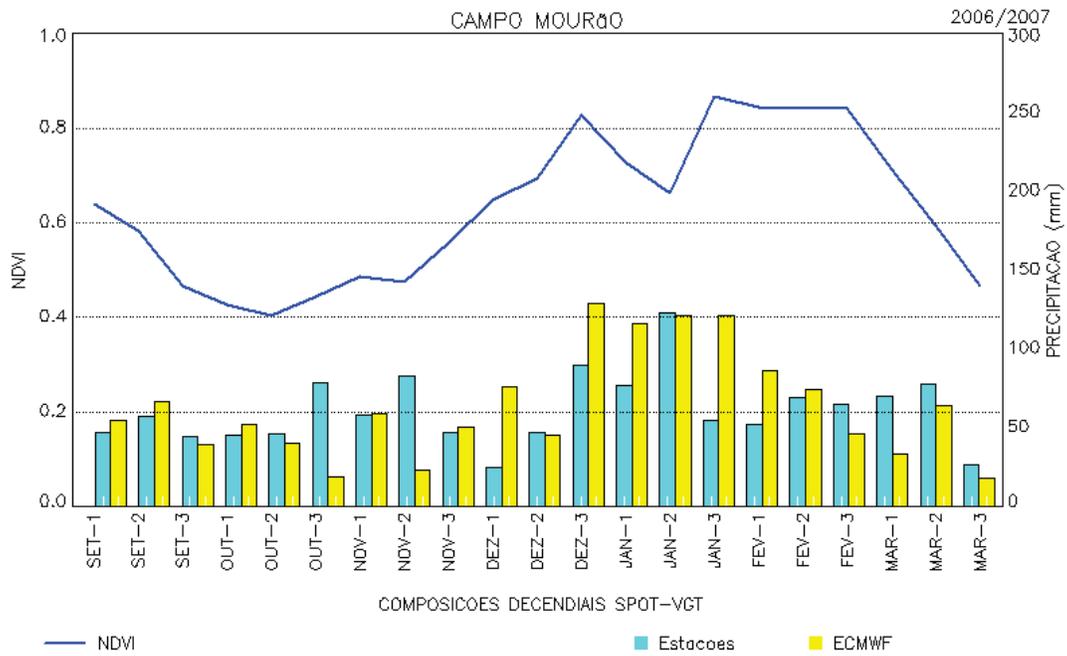
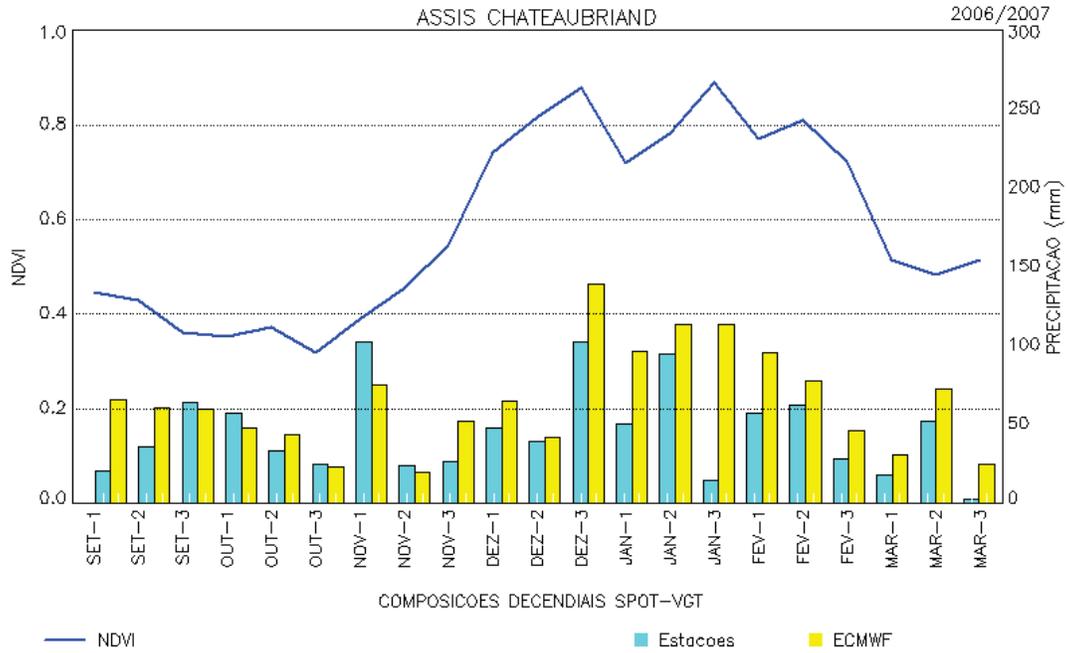


