

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANÁLISE DO PADRÃO SAZONAL DE IMAGENS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DO
SENSOR MODIS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS

WILLYAN RONALDO BECKER

Cascavel – Paraná - Brasil

FEVEREIRO - 2017

WILLYAN RONALDO BECKER

**ANÁLISE DO PADRÃO SAZONAL DE IMAGENS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DO
SENSOR MODIS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, com a temática Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão.

Orientador: Dr. Jerry Adriani Johann

Cascavel – Paraná - Brasil

FEVEREIRO - 2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B356a

Becker, Willyan Ronaldo
Análise do padrão sazonal de imagens de índice de vegetação do sensor
Modis para culturas agrícolas./Willyan Ronaldo Becker. -- Cascavel, 2017.
115 f.

Orientador: Prof. Dr. Jerry Adriani Johann

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2017
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

1. Agricultura. 2. Sensoriamento remoto. I. Johann, Jerry Adriani. II.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 20.ed. 630
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

Revisora de Português, Inglês e Normas: Dhandara Capitani

Data da revisão: 26/abr/2017

WILLYAN RONALDO BECKER

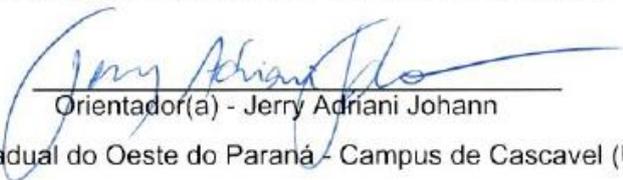
Análise do Padrão Sazonal de Imagens de Índice de Vegetação do Sensor Modis
Para Culturas Agrícolas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Marcus Metri Correa

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)



Orientador(a) - Jerry Adriani Johann

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Erivelto Mercante

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 10 de fevereiro de 2017

BIBLIOGRAFIA RESUMIDA

Brasileiro, nasceu em Três Barras do Paraná – PR, no ano de 1992. Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel (2014). Participou durante 4 anos de projetos de iniciação científica nas áreas de física, formação de professores de ciências e matemáticas e geoprocessamento e sensoriamento remoto. Foi aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Nível Mestrado (2015-2017), na área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão.

“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria,
e o homem que adquire conhecimento”
Provérbios 3:13.

*Dedico a minha família.
A minha esposa Aline,
e a meus pais Antônio e Judite.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI, pela oportunidade oferecida em fazer o mestrado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro;

Ao meu orientador Jerry Adriani Johann, pelo apoio, a dedicação e o companheirismo;

Aos colegas e amigos do Laboratório de Estatística Aplicada – LEA. Em especial ao Alex Paludo, Jonathan Richetti, Laíza Cavalcante e Weverto Verica. Também ao meu amigo Victor Rohden, do Laboratório de Geoprocessamento – GEOLAB, pelo companheirismo na dissertação, no mestrado e na vida;

A minha família, meus pais Antônio Becker e Judite Becker, que sempre me incentivaram a estudar e me deram muita força. A minha esposa Aline Becker, que esteve presente nos momentos mais difíceis e me ajudou a chegar até o fim;

A revisora de português, inglês e normas Dhandara Capitani, pela dedicação em ler todo esse texto (a primeira!), sugerindo melhorias que refletiram na qualidade do resultado final da dissertação;

E a todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

Obrigado!

ANÁLISE DO PADRÃO SAZONAL DE IMAGENS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DO SENSOR MODIS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS

RESUMO

Técnicas de sensoriamento remoto orbital têm se mostrado uma ferramenta valiosa, pois possibilitam o monitoramento agrícola do vigor e do tipo de cobertura vegetal em escala regional, trazendo resultados com maior antecedência e precisão e menor custo operacional em relação às técnicas tradicionais. A identificação automática de áreas cultivadas constitui uma das etapas mais importantes no processo de previsão de safras. A melhoria na estimativa de área cultivada com cada cultura influencia diretamente o resultado da previsão de cada ano-safra, uma vez que a produção agrícola é função da área cultivada. O objetivo geral desta pesquisa foi criar uma metodologia automática para separação das culturas agrícolas de soja e milho, por meio da mineração de dados (Artigo 1) e uma metodologia de previsão da data de colheita das culturas a partir da data de máximo desenvolvimento vegetativo (Artigo 2). Os métodos utilizados corresponderam à aplicação da análise de padrões sazonais e mineração de dados para áreas agrícolas de soja e milho no estado do Paraná, com imagens do índice de vegetação EVI dos sensores MODIS, satélites TERRA e AQUA. Os resultados obtidos no Artigo 1 mostram que, por meio da árvore de decisão, uma das técnicas de mineração de dados, constatou-se que, dentre onze variáveis que caracterizam o padrão espectro-temporal do EVI de cada cultura, cinco foram suficientes para realizar a separação das culturas de soja e milho, ano-safra 2014/2015, com uma exatidão de 96,3% e um índice kappa de 0,92, sendo elas o valor máximo de EVI, a data de semeadura (DS), a data de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV), o ciclo e a integral maior. No Artigo 2 foram estimadas as DS, DMDV e Data de Colheita (DC) do perfil temporal EVI para cada pixel mapeado de soja e milho nos anos-safra 2011/2012 a 2013/2014. Posteriormente criaram-se, para cada cultura e ano-safra, as variáveis Delta1 (DMDV menos a DS) e o Delta2 (DC menos a DMDV). Os resultados das diferenças ($DC_{Diferença}$) entre a DC estimada pelo EVI (DC_{EVI}) e a prevista por média temporal (DC_{Delta2}) apontam que, para a soja, há a possibilidade de utilizar-se apenas do valor médio do intervalo entre a DMDV e a DC nos três anos-safra estudados, sendo 55 dias para a soja. Para a cultura do milho, o intervalo médio entre a DMDV e a DC foi de 60 dias, porém verifica-se que existe grande diferença entre os resultados obtidos com a DC_{EVI} e a DC_{Delta2} . Para a DC_{Delta2} do milho houve grandes variações entre as mesorregiões. As diferenças nas DC ($DC_{Diferença}$), quando utilizadas as médias por mesorregiões, apresentam melhores resultados que para o Paraná como um todo.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo fenológico; EVI; Timesat; Mineração de Dados.

SEASONAL TREND ANALYSIS OF THE VEGETATION INDEX OF AGRICULTURAL CROPS WITH DATA MINING TECHNIQUES

ABSTRACT

Orbital remote sensing techniques have proved to be a valuable tool, since they enable the agricultural monitoring of the vigor and the type of vegetation coverage in a regional scale, bringing results with greater anticipation and precision, and lower operational cost when compared to traditional techniques. Automatic identification of cultivated areas is one of the most important steps in the crop forecasting process. The improvement in the estimate of area cultivated with each crop directly influences the result of the forecast of each crop year, since the agricultural production is a function of the cultivated area. The general objective of this research was to create an automatic methodology for the separation of agricultural crops from soybean and maize by means of data mining (Article 1) and a methodology for forecasting the harvest date from the date of maximum vegetative development (Article 2). The methods used corresponded to the application of the seasonal trends analysis and data mining for soybean and corn agricultural areas in the state of Paraná, with images of the EVI vegetation index of MODIS sensors, TERRA and AQUA satellites. The results obtained in Article 1 show that, through the decision tree, one of the techniques of data mining, it was verified that, among eleven variables that characterize the spectral-temporal pattern of the EVI of each culture, five were enough to perform the separation of soybean and maize crops, in the year 2014/2015, with an accuracy of 96.3% and a kappa index of 0.92, being the maximum value of EVI, the date of sowing (DS), the Date of maximum vegetative development (DMDV), Cycle, and Major Integral. In Article 2 the DS, DMDV and Harvest Date (DC) of the EVI temporal profile were estimated for each mapped soybean and maize pixel in the crop years 2011/2012 to 2013/2014. Then, for each crop and crop year, the variables Delta1 (DMDV minus DS) and Delta2 (DC minus DMDV) were created. The results of the differences ($DC_{\text{Difference}}$) between DC estimated by EVI (DC_{EVI}) and predicted by mean time (DC_{Delta2}) show that, for soybeans, it is possible to use only the mean value of the interval between DMDV and DC in the three harvested years studied, with 55 days for soybeans. For corn, the mean interval between DMDV and DC was 60 days, but it is verified that there is a large difference between the results obtained with DC_{EVI} and DC_{Delta2} . For corn DC_{Delta2} there were large variations among the mesoregions. Differences in DC ($DC_{\text{Difference}}$), when using the means by mesoregions, presented better results than for Paraná as a whole.

KEYWORDS: Phenological cycle; EVI; Timesat; Data Mining.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Produção de grãos de soja e milho no Brasil e no mundo	13
3.2 Estado do Paraná.....	17
3.3 Produção de soja e milho no Paraná e calendário agrícola	20
3.4 Exigências climáticas da soja e do milho	23
3.5 Estádios fenológicos da soja e do milho	24
3.6 Sistema de monitoramento de safras.....	25
3.7 Sensor MODIS	27
3.7.1 <i>Índice de vegetação</i>	28
3.8 Análise de padrões sazonais	28
3.9 Descoberta de conhecimento em banco de dados	30
3.10 Mineração de dados aplicado na agricultura.....	32
3.11 Estimativa e previsão de datas de colheita	33
4 REFERÊNCIAS	35
5 METODOLOGIA GERAL	42
6 ARTIGOS	46
6.1 ARTIGO 1 - TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE DADOS PARA SEPARAÇÃO DE CULTURAS DE VERÃO OBTIDAS COM IMAGENS DE SATÉLITE	46
6.1.1 <i>INTRODUÇÃO</i>	46
6.1.2 <i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	48
6.1.3 <i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	50
6.1.4 <i>CONCLUSÕES</i>	56
6.1.5 <i>AGRADECIMENTOS</i>	56
6.1.6 <i>REFERÊNCIAS</i>	56
6.2 ARTIGO 2 - PREVISÃO DA DATA DE COLHEITA A PARTIR DO MÁXIMO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS DE SOJA E MILHO COM IMAGENS DE SATÉLITE.....	59
6.2.1 <i>INTRODUÇÃO</i>	59
6.2.2 <i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	60
6.2.2.1 Área de estudo	60
6.2.2.2 Sensor MODIS	61
6.2.2.3 Análise de padrões sazonais	62
6.2.3 <i>RESULTADOS E DISCUSSÕES</i>	63
6.2.3.1 Soja	63
6.2.3.2 Deltas da Soja	73
6.2.3.3 Uso do Delta2 para estimativa da data de Colheita da Soja	79
6.2.3.4 Milho.....	84
6.2.3.5 Deltas do Milho.....	93
6.2.3.6 Uso do Delta2 para estimativa da data de Colheita do Milho	98
6.2.4 <i>CONCLUSÕES</i>	104

6.2.5	REFÊRENCIAS.....	105
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
8	ANEXO 1 - NORMAS DA REVISTA ENGENHARIA AGRÍCOLA	109
8.1.1.1	CONFIGURAÇÃO	109
8.1.1.2	CATEGORIA	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Calendário agrícola para as culturas de soja e milho no estado do Paraná	22
Tabela 2 Porcentagem mensal de semeadura e colheita da soja e milho 1ª safra para o estado do Paraná	23
Tabela 3 Porcentagem mensal de semeadura e colheita do milho 2ª safra para o estado do Paraná.....	23
Tabela 4 Estádios de desenvolvimento da cultura da soja.....	25
Tabela 5 Estádios de desenvolvimento da cultura do milho.....	25
Tabela 6 Informações de saída do Timesat, referentes ao perfil espectro-temporal de IV das culturas.....	30
Tabela 7 Regras de classificação da árvore de decisão para separação de soja e milho	54
Tabela 8 Parametrização geral do software Timesat para estimativa das datas das culturas de soja e milho no Paraná	62
Tabela 9 Configurações utilizadas no software Timesat para estimar as datas de semeadura e colheita das culturas de soja e milho nas propriedades agrícolas monitoradas no Paraná, para os anos-safra 2011/2012 a 2015/2016	62
Tabela 10 Percentual de semeadura da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná.....	66
Tabela 11 Percentual de máximo desenvolvimento vegetativo da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná	70
Tabela 12 Percentual de colheita da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná	73
Tabela 13 Percentual de áreas de soja por intervalo de desenvolvimento (Delta1 e Delta2) para todo o estado do Paraná.....	78
Tabela 14 Valores de Delta2 ($\Delta_{2\text{Médio}}$) e desvio padrão médios estimados (anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014) para as mesorregiões e para o estado, em dias .	81
Tabela 15 Percentual de área da $DC_{\text{Diferença}}$ por mesorregião em cada ano-safra, para a cultura da soja	83
Tabela 16 Percentual de área semeada de milho por decêndios e mesorregiões no estado do Paraná.....	87
Tabela 17 Percentual de área de máximo desenvolvimento vegetativo do milho por mesorregiões e decêndios no estado do Paraná	90
Tabela 18 Percentual de área colhida de milho por mesorregiões e por decêndios no estado do Paraná.....	93
Tabela 19 Percentual de áreas de milho por intervalo de desenvolvimento da cultura.....	96
Tabela 20 Valores de Delta2 ($\Delta_{2\text{Médio}}$) e desvio padrão médios estimados (anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014) para as mesorregiões e para o estado, em dias	101

Tabela 21 Percentual de área da diferença ($DC_{\text{Diferença-MR}}$) entre a DC_{EVI} e a DC_{Delta2} por mesorregião em cada ano-safra, para a cultura do milho 102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Comparativo da produção da soja, em milhões de toneladas.	13
Figura 2 Comparativo da produção de milho, em milhões de toneladas.	14
Figura 3 Participação da produção da soja nos estados a nível federal.	14
Figura 4 Evolução da área semeada de milho 1ª e 2ª safras no Brasil, em milhões de hectares.	15
Figura 5 Evolução da produção (em milhões de toneladas) e produtividade (em mil t ha ⁻¹) do milho 1ª e 2ª safras no Brasil.	16
Figura 6 Participação da produção total do milho nos estados a nível federal.	16
Figura 7 Participação da produção de milho 1ª safra nos estados a nível federal.	17
Figura 8 Classificação do clima no estado do Paraná.	18
Figura 9 Temperatura média anual no estado do Paraná.	19
Figura 10 Precipitação acumulada anual no estado do Paraná.	19
Figura 11 Evolução da área semeada de milho 1ª e 2ª safras no Paraná, em milhões de hectares.	21
Figura 12 Evolução da produção (em milhões de hectares) e produtividade (em mil t ha ⁻¹) do milho 1ª e 2ª safras no Paraná.	21
Figura 13 Padrão espectro-temporal de índice de vegetação de alvos agrícolas.	26
Figura 14 Posição das 7 principais bandas espectrais do sensor Modis no espectro de diferentes alvos.	27
Figura 15 Padrão de um perfil espectro-temporal de índice de vegetação EVI para uma cultura de verão.	29
Figura 16 Processo de descoberta de conhecimento em banco de dados – KDD.	31
Figura 17 Tarefas de mineração de dados.	31
Figura 18 Ilustração da hierarquia da árvore de decisão, no qual os nós representam um teste lógico, conectados por tomadas de decisão (ramos), obtendo um resultado final (folha).	32
Figura 19 Fluxograma de trabalho.	42
Figura 20 Interface inicial do software TIMESAT.	43
Figura 21 Interface gráfica do usuário do software TIMESAT.	43
Figura 22 Janela inicial do Weka.	44
Figura 23 Janela de pré-processamento do Weka.	45
Figura 24 Processo de descoberta de conhecimento em base de dados.	48
Figura 25 Mapa de localização da área de estudo e órbitas/ponto do satélite Landsat-8.	49
Figura 26 Talhões de soja e milho com delimitação de conjuntos de pixels puros em imagem Landsat-8, composição RGB-564.	49

Figura 27 Padrão de um perfil espectro-temporal de índice de vegetação EVI para uma cultura de verão.....	50
Figura 28 Percentual de talhões das variáveis extraídas do software Timesat.....	51
Figura 29 Perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI dos talhões de soja e milho.	52
Figura 30 Percentual de talhões das variáveis extraídas do software Timesat.....	53
Figura 31 Árvore de decisão obtida para separação de soja e milho.	54
Figura 32 Mapa de localização do estado do Paraná, com suas 10 mesorregiões e 399 municípios. O estado localiza-se no tile h13v11 do sensor MODIS. Em destaque as propriedades em monitoramento.	61
Figura 33 Fluxograma para obtenção da: a) data de colheita estimada por Delta2 (DC_{Delta2}); b) Diferença ($DC_{Diferença}$) entre a DC_{Delta2} e a data de colheita obtida por perfil temporal de EVI (DC_{EVI}).....	63
Figura 34 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2011/2012.....	64
Figura 35 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2012/2013.....	65
Figura 36 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2013/2014.....	65
Figura 37 Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2011/2012.....	68
Figura 38 Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2012/2013.....	68
Figura 39 Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2013/2014.....	69
Figura 40 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2011/2012.....	71
Figura 41 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2012/2013.....	71
Figura 42 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2013/2014.....	72
Figura 43 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2011/2012. ...	74
Figura 44 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2012/2013. ...	75
Figura 45 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2013/2014. ...	75
Figura 46 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2011/2012.	76
Figura 47 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2012/2013.	77
Figura 48 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2013/2014.	77

Figura 49 Gráfico de Deltas1 e Delta2 por mesorregiões, sendo o desvio padrão ilustrado em barras acima e abaixo da média da mesorregião, com a média anual do estado em pontilhado.....	79
Figura 50 Delta2 médio ($\Delta_{2\text{Médio}}$) da soja dos anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 por mesorregiões e para todo o Paraná, em dias.....	80
Figura 51 Diferença em dias ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta_2\text{-PR}}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2011/2012.....	81
Figura 52 Diferença em dias ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta_2\text{-PR}}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2012/2013.....	82
Figura 53 Diferença em dias ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta_2\text{-PR}}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2013/2014.....	82
Figura 54 Diferença percentual da data de colheita estimada e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI, para a cultura da soja.	84
Figura 55 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2011/2012.....	85
Figura 56 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2012/2013.....	85
Figura 57 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2013/2014.....	86
Figura 58 Decêndios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{\text{EVI}}$), ano-safra 2011/2012.	88
Figura 59 Decêndios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{\text{EVI}}$), ano-safra 2012/2013.	88
Figura 60 Decêndios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{\text{EVI}}$), ano-safra 2013/2014.	89
Figura 61 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2011/2012.....	91
Figura 62 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2012/2013.....	91
Figura 63 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2013/2014.....	92
Figura 64 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$), em dias, para o milho, ano-safra 2011/2012. .	94
Figura 65 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$), em dias, para o milho, ano-safra 2012/2013. .	95
Figura 66 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$), em dias, para o milho, ano-safra 2013/2014. .	95
Figura 67 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2011/2012.	96
Figura 68 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2012/2013.	97

Figura 69 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2013/2014.	97
Figura 70 Gráfico de Deltas por mesorregiões, sendo o desvio padrão ilustrado em barras acima e abaixo da média da mesorregião, com a média anual do estado em pontilhado.	98
Figura 71 Delta2 médio ($\Delta_{2Médio}$) do milho dos anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 por mesorregiões e para todo o Paraná, em dias.	99
Figura 72 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2011/2012.	100
Figura 73 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2012/2013.	100
Figura 74 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2013/2014.	101
Figura 75 Diferença percentual da data de colheita estimada e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI, para a cultura da soja.	103

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira destaca-se na economia do país, contribuindo no desenvolvimento de regiões, como também no crescimento de agroindústrias e unidades de processamentos de grãos. Segundo CONAB (2016), o Brasil é o segundo maior produtor de soja e exportador de milho do mundo. Por ser um país de grande extensão agrícola, tem a necessidade de um planejamento estratégico de toda a cadeia produtiva (produtores rurais, indústria de alimentos, cooperativas, fornecedores de insumos, investidores e órgãos governamentais), permitindo o estabelecimento de políticas de preços mínimos e a minimização do efeito negativo das especulações nos preços dos produtos agrícolas pagos aos produtores.

A importância econômica da cultura da soja nas exportações torna-a uma das principais *commodities* da agricultura brasileira. Atrás da região Centro-Oeste, a região sul é a segunda maior produtora de soja do país. Apenas o estado do Paraná foi responsável por 17,3% da produção de soja no Brasil (CONAB, 2016), evidenciando a importância econômica da cultura para o estado.

O milho aparece também como um grande contribuinte na produção brasileira, sendo esta a terceira cultura mais produzida no país. A produção total do milho no Brasil, na média dos últimos 12 anos, é liderada pelos estados do Paraná (20,4%), seguido de Minas Gerais (17,6%), Rio Grande do Sul (14,2%) e Santa Catarina (9,8%) (IBGE, 2016).

A divulgação das informações sobre as safras brasileiras é de responsabilidade da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB/Deral). Tais órgãos realizam suas estimativas anuais de previsão de safras, adotando metodologias indiretas que levam em conta alguns aspectos subjetivos, na medida em que utilizam informações extraídas de questionários que são enviados às cooperativas, às revendedoras de máquinas e insumos, e a outros agentes ligados a cada cadeia produtiva (IBGE, 2002). Isto não permite um rigor ou exatidão na análise quantitativa dos erros envolvidos, nem o conhecimento da distribuição espacial da produção das culturas, o que, por consequência, dificulta a análise do impacto dos problemas agrometeorológicos, como estiagem, sobre a produtividade das culturas.

Nesse sentido, é importante a incorporação de métodos objetivos nas estimativas de safras agrícolas. O uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital tem se mostrado uma ferramenta valiosa, pois possibilita o monitoramento agrícola do vigor e do tipo de cobertura vegetal em escala regional, resultados com maior antecedência e precisão e menor custo operacional em relação às técnicas tradicionais. A possibilidade de identificação e quantificação das áreas agrícolas de forma objetiva e rápida é apresentada por Souza et al. (2015) como um aspecto relevante no contexto agrícola brasileiro, dada a extensão territorial das áreas cultivadas.

Embora pesquisas tenham obtido relativo êxito na utilização de sensores remotos orbital para o monitoramento da atividade agrícola, o principal desafio está em desenvolver uma metodologia sistemática sincronizada com as necessidades do mercado. No monitoramento de culturas agrícolas, dada sua alta dinâmica temporal, faz-se necessário um acompanhamento periódico. Por meio de uma análise multi-temporal, ou seja, uma análise em múltiplas datas, pode-se ter informações do padrão espectro-temporal ao longo de todos os estádios fenológicos da cultura. Muitas pesquisas têm utilizado séries espectro-temporais de índices de vegetação (IV) obtidos de imagens para realização de mapeamentos agrícolas. Um dos IV, conhecido como índice de vegetação realçado (do inglês *Enhanced Vegetation Index* – EVI), foi desenvolvido para aprimorar a sensibilidade da detecção de vegetação em condições de alta densidade de biomassa e reduzir a influência do solo e da atmosfera nas vegetações. Diversos estudos têm utilizado este IV para analisar a dinâmica da vegetação em intervalos de tempo, pois servem como indicadores do crescimento e também do vigor vegetativo das culturas.

Pesquisadores como Johann et al. (2012), Souza et al. (2015) e Grzegozewski et al. (2016) utilizaram índices de vegetação para a realização de mapeamentos agrícolas. Porém, estes mapeamentos ainda têm desafios a serem superados, dentre os quais, a proposição de uma metodologia de separação espectral entre as culturas de soja e milho, por serem culturas que possuem padrão espectro-temporal e ciclo vegetativo semelhantes. Para Adami (2010), essa confusão nos mapeamentos resulta em sub ou superestimação das áreas semeadas destas culturas. Souza et al. (2015) e Grzegozewski et al. (2016) obtiveram avanços importantes no que se refere ao mapeamento e à separação de culturas de verão, com uso de índices de vegetação; porém, em alguns anos-safras, quando a semeadura das culturas ocorre na mesma época, persiste a dificuldade na realização desta separação.

A identificação automática de áreas cultivadas constitui uma das etapas mais importantes no processo de previsão de safras. Uma linha de estudo que vem sendo recentemente abordada para superar os desafios na melhoria dos mapeamentos é a utilização de mineração de dados. A mineração de dados é a principal etapa do processo de descoberta de conhecimento em banco de dados (*Knowledge Discovery From Data* – KDD) e objetiva encontrar relações ou padrões ocultos em bases de dados, convertendo dados brutos em informações úteis. Assim, a melhoria na estimativa de área cultivada com cada cultura influencia diretamente o resultado da previsão de cada ano-safra, uma vez que a produção agrícola é função da área cultivada.

Pesquisas desenvolvidas por Tucker et al. (1979), Viña et al. (2004), Sakamoto et al. (2005, 2010) e Adami (2010) estimaram estádios fenológicos de várias culturas agrícolas a partir da análise do padrão espectro-temporal de IV e verificaram que os pontos de inflexão das curvas (ascendente e descendente) são importantes para estimar o desenvolvimento das culturas. Portanto, é possível estimar dados da duração do ciclo da cultura, datas de

semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (pico vegetativo) (DMDV) e de colheita (DC). Estes dados podem ser usados como informações para no futuro gerar modelos de estimativa de produtividade de culturas agrícolas em larga escala no Paraná, melhorando as estimativas de produtividade, pois é possível a definição do período correto (datas) em que estas culturas estão mais sensíveis a ocorrência de estresse agrometeorológico. Além disto, a DC, quando conhecida com antecedência, é uma informação valiosa e requerida pelas empresas cerealistas em função dos planejamentos estratégico e logístico nas unidades armazenadoras, bem como na previsão das necessidades futuras de capacidade estática de armazenamento de grãos.

A primeira parte da dissertação trata da introdução, objetivos e revisão bibliográfica, a qual abrange as áreas propostas nos objetivos traçados. Após, tem-se uma Metodologia Geral com informações metodológicas utilizadas nos dois artigos. Os resultados do projeto de pesquisa desenvolvido no período do mestrado estão organizados em dois artigos científicos, contendo Resumo, Palavras-chave, Abstract, Key-Words, Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões, Agradecimento e Referências.

O primeiro artigo intitula-se: Técnicas de mineração de dados para separação de culturas de verão obtidas com imagens de satélite (6.1). Nele, é apresentada uma metodologia de separação das culturas de soja e milho em mapeamentos agrícolas de verão. Destaca-se que este artigo já foi submetido e aceito pela revista Engenharia Agrícola, encontrando-se em fase de publicação.

O segundo artigo intitula-se: Previsão da data de colheita a partir do máximo desenvolvimento vegetativo das culturas agrícolas de verão de soja e milho com imagens de satélite (6.2). Nele, são estimados decêndios de semeadura, máximo desenvolvimento vegetativo e colheita das culturas de soja e milho, como também os intervalos entre estes decêndios, os quais foram utilizados para estimar a data de colheita antes do fim do ciclo das culturas.

Ao final é apresentado um capítulo de Considerações Finais sobre toda a dissertação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o padrão sazonal de imagens de índice de vegetação do sensor MODIS para culturas agrícolas no estado do Paraná.