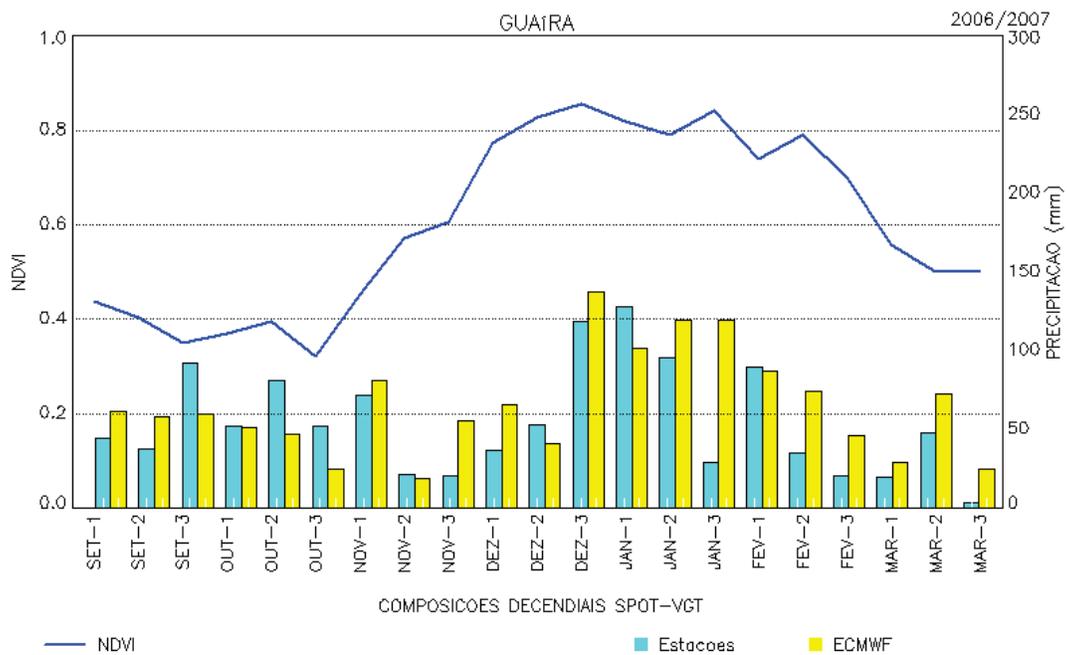
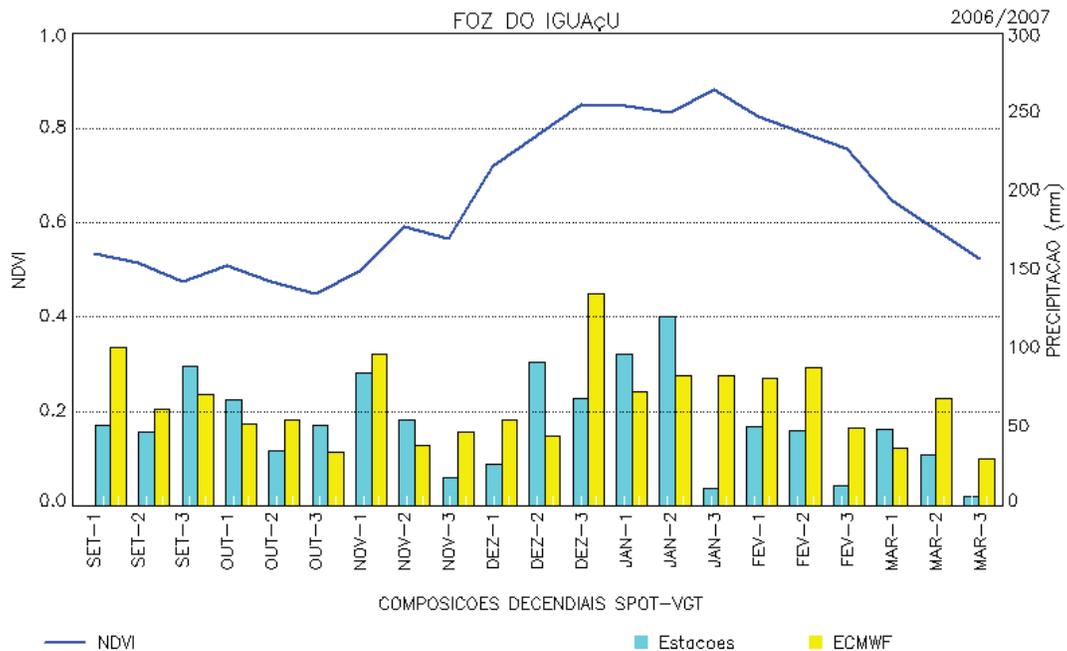