2.2 Objetivos específicos

- Obter parâmetros sazonais do perfil espectro-temporal do índice de vegetação EVI de mapeamentos de culturas de verão para realizar a separação das culturas de soja e milho com técnicas de mineração de dados;
- Realizar a estimativa de datas de semeadura, máximo desenvolvimento vegetativo e colheita de soja e milho, bem como estimar a época da colheita a partir da data de máximo desenvolvimento vegetativo de cada cultura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção de grãos de soja e milho no Brasil e no mundo

No Brasil, para o ano-safra 2015/2016, a estimativa de área semeada de grãos, segundo a CONAB (2016), é de 58,5 milhões de hectares, representando 0,8% de aumento em relação ao ano safra anterior. A cultura de verão que mais se destaca é a soja, com 59,6% da área cultivada do país, seguido do milho 1ª safra (10,0%), arroz (3,64%) e feijão (1,82%).

Na produção de todas as culturas agrícolas, estima-se que o Brasil alcance 209 milhões de toneladas na safra 2015/2016, o que equivale a 0,6% de aumento em relação à safra 2014/2015 (CONAB, 2016). Somente a soja responde por 99 milhões de toneladas de grãos. Atrás apenas dos Estados Unidos, o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo (Figura 1), e vem crescendo em termos de área semeada e produção a cada ano. Os 5 principais produtores de soja do mundo, nos últimos 14 anos, têm sido os Estados Unidos (34,8%), Brasil (24,2%), Argentina (16,4%), China (6,2%) e Índia (3,9%). Os demais países respondem por 14,6% da produção de soja no mundo.

Para o milho, o país é o terceiro maior produtor de milho no mundo, ficando atrás dos Estados Unidos (31,4%) e da China (16,96%). Nos últimos 14 anos a participação média do Brasil na produção mundial de milho foi de 5,6%. A Índia responde com uma participação de 1,9% da produção mundial (Figura 2) (CONAB, 2016; FAOSTAT, 2016). Na exportação, o país é o segundo colocado mundial (CONAB, 2015).

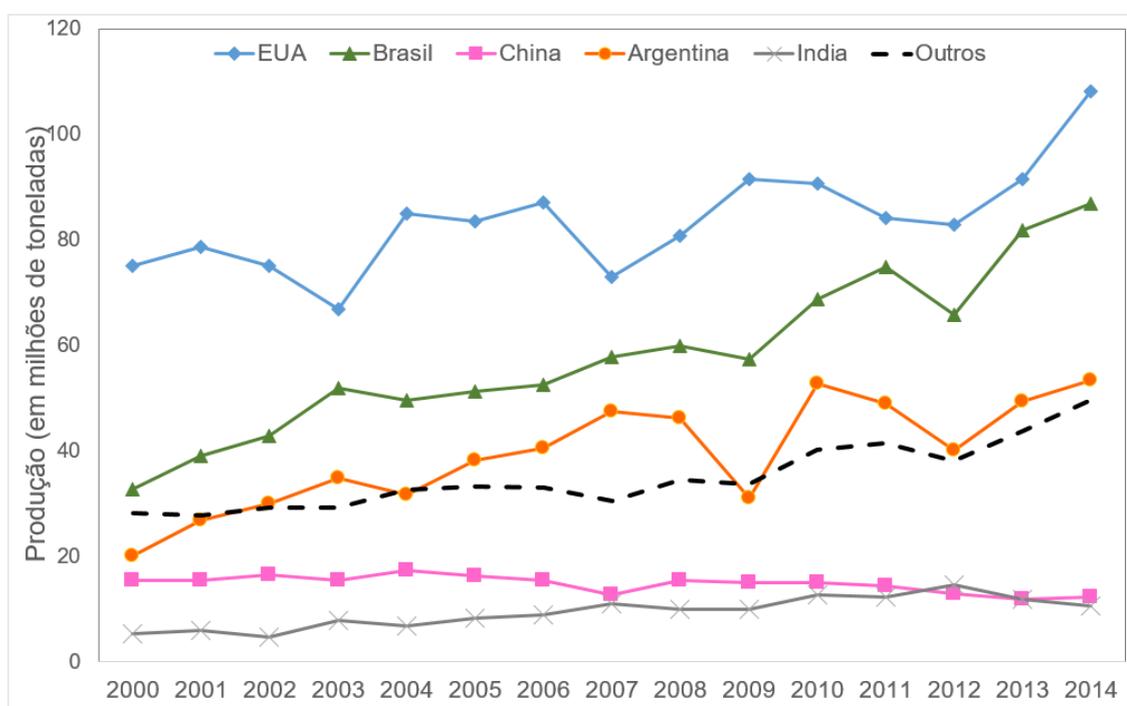


Figura 1 Comparativo da produção da soja, em milhões de toneladas.
Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2016).

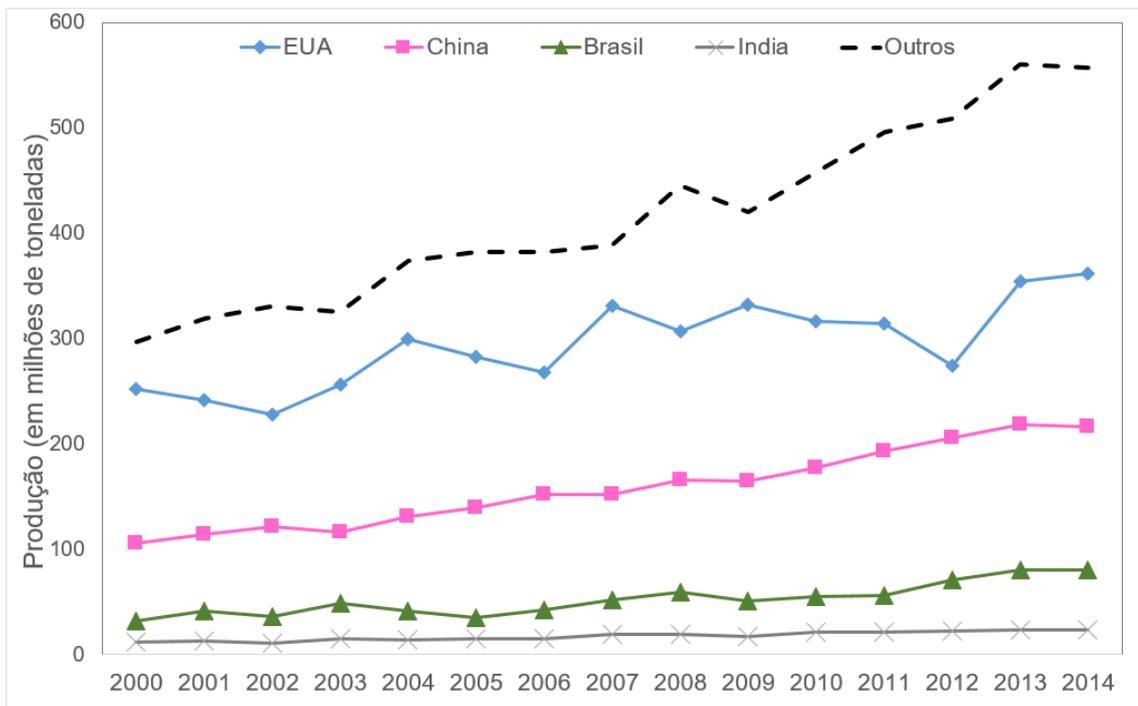


Figura 2 Comparativo da produção de milho, em milhões de toneladas.
 Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2016).

A produção da soja no Brasil (Figura 3) é liderada pelo estado do Mato Grosso (28,7%), seguido do Paraná (18,8%), Rio Grande do Sul (14,8%) e Goiás (11,2%) (CONAB, 2016).

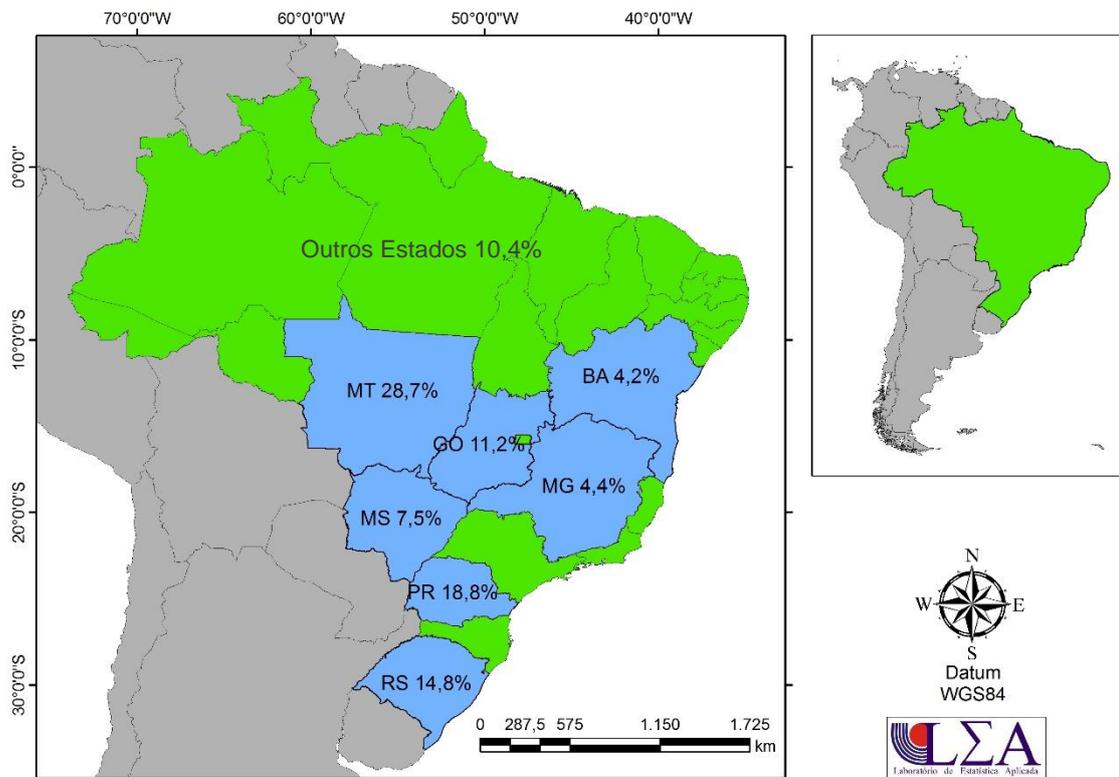


Figura 3 Participação da produção da soja nos estados a nível federal.
 Fonte: Adaptado de CONAB (2016).

A produção brasileira de milho caracteriza-se pela divisão em duas épocas, primeira e segunda safras. A primeira safra é realizada na época tradicional, primavera-verão. A segunda safra é realizada extratemporaneamente, a partir de meados de janeiro, após a safra da soja. Em virtude dos baixos preços praticados pela cultura do milho, este vem perdendo espaço para a soja, sendo que nos últimos anos a área semeada e produção de milho segunda safra são maiores que a primeira safra (Figura 4 e Figura 5). A nível nacional, as produtividades do milho 1ª e 2ª safra são semelhantes.

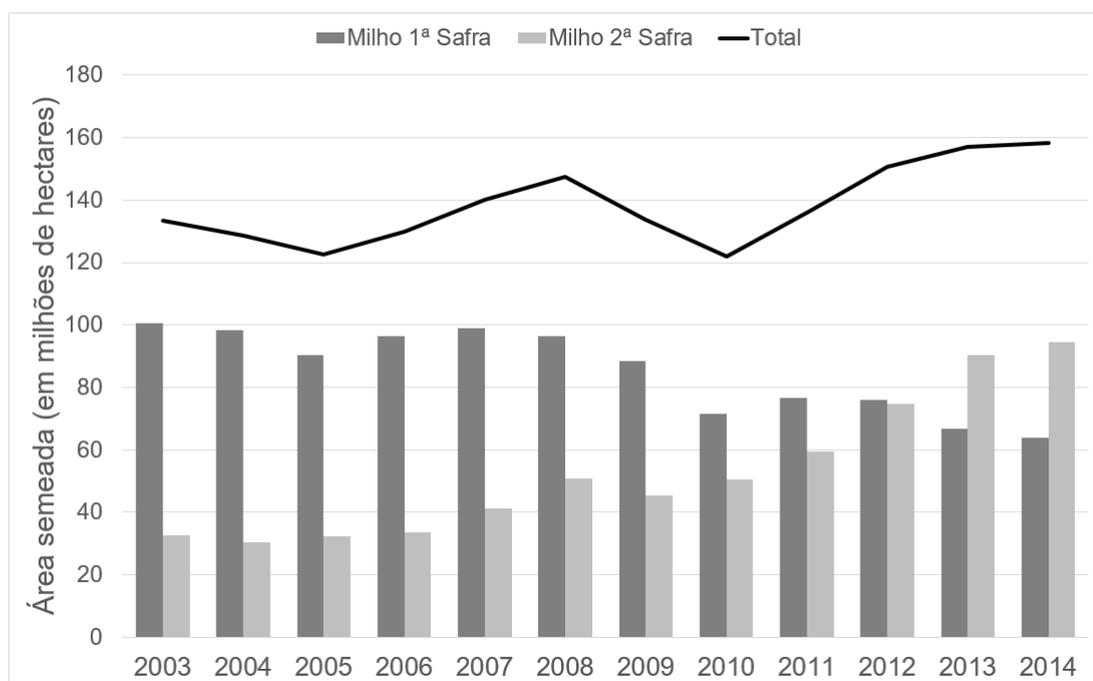


Figura 4 Evolução da área semeada de milho 1ª e 2ª safras no Brasil, em milhões de hectares. Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

A produção total do milho em nosso país, na média dos últimos 12 anos, é liderada pelos estados do Paraná (20,4%), seguido de Minas Gerais (17,6%), Rio Grande do Sul (14,2%) e Santa Catarina (9,8%) (Figura 6) (IBGE, 2016). Para o milho primeira safra, na média dos últimos 12 anos, os maiores produtores se mantêm, sendo o Paraná o maior produtor, com 22,2%, seguido de Minas Gerais (18,5%), Rio Grande do Sul (14,1%) e Santa Catarina (10,4%) (Figura 7) (IBGE, 2016).

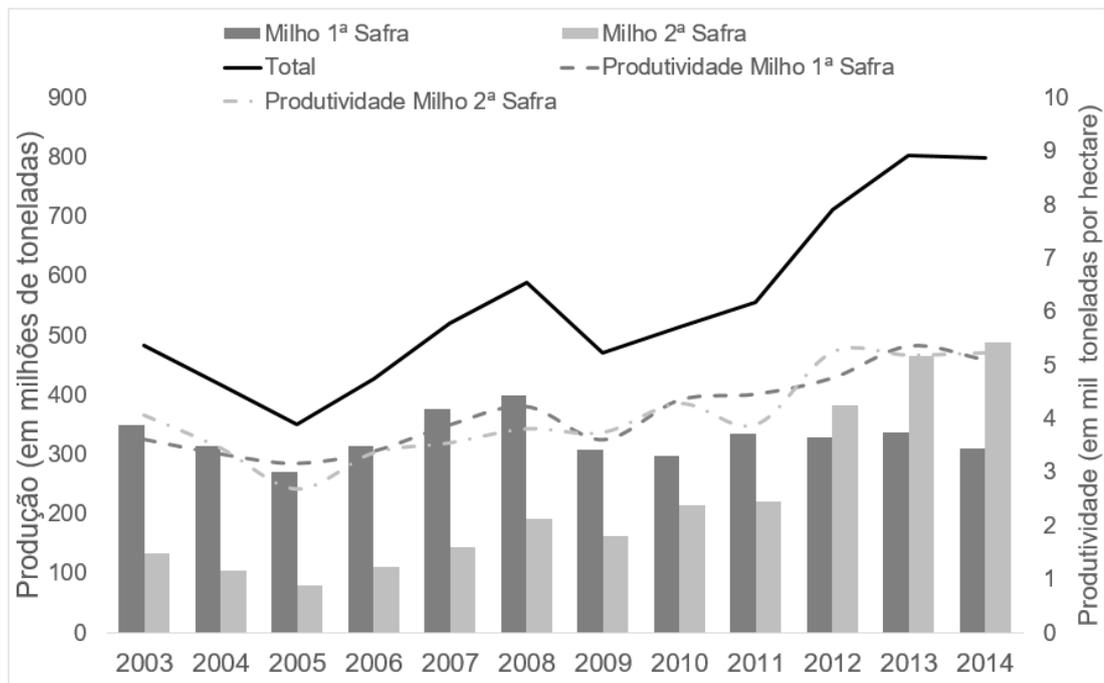


Figura 5 Evolução da produção (em milhões de toneladas) e produtividade (em mil t ha⁻¹) do milho 1ª e 2ª safras no Brasil.
 Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

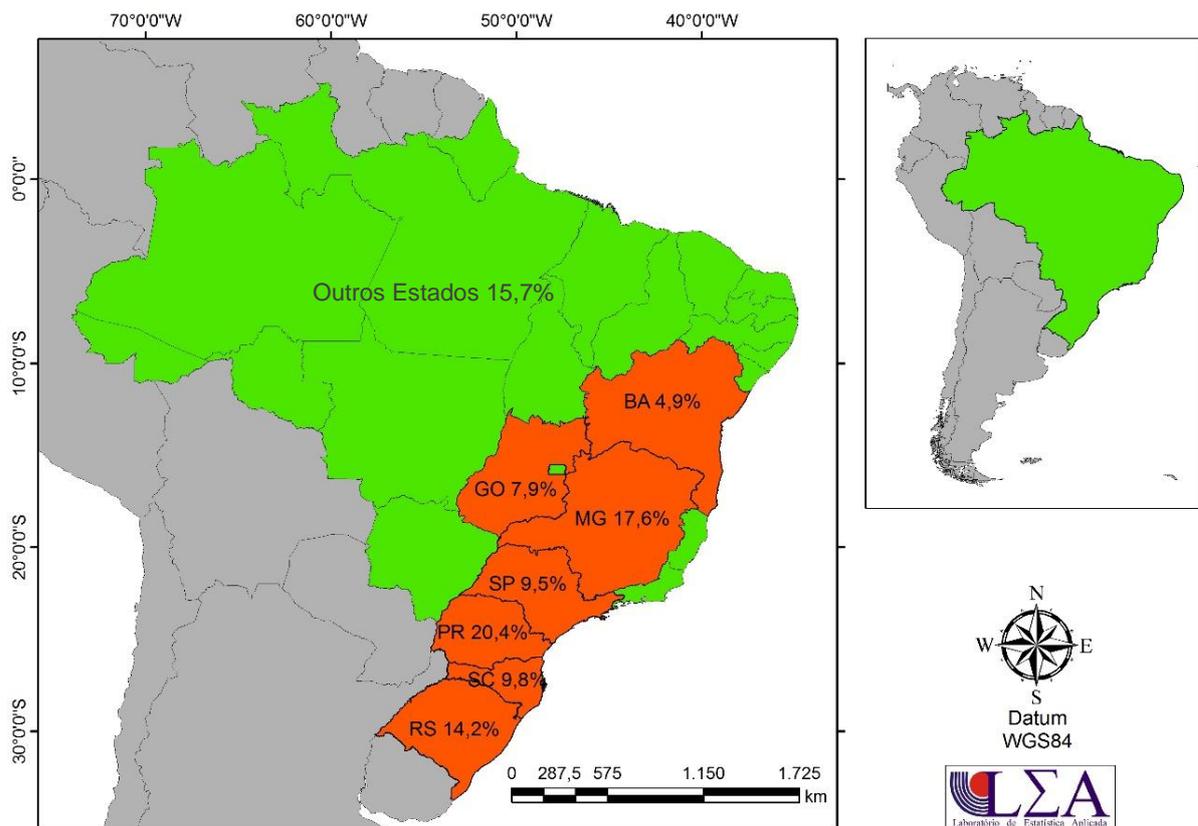


Figura 6 Participação da produção total do milho nos estados a nível federal.
 Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

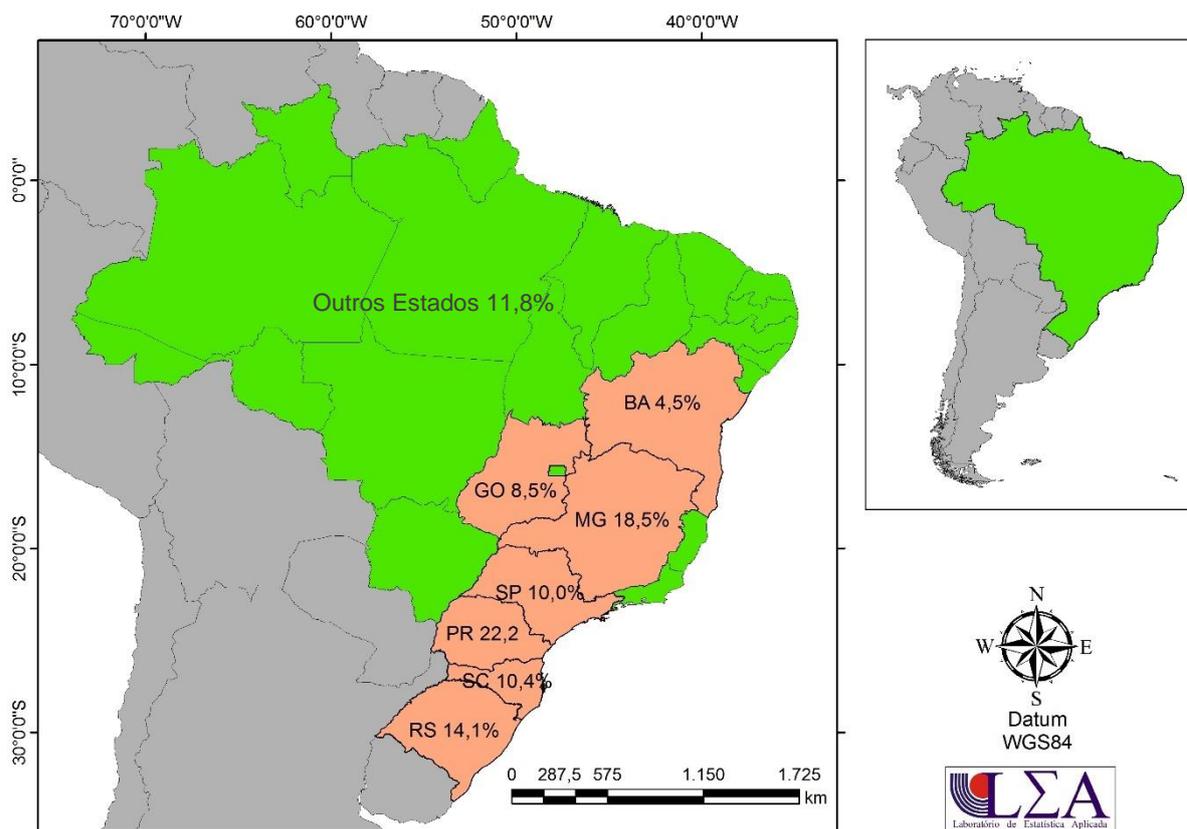


Figura 7 Participação da produção de milho 1ª safra nos estados a nível federal.
 Fonte: Adaptado de IBGE (2016)

3.2 Estado do Paraná

Situado na região sul do Brasil, o estado do Paraná é uma das 27 unidades federativas do país e ocupa uma área de 199.307,985 km², o que corresponde a 2,3% da superfície total brasileira (IBGE, 2017; PARANÁ, 2017). Conta com 399 municípios, agrupados em 10 mesorregiões, constituído de cinco zonas naturais, o Litoral, a Serra do Mar, o Primeiro, Segundo e Terceiro Planaltos. A população estimada no ano de 2016 era de 11.242.720 habitantes (IBGE, 2017).

O estado destaca-se na produção de trigo, milho, feijão, algodão, soja, café, mandioca, cana-de-açúcar e erva-mate, além da avicultura, suinocultura e bovinocultura de leite e de corte. Toda a produção é escoada pelos 15.818,18 km de rodovias e 2.287 km de ferrovias, além de dois portos de transporte marítimo: Paranaguá e Antonina, os quais movimentaram, no ano de 2014, mais de 44,9 milhões de toneladas de mercadorias (PARANÁ, 2017; AGENCIA CURITIBA, 2017).

Apesar de conter apenas 2,3% da área total do Brasil, a área agrícola detém uma parcela mais considerável, de 106.505 km², equivalente a 13,9% do país e 53,44% do estado (IBGE, 2017).

O clima no Paraná, em função das proporções de seu território, enquadra-se em quatro tipos: Aw (5,7% da área do estado), Cfa (predominante, com 50%), Cfb (39,8%) e Cwa (4,5%) (Figura 8). O clima Aw tem a característica de coincidir a época de menor precipitação com o inverno, quando se tem menos de 60 mm por mês no inverno. O clima Cfa (verão quente) e o Cfb (verão moderado) não apresentam época de seca. Por fim, o clima Cwa tem por característica verões quentes, acima de 22 °C e baixas precipitações no verão, geralmente menos de 60 mm por mês. A média anual de temperatura varia entre 15 e 24 °C entre os municípios (Figura 9). A amplitude pluviométrica abrange de 1.100 a 1.920 mm por ano (Figura 10) (APARECIDO et al., 2016).

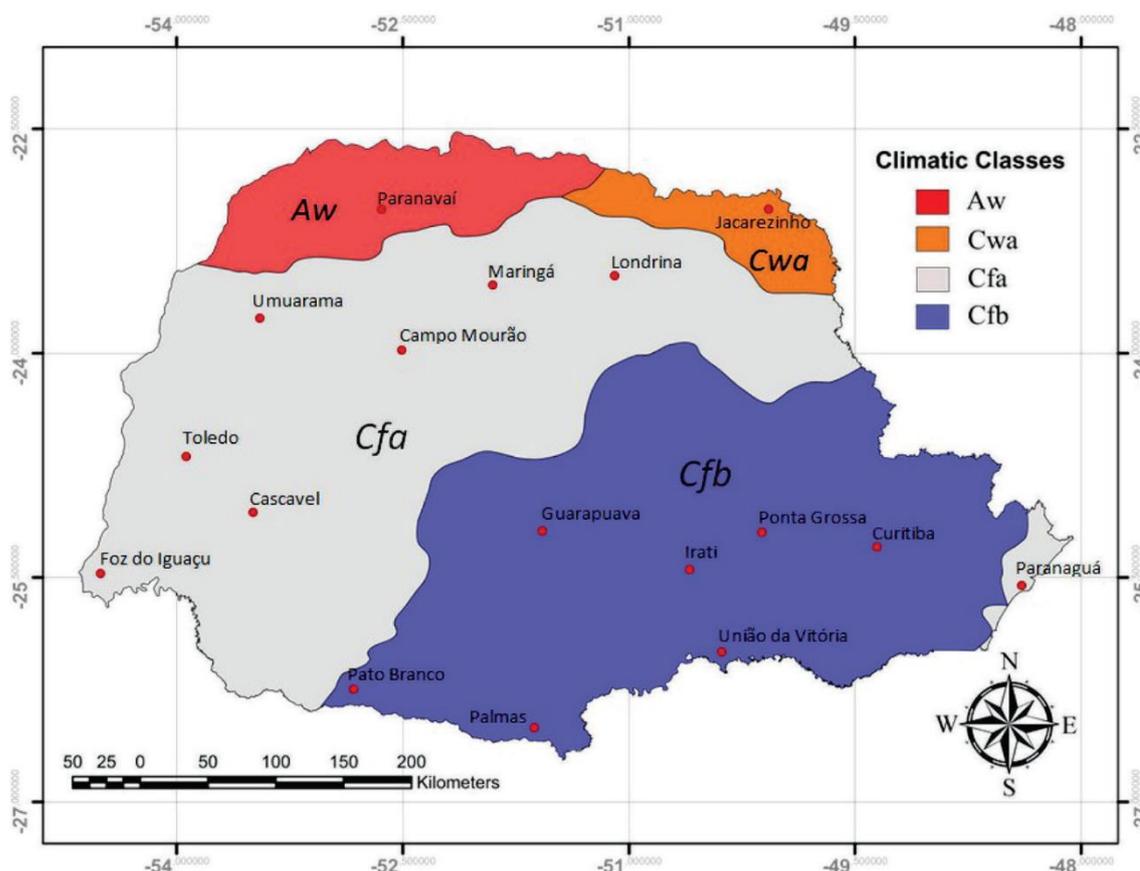


Figura 8 Classificação do clima no estado do Paraná.
Fonte: Aparecido et al. (2016).