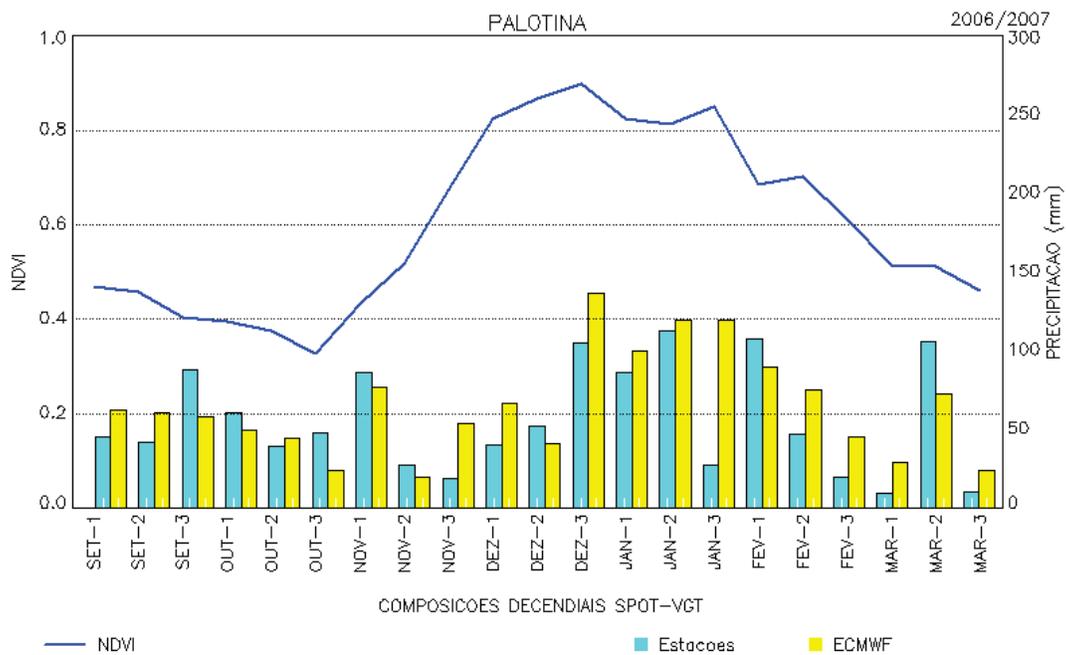
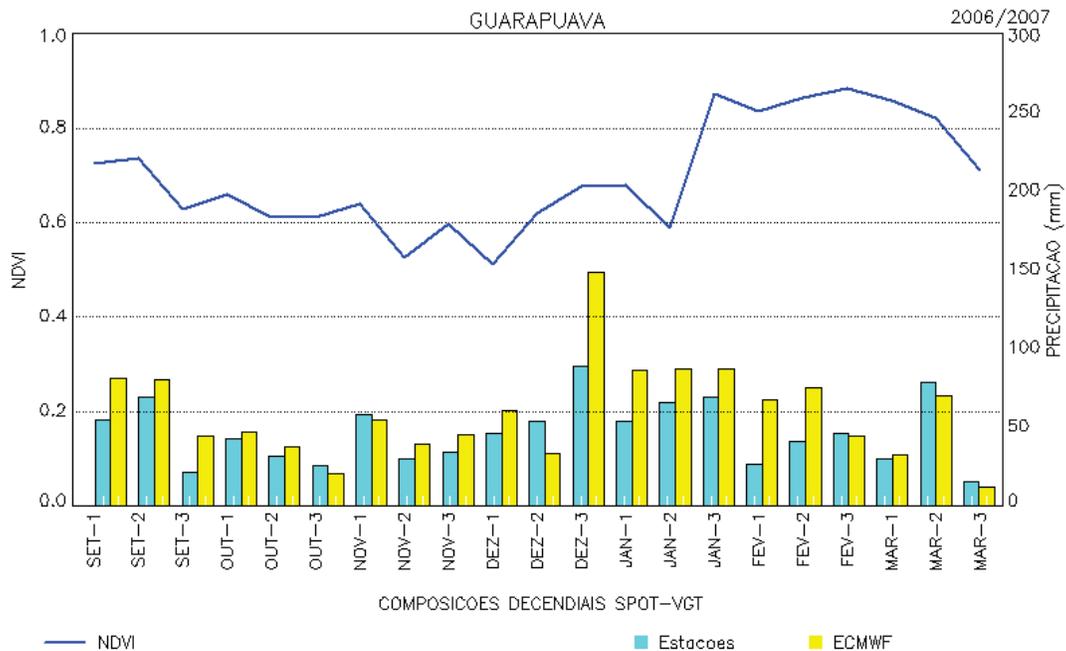