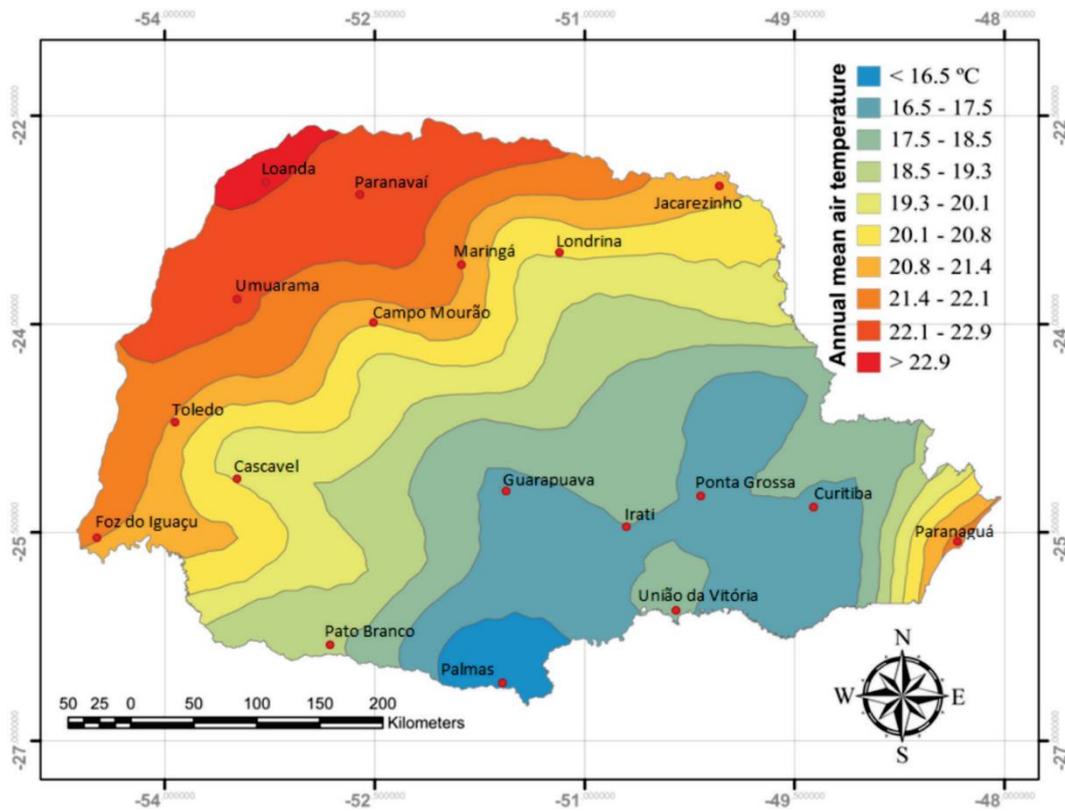


Figura 9 Temperatura média anual no estado do Paraná.
 Fonte: Aparecido et al. (2016).

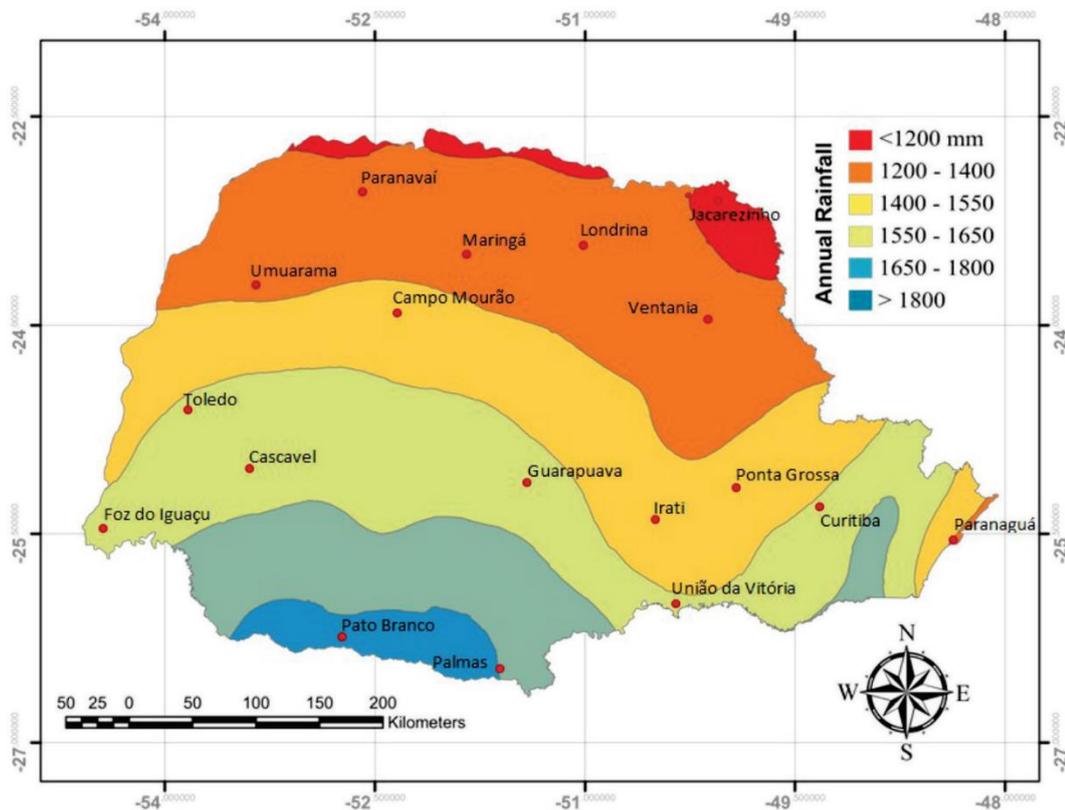


Figura 10 Precipitação acumulada anual no estado do Paraná.
 Fonte: Aparecido et al. (2016).

O conhecimento da classificação do solo, suas propriedades morfológicas, físicas químicas e mineralógicas é uma fonte de informação básica para a compreensão, bem como solução, de muitos dos problemas na agricultura, podendo-se adequar condições de regime hídrico e possibilidade de mecanização. Assim, o conhecimento da classificação o solo facilita o uso mais adequado deste. O solo do Paraná tem predominância de latossolos (31,05%), seguido de neossolos (22,25%), argissolos (15,5%) e nitossolos (15,2%). Os demais tipos de solos, corpos hídricos e áreas urbanas contam com 16% da área paranaense (BHERING et al., 2007).

3.3 Produção de soja e milho no Paraná e calendário agrícola

O estado do Paraná segue a tendência do país, apresentando aumento na produção de grãos na faixa de 0,6% para o ano-safra 2015/2016, totalizando 37,8 milhões de toneladas. Nos últimos 10 anos, o Paraná figurou como um importante contribuinte na produção de soja do país (Figura 3) (CONAB, 2016).

Segundo Delgado (2011), o Paraná apresenta bom desempenho de produção quando comparado aos demais estados devido a aumentos de produtividade, uma vez que se considera praticamente esgotada a possibilidade de expansão da fronteira agrícola. Tais aumentos em produtividade devem-se, especialmente, ao melhoramento genético, zoneamento agrícola, plantio direto, desenvolvimento de maquinário mais eficiente para semeadura e colheita e capacitação do produtor no gerenciamento.

Tal como a nível federal, a área semeada e produção do milho vem sofrendo recasso no período primeira safra e aumento na segunda safra (Figura 11 e Figura 12). Na questão de produtividade, o milho 1ª safra tem um valor superior em relação à média do país, enquanto que o milho 2ª safra tem produtividade comparável.

A escolha da época de semeadura é de grande importância no maneja das culturas de verão. Dois problemas podem ocorrer na escolha da data errada para a semeadura: necessidade de recursos financeiros adicionais para manutenção da lavoura e/ou queda de produtividade que, em casos extremos, leva a perda total da safra (BURIOL et al., 1988).

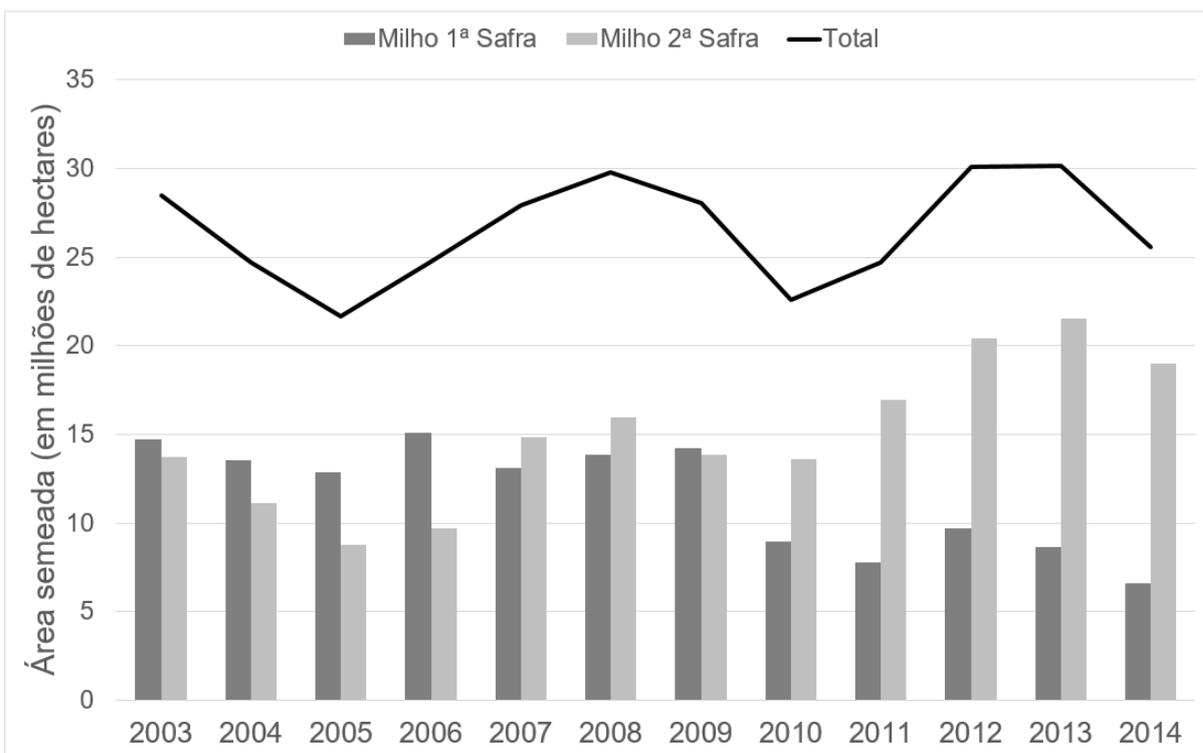


Figura 11 Evolução da área semeada de milho 1ª e 2ª safras no Paraná, em milhões de hectares.

Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

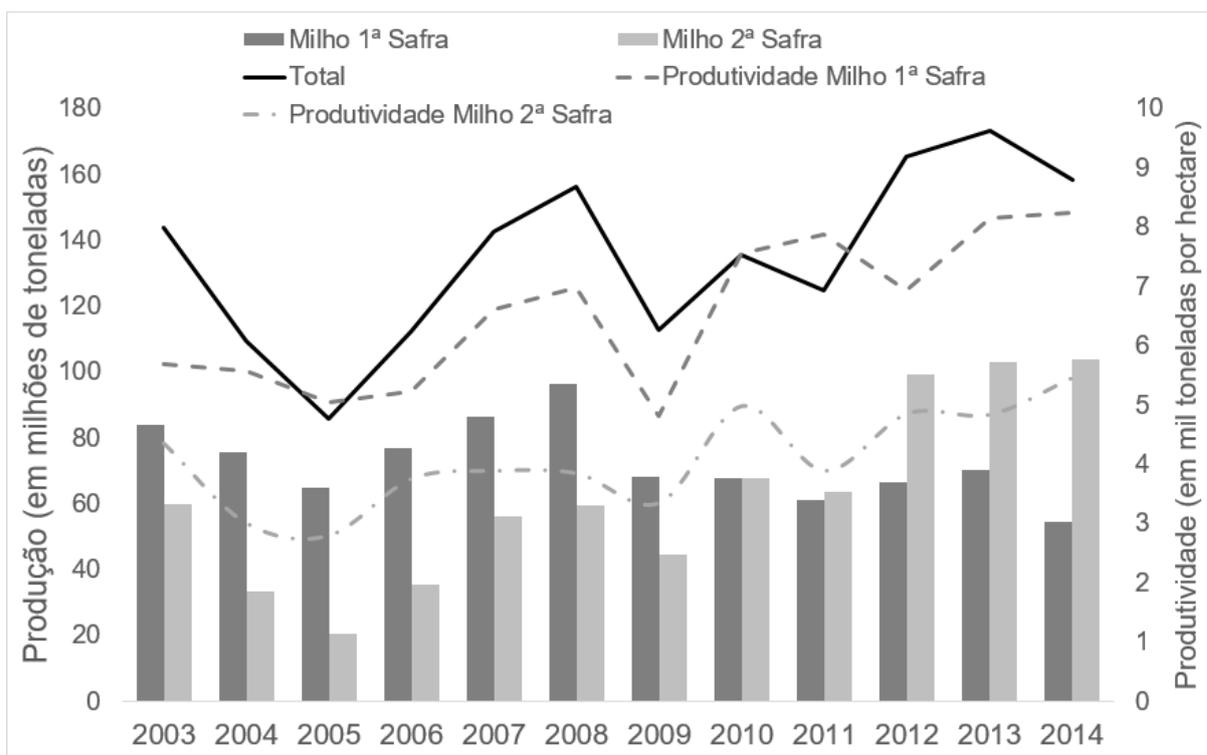


Figura 12 Evolução da produção (em milhões de toneladas) e produtividade (em mil t ha⁻¹) do milho 1ª e 2ª safras no Paraná.

Fonte: Adaptado de IBGE (2016).

Nos últimos anos tem havido uma reorganização das safras, com a produção de milho em sucessão a soja. Levantamentos apontam para redução de 20% sobre a área plantada de milho primeira safra no Brasil em relação ao ano safra anterior (CONAB, 2015). De toda a área semeada de milho no Brasil, 40% refere-se à 1ª safra, e 60% a 2ª safra. No Paraná, esse cenário se mantém, sendo 26% do total de área semeada de milho na 1ª safra e 74% na 2ª safra (IBGE, 2016). Esse sistema de sucessão de soja e milho traz benefício à produtividade, por se tratar de uma leguminosa e uma gramínea, realizando uma boa rotação de culturas (FRANCHINI et al., 2011).

O período preferencial para a semeadura da soja no estado do Paraná está aproximadamente entre os dias 25/out a 05/dez (EMBRAPA SOJA, 2015). O milho é cultivado em duas épocas, sendo a primeira safra semeada um pouco antecipada em relação à soja e a segunda safra nas áreas de soja, após estas serem colhidas.

Yamaoka (2012) apresenta o calendário agrícola quinzenal para as culturas de soja e milho no estado do Paraná (Tabela 1).

Tabela 1 Calendário agrícola para as culturas de soja e milho no estado do Paraná

Culturas/ Meses	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	Ciclo (dias)
Soja antecipada		x x	x x	x x	x x	x					115-137
Soja normal			x x	x x	x x	x x	x x				115-125
Soja tardia					x x	x x	x x	x x	x		126-150
Milho antecipado	x x	x x	x x	x x	x x						135-150
Milho normal		x x	x x	x x	x x	x x					125-150
Milho tardio			x x	x x	x x	x x	x x	x			115-135
Milho 2ª safra					x x	x x	x x	x x	x x	x x	110-125

Fonte: Adaptado de Yamaoka (2012).

A SEAB/Deral divulga anualmente o percentual de área semeada e colhida das principais culturas agrícolas do Paraná, incluindo soja e milho. Nelas, é possível visualizar a diferença de ambas as culturas em um mesmo ano, como também a diferença entre os anos (Tabela 2). Também é possível observar e comparar o percentual de semeadura e colheita do milho 2ª safra (Tabela 3) nas últimas 5 safras.

Tabela 2 Porcentagem mensal de semeadura e colheita da soja e milho 1ª safra para o estado do Paraná

Ano-safra	Cultura	Situação	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
2011/2012	Soja	Semeadura	4	47	43	6					
		Colheita					3	19	43	32	3
	Milho 1ª Safra	Semeadura	47	39	12	2					
		Colheita					1	21	33	36	8
2012/2013	Soja	Semeadura	3	43	51	3					
		Colheita					1	38		59	2
	Milho 1ª Safra	Semeadura	26	60	13	1					
		Colheita						19		73	8
2013/2014	Soja	Semeadura	2	45	50	5					
		Colheita					4	38	37	20	1
	Milho 1ª Safra	Semeadura	27	58	14	1					
		Colheita					1	27	35	30	7

Fonte: Adaptado de SEAB/Deral (2016).

Tabela 3 Porcentagem mensal de semeadura e colheita do milho 2ª safra para o estado do Paraná

Ano-safra	Cultura	Situação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2012	Milho 2ª SAFRA	Semeadura	4	22	62	12					
		Colheita					1	3	22	57	17
2013	Milho 2ª SAFRA	Semeadura	2	49	42	7					
		Colheita						3	26	55	16
2014	Milho 2ª SAFRA	Semeadura	8	49	40	3					
		Colheita					1	4	41	41	13

Fonte: Adaptado de SEAB/Deral (2016).

3.4 Exigências climáticas da soja e do milho

Dos elementos relacionados ao clima, a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS et al., 2000; EMBRAPA SOJA, 2007).

O fator determinante da produtividade na cultura da soja é a disponibilidade hídrica (EMBRAPA SOJA, 2008). Os dois períodos mais críticos no desenvolvimento da cultura são: germinação-emergência e a floração-enchimento (JOHANN, 2012). Na germinação-emergência, o déficit ou o excesso de água podem prejudicar a obtenção de uniformidade na população de plantas, e, na floração-enchimento, o estresse hídrico pode provocar queda nas flores, vagens e folhas, reduzindo o enchimento dos grãos (SEDIYAMA et al., 1996; MARCHIORATO, 2008). Para obtenção do máximo rendimento, a necessidade de água total da cultura varia entre 450 a 800 mm/ciclo (EMBRAPA SOJA, 2004).

O fotoperíodo (comprimento do dia) é outro fator importante para a cultura da soja. A planta tem sua floração induzida quando o fotoperíodo é menor que um comprimento crítico, que é o tempo de incidência solar necessária para iniciar a floração (AMORIN et al., 2011). Devido a isto, seu crescimento e desenvolvimento sofrem alterações nas diferentes latitudes

em que é cultivada e em diferentes épocas de semeadura para uma mesma latitude (MARCHIORATO, 2008).

No que se refere à temperatura, o ideal para seu desenvolvimento está em torno de 30 °C, porém pode ser cultivada em regiões que oscilem em torno de 20 e 30 °C. Abaixo de 10 °C (temperatura de base inferior) crescimento vegetativo é pequeno ou nulo, já acima de 40 °C (temperatura de base superior) ocorre redução da taxa de crescimento durante os estádios vegetativos e reprodutivos (EMBRAPA SOJA, 2008). Além disso, a floração e a maturação podem ser adiantadas, o que causa uma menor produtividade.

O desenvolvimento do milho depende da disponibilidade de água, da temperatura e da radiação solar. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, varia entre 24 a 30 °C (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2011). O consumo de água pela planta, nos estádios iniciais de crescimento, enquadra-se em torno de 2,5 mm/dia. Próximo ao estágio de espigamento e maturação, o consumo de água varia de 5 a mm/dia (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2011).

A radiação solar é o fator de maior importância para a cultura do milho, responsável pelo processo fotossintético, sendo que a redução da intensidade luminosa, em níveis de 30 a 40% da intensidade ideal, há um atraso na maturação dos grãos e queda na produtividade (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2011).

3.5 Estádios fenológicos da soja e do milho

O ciclo de vida da soja geralmente é classificado em 5 grupos: de 75 a 115 dias (precoce), de 116 a 125 dias (semiprecoce), de 126 a 137 dias (médio), de 138 a 150 dias (semitardio) e mais de 150 dias (tardio). Este ciclo é dividido em duas fases de desenvolvimento: o estágio vegetativo (V) e o estágio reprodutivo (R). O estágio vegetativo subdivide-se em VE (emergência), VC (cotilédone), V1, V2, V3 até Vn. O estágio reprodutivo apresenta oito subdivisões: R1 e R2 (florescimento), R3 e R4 (desenvolvimento da vagem), R5 e R6 (desenvolvimento da semente) e R7 e R8 (maturação da planta) (Tabela 4) (FEHR; CAVINESS, 1981; INPI, 2009). Almeida (2005) destaca que o tempo de duração dos estádios acima não é fixo, podendo variar entre cultivares e em função de fatores climáticos ocorridos durante o ciclo da cultura, o que, por consequência, interfere no tempo total do ciclo da cultura da soja.

O milho, segue o mesmo padrão de desenvolvimento, variando basicamente a duração do ciclo. O desenvolvimento da planta divide-se em estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R), sendo o estágio vegetativo subdividido em VE (emergência), V1, V2, V3, ..., Vn, VT (pendoamento). O estágio reprodutivo subdivide-se em R1 a R6, sendo R1 (polinização), R2 (grão bolha de água), R3 (grão leitoso), R4 (grão pastoso), R5 (formação de dente) e R6 (maturação fisiológica) (EMBRAPA MILHO E SORGO, 2011).

Tabela 4 Estádios de desenvolvimento da cultura da soja

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE – emergência	R1 – início do florescimento
VC – cotilédone	R2 – pleno florescimento
V1 – primeiro nó	R3 - Início da formação das vagens
V2 – segundo nó	R4 – plena formação das vagens
V3 – terceiro nó	R5 – início do enchimento das sementes
*	R6 – pleno enchimento das vagens
*	R7 – início da maturação
Vn – enésimo nó	R8 – maturação plena

Fonte: Adaptado de Fehr e Caviness (1981) e INPI (2009).

Tabela 5 Estádios de desenvolvimento da cultura do milho

Estádios Vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE – emergência	R1 – embonecamento e polinização
V1 – primeira folha desenvolvida	R2 – grão bolha d'água
V2 – segunda folha desenvolvida	R3 - grão leitoso
V3 – terceira folha desenvolvida	R4 – grão pastoso
*	R5 – formação de dente
*	R6 – maturação fisiológica
Vn – enésima folha desenvolvida	
VT – pendoamento	

Fonte: Adaptado de EMBRAPA Sorgo e Milho (2011).

3.6 Sistema de monitoramento de safras

A estimativa da produção é uma das informações mais importantes nos setores público e privado, pois auxilia o governo a melhorar as ações de políticas públicas e contribui no planejamento logístico das empresas privadas.

Atualmente, a previsão de safras no Brasil é realizada por meio de questionários aplicados a produtores e entidades relacionadas à atividade agrícola (IBGE, 2002). Tal metodologia é difícil, lenta, onerosa e subjetiva (JOHANN et al., 2012).

O uso de sensoriamento remoto aplicado a agricultura é uma técnica que vem sendo desenvolvida há aproximadamente 40 anos, sendo um dos primeiros estudos o de Tucker et al. (1979). Neste trabalho, os autores estudaram a resposta de índices de vegetação com o estágio fenológico das culturas de soja e milho e propuseram a utilização de dados de sensoriamento remoto orbital para monitorar as culturas.

As culturas agrícolas apresentam ciclos fenológicos bem definidos (Figura 13) e, para obter um acompanhamento adequado das culturas, é necessário a aquisição de dados em datas críticas do ciclo (HOLBEN, 1986; JOHANNSEN et al., 2003). A realização de um acompanhamento em múltiplas datas (HOLBEN, 1986) de índice de vegetação obtidos via sensoriamento remoto orbital, tem permitido descrever a trajetória espectro-temporal (perfil), traduzindo as condições da vegetação ao longo de seu ciclo fenológico (JENSEN et al., 2002), como demonstram diversos estudos (TUCKER et al., 1979; LABUS et al., 2002;

JAKUBAUSKAS et al., 2001; YI et al., 2007; ADAMI, 2010; FERNANDES et al., 2011; ESQUERDO et al., 2011; SHAO & LUNETTA, 2011; JOHANN, 2012; SHAO et al., 2016).

Abaixo, observa-se os perfis temporais de cana-de-açúcar, soja, mata, cidade e pastagem (Figura 13). Nela, é possível observar a sazonalidade da cultura da soja (em amarelo). A cultura do milho, não presente na figura, segue comportamento semelhante ao da soja, porém com valor de NDVI mais baixo. Estes comportamentos espectro-temporais dos alvos podem ser utilizados para a diferenciação e mapeamentos das culturas agrícolas.

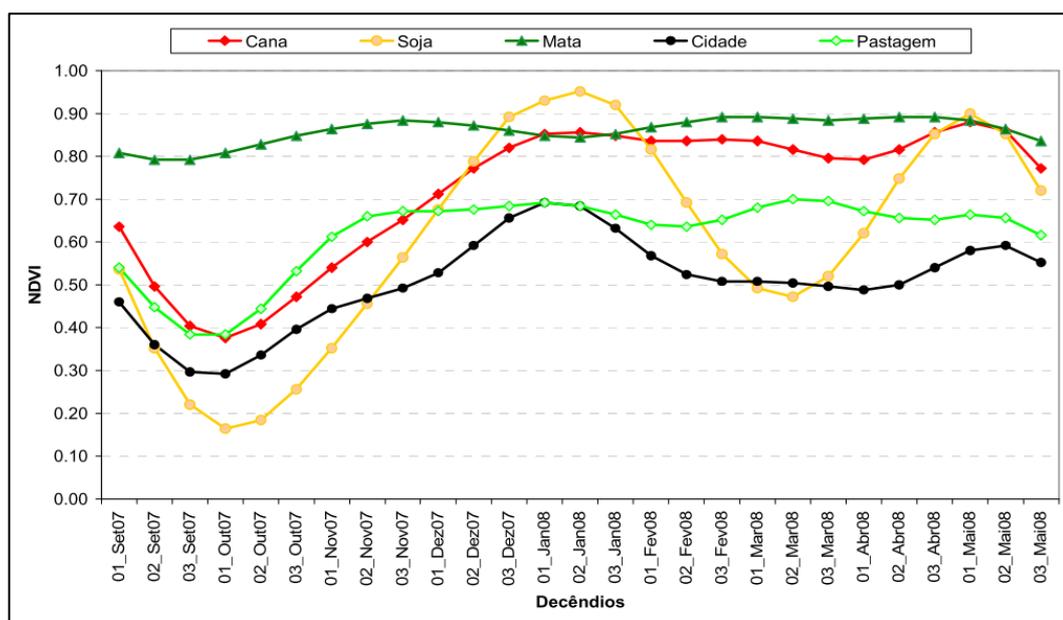


Figura 13 Padrão espectro-temporal de índice de vegetação de alvos agrícolas. Fonte: JOHANN et al. (2009).

Pesquisas como as de Johann et al. (2012), Souza et al. (2015) e Grzegozewski et al. (2016) fizeram uso de índices de vegetação para a realização de mapeamentos agrícolas. Porém, estes mapeamentos ainda têm desafios a serem superados, dentre os quais, a proposição de uma metodologia de separação espectral entre as culturas de soja e milho, por serem culturas que possuem padrão espectro-temporal e ciclo vegetativo semelhantes. Para Adami (2010), essa confusão nos mapeamentos resulta em sub ou superestimação das áreas semeadas destas culturas. Estudos desenvolvidos por Souza et al. (2015) e Grzegozewski et al. (2016) obtiveram avanços importantes no que se refere ao mapeamento e separação de culturas de verão, com uso de índices de vegetação, porém, em alguns anos-safras, quando a semeadura das culturas ocorre na mesma época, persiste a dificuldade na realização desta separação.

Nonato & Oliveira (2013) acreditam que a identificação automática de áreas cultivadas é uma das etapas mais importantes no processo de previsão de safras agrícolas. Melhorias obtidas em mapeamentos contribuem diretamente no resultado da previsão, uma vez que a produção agrícola é reflexo da área cultivada (ASSAD et al., 2007).

3.7 Sensor MODIS

O sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) é um espectrorradiômetro com 36 bandas que operam no espectro de 0,4 a 14,4 μm , a bordo dos satélites TERRA (EOS-AM) e AQUA (EOS-PM), lançado em dezembro de 1999 e maio de 2002, respectivamente, como parte do projeto EOS (Earth Observing System) da NASA. Eles foram projetados para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do visível e do infravermelho, a fim de visualizar a superfície da Terra em 1 ou 2 dias, dependendo da posição geográfica. Estão a uma altitude de 705 km, em uma órbita polar, passando pelo equador as 10:30hs (Terra) e as 13:30hs (Aqua) (horário local) e faixa imageada de 2330 x 5000km (NASA, 2016).

Os dados são recebidos e processados pelo sistema de operação EDOS (Eos Data and Operations System), que realiza a geolocalização, calibração das imagens e geração de 44 produtos, com resolução espacial de 250m, 500m e 1km (NASA, 2016). Estes produtos, de acordo com Jensen et al. (2009) e NASA (2016) estão distribuídos entre observações das feições atmosféricas (cobertura de nuvens e propriedades associadas), oceânicas (temperatura da superfície do mar e clorofila) e terrestres (mudanças de cobertura da terra, temperatura da superfície do terreno e propriedades da vegetação).

A disponibilização das imagens é realizada de forma gratuita e ininterrupta, e os diversos produtos oferecidos proporcionam novas possibilidades para o monitoramento da atividade agrícola em escalas regionais (NASA, 2016). A Figura 14 ilustra a posição das 7 principais bandas do sensor Modis, sendo as bandas B1, B4 e B3 as bandas de cor visível vermelho (R), verde (G) e azul (B).

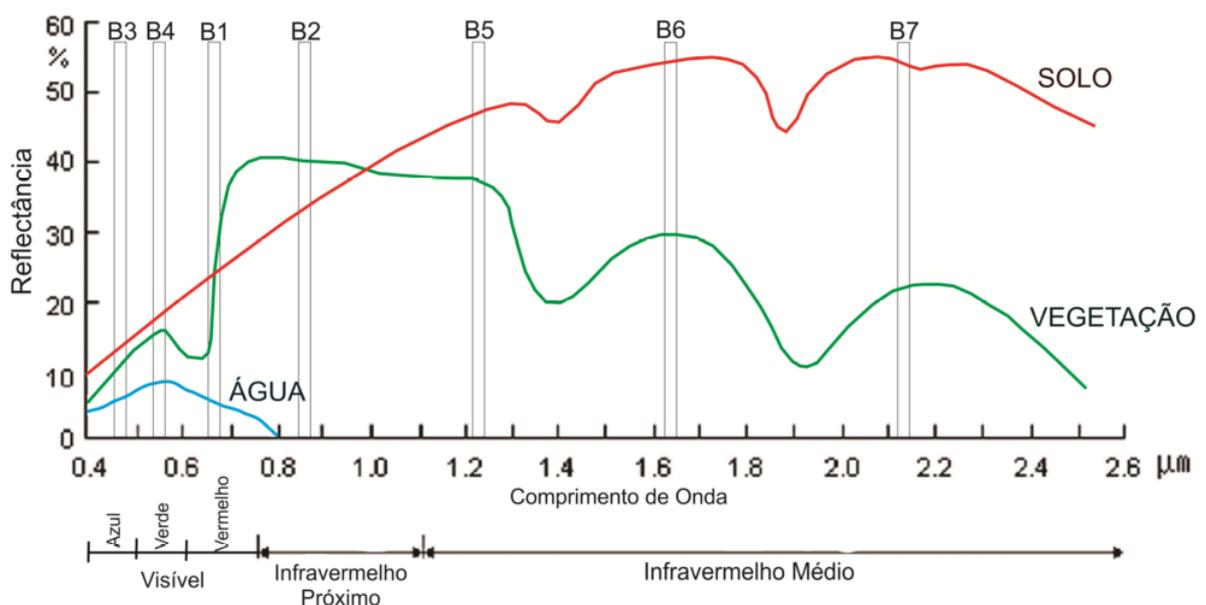


Figura 14 Posição das 7 principais bandas espectrais do sensor Modis no espectro de diferentes alvos.

3.7.1 Índice de vegetação

Uma das formas de se reduzir a dimensionalidade dos dados e realçar a resposta espectral da vegetação é por meio de índices de vegetação (ADAMI, 2010). Os índices de vegetação são combinações matemáticas de diferentes bandas espectrais a fim de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação a outros alvos da superfície terrestre (VIÑA et al., 2016). Os índices permitem monitorar as variações sazonais fenológicos e biofísicos da vegetação (HUETE et al., 2002).

Dentre os produtos disponibilizados pelo MODIS, as imagens do índice de vegetação EVI (Enhanced Vegetation Index) (Equação 1), proposto por Huete et al. (1999), tem se mostrado interessante para monitoramento agrícola, pois substitui com vantagens o NDVI por não sofrer a saturação que este sofre e ser mais sensível a variação da estrutura, arquitetura do dossel e a fisionomia da planta (HUETE et al., 2002).

$$EVI = 2,5 \frac{\sigma_{NIR} - \sigma_{Red}}{1 + \sigma_{NIR} + 6\sigma_{Red} - 7,5\sigma_{Blue}} \quad \text{Eq.(1)}$$

em que:

σ_{NIR} - Banda do infravermelho próximo;

σ_{Red} - Banda do vermelho;

σ_{Blue} - Banda do Azul.

3.8 Análise de padrões sazonais

A análise de padrões sazonais (Seasonal Trend Analysis – STA), criada por Eastman et al. (2009), é um método para analisar padrões sazonais em dados de séries temporais, que pode caracterizar o ciclo de culturas agrícolas. Rashmi et al. (2016) aplicando a STA para relacionar os impactos climáticos na produção das principais culturas em Bangladesh, verificaram que as temperaturas máximas e mínimas têm efeitos positivos na cultura do arroz, que a temperatura é negativamente associada à produtividade do trigo e que chuvas têm relação negativa com as culturas de arroz e trigo. Eastman et al. (2013) aplicaram a STA em um banco de dados de 30 anos de imagens NDVI do GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies), a fim de classificar diferentes padrões na vegetação mundial. Como resultado, Eastman et al. (2013) classificaram três classes mais predominantes de padrões de vegetação, as de ciclo médio, de ciclo anual e as de ciclo semianual. A análise de padrões também é citada por Horion et al. (2014) e Brandt et al. (2016), para avaliação da mudança em cobertura de árvores e Tsutsumida & Comber (2015) e Viña et al. (2016) para dados de cobertura do solo.

O software TIMESAT pode ser utilizado para extração e análise dos padrões sazonais obtidos de imagens de índices de vegetação. O software permite a aplicação de 3 filtros de suavização: Savitzky–Golay (SAVITZKY & GOLAY, 1964), Gaussian Asymmetric (JÖNSSON & EKLUNDH, 2002), Double Logistic (BECK et al., 2006) e com base em uma parametrização pré-estabelecida pelo usuário, faz a extração de 11 parâmetros sazonais do perfil espectral-temporal das culturas, dos quais 9 deles são exemplificados nas Figura 15 e Tabela 6.

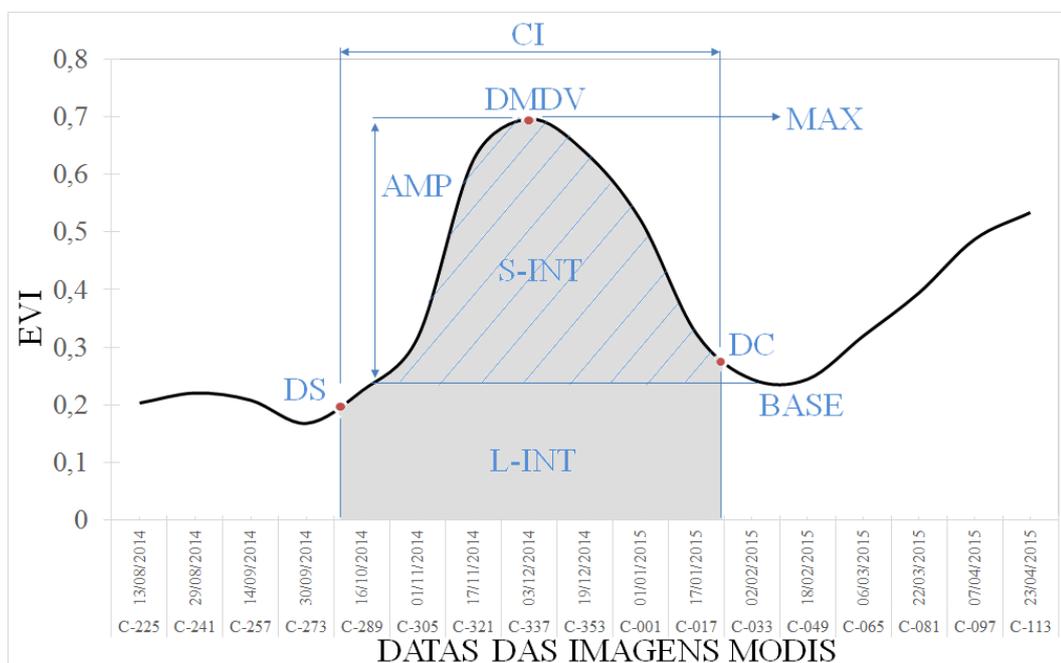


Figura 15 Padrão de um perfil espectral-temporal de índice de vegetação EVI para uma cultura de verão.

O procedimento para extração de informações pode ser feito individualmente, para pequenos bancos de dados, ou automaticamente, para grandes bancos de dados. Para automatizar o procedimento, o Timesat configura um arquivo com as parametrizações gerais (settings file), o qual é aplicado para todo o conjunto de dados (EKLUNDH & JÖNSSON, 2015ab; SHAO et al., 2016).

Pesquisas realizadas por Johann (2012), Grzegozewski et al. (2013) e Johann et al. (2016) mostram potencial do uso da ferramenta para a extração de informações sobre as culturas agrícolas, e a utilização de tais informações nas mais variadas aplicações, desde separação de culturas a previsão de datas de colheita, que são focos deste trabalho. Mishra & Chaudhuri (2015) utilizaram o Timesat para a análise e extração de informações em dados de séries temporais, nas quais puderam identificar mudanças na vegetação.

Tabela 6 Informações de saída do Timesat, referentes ao perfil espectro-temporal de IV das culturas

Variável TIMESAT	Descrição	Sigla
<i>Start</i>	Data de semeadura	DS
<i>End</i>	Data da colheita	DC
<i>Length</i>	Ciclo da cultura	CI
<i>Base val.</i>	Valor do índice de vegetação de base	BASE
<i>Peak t.</i>	Data de máximo desenvolvimento vegetativo	DMDV
<i>Peak val.</i>	Valor do índice de vegetação na DMDV da cultura	MAX
<i>Ampl.</i>	Diferença entre o valor do índice de vegetação no pico vegetativo e o valor do índice de vegetação de base	AMP
<i>L. deriv.</i>	Taxa de crescimento do início do ciclo da cultura. Calculado pela razão de diferença entre os níveis 80% e 20% pelo tempo decorrido entre estas medidas	L-DER
<i>R. deriv.</i>	Taxa de decréscimo no fim do ciclo da cultura. Calculado pela razão da diferença entre os níveis 80% e 20% pelo tempo decorrido entre estas medidas	R-DER
<i>L. integral</i>	Área sob o perfil de índice de vegetação até o eixo X do gráfico, desde a data de semeadura até a data da colheita	L-INT
<i>S. integral</i>	Área sob o perfil de índice de vegetação até o valor do índice de vegetação de base	S-INT

Fonte: Adaptado de Eklundh & Jönsson (2015a).

3.9 Descoberta de conhecimento em banco de dados

Uma linha de estudo que vem sendo recentemente abordada para superar os desafios na melhoria dos mapeamentos é a utilização de mineração de dados (GALVÃO & MARIN, 2009; SOUZA et al., 2010; NONATO & OLIVEIRA, 2013). A mineração de dados é a principal etapa do processo de descoberta de conhecimento em banco de dados (*Knowledge Discovery From Data – KDD*) e objetiva encontrar relações ou padrões ocultos em bases de dados, convertendo dados brutos em informações úteis (FAYYAD et al., 1996; TAN et al., 2009). Para Fayyad et al. (1996), a descoberta do conhecimento é uma sequência de processos iterativos que seguem os seguintes passos: 1 - Pré-Processamento (limpeza, integração, seleção) 2 - Transformação dos dados (extração, normalização), 3 - Mineração (técnicas e métodos de descoberta de conhecimento), 4 - Avaliação e Interpretação (avaliação dos padrões obtidos e apresentação do conhecimento) (Figura 16).

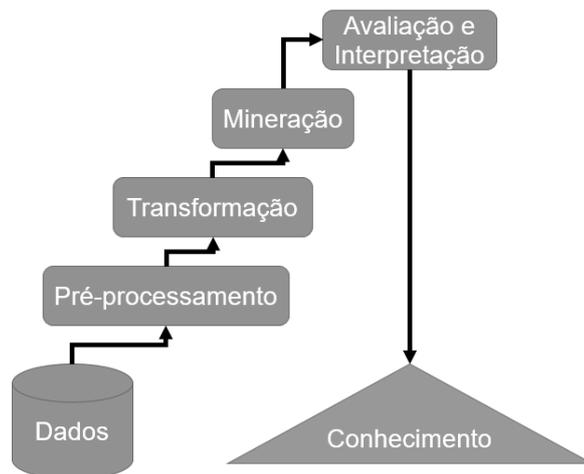


Figura 16 Processo de descoberta de conhecimento em banco de dados – KDD.
 Fonte: Adaptado de FAYYAD et al. (1996).

As tarefas de mineração de dados são geralmente divididas em duas categorias principais: tarefas de previsão e de descrição (Figura 17). As tarefas de previsão objetivam prever o valor de um determinado atributo baseado nos valores de outros atributos. As tarefas descritivas objetivam derivar padrões (correlações, tendências, grupos, trajetórias e anomalias) que resumam os relacionamentos subjacentes nos dados (TAN et al., 2009).

As tarefas de previsão ainda subdividem em classificação, usada para variáveis discretas, e regressão, usada para variáveis contínuas (Figura 17). As tarefas de descrição subdividem em associação (extração de padrões), agrupamento (agrupa conjuntos de dados similares) (TAN et al., 2009) e sumarização (descrição compacta para um conjunto de dados) (FAYYAD et al., 1996) (Figura 17).

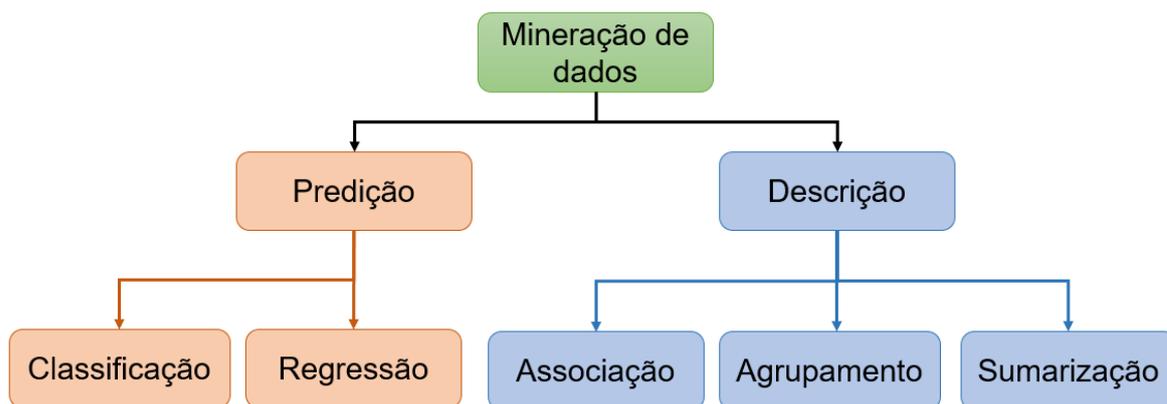


Figura 17 Tarefas de mineração de dados.
 Fonte: Adaptado de Fayyad et al. (1996) e Tan et al. (2009).

Para Crivelenti et al. (2009), as árvores de decisão (também chamadas de árvores de classificação ou de regressão) são técnicas de mineração de dados utilizadas para classificação e predição das amostras conhecidas através de aprendizado de máquina, ou seja, dados de treinamento. Para tal, efetua-se a construção de padrões com os dados de

treinamento e, a partir da árvore obtida, pode-se classificar novas amostras desconhecidas. Tais árvores consistem em uma hierarquia de nós internos e externos que são conectados por ramos. Cada nó representa uma decisão sobre uma variável através de teste lógico, que ramifica para o próximo nó descendente ou resultado final, chamada folha (Figura 18).

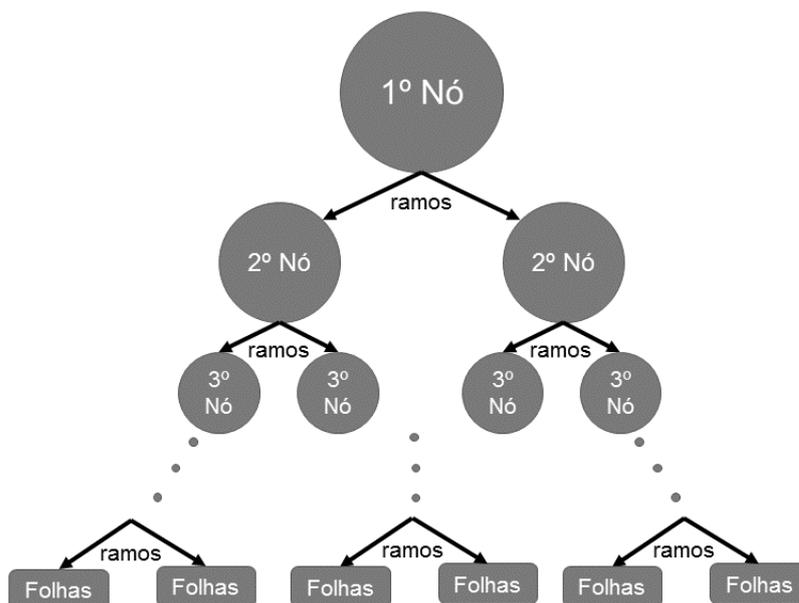


Figura 18 Ilustração da hierarquia da árvore de decisão, no qual os nós representam um teste lógico, conectados por tomadas de decisão (ramos), obtendo um resultado final (folha).

As árvores de decisão apresentam como vantagens a versatilidade e elevada legibilidade, permitindo identificar os fatores mais influentes, além de permitir a classificação de uma amostra desconhecida sem a necessidade da análise de todos os atributos (NONATO e OLIVEIRA, 2013; CRIVELENTI et al., 2009).

3.10 Mineração de dados aplicado na agricultura

Entre as diversas técnicas utilizadas para inferência de informações agrícolas, a mineração de dados pode ser empregada com o objetivo de encontrar padrões em dados armazenados em bancos de dados (HAN & KAMBER, 2011). A utilização da mineração de dados na agricultura é tema de diversas pesquisas, como para classificação (CRIVELENTI et al., 2009; KUMAR et al., 2010; SOREL et al., 2010; VEENADHARI et al., 2011; VIEIRA et al., 2012; NONATO & OLIVEIRA, 2013; RAMESH & VARDHAN, 2013; BHUYAR, 2014; MEGETO et al., 2014; MANABE et al., 2015; GUPTA et al., 2016), regressão (FU et al., 2014; LEKSAKUL et al., 2015), associação (RAJESH, 2011), agrupamento (ARAUJO et al., 2013; JOHANN et al., 2013) e sumarização (MANABE et al., 2015). Vários autores fizeram uma análise do uso de mineração de dados em agricultura (MANKAR & BURANGE, 2014; PATEL & PATEL, 2014; SOLANKI & MULGE, 2015).

Gupta et al. (2016) fizeram uso da técnica de rede neural para a estimação de variáveis da cultura do feijão, em que encontraram resultados muito próximos aos valores observados a campo.

Manabe et al. (2015) avaliaram a utilização de mineração de dados para diferenciação de áreas de cana-de-açúcar e de pastagem, as quais possuem perfil espectro-temporal muito semelhantes, na região de Iturama – MG. Os autores aplicaram os algoritmos J48 (árvore de decisão), MLP – Multilayer Perceptron (redes neurais) e SMO – Sequential Mini-Optimization (SVM), no software Weka. O melhor resultado encontrado foi para o classificador MLP com seleção de atributos e balanceamento de classes, tendo um resultado de 72,5% de taxa de acerto e 0,45 de Índice Kappa.

Megeto et al. (2014) estudaram o uso de árvore de decisão para classificação de ocorrências de ferrugem asiática com base em variáveis meteorológicas. Nas etapas de pré-processamento e transformação de dados definiu-se nove variáveis preditoras, sendo elas: Média da temperatura mínima; número de dias com temperatura mínima menor que 15 °C; média da temperatura máxima; número de dias com temperatura máxima maior que 30 °C; média da temperatura média diária; média da precipitação (em mm); precipitação (em mm) total ou acumulada; número de dias com precipitação maior do que 1mm e máximo evento de precipitação pluvial (em mm). A variável mais importante (nó 1) foi o número de dias com temperatura mínima abaixo de 15 °C em 20 dias antes da possível infecção pela ferrugem asiática. O modelo preditivo escolhido resultou em uma árvore de decisão com, aproximadamente, 78% de taxa de acertos e 108 regras, determinadas por validação cruzada.

Bhuyar (2014) fez uma análise comparativa de técnicas de classificação de dados de solo para previsão de taxa de fertilidade no distrito de Aurangabad – Maharashtra – Índia. Comparou os algoritmos J48, Naïve Bayes e o Random Forest e obteve o melhor resultado com o algoritmo J48, com acurácia de 98,2% e Índice Kappa de 0,97.

Nonato & Oliveira (2013) aplicaram técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar. Para isso, os autores fizeram uso de três imagens Landsat 5, em épocas distintas. O algoritmo classificador utilizado foi o C4.5, com acertos superiores a 90%, utilizando-se de uma pré-poda de 500 instâncias, de um total de 66.714.

3.11 Estimativa e previsão de datas de colheita

Informações antecipadas sobre as culturas são de grande valia para o setor agrícola. Dentre elas, a informação da data de colheita proporciona a otimização da logística industrial, bem como a criação de vantagens competitivas para as indústrias (MARTINS et al., 2005). A obtenção desta informação pode ser adquirida por meio de séries históricas de imagens do padrão espectro-temporal dos índices de vegetação. Estas permitem caracterizar os estádios fenológicos da cultura da soja, gerando importantes informações do ciclo da cultura (CI),

dentre elas: as datas de semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e de colheita (DC), em escala de talhão.

Estudos indicam que a colheita realizada no momento adequado reduz perdas na produtividade (ALBRECHT et al., 2008; TERASAWA et al., 2009; MUTANGA et al., 2013; MENG et al., 2015). MUTANGA et al. (2013) determinou o melhor intervalo de tempo até a colheita da cana-de-açúcar utilizando imagens do índice de vegetação NDVI do satélite SPOT-VEGETATION. Os autores verificaram que após o período ideal para a colheita, a cana-de-açúcar consome sua reserva de açúcar, reduzindo a produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Meng et al. (2015), os quais determinaram que a data de colheita tem significativa influência na produtividade da soja e na qualidade dos grãos. Além disso, a colheita prematura requer maior tempo de secagem dos grãos para posterior armazenamento, considerando que o limite máximo para armazenamento é de 13% de umidade. Por outro lado, para Terasawa et al. (2009), o retardamento da colheita a partir da maturidade fisiológica pode influenciar negativamente a qualidade da semente de soja devido a sua exposição a condições menos favoráveis do ambiente. Albrecht et al. (2008) observaram relação entre a data de semeadura e, conseqüentemente a data de colheita, na produção e na qualidade do óleo extraído da soja.

Johann et al. (2016) obteve, por meio de índice de vegetação de imagens de satélite, a estimativa das datas do ciclo fenológico da cultura da soja para cada município do estado do Paraná. No trabalho, eles utilizam o software TIMESAT como ferramenta de extração destas informações, comparando-as com os dados oficiais. É possível verificar a potencialidade da ferramenta para a aplicação, podendo-se obter provável data de colheita previamente, a partir do acompanhamento da curva temporal de índice de vegetação da cultura agrícola.

4 REFERÊNCIAS

ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens Modis**, 2010. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

AGENCIA CURITIBA. **Infraestrutura e Logística**. Disponível em: <<http://www.agencia.curitiba.pr.gov.br/publico/conteudo.aspx?codigo=27>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. de L. e; ÁVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 865–873, 2008.

ALMEIDA, I. R. de. **O clima como um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso**, 2005. Universidade Estadual Paulista.

AMORIM, F. A.; HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B. DE; LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, C. D. L. Época de semeadura no Potencial produtivo de Soja em Uberlândia-MG. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. Suplp, p. 1793–1802, 2011.

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. de; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405–417, 2016.

ARAÚJO, E. C. de; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Análise de agrupamento da variabilidade espacial da produtividade da soja e variáveis agrometeorológicas na região oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 782–795, 2013.