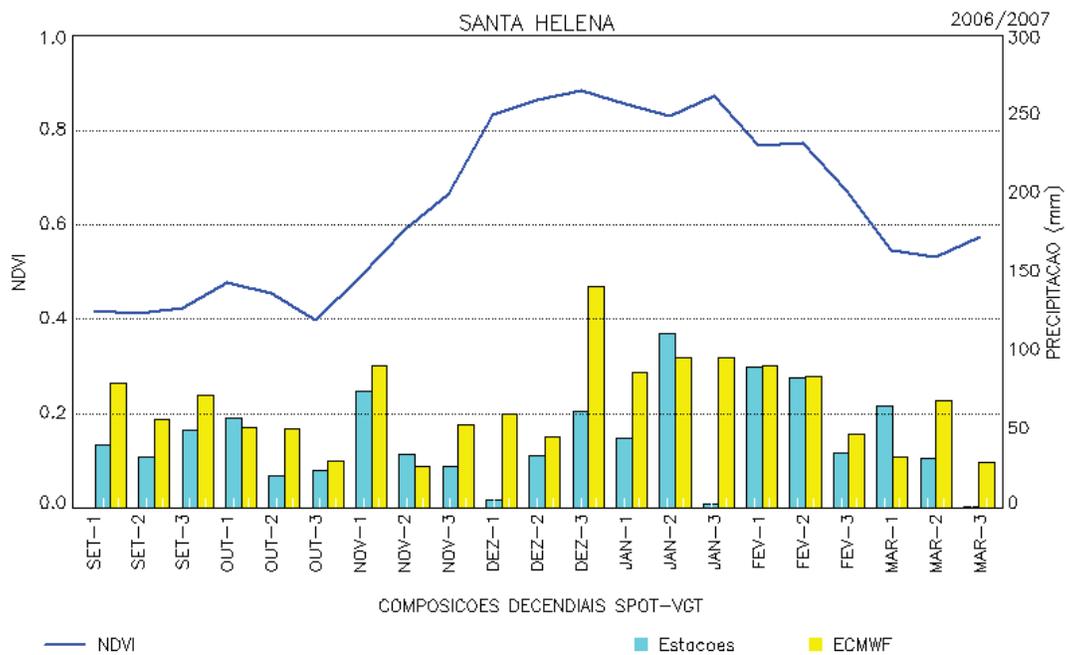