BECK, P. S. A.; ATZBERGER, C.; HØGDA, K. A.; JOHANSEN, B.; SKIDMORE, A. K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, n. 3, p. 321–334, 2006.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. de; POTTER, R. O.; CURCIO, G. R.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de; CHAFFIN, C. E.; JUNIOR, W. de C. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**, 2007. Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

BHUYAR, V.; APRIL, I. M. Comparative Analysis of Classification Techniques on Soil Data to Predict Fertility Rate for Aurangabad District. **International Journal of Emerging Trends e Technology in Computer Science**, v. 3, n. 2, p. 200–203, 2014.

BRANDT, M.; HIERNAUX, P.; TAGESSON, T.; et al. Woody plant cover estimation in drylands from Earth Observation based seasonal metrics. **Remote Sensing of Environment**, v. 172, p. 28–38, 2016. Elsevier Inc.

BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; SACCOL, A.V.; SCHNEIDER, F.M.; MAFRON, P.A. Manejo da cultura. p.110-128. In: SANTOS, O.S. **A cultura da soja n.1**, Rio de Janeiro: Globo, 1988.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2015/16 – 7º Levantamento**. 158p., 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Safra 2015/2016. Brasília. v.3, p.1-130, set. 2015.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. de M. Mineração de dados para inferência de relações solo-paisagem em mapeamentos digitais de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1707–1715, 2009.

DELGADO, P. R.; ZANCHET, M. S. A importância da expansão da área de lavoura para o aumento da produção agrícola no Paraná. **Cad. IPARDES**, v. 1, n. 1, p. 1–12, 2011.

EASTMAN, J. R.; SANGERMANO, F.; GHIMIRE, B.; et al. Seasonal trend analysis of image time series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 10, p. 2721–2726, 2009.

EASTMAN, J. R.; SANGERMANO, F.; MACHADO, E. A.; ROGAN, J.; ANYAMBA, A. Global Trends in Seasonality of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), 1982–2011. **Remote Sensing**, v. 5, p. 4799–4818, 2013.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **TIMESAT 3.2 Software Manual**. 2015.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. TIMESAT: a Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics. In: KUENZER, C.; DECH, S.; WAGNER, W. (Orgs.). **Remote Sensing Time Series - Revealing Land Surface Dynamics**. Springer International Publishing. 2015. p.141-158

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Sistemas de produção**, 1. 8. ed., 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm>. Acesso em: 16 abr. 2016.

EMBRAPA SOJA. **Cultivares de soja**. Londrina/PR. Embrapa Soja, 2015.

EMBRAPA SOJA. Ecofisiologia da soja. **Circular técnica, n. 48**. Londrina, 2007.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de produção de soja** – Região Central do Brasil 2009 e 2010. 263p. Sistemas de Produção n.13. Londrina-PR: Embrapa Soja, out. 2008.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja** - Paraná 2004. Sistemas de Produção, 1. Londrina – PR.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 13, p. 3711–3727, 2011.

FAOSTAT - FOOD AND DRUG ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; OYA, T. Ecofisiologia. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, CD-ROM, 2000.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. Knowledge Discovery and Data Mining: Towards a Unifying Framework. **Knowledge Discovery and Data Mining Portland OR**. p.82–88, 1996.

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

FERNANDES, J. L.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Sugarcane yield estimates using time series analysis of spot vegetation. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 2, p. 139–146, 2011.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. da; DEBIASI, H. Rotação de culturas: pratica que confere maior sustentabilidade à produção agrícola o Paraná. **Informações Agrônomicas - INPI**, v. 134, 2011.

FU, Y.; YANG, G.; WANG, J.; SONG, X.; FENG, H. Winter wheat biomass estimation based on spectral indices, band depth analysis and partial least squares regression using hyperspectral measurements. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 100, p. 51–59, 2014. Elsevier B.V.

GALVÃO, N. D.; MARIN, H. D. F. Técnica de mineração de dados: Uma revisão da literatura. **ACTA Paulista de Enfermagem**, v. 22, n. 5, p. 686–690, 2009.

GRZEGOZEWSKI, D. M.; JOHANN, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; COUTINHO, A. C. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 6, p. 1257–1275, 2016.

GUPTA, D. K.; PRASAD, R.; KUMAR, P.; MISHRA, V. N. Estimation of crop variables using bistatic scatterometer data and artificial neural network trained by empirical models. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 64–73, 2016. Elsevier B.V.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. Third Edit ed. Morgan Kaufmann, 2011.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1435, 1986.

HORION, S.; FENSHOLT, R.; TAGESSON, T.; EHAMMER, A. Using earth observation-based dry season NDVI trends for assessment of changes in tree cover in the Sahel. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 7, p. 2493–2515, 2014.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. VAN. **Modis Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**. 1999.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados** - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: abr. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisas agropecuárias**. v. 6, p. 92, 2002. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Metodologia_da_pesquisa/PesquisasAgropecuarias2002.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pr>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

INPI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Como a planta da soja se desenvolve**. Piracicaba – SP, n. 11, p.2-23. Disponível em: <[http://www.ppippic.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/\\$webindex/434692071948C16083256B2700392EB0](http://www.ppippic.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/$webindex/434692071948C16083256B2700392EB0)>. Acesso em: 06 abr. 2017.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 67, n. 4, p. 461–470, 2001.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de J.C.N. Ephanio. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

JENSEN, J. R.; BOTCHWAY, K.; BRENNAM-GALVIN, E.; JOHANNSEN, C. J.; JUMA, C.; MABOGUNJE, A.; MILLER, R.; PRICE, K.; REINING, P.; SKOLE, D.; STANCIOFF, A.; TAYLOR, D. R. F. **Down to Earth: Geographic information for sustainable development in Africa**. Washington: National Academy Press, 155 p., 2002.

JOHANN, J. A. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**, 2012. Universidade Estadual de Campinas.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná - Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 126–142, 2016.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. G.; LAMPARELLI, R. A. C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1295–1306, 2012.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; OLIVEIRA, S. R. de M.; RODRIGUES, L. H. A.; LAMPARELLI, R. A. C. Data mining techniques for identification of spectrally homogeneous areas using NDVI temporal profiles of soybean crop. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, p. 511–524, 2013.

JOHANNSEN, C. J.; PETERSEN, G. W.; CARTER, P. G.; MORGAN, M. T. Remote sensing: changing natural resource management. **Journal of Soil & Water Conservation**, v. 58, n. 2, p. 42-45, 2003.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 1824-1832, 2002.

KUMAR, U.; KERLE, N.; PUNIA, M.; RAMACHANDRA, T. V. Mining Land Cover Information Using Multilayer Perceptron and Decision Tree from MODIS Data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 38, n. 4, p. 592–603, 12 dez. 2010.

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.

LEKSAKUL, K.; HOLIMCHAYACHOTIKUL, P.; SOPADANG, A. Forecast of off-season longan supply using fuzzy support vector regression and fuzzy artificial neural network. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 118, p. 259–269, out. 2015.

MANABE, V. D.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. **Diferenciação de áreas cana-de-açúcar e pastagem através de técnicas de mineração de dados**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa/PB, INPE, 2015.

MANKAR, A. B.; BURUNGE, M. S. Data Mining - An Evolutionary View of Agriculture. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management**, v. 3, n. 3, p. 102–105, 2014.

MARCHIORATO, I. A. **Mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtidos por satélites como instrumentos auxiliares às decisões sobre o manejo de nematoides na cultura da soja**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, 2008.

MARTINS, R. S.; REBECHI, D.; PRATI, C. A.; CONTE, H. Decisões Estratégicas na Logística do Agronegócio: Compensação de Custos Transporte-Armazenagem para a Soja no Estado do Paraná. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, v. 9, n. 1, p. 53–78, 2005.

MEGETO, G. A. S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; PONTE, E. M. de.; MEIRA, C. A. A. Árvore de decisão para classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 3, p. 590–599, jun. 2014.

MENG, J.; XU, J.; YOU, X. Optimizing soybean harvest date using HJ-1 satellite imagery. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 2, p. 164–179, 2015.

MISHRA, N. B.; CHAUDHURI, G. Spatio-temporal analysis of trends in seasonal vegetation productivity across Uttarakhand, Indian Himalayas, 2000–2014. **Applied Geography**, v. 56, p. 29–41, jan. 2015.

MUTANGA, S.; SCHOOR, C. VAN; OLORUNJU, P. L.; GONAH, T.; RAMOELO, A. Determining the Best Optimum Time for Predicting Sugarcane Yield Using Hyper-Temporal Satellite Imagery. **Advances in Remote Sensing**, v. 2, n. 3, p. 269–275, 2013.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Technical specifications: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**, 2014. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

NONATO, R. T.; OLIVEIRA, S. R. DE M. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens Landsat 5. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 6, p. 1268–1280, 2013.

PARANÁ. **Informação de Turismo**. Disponível em: <<http://www.cidadao.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=73>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

PATEL, H.; PATEL, D. A Brief survey of Data Mining Techniques Applied to Agricultural Data. **International Journal of Computer Applications**, v. 95, n. 9, p. 6–8, 2014.

RAJESH, D. Application of Spatial Data mining for Agriculture. **International Journal of Computer Applications**, v. 15, n. 2, p. 7–9, 28 fev. 2011.

RAMESH, D.; VARDHAN, B. V. Data Mining Techniques and Applications to Agricultural Yield Data. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, v. 2, n. 9, p. 3477–3480, 2013.

RASHMI, N. J.; HOSSAIN, M. F.; HASANUZZAMAN, M. Seasonal Trend Analysis of Climatic Parameters Relation to Impacts on the Crop Productivity of the Major Crops in Bangladesh. **Preprints**, v. 2016120062, 2016.

SAKAMOTO, T. YOKOZAWA, M.; TORITANI, H.; SHIBAYAMA, M.; ISHITSUKA, N.; OHNO, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, p. 366-374, 2005.

SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B. D.; GITELSON A. A.; VERMA, S. B.; SUYKER, A. E.; ARKEBAUER, T. J. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2146-2159, 2010.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627-1639, 1964.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Divisão de estatísticas básicas – 315 DEB**, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=75>>. Acesso em: abr. 2016.

SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Deral – Departamento de Economia Rural. **Calendário Agrícola – Evolução de plantio, colheita e comercialização**.

2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>>. Acesso em: 07 out. 2013.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDYIAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja: I Parte**. Viçosa: UFV, 96p, 1996.

SHAO, Y.; LUNETTA, R. S.; WHEELER, B.; IAMES, J. S.; CAMPBELL, J. B. An evaluation of time-series smoothing algorithms for land-cover classifications using MODIS-NDVI multi-temporal data. **Remote Sensing of Environment**, v. 174, p. 258–265, mar. 2016.

SHAO, Y.; LUNETTA, R. S. Sub-Pixel Mapping of Tree Canopy, Impervious Surfaces, and Cropland in the Laurentian Great Lakes Basin Using MODIS Time-Series Data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 4, n. 2, p. 336–347, jun. 2011.

SOLANKI, J.; MULGE, P. Y. Different Techniques Used in Data Mining in Agriculture. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v. 5, n. 5, p. 1223–1227, 2015.

SOREL, L.; VIAUD, V.; DURAND, P.; WALTER, C. Modeling spatio-temporal crop allocation patterns by a stochastic decision tree method, considering agronomic driving factors. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 9, p. 647–655, nov. 2010.

SOUZA, C. H. W.; MERCANTE, E.; JOHANN, J. A.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 7, p. 1809-1824, 2015.

SOUZA, Z. M. De; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 840–847, abr. 2010.

TAN, P.N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introdução ao data mining: Mineração de dados**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 932p.

TERASAWA, J. M.; PANOBIANCO, M.; POSSAMAI, E.; KOEHLER, H. S. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 765–773, 2009.

TSUTSUMIDA, N.; COMBER, A. J. Measures of spatio-temporal accuracy for time series land cover data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 41, p. 46–55, set. 2015.

TUCKER, C. J.; ELGIN Jr, J. H.; MCMURTREY III, J. E.; FAN, C. J. Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 3, p. 237-248, 1979.

VEENADHARI, S.; MISHRA, B.; SINGH, C. Soybean Productivity Modelling using Decision Tree Algorithms. **International Journal of Computer Applications**, v. 27, n. 7, p. 11–15, 2011.

VIEIRA, M. A.; FORMAGGIO, A. R.; RENNÓ, C. D.; ATZBERGER, C.; AGUIAR, D. A.; MELLO, M. P. Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 553–562, ago. 2012.

VIÑA, A.; LIU, W.; ZHOU, S.; HUANG, J.; LIU, J. Land surface phenology as an indicator of biodiversity patterns. **Ecological Indicators**, v. 64, p. 281–288, maio 2016.

VINA, A.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B.; SCHEPERS, J. Monitoring Maize (*Zea mays* L.) phenology with remote sensing. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 4, p. 1139-1147, 2004.

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/Fil e/biodiesel/seminario270508/regionalizacao.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 753–763, dez. 2007.

5 METODOLOGIA GERAL

Os materiais e métodos mais detalhados para cada objetivo estão descritos nos artigos que compõem os Resultados e Discussões desta dissertação. A Figura 19 retrata as etapas que resultaram nos artigos elaborados.

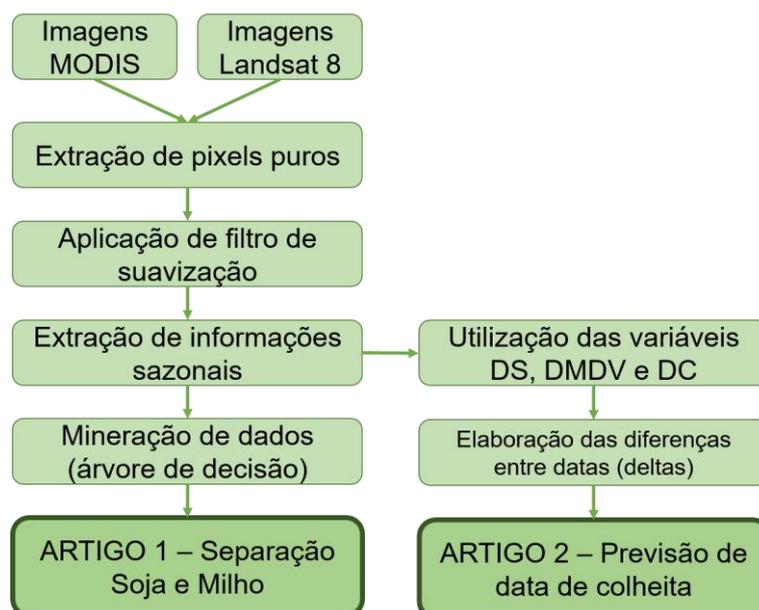


Figura 19 Fluxograma de trabalho.

Em geral, foi estudado o estado do Paraná, em todos os seus 399 municípios, agrupados em 10 mesorregiões. Os dados dos quais foram extraídas as informações foram as imagens dos sensores MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), satélites TERRA (EOS-AM) e AQUA (EOS-PM). Destes sensores, utilizou-se imagens EVI (Enhanced Vegetation Index) (HUETE et al., 2002), provenientes dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1, do “tile” h13v11, com 250 metros de resolução espacial. Nas imagens EVI foi utilizada o filtro de suavização de ruídos Flat (ESQUERDO et al., 2011) objetivando a remoção de ruídos que estas venham possuir (MISHRA & CHAUDHURI, 2015), sejam eles por nuvens ou inconsistências na obtenção. Este filtro substitui valores de índices de vegetação inconsistentes pelo menor valor adjacente na série temporal de dados, minimizando assim possíveis falhas durante o ciclo da cultura.

O software TIMESAT foi utilizado para a extração e a análise dos padrões sazonais (Seasonal Trend Analysis – STA) obtidos as imagens EVI (Figura 20). O software, em seu módulo TSM_GUI (Graphical User Interface, interface gráfica do usuário, Figura 21) permite a aplicação de 3 filtros de suavização: Savitzky–Golay (SAVITZKY & GOLAY, 1964), Gaussian Asymmetric (JÖNSSON & EKLUNDH, 2002), Double Logistic (BECK et al., 2006) e com base em uma parametrização pré-estabelecida pelo usuário, faz a extração de 11 parâmetros sazonais do perfil espectro-temporal das culturas.

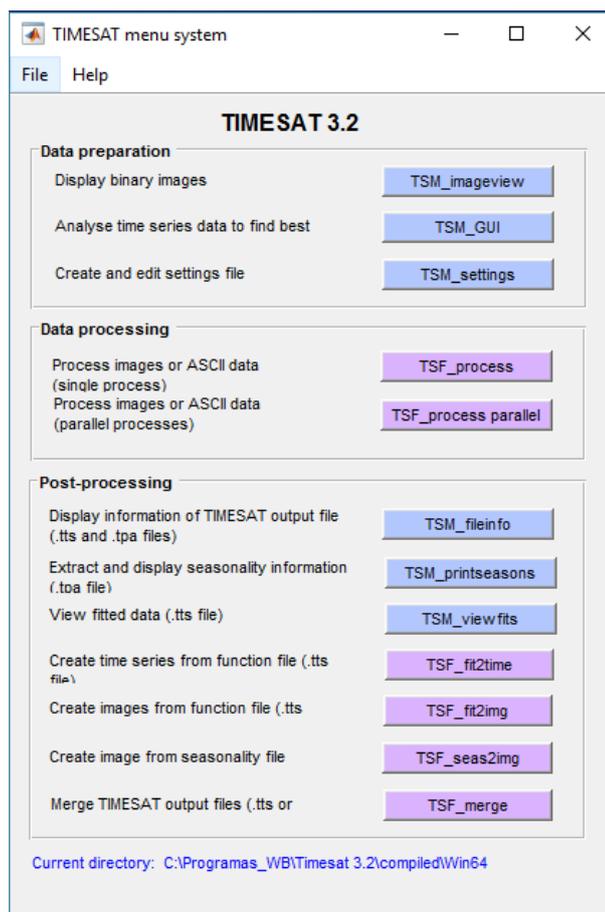


Figura 20 Interface inicial do software TIMESAT.

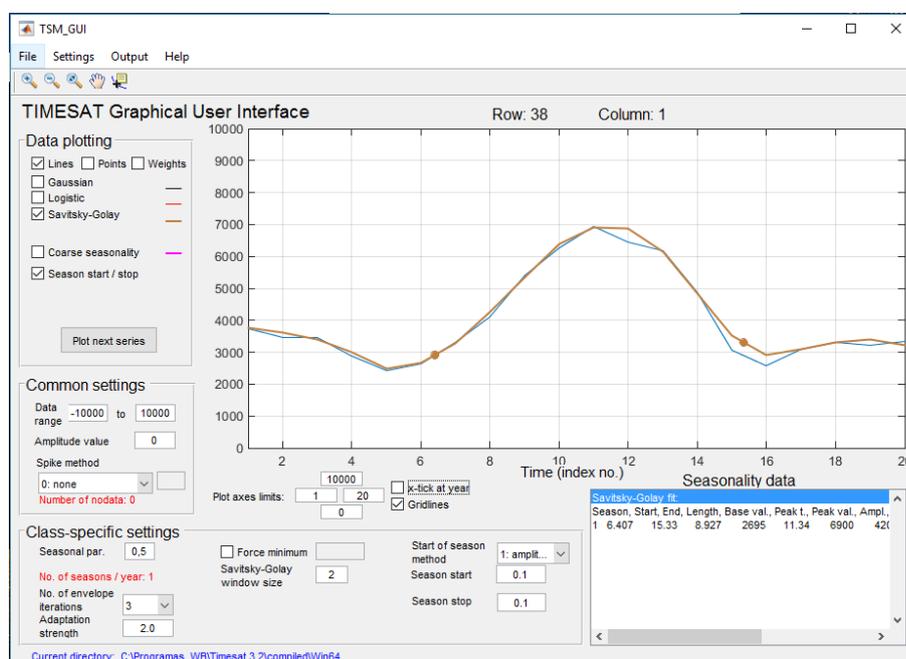


Figura 21 Interface gráfica do usuário do software TIMESAT.

Para a etapa de mineração de dados utilizou-se o software Weka (HALL et al., 2009). O software Weka, acrônimo de Waikato Environment for Knowledge Analysis, começou a ser desenvolvido em 1993, na Universidade de Waikato, Nova Zelândia, composto de uma série

de algoritmos de aprendizagem de máquina para resolução de problemas de mineração de dados. As técnicas empregadas pelo Weka baseiam-se no pressuposto de que os dados possuem alguma relação entre si. Este é um software gratuito, escrito em linguagem Java (linguagem orientada a objetos), e contém interface de usuário (interface de utilização ou Weka workbench) (Figura 22) simples e intuitiva (HALL et al., 2009, WITTEN et al., 2011).

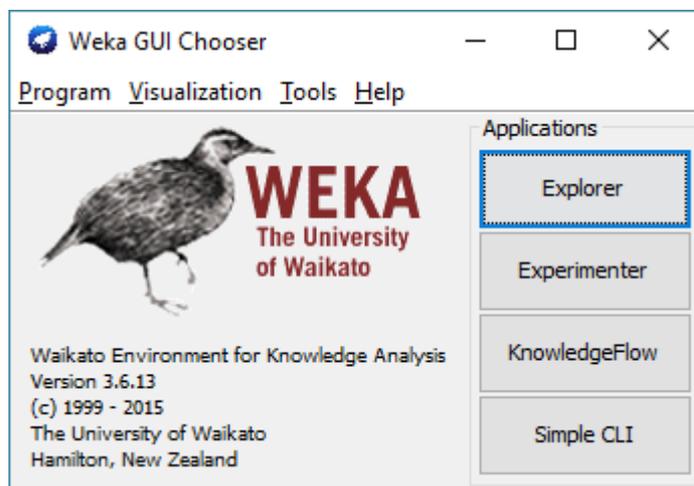


Figura 22 Janela inicial do Weka.

A janela Explorer (Figura 23) proporciona um ambiente de trabalho dos dados pela utilização de diversos algoritmos. Esta é a interface mais fácil de usar, apresentando menus e formulários, impedindo de fazer escolhas não aplicáveis.

O Weka suporta várias tarefas típicas de mineração de dados, tais como:

- Pré-processamento de dados (A);
- Classificação (B);
- Agrupamento (C);
- Associação (D);
- Seleção de atributos (E) e;
- Visualização (F).

A metodologia seguiu as etapas estabelecidas por Fayyad et al. (1996): pré-processamento, transformação, mineração dos dados, interpretação e avaliação. O algoritmo de classificação utilizado foi a árvore de decisão J48, uma modificação do algoritmo C4.5.

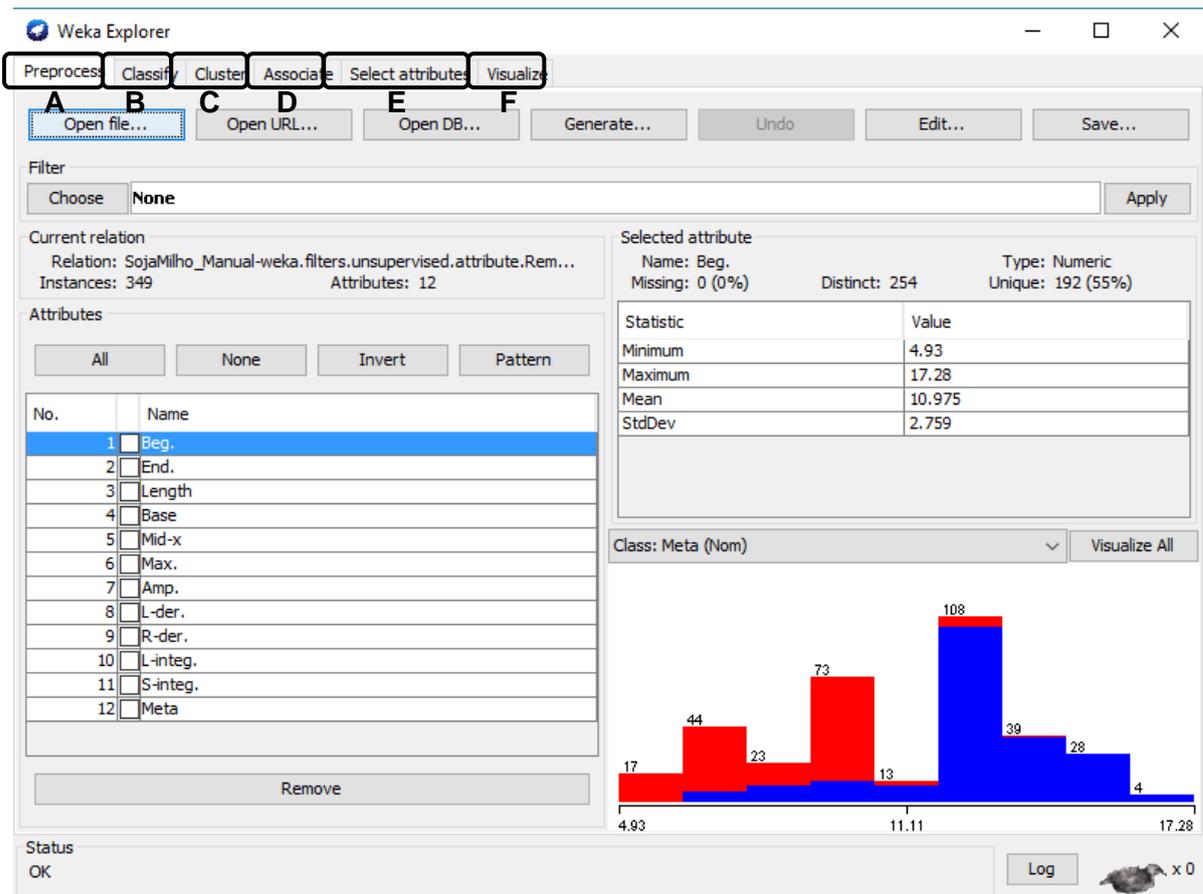


Figura 23 Janela de pré-processamento do Weka.

6 ARTIGOS

6.1 ARTIGO 1 - TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE DADOS PARA SEPARAÇÃO DE CULTURAS DE VERÃO OBTIDAS COM IMAGENS DE SATÉLITE¹

RESUMO: Em virtude da dificuldade em fazer a separação de culturas de soja e milho em mapeamentos obtidos por séries temporais de imagens de satélite, o objetivo deste trabalho foi aplicar técnicas de mineração de dados para realizar a separação destas culturas. A partir da seleção de pixels puros sobre imagens do satélite Landsat-8, foram extraídas características relativas ao padrão espectro-temporal do índice de vegetação realçado (EVI) de ambas as culturas, obtidas com o *software* Timesat e incorporadas no *software* Weka. Por meio de árvore de decisão, uma das técnicas de mineração de dados, constatou-se que, dentre onze variáveis que caracterizam o padrão espectro-temporal do EVI de cada cultura, cinco foram suficientes para realizar a separação das culturas de soja e milho com uma exatidão de 96,3% e um índice kappa de 0,92.

PALAVRAS-CHAVE: EVI, Weka, J48, Soja, Milho.

DATA MINING TECHNIQUES FOR SEPARATION OF SUMMER CROP BASED ON SATELLITE IMAGES

ABSTRACT: Due to the difficulty in discriminating soybean and corn in mappings obtained by the time series of satellite images, this study aimed to apply the data mining techniques to separate soybean and corn. Landsat-8 features from the selection of pure pixels of images were extracted and used for building a spectro-temporal standard EVI profile of both crops. These profiles were obtained using the Timesat software and, further, incorporated in the Weka software. Through the decision tree, a data mining technique, five out of eleven variables of the standard spectro-temporal EVI profile for each crop were found. These five variables were sufficient to achieve the separation of soybean and corn crops with an accuracy of 96.3% and a kappa index of 0.92.

KEY-WORDS: EVI; Weka; J48; Soybean; Corn.

6.1.1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira destaca-se como uma parcela significativa da economia do país, responsável por 21% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2015, contribuindo no desenvolvimento de regiões, como também no crescimento de agroindústrias e unidades de processamentos de grãos. Segundo CONAB (2015), o Brasil é o segundo maior produtor de soja e exportador de milho do mundo.

Apesar da metodologia de previsão de safras de órgãos oficiais, tais como IBGE (2002) e SEAB (2016), ser bastante utilizada, a incorporação de novos métodos, com maior objetividade, é importante para a otimização do processo de previsão (Johann et al., 2012).

Nesse sentido, muitas pesquisas têm utilizado séries espectro-temporais de índices de vegetação obtidos de imagens de satélite (Esquerdo et al., 2011; Souza et al., 2015;

¹ Trabalho desenvolvido na disciplina de "Mineração de Dados e Descoberta de Conhecimento" cursada no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PGEAGRI, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Campus de Cascavel-PR, em 2015.

Grzegozewski et al., 2016; Johann et al., 2016) para realização de mapeamentos agrícolas. Porém, estes mapeamentos ainda têm desafios a serem superados, dentre os quais, a proposição de uma metodologia de separação espectral entre as culturas de soja e milho, por serem culturas que possuem padrão espectro-temporal e ciclo vegetativo semelhantes. Para Johann et al. (2016), essa confusão nos mapeamentos resulta em erros na quantificação das áreas cultivadas destas culturas. Estudos desenvolvidos por Souza et al. (2015) e Grzegozewski et al. (2016) obtiveram avanços importantes no que se refere ao mapeamento e separação de culturas de verão, com uso de índices de vegetação; porém, em alguns anos-safras, quando a semeadura das culturas ocorre na mesma época, persiste a dificuldade na realização desta separação.

A identificação automática de áreas cultivadas constitui uma das etapas mais importantes no processo de previsão de safras (Nonato & Oliveira, 2013). A melhoria na estimativa de área cultivada com cada cultura influencia diretamente na produção agrícola de cada ano-safra (Assad et al., 2007).

Uma linha de estudo que vem sendo recentemente abordada para superar os desafios na melhoria dos mapeamentos é a utilização de mineração de dados (Souza et al., 2010; Nonato & Oliveira, 2013). A mineração de dados é a principal etapa do processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (*Knowledge Discovery in Databases – KDD*) e objetiva encontrar relações ou padrões ocultos em bases de dados (Fayyad et al., 1996). Para Fayyad et al. (1996), a descoberta do conhecimento é uma sequência de processos iterativos que seguem os seguintes passos: 1- Pré-Processamento (limpeza, integração, seleção) 2 - Transformação dos dados (extração, normalização), 3 - Mineração (aplicação de algoritmos em busca de conhecimento implícito e útil), 4 - Avaliação e interpretação (avaliação dos padrões obtidos e apresentação do conhecimento).

A árvore de decisão é uma técnica de mineração de dados utilizada para classificação e predição através de aprendizado de máquina (Tan et al., 2009). Para tal, efetua-se a construção de padrões com os dados de treinamento e, a partir da árvore obtida, pode-se classificar novas amostras desconhecidas. Tais árvores consistem em uma hierarquia de nós internos e externos que são conectados por ramos. Cada nó representa uma decisão sobre uma variável por meio de teste lógico, que ramifica para o próximo nó descendente ou resultado final (Crivelenti et al., 2009; Nonato & Oliveira, 2013).

O objetivo deste trabalho foi aplicar a técnica de mineração de dados, chamada árvore de decisão, sobre variáveis (atributos) obtidas de perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI do sensor Modis, de áreas de milho e soja, para realizar a separação destas culturas em mapeamentos agrícolas no estado do Paraná.

6.1.2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia seguiu as etapas estabelecidas por Fayyad et al. (1996): pré-processamento, transformação, mineração dos dados, interpretação e avaliação (Figura 24).

- DADOS

A área de estudo compreendeu o estado do Paraná (Figura 25), localizado na região sul do Brasil, o qual possui 399 municípios, subdivididos em 10 mesorregiões. Para a retirada de pixels puros, utilizaram-se as imagens do satélite Landsat-8 das órbitas/pontos 221/77, 222/76, 222/77, 222/78 e 223/77, oriundas do sensor OLI (*Operational Land Imager*) com resolução espacial de 30 m.

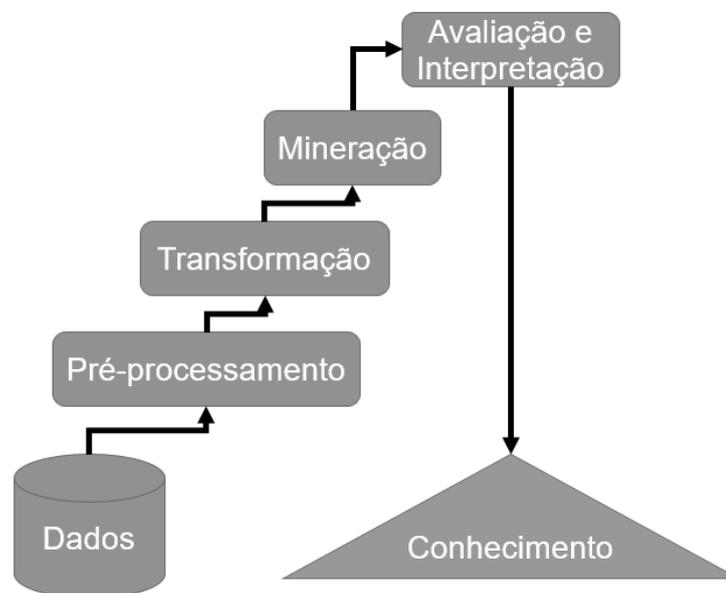


Figura 24 Processo de descoberta de conhecimento em base de dados.
Fonte: Adaptado de Fayyad et al. (1996).

O índice EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (HUETE et al., 2002) do sensor Modis, proveniente dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1, do “tile” h13v11, com 250 metros de resolução espacial e que, quando utilizados juntos, possuem resolução temporal de 8 dias (NASA, 2015), também foi empregado para elaboração de uma série temporal que abrangesse todo o ciclo fenológico das culturas em estudo (ou seja, da pré-semeadura até a colheita). Logo, foi elaborada uma série espectro-temporal entre 13/08/2014 a 01/05/2015, totalizando 34 imagens do sensor Modis do ano-safra 2014/2015.

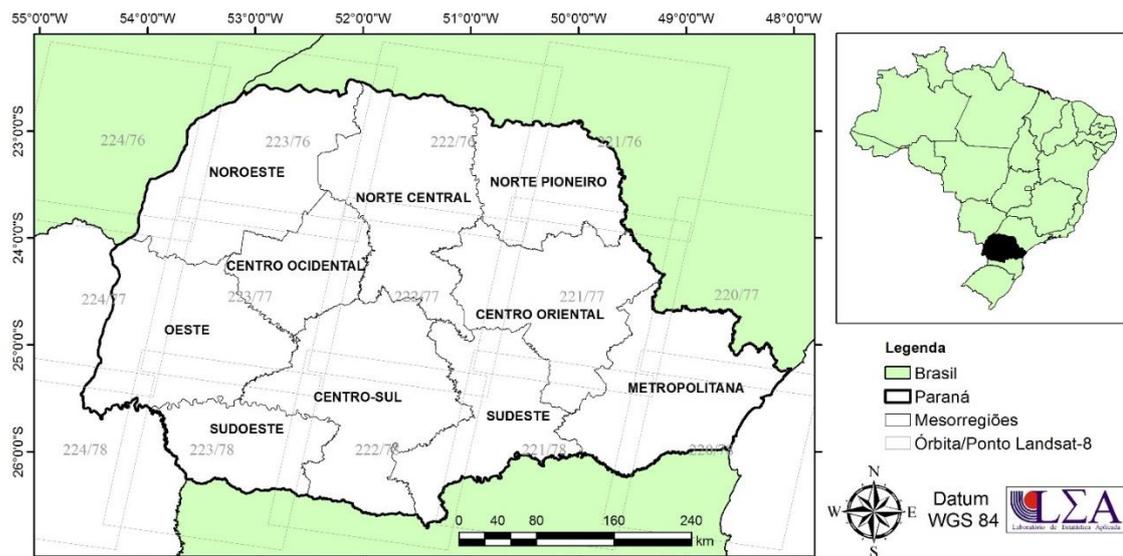


Figura 25 Mapa de localização da área de estudo e órbitas/ponto do satélite Landsat-8.

- PRÉ-PROCESSAMENTO

A coleta de pixels puros foi executada através do reconhecimento de talhões das culturas de milho e soja, por meio de uma composição falsa-cor (RGB-564) do satélite Landsat-8 (Figura 26). A seleção de talhões foi realizada nas cinco órbitas/pontos citadas, as quais contemplam todas as mesorregiões da área em estudo (Figura 25), totalizando 139 talhões de milho e 210 talhões de soja, mediante o uso do *software* ArcGIS 10.2.

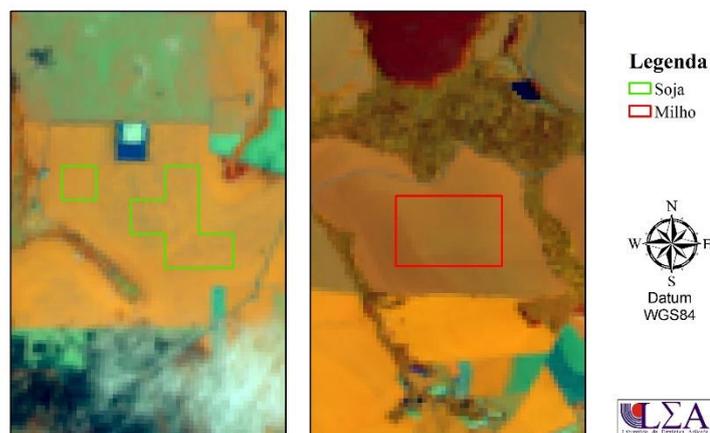


Figura 26 Talhões de soja e milho com delimitação de conjuntos de pixels puros em imagem Landsat-8, composição RGB-564.

Foi aplicado o filtro Flat (Esquerdo et al., 2011) na série temporal de imagens Modis, a fim de minimizar efeitos de ruídos que estas geralmente apresentam. Este filtro substitui valores de índices de vegetação inconsistentes pelo menor valor adjacente.

- TRANSFORMAÇÃO

Selecionados os talhões de cada cultura, fez-se a extração dos valores do perfil espectro-temporal de EVI de cada talhão no *software* ArcGIS 10.2, que posteriormente foi

importado no *software* Timesat (Eklundh & Jönsson, 2015), onde aplicou-se o filtro de suavização Savitzky–Golay (Savitzky & Golay, 1964) para posterior obtenção dos 11 atributos, sendo estes: Data de Semeadura (DS), Data de Colheita (DC), Ciclo da Cultura (CI), Valor Base de EVI (BASE), Data de Máximo Desenvolvimento Vegetativo (DMDV), Valor Máximo de EVI (MAX), Amplitude (AMP), Integral Menor (S-INT), Integral Maior (L-INT), ilustrados na Figura 27, Derivada à Esquerda (L-DER) e Derivada à Direita (R-DER) (Johann et al. 2016). Todos os atributos foram utilizados para a tarefa de classificação com árvore de decisão no processamento de mineração de dados.

- MINERAÇÃO, AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Para a etapa de mineração de dados utilizou-se o *software* Weka (Hall et al., 2009). O algoritmo de classificação utilizado foi a árvore de decisão J48, uma modificação do algoritmo C4.5. O banco de dados utilizado continha então 11 atributos e 349 instâncias, representativos dos talhões de soja e milho no estado do Paraná.

O método de avaliação da classificação foi a validação cruzada (*Cross Validation*) (Tan et al., 2009). O potencial do modelo de árvore de decisão foi avaliado com relação ao percentual de instâncias classificadas corretamente e o índice Kappa nos dados de treinamento da base de dados.

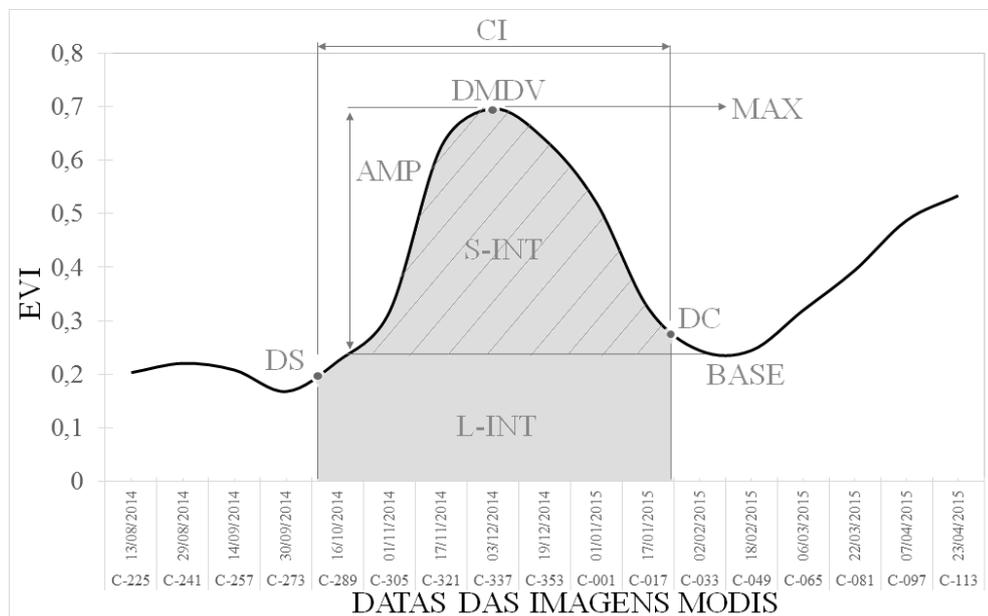


Figura 27 Padrão de um perfil espectro-temporal de índice de vegetação EVI para uma cultura de verão.

6.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados, inicialmente, com uma análise descritiva dos dados e, posteriormente, a classificação obtida com a árvore de decisão.

- ANÁLISE DESCRITIVA

Nos 11 atributos extraídos do *software* Timesat (Figura 28 e Figura 30), as culturas em estudo têm características diferentes, principalmente, nos atributos referentes às datas (DS, DMDV e DC). A cultura do milho esteve antecipada em relação à soja, especialmente quando se observa a DS (Figura 28a) e a DMDV (Figura 28c). No período em que a cultura permanece no campo, o milho possui um ciclo maior que a soja (Figura 28d e Figura 29). Isto também pode ser observado nas DS (Figura 28a) e DC (Figura 28b), uma vez que o milho é semeado antes, mas tem a data de colheita próxima à da soja.

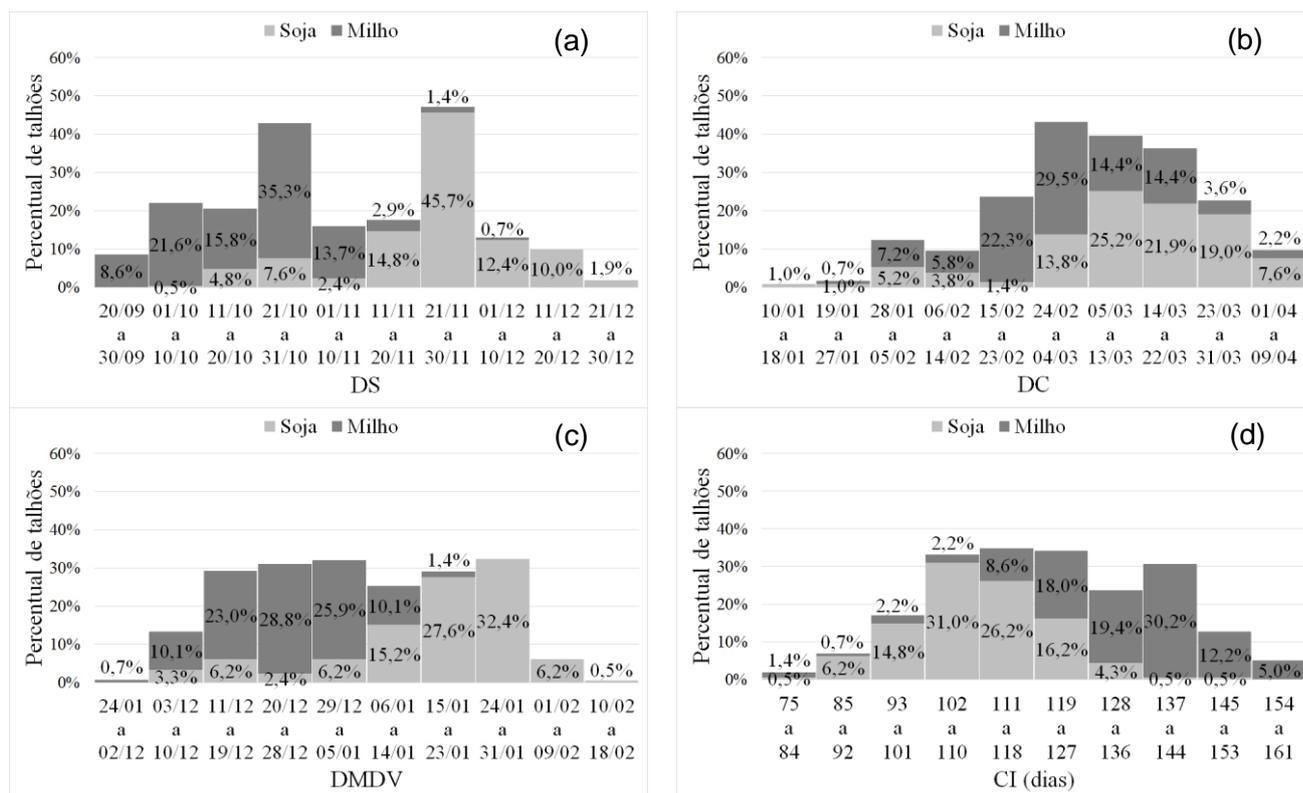


Figura 28 Percentual de talhões das variáveis extraídas do *software* Timesat. Nota: data de semeadura - DS (a); data de colheita - DC (b); data de máximo desenvolvimento vegetativo - DMDV (c) e ciclo - CI (d).

O valor de EVI na DMDV (MAX na Figura 30a) é maior para a cultura da soja do que para o milho (Figura 29). Apesar de ambas as culturas apresentarem ciclos fenológicos semelhantes, a soja possui um comportamento típico de ciclo mais curto e EVI maior, enquanto o milho possui um ciclo mais longo e EVI menor. Todavia, para o valor do índice de EVI de BASE (Figura 30b) invertem-se os comportamentos, sendo que a soja possui valor levemente menor que o milho.

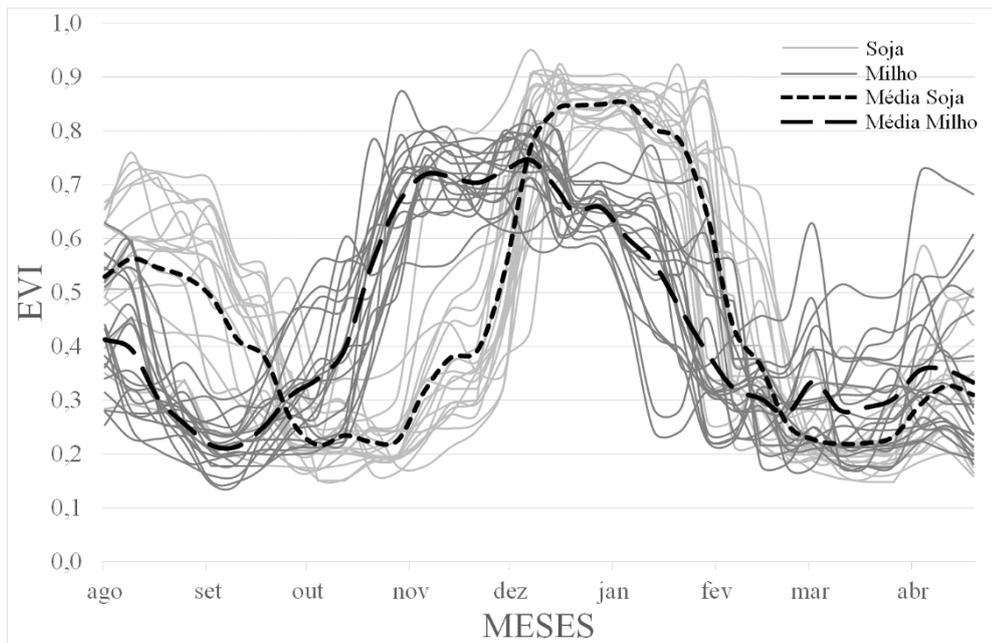


Figura 29 Perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI dos talhões de soja e milho.

As derivadas à esquerda – L-DER (Figura 30c) e direita – R-DER (Figura 30d) evidenciam que a soja possui valores maiores quando comparada a cultura do milho. Isto pode ser explicado pela inclinação do índice de vegetação da soja ser maior (Figura 29) tanto no período de crescimento vegetativo quanto no período de senescência. Além disto, a cultura da soja tem o valor de EVI BASE (Figura 30b) menor e EVI MAX (Figura 30a) maior que o milho.

Para a integral menor – S-INT (Figura 30e), que considera a área sobre o perfil espectro-temporal de EVI de cada cultura até o valor de EVI de BASE, não foi possível observar diferenças entre as culturas. Entretanto, pela integral maior – L-INT (Figura 30f) que considera a área sobre o perfil espectro-temporal de EVI de cada cultura até o eixo X, os valores foram maiores para o milho. Por fim, a AMP (Figura 30g) corrobora com o que foi observado para os valores de BASE e MAX, sendo maior para a soja do que para o milho.

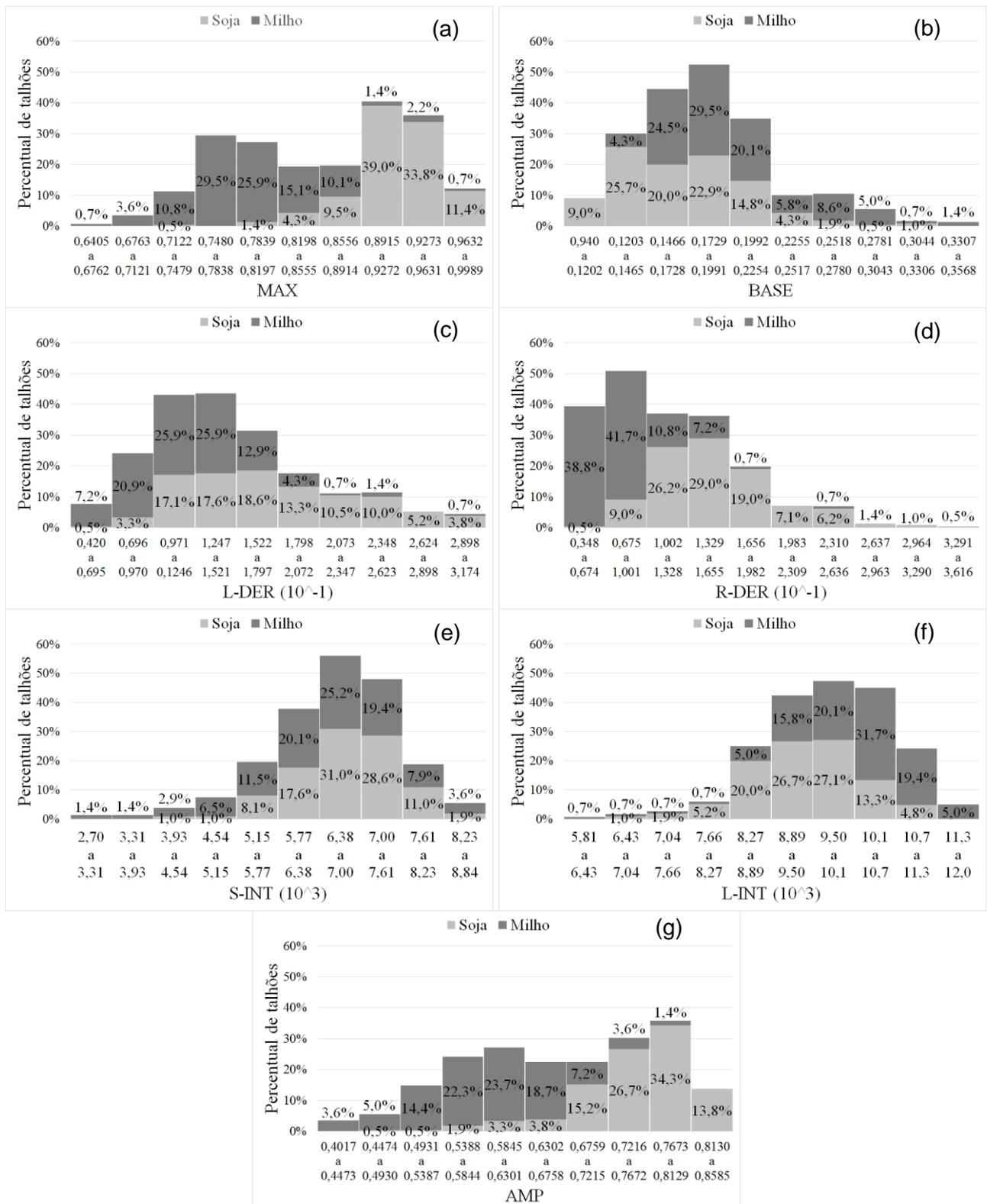


Figura 30 Percentual de talhões das variáveis extraídas do *software* Timesat.

Nota: máximo EVI - MAX (a); EVI de base - BASE (b); derivada à esquerda - L-DER (c); derivada à direita - R-DER (d); integral menor - S-INT (e); integral maior - L-INT (f) e amplitude - AMP (g).

- **ÁRVORE DE DECISÃO**

A árvore de decisão (Figura 31) identificou cinco atributos como preditores necessários para a diferenciação das culturas de milho e soja: Máximo EVI (MAX), Data de Semeadura

(DS), Ciclo (CI), Data de Máximo Desenvolvimento Vegetativo (DMDV) e Integral Maior (L-INT). Com isso, foram geradas sete regras de classificação (Tabela 7), sendo três (R1 a R3) para a cultura do milho e quatro (R4 a R7) para a cultura da soja.