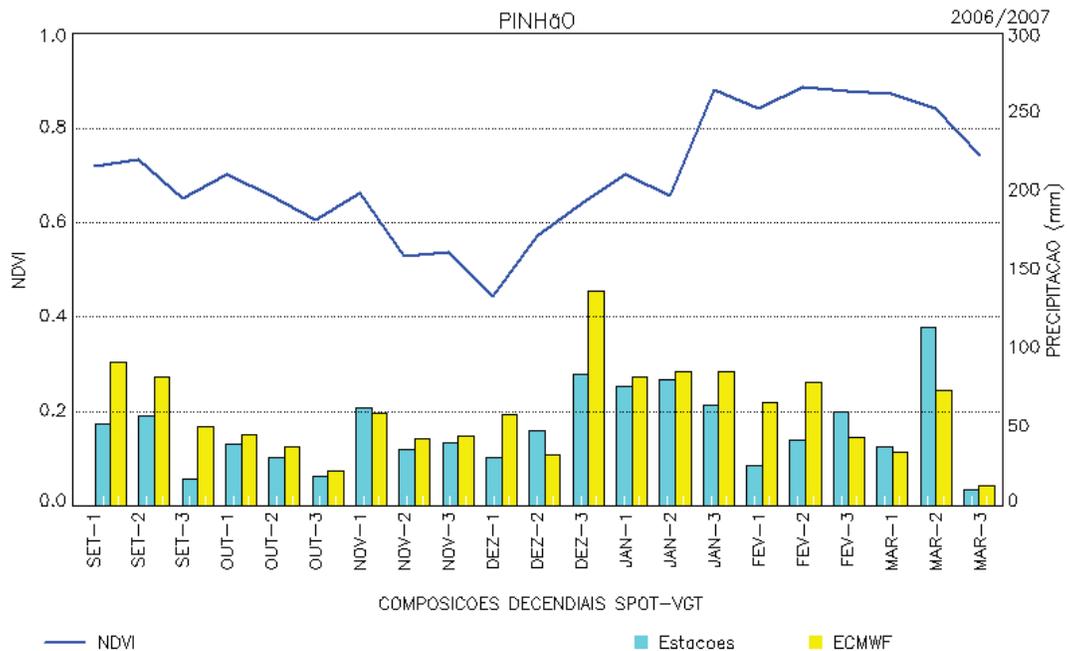


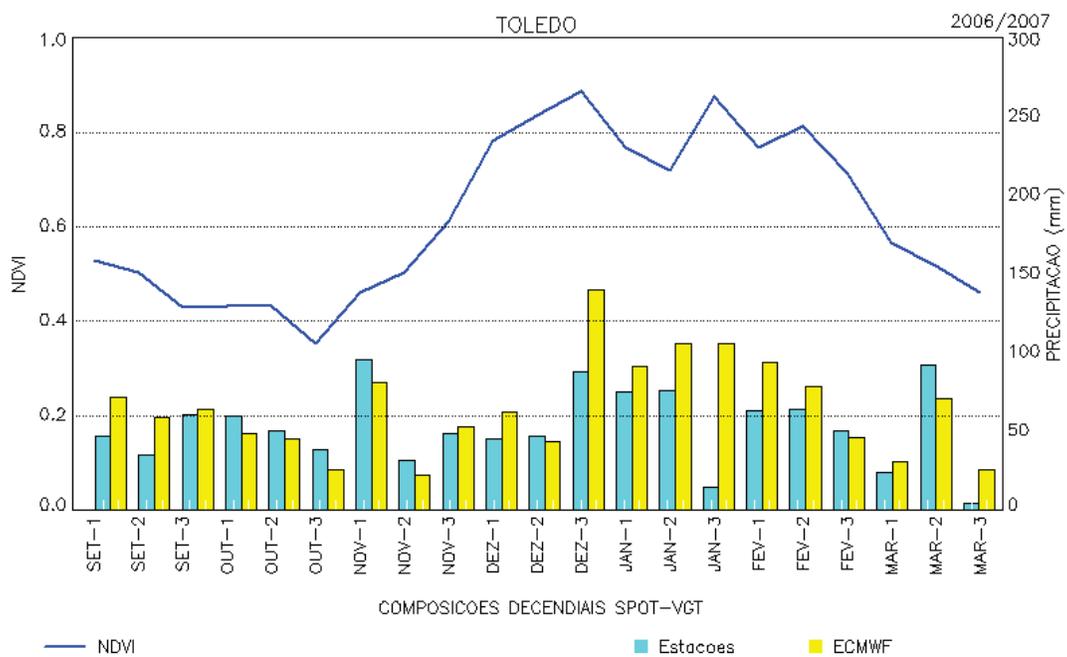
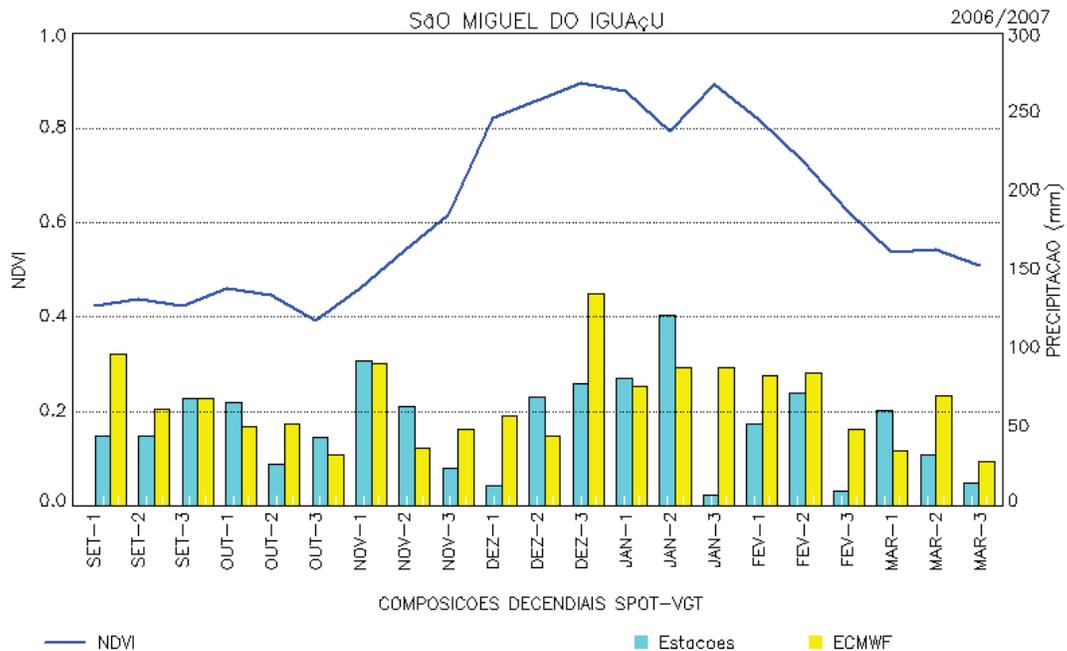
Safra 2006/2007











Safra 2007/2008