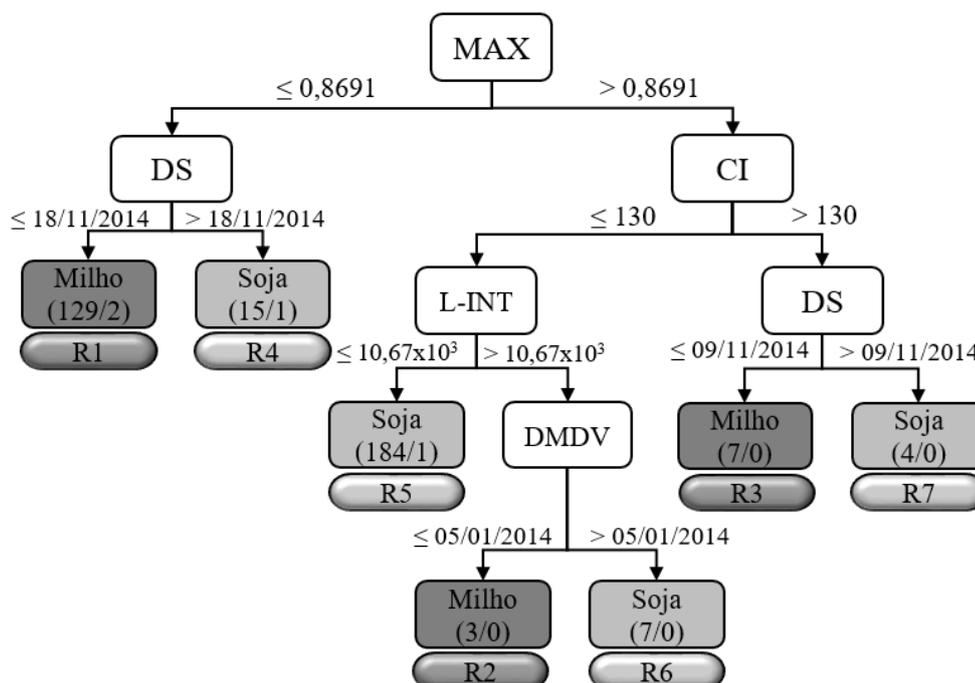


Figura 31 Árvore de decisão obtida para separação de soja e milho.
Nota: Máximo EVI - MAX; data de semeadura - DS; ciclo - CI; integral maior - L-INT e data de máximo desenvolvimento vegetativo - DMDV.

Tabela 7 Regras de classificação da árvore de decisão para separação de soja e milho

Regras	Descrição	Resultado
R1	Se MAX EVI $\leq 0,8691$ e DS $\leq 18/11/2014$	Milho
R2	Se MAX EVI $> 0,8691$ e CI ≤ 130 dias e L-INT $> 10,67 \times 10^3$ e DMDV $\leq 05/01/2015$	Milho
R3	Se MAX EVI $> 0,8691$ e CI > 130 dias e DS $\leq 09/11/2014$	Milho
R4	Se MAX EVI $\leq 0,8691$ e DS $> 18/11/2014$	Soja
R5	Se MAX EVI $> 0,8691$ e CI ≤ 130 dias e L-INT $\leq 10,67 \times 10^3$	Soja
R6	Se MAX EVI $> 0,8691$ e CI ≤ 130 dias e L-INT $> 10,67 \times 10^3$ e DMDV $> 05/01/2015$	Soja
R7	Se MAX EVI $> 0,8691$ e CI > 130 dias e DS $> 09/11/2014$	Soja

Nota: Máximo EVI - MAX; data de semeadura - DS; ciclo - CI; integral maior - L-INT e data de máximo desenvolvimento vegetativo - DMDV.

Para compreender a saída do processo de classificação do software Weka, cada ramo da árvore de decisão termina no que se denomina de folha (que pode ser soja ou milho), que, por sua vez, pode ser entendida como uma regra de classificação (Tabela 7). Assim, para cada folha e regra são apresentados, entre parênteses, o número de acertos/número de erros (Figura 31). Assim, por exemplo, para a R1, que é um ramo de classificação de milho, obtiveram-se 129 instâncias (áreas) classificadas como milho quando o valor máximo de EVI (MAX) $\leq 0,8691$ e DS \leq a 18 de novembro de 2014. Porém, duas destas áreas eram na verdade talhões de soja, ou seja, (129/2), o que correspondeu a 98,45% de acerto da R1.

Igualmente, para a R4, um ramo de classificação de soja, 15 instâncias (áreas) foram classificadas como soja, quando o valor máximo de EVI (MAX) $\leq 0,8691$ e DS > a 18 de novembro de 2014. Contudo, uma destas áreas era um talhão de milho (15/1), o que correspondeu a 93,33% de acerto da R4. Para a R5, ramo de classificação de soja, 184 instâncias foram classificadas como soja quando (MAX) > 0,8691 e CI ≤ 130 dias e L-INT $\leq 10,67 \times 10^3$, porém um destes talhões era de milho (184/1), correspondente a 99,46% de acerto para a R5.

As três regras acima detalhadas totalizam 92,8% dos talhões de milho (R1) e 94,8% dos talhões de soja (R4 e R5), mostrando que estas são as regras de maior importância na árvore de decisão.

Para toda árvore de decisão (Figura 31), obtiveram-se 96,3% das instâncias classificadas corretamente com um índice Kappa de 0,92, o que evidencia a potencialidade de uso de árvores de decisão em processo de mapeamento de culturas agrícolas. Resultados semelhantes foram encontrados por Nonato & Oliveira (2013) na identificação de áreas de cana-de-açúcar, e Kumar et al. (2010) em cobertura do solo.

Na árvore de decisão (Figura 31), no primeiro nó, foi selecionado o atributo de máximo EVI (MAX) que, segundo Megeto et al. (2014), é sempre o atributo que apresenta a menor entropia, ou seja, o maior ganho de informação, neste caso, para fazer a separação entre as culturas. Assim, quando o valor de EVI MAX foi inferior ou igual a 0,8691 e a DS menor ou igual que 18/11/2014 era milho (R1 da Tabela 7) e se a DS fosse maior que 18/11/2014 era soja (R4 da Tabela 7).

Quando o valor de EVI MAX foi superior a 0,8691, se o CI era menor ou igual a 130 dias e a L-INT foi inferior ou igual a $10,67 \times 10^3$ era soja (R5 da Tabela 7) e se a L-INT foi maior a $10,67 \times 10^3$ e a DMDV era menor ou igual a 05/01/2015 era milho (R2 da Tabela 7) senão era soja (R6 da Tabela 7).

Já para MAX maior que 0,8691 e CI superior a 130 dias e DS menor ou igual a 09/11/2014 as instâncias foram classificadas como milho (R3 da Tabela 7) e se a DS era maior que 09/11/2014 foram classificadas como soja (R7 da Tabela 7).

Portanto, embora ambas as culturas possuam ciclos fenológicos semelhantes, pode ser destacado que a semeadura do milho é antecipada em relação à cultura da soja e, sendo assim, seu máximo desenvolvimento vegetativo é alcançado antes que a soja (Figura 29). Esta situação é evidenciada pela árvore de decisão ao relatar DS e DMDV, ocorrendo primeiramente para o milho (Figura 31).

O atributo CI destacou o ciclo da soja como o menor e o ciclo do milho como o mais longo (Figura 28 e Figura 29). Os resultados de MAX e DS corroboram com os resultados obtidos por Zhong et al. (2016), de que a cultura do milho apresenta uma semeadura antecipada em relação à soja e que o valor máximo atingido de EVI é mais baixo, igualmente em relação à soja.

O atributo L-INT também foi notório para a árvore de decisão (Figura 31), ao representar a área sob a curva até o eixo X (Figura 27). Na Figura 30f, pode-se observar que o milho possui os maiores valores de L-INT.

6.1.4 CONCLUSÕES

A aplicação da árvore de decisão permitiu identificar que o máximo EVI, a data de semeadura, a data de máximo desenvolvimento vegetativo, o ciclo e a integral maior são as variáveis (ou instâncias) que apresentam maior potencial para separação das culturas de soja e milho no estado do Paraná.

As regras R1 e R5 foram as que mais contiveram talhões, sendo a R1: 129 dos 139 talhões de milho (92,8%) e a R5: 184 dos 210 talhões de soja (87,6%), mostrando que os atributos envolvidos nestas regras são os mais importantes para se fazer a separação de soja e milho no estado do Paraná. As demais regras contribuíram para apenas 7,2% para o milho e 12,4% para a soja, concluindo que os atributos envolvidos nelas são mais específicos.

O uso de classificação de culturas com árvore de decisão mostra potencial de aplicação em processos de mapeamentos agrícolas em regiões onde há dificuldade de separação espectral das culturas de soja e milho.

6.1.5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pelo apoio técnico.

6.1.6 REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D.; MARIN, R.M.; EVANGELISTA, S. R.; PILAU, F.G.; FARIA, J.R.B.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J.; Sistema de previsão de safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.615-625, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Safra 2015/2016. Brasília. v.3, p.1-130, set. 2015.

CRIVELANTI, R. C.; COELHO, R. M.; ADAMI, S. F.; OLIVEIRA, S. R. M. Mineração de dados para inferência da relação solo-paisagem em mapeamentos digitais de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1707-1715, 2009.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. TIMESAT: a software package for time-series processing and assessment of vegetation dynamics. In: KUENZER, C.; DECK, S.; WAGNER, W. (Editores). **Remote Sensing Time Series - Revealing Land Surface Dynamics**. Springer International Publishing. 2015. p.141-158.

ESQUERDO, J.C.D.M.; ZULLO JUNIOR, J.; ANTUNES, J.F.G. Use of NDVI/AVHRR time series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, p.3711-3727, 2011.

FAYYAD, U.; SHAPIRO, G. P.; SMYTH, P. Knowledge discovery and data mining: towards a unifying framework. In: **Proceedings** of the second international conference on knowledge discovery and data mining, 2., 1996. Portland.

GRZEGOZEWSKI, D. M.; JOHANN, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; COUTINHO, A. C. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v.37, n.6, p.1257-1275. 2016.

HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; WITTEN, I. H. The WEKA Data Mining Software: An Update; **SIGKDD Explorations**, v.11, n.1. 2009.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisas agropecuárias**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 92p.

JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; OPAZO, M. A. U.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital Modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 1-15, 2016.

JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. G.; LAMPARELLI, R. A. C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, 2012.

KUMAR, U.; KERLE, N.; PUNIA, M.; RAMACHANDRA, T. V. Mining land cover information using multilayer perceptron and decision tree from MODIS data. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 38, n. 4, p. 592–603, 2010.

MEGETO, G. A. S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; DEL PONTE, E. M.; MEIRA, C. A. A. Árvore de decisão para classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n.3, p.590-599. 2014.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Technical specifications**: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), 2014. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: junho de 2015.

NONATO, R. T.; OLIVEIRA, S. R. de M. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens Landsat 5. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.6, p.1268-1280. 2013.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v.36, n.8, p.1627-1639, 1964.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Divisão de estatísticas básicas** – DEB, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=75>>. Acesso em: 09 abr. 2016.

SOUZA, C. H. de W.; MERCANTE; E.; JOHANN; J. A.; LAMPARELLI; R. A. C.; OPAZO; M. A. U.; Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 7, p. 1809–1824, 2015.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHAES, P. S. G. MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-

de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, n.4, p.840-847, abr., 2010.

TAN, P.N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introdução ao data mining**: Mineração de dados. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 932p.

6.2 ARTIGO 2 - PREVISÃO DA DATA DE COLHEITA A PARTIR DO MÁXIMO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DAS CULTURAS AGRÍCOLAS DE SOJA E MILHO COM IMAGENS DE SATÉLITE

RESUMO: O conhecimento das datas de semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e de colheita (DC) de culturas agrícolas são importantes informações para realização de estimativas e previsão de produtividade em larga escala. Informações antecipadas sobre a data da colheita de culturas agrícolas são úteis também na otimização da logística empregada no recebimento de grãos nas empresas agroindustriais. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para prever a data de colheita (DC) das culturas de soja e milho a partir da DMDV. A partir de mapeamentos destas culturas no estado do Paraná, dos anos-safra 2011/2012 a 2013/2014, utilizou-se o software Timesat para a análise de padrões sazonais em séries temporais de imagens do índice de vegetação EVI do sensor Modis. Após estimar os intervalos de tempo entre a $DMDV_{EVI}$ e a DC_{EVI} , denominado Delta2, para cada pixel dos mapeamentos de soja e milho, fez-se a média de Delta2 ($\Delta 2_{Médio}$) dos três anos-safra, tanto para o estado, como também para cada mesorregião. Essa média ($\Delta 2_{Médio}$), somada a $DMDV_{EVI}$, tanto a nível regional, como estadual, gerou a variável $DC_{\Delta 2}$, que é uma previsão da DC_{EVI} . Os resultados das diferenças entre estas datas de colheita ($DC_{EVI} - DC_{\Delta 2}$) apontam que, para a soja, é possível utilizar o $\Delta 2_{Médio}$ estadual para prever a DC para todo Estado com uma subestimativa média de 0,007 dias, e 1,11 dias para o milho. Para a cultura do milho, verificou-se também que existe grande diferença entre os resultados das metodologias, sendo que a $DC_{\Delta 2}$ apresenta grandes variações da média em relação à média estadual. As diferenças nas DC ($DC_{Diferença}$), quando utilizadas as médias por mesorregiões, apresentam melhores resultados do que para o Paraná como um todo.

Palavras-chave: Timesat; Modis; Paraná.

6.2.1 INTRODUÇÃO

Dentre todas as culturas produzidas no Brasil, a cultura da soja destaca-se como um dos principais produtos, correspondendo a 32.206.387 ha, equivalente a 42% da área agrícola (IBGE, 2016), assumindo grande importância econômica internamente e nas exportações. O estado do Paraná é o segundo maior produtor de soja do Brasil, atrás apenas do Mato Grosso (CONAB, 2015) e foi responsável por 18% da produção brasileira na última safra. Além disso, a produção da oleaginosa no estado foi superior à produção chinesa, que é o quarto maior produtor mundial (SEAB, 2015; FAOSTAT, 2016). O milho aparece como a terceira maior cultura agrícola brasileira, sendo o Paraná o terceiro maior produtor do Brasil, atrás dos estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais (CONAB, 2016).

A quantidade de áreas cultivadas é calculada por órgãos oficiais, sendo eles a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) e a Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB, 2016), que realizam suas estimativas por meio de questionários aplicados mensalmente a técnicos do setor agrícola, a grandes produtores e ainda, do próprio conhecimento que o agente possui sobre as atividades agrícolas dos municípios ou região onde atua (IBGE, 2002). Para Johann (2012), a utilização desta metodologia para a obtenção de dados é morosa, de custo elevado e dispensa a distribuição espacial da produção das culturas, prejudicando o planejamento logístico de empresas que dependem da entrada e da saída de grãos.

Informações antecipadas sobre a colheita de culturas agrícolas proporcionam a otimização da logística agroindustrial, como também a criação de vantagens competitivas para as indústrias (MARTINS et al., 2005). A obtenção desta informação pode ser estimada por meio de séries históricas de imagens de satélite de índices de vegetação pela análise do seu padrão espectro-temporal (JOHANN et al., 2016). Estas permitem caracterizar os estádios fenológicos das culturas agrícolas, gerando importantes informações do ciclo da cultura (CI), dentre elas: as datas de semeadura (DS), de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e de colheita (DC), em escala de talhão. Estas informações serão de grande valia em modelos de produtividade, bem como na logística empregada no recebimento de grãos nas empresas.

A análise de padrões sazonais (Seasonal Trend Analysis – STA) é um método para analisar padrões sazonais em dados de séries temporais, que pode caracterizar o ciclo de culturas agrícolas. Mishra & Chaudhuri (2015) utilizaram o Software Timesat para a extração de informações referentes a mudança da vegetação e sua associação com a altitude e a dinâmica da cobertura terrestre de uso da terra. Jamali et al. (2015) propuseram um programa de análise de padrões sazonais que foi capaz de detectar e quantificar mudanças nas áreas de forma rápida e robusta, estimando também o tempo e a magnitude da mudança. Eckert et al. (2015) estudaram a utilização de dados MODIS NDVI aplicados a análise de padrões na detecção de áreas de degradação e regeneração, detectando desmatamento, incêndios florestais, atividades de mineradoras, expansão urbana e regeneração de pastagens.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para estimar a data de colheita de culturas agrícolas a partir da data de máximo desenvolvimento vegetativo, de tal forma que possibilite a realização de previsão desta data em safras futuras.

6.2.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu o estado do Paraná (Figura 32), situado entre os paralelos 22°29'S e 26°43'S e os meridianos 48°2'O e 54°38'O, possuindo 399 municípios, agrupados em 10 mesorregiões (IBGE, 2016). O estado conta com área superficial de 199.554 km², equivalente a 2,3% da área total do Brasil (PARANÁ, 2017), e área agrícola de 106.505 km², equivalente a 13,9% da área agrícola total do país (IBGE, 2016).

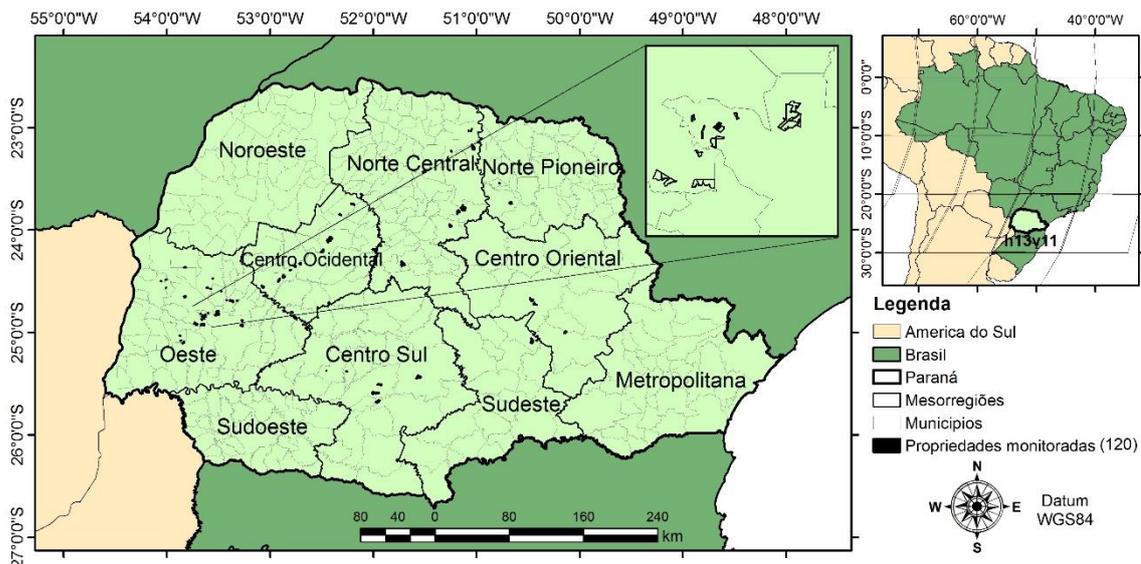


Figura 32 Mapa de localização do estado do Paraná, com suas 10 mesorregiões e 399 municípios. O estado localiza-se no *tile* h13v11 do sensor MODIS. Em destaque as propriedades em monitoramento.

O clima no Paraná, em função das proporções de seu território, enquadra-se em quatro tipos: Aw, Cfa, Cfb e Cwa (APARECIDO et al., 2016). O solo do estado tem predominância de Latossolos (31,05%), seguido de Neossolos (22,25%), Argissolos (15,5%) e Nitossolos (15,2%). Os demais tipos de solos, corpos hídricos e áreas urbanas contam com 16% da área paranaense (BHERING et al., 2007).

6.2.2.2 Sensor MODIS

O dado primário de entrada foram as imagens do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*), satélites TERRA (EOS-AM) e AQUA (EOS-PM). Especificamente, utilizou-se imagens do índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (HUETE et al., 2002), proveniente dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1, do “*tile*” h13v11, com 250 metros de resolução espacial. MOD/MYD13Q1 é uma composição que seleciona os pixels de maior qualidade em um intervalo de 16 dias, gerando uma única imagem sem a presença de nuvens ou outros fatores que prejudiquem as imagens. Quando utilizados juntos, as imagens MOD e MYD possuem resolução temporal de 8 dias (NASA, 2016).

Uma série temporal de EVI foi elaborada para os anos-safras 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, entre as datas 13/08 e 01/05, contabilizando 34 imagens por ano, totalizando 102 imagens. Os mapeamentos das culturas de soja e milho, para o ano-safra 2011/2012, foi disponibilizado por Souza et al. (2015), e os dos anos-safras 2012/2013 e 2013/2014 por Grzegozewski et al. (2016). O filtro de suavização de ruídos Flat (ESQUERDO et al., 2011) foi aplicado na série temporal de imagens MODIS, objetivando a possível remoção de ruídos que estas venham possuir. Este filtro substitui valores de índices de vegetação inconsistentes pelo

menor valor adjacente na série temporal de dados, minimizando, assim, possíveis falhas durante o ciclo da cultura.

6.2.2.3 Análise de padrões sazonais

O software Timesat (EKLUNDH & JÖNSSON, 2015ab) foi empregado para análise dos padrões sazonais (*Seasonal Trend Analysis – STA*). O software permite a aplicação do filtro de suavização *Savitzky–Golay* (SAVITZKY & GOLAY, 1964) no perfil temporal e extração de dados. Assim, com base na parametrização geral pré-estabelecida, descrita da Tabela 8, encontrou-se quais deveriam ser os valores de “*season start*” (estimativa da data de semeadura – DS) e “*season end*” (estimativa da data de colheita – DC) a partir de simulações nas propriedades agrícolas monitoradas a campo no Paraná (Figura 32), conforme metodologia proposta em Johann et al. (2016). Os valores médios da semeadura e da colheita (Tabela 9) para as culturas de soja e milho foram usadas para parametrizar o software Timesat para estimar os dados de Data de Semeadura (DS_{EVI}), Data de Máximo Desenvolvimento Vegetativo ($DMDV_{EVI}$) e Data de Colheita (DC_{EVI}) por pixel nos mapeamentos de soja e milho (2011/2012 a 2013/2014). Com base nestas datas estimadas, geraram-se outras duas, sendo elas: Delta1: diferença entre a DS_{EVI} e $DMDV_{EVI}$ e Delta2: diferença entre a $DMDV_{EVI}$ e DC_{EVI} .

Tabela 8 Parametrização geral do software Timesat para estimativa das datas das culturas de soja e milho no Paraná

Parâmetro	Valor
Número de iterações por envelope	2
Força da adaptação	2
Savitzky-Golay tamanho de janela	2
Método de estimativa de DS e DC	Amplitude

Nota: DS: Data de Semeadura; DC: Data de Colheita (DC)

Tabela 9 Configurações utilizadas no software Timesat para estimar as datas de semeadura e colheita das culturas de soja e milho nas propriedades agrícolas monitoradas no Paraná, para os anos-safra 2011/2012 a 2015/2016

Anos-Safra	Semeadura (season start)		Colheita (season end)	
	Soja	Milho	Soja	Milho
2011/2012	0,040	-	-	-
2012/2013	0,050	-	0,200	-
2013/2014	0,005	0,005	0,110	0,150
2014/2015	0,005	0,150	0,040	0,150
2015/2016	0,010	-	0,070	-
Média	0,022	0,0775	0,105	0,150

Posteriormente, determinou-se a média de Delta2 ($\Delta 2_{\text{Médio}}$) dos três anos-safra estudados (2011/2012 a 2013/2014) para cada cultura, com a finalidade de usá-la para estimar a data de colheita ($DC_{\Delta 2}$), para qualquer ano-safra, a partir do momento em que a cultura se encontra na data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{\text{EVI}}$) (Figura 33a).

Foram determinadas as diferenças para o estado ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) e para as mesorregiões ($DC_{\text{Diferença-MR}}$) entre a data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2}$) menos a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}) (Figura 33b). Para facilitar a análise, as imagens destas diferenças ($DC_{\text{Diferença-PR}}$ e $DC_{\text{Diferença-MR}}$) foram agrupadas em classes, sendo elas: <-16 dias, -16 a -8 dias, -8 a 0 dias, 0 a 8 dias, 8 a 16 dias e >16 dias. Tais classes foram estabelecidas considerando a utilização de um dos satélites TERRA ou AQUA (frequência de disponibilização de imagem a cada 16 dias), e a utilização dos dois satélites conjuntamente (frequência a cada 8 dias).

Estes procedimentos foram realizados, tanto para a média estadual de Delta2 ($\Delta 2_{\text{Médio-PR}}$), quanto por mesorregião, considerando, neste caso, a média dos três anos de Delta2 ($\Delta 2_{\text{Médio-MR}}$) de cada mesorregião.

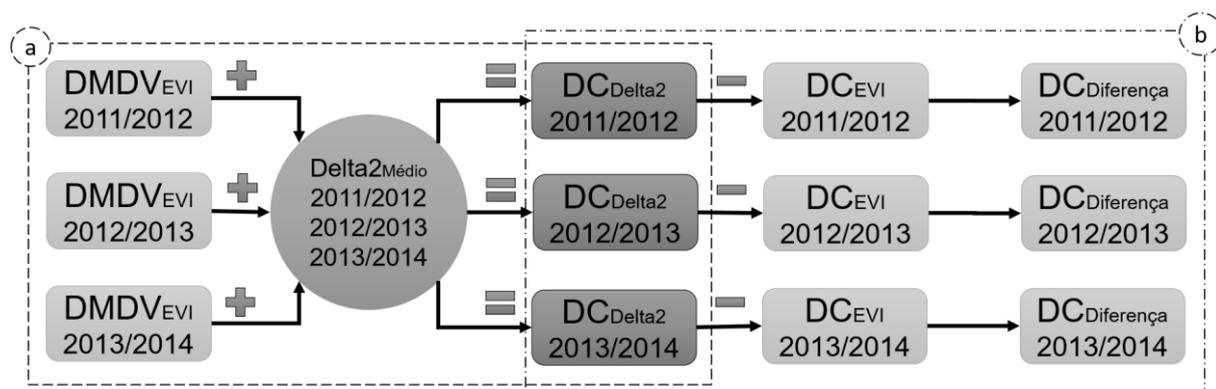


Figura 33 Fluxograma para obtenção da: a) data de colheita estimada por Delta2 ($DC_{\Delta 2}$); b) Diferença ($DC_{\text{Diferença}}$) entre a $DC_{\Delta 2}$ e a data de colheita obtida por perfil temporal de EVI (DC_{EVI}).

Nota: $DMDV_{\text{EVI}}$: data de máximo desenvolvimento obtida por perfil temporal EVI.

6.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados por cultura, discutidos individualmente e relacionados entre os anos-safra.

6.2.3.1 Soja

Segundo Embrapa Soja (2015), o período preferencial de semeadura da soja varia entre 25 de outubro a 5 de dezembro. A época de plantio é subdividida, conforme Yamaoka (2012), em soja antecipada (semeada em outubro), soja normal (semeadura em novembro) e soja tardia (em dezembro). Embora muito semelhantes, as Figura 34, Figura 35 e Figura 36

retratam os decêndios em que ocorrem a semeadura (DS_{EVI}) nas diferentes regiões do estado para os anos-safras 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente. Nelas, é possível observar a maior intensidade das colorações verde-clara e amarelo-alaranjado. Ambas correspondem aos 1º, 2º e 3º decêndio de outubro, sendo para o ano-safra 2011/2012 um total de 16,44, 10,31 e 27,10% (Tabela 10), respectivamente, para esses decêndios. Já para o ano-safra 2012/2013, estes decêndios corresponderam a 23,58, 21,44 e 14,34% da DS_{EVI} . Por fim, no ano-safra 2013/2014, corresponderam a 18,46, 19,87 e 13,50% (Tabela 10).

Imerso neste cenário, destaca-se a região oeste do estado, a qual caracteriza-se pela DS_{EVI} antecipada em relação às demais regiões nos anos-safras estudados. Tal fato ocorre em função da característica da região em implantar uma segunda safra de verão, que normalmente é o milho 2ª safra.

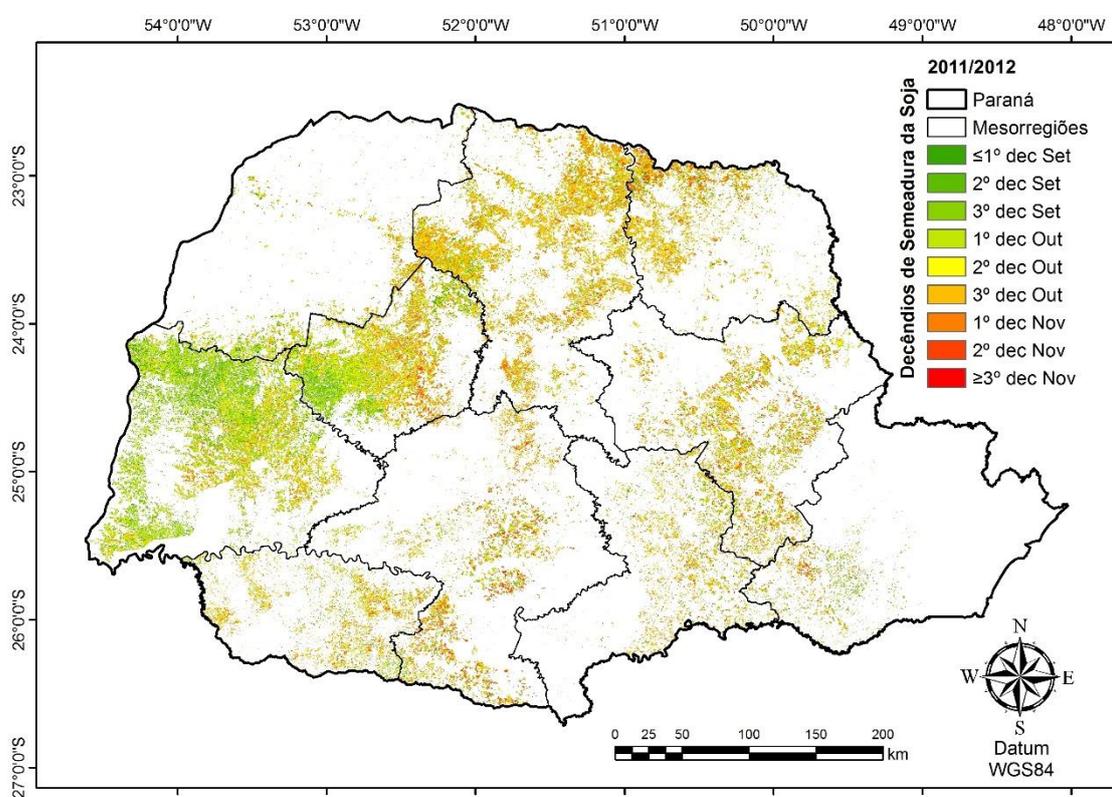


Figura 34 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2011/2012.

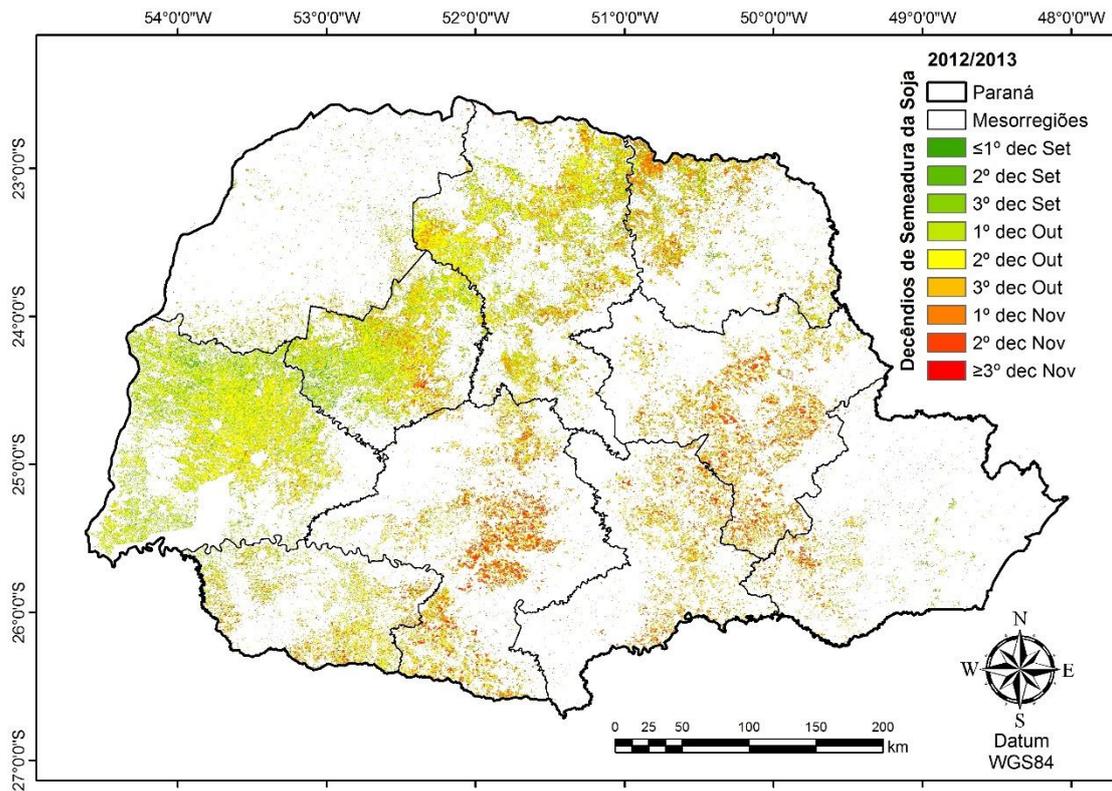


Figura 35 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2012/2013.

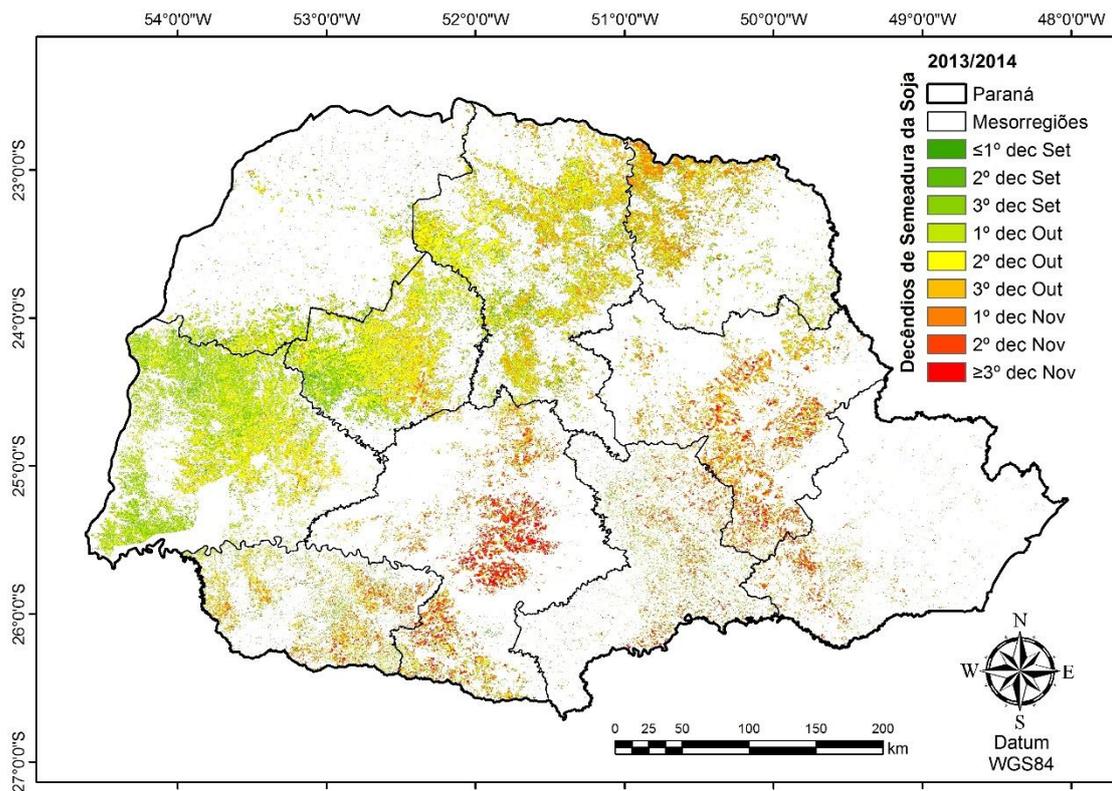


Figura 36 Decêndios de semeadura da soja (DS_{EVI}), ano-safra 2013/2014.

A análise das mesorregiões paranaenses elucidada, que cada mesorregião possui características próprias de épocas de semeadura. A mesorregião Oeste caracteriza-se por sua DS_{EVI} antecipada, entre o 3º decêndio de setembro e 1º decêndio de outubro. Já as

mesorregiões Centro Oriental, Centro Sul, Norte Pioneiro e Sudeste avançam pelos 2º e 3º decêndios de outubro e 1º e 2º decêndios de novembro (Tabela 10).

Tabela 10 Percentual de semeadura da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná

Mesorregião	Ano-safra	1ºSet	2ºSet	3ºSet	1ºOut	2ºOut	3ºOut	1ºNov	2ºNov	3ºNov
Centro Ocidental	2011/12	12,36	2,83	13,48	21,40	11,39	25,22	10,95	1,54	0,81
	2012/13	6,81	4,78	8,74	37,01	21,14	12,53	7,21	1,25	0,54
	2013/14	11,41	4,48	10,06	24,35	34,93	10,15	3,60	0,87	0,16
Centro Oriental	2011/12	7,09	3,04	11,11	11,19	12,49	25,73	15,40	9,22	4,72
	2012/13	3,21	2,70	5,83	11,43	13,43	18,21	25,01	14,20	5,97
	2013/14	3,86	1,54	9,59	5,63	7,16	20,66	25,69	14,44	11,44
Centro Sul	2011/12	8,40	2,64	7,87	14,27	9,52	21,61	16,24	6,37	13,08
	2012/13	3,40	1,61	5,79	12,54	16,21	15,65	22,29	14,75	7,74
	2013/14	6,13	1,86	5,14	10,60	6,65	7,99	16,80	21,50	23,33
Metro Curitiba	2011/12	20,09	5,30	13,35	10,68	7,87	19,42	11,97	8,24	3,08
	2012/13	16,28	2,22	5,34	13,87	11,62	21,79	12,87	9,22	6,80
	2013/14	9,16	3,10	12,38	11,10	5,90	10,07	12,04	24,15	12,11
Noroeste	2011/12	19,38	2,01	8,56	21,88	9,74	30,37	7,13	0,65	0,29
	2012/13	20,44	12,69	9,77	11,75	15,59	16,87	10,76	1,29	0,85
	2013/14	23,09	5,89	8,51	21,44	27,82	9,09	3,83	0,24	0,08
Norte Central	2011/12	8,27	1,36	4,88	10,33	9,75	43,66	18,04	3,16	0,56
	2012/13	6,06	5,79	10,43	18,91	25,40	17,36	12,36	2,47	1,22
	2013/14	11,50	4,79	10,66	12,08	26,23	23,06	10,32	1,13	0,22
Norte Pioneiro	2011/12	8,23	1,58	6,53	12,01	10,43	36,50	16,77	7,45	0,48
	2012/13	6,65	6,60	8,26	14,93	15,62	12,44	26,08	7,20	2,22
	2013/14	8,16	4,84	13,68	8,58	11,73	23,41	24,53	3,58	1,51
Oeste	2011/12	17,63	2,43	20,75	32,80	8,22	14,69	3,19	0,23	0,06
	2012/13	6,56	5,12	10,47	39,79	30,32	5,90	1,62	0,17	0,05
	2013/14	6,93	5,51	20,89	36,44	23,81	5,19	1,05	0,14	0,03
Sudeste	2011/12	10,12	2,43	10,10	10,31	13,88	27,03	13,10	8,49	4,54
	2012/13	3,51	2,34	7,40	11,56	12,11	28,88	16,61	12,38	5,20
	2013/14	14,79	4,44	24,60	6,12	2,24	6,25	18,63	12,51	10,42
Sudoeste	2011/12	8,78	2,75	8,19	17,31	13,36	28,19	12,52	3,58	5,33
	2012/13	6,14	3,27	13,36	17,06	22,10	17,02	12,38	4,31	4,37
	2013/14	10,93	4,53	9,67	16,21	11,44	14,42	16,30	11,31	5,19
Todo Paraná	2011/12	11,84	2,37	13,92	16,44	10,31	27,10	11,85	3,76	2,41
	2012/13	6,27	4,55	8,95	23,58	21,44	14,34	12,81	5,40	2,67
	2013/14	9,69	4,32	12,91	18,46	19,87	13,50	10,98	5,80	4,47
Paraná SEAB/Deral	2011/12		5			47		48		
	2012/13		3			43		54		
	2013/14		2			45		53		

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

Os resultados citados estão próximos aos obtidos por Johann et al. (2016). As divergências encontradas podem ser atribuídas à granularidade dos dados em estudo, uma vez que este autor se utilizou de metodologia considerando a média municipal de EVI das áreas de soja, enquanto que aqui foi contabilizado cada pixel da imagem individualizado.

No final da Tabela 10 apresenta-se dados dos percentuais de DS_{EVI} para todo o Paraná e também oficiais obtidos da SEAB/DERAL (2016). Para os três anos-safra estudados, segundo os dados oficiais, o mês de setembro apresenta baixa DS_{EVI} , diferenciando do que foi encontrado neste trabalho. O inverso ocorre para o mês de novembro, em que as informações oficiais retratam alto percentual de áreas semeadas, enquanto que os resultados obtidos mostram poucas áreas restantes para semear. Como exemplo, o ano-safra 2012/2013, para todo o estado, contou com 19,77% da DS_{EVI} em setembro, contra os 3% relatado pela SEAB/Deral. Já em outubro, teve-se 59,36% de áreas semeadas e 20,88% em novembro, contra os 43 e 54% informados oficialmente.

O conhecimento da DMDV tem grande importância no uso de modelos de estimativa de produtividade, pois possibilitam verificar a ocorrência de problemas em uma fase crítica da cultura, tais como intempéries climáticas, presença de doenças ou pragas e intervenção de manejo (EMBRAPA SOJA, 2007). Tal conhecimento também é útil para a previsão da DC a partir de um intervalo de tempo padrão para cada cultura.

As Figura 37, Figura 38 e Figura 39, em conjunto com a Tabela 11 revelam que a $DMDV_{EVI}$, ao longo dos 3 anos-safra, se deslocou do Leste ao Oeste de forma gradual, isto em função da semeadura ter progredido de forma semelhante. A maior parte das áreas de soja do estado teve a $DMDV_{EVI}$, no ano-safra 2011/2012, concentrada no mês de janeiro, sendo 18,91% no 1º decêndio, 21,75% no 2º decêndio e 19,16% no 3º decêndio. Para o ano-safra 2012/2013 foram nos 2º e 3º decêndio do mês de dezembro (17,55 e 25,50%), e no 1º decêndio de janeiro (21,33%). No ano-safra 2013/2014 ocorreu nos 2º e 3º decêndio de dezembro (18,10 e 20,96%) e 1º decêndio de janeiro (24,49%) (Tabela 11).

Em função da semeadura antecipada, algumas mesorregiões do estado possuem características próprias. Este é o caso do Oeste, que se destaca por sua antecipação em relação às demais mesorregiões (ALBRECHT et al., 2008; JOHANN et al., 2016). O mesmo também é visível, de forma menos acentuada, para as mesorregiões Centro Ocidental e Noroeste (Tabela 11).

Tais resultados são também comparáveis com os obtidos por Johann et al. (2016) e Adami (2010), que verificaram grande variabilidade na estimativa da data de máximo desenvolvimento vegetativo da soja nas mesorregiões do estado do Paraná.

A informação de máximo desenvolvimento vegetativo faz parte de rotinas de mapeamento, como dado primário, na obtenção de imagens de diferença de índice de vegetação (JOHANN et al., 2012; GRZEGOZEWSKI et al., 2016). Tais imagens indicam onde há culturas de verão, permitindo, assim, a geração de mapeamentos.

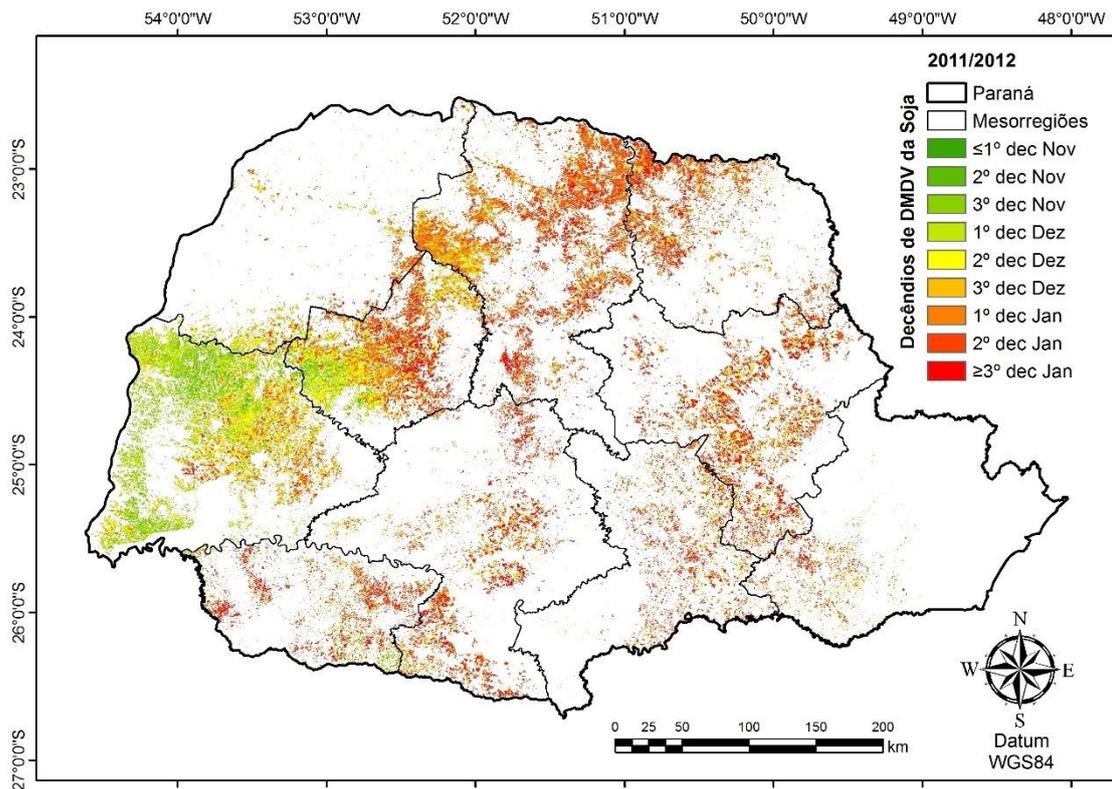


Figura 37 Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja (DMDV_{EVI}), ano-safra 2011/2012.

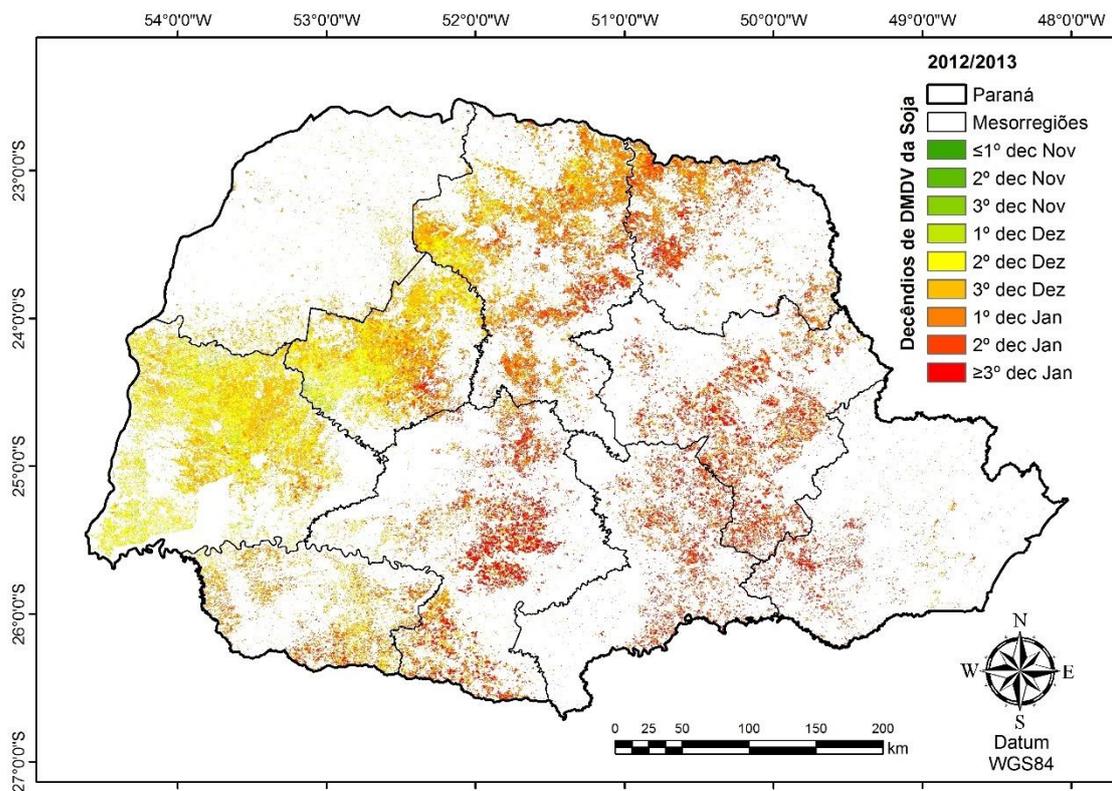


Figura 38 Decêndios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja (DMDV_{EVI}), ano-safra 2012/2013.

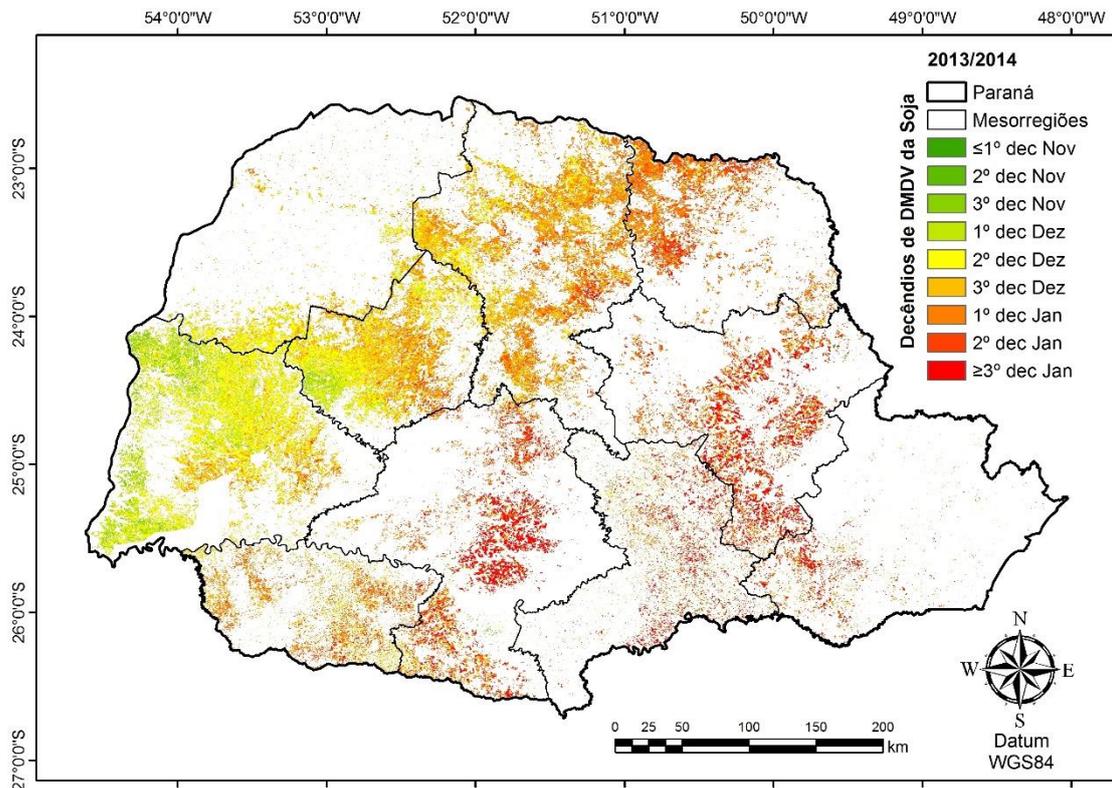


Figura 39 Decênios de máximo desenvolvimento vegetativo da soja ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2013/2014.

Em decorrência da variabilidade entre as DS_{EVI} , a diferença de ciclos de maturação dos diversos cultivares implantados e da variação climática presente entre regiões, a data de colheita (DC_{EVI}) da soja apresentou alta variação nos anos-safras estudados, variando entre meados de fevereiro ao final de março no ano-safra 2011/2012 (Figura 40). Pela Tabela 12, constata-se que 16,05 e 13,75% da colheita ocorreram nos 2º e 3º decênios de fevereiro, e em março, respectivamente, 17,17, 13,07 e 22,45% nos 1º, 2º e 3º decênios de março. No ano-safra 2012/2013 (Figura 41) teve-se a variação ao longo de fevereiro e março, sendo que nos três decênios de fevereiro a taxa de colheita ficou entre 18,15, 18,34 e 9,69%, respectivamente; já em março, a colheita variou entre 12,29% no 1º decênio, 15,24% no 2º e 16,99% no 3º decênio. No ano-safra 2013/2014 (Figura 42), semelhante a safra anterior, teve variação em todos os decênios de fevereiro, sendo de 11,88% no 1º decênio, 26,87% no 2º e 16,46% no 3º decênio, como também nos decênios de março, sendo 12,18% no 1º, 7,74% no 2º e 13,15% no 3º decênio.

Tabela 11 Percentual de máximo desenvolvimento vegetativo da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná

Mesorregião	Ano-safra	1ºNov	2ºNov	3ºNov	1ºDez	2ºDez	3ºDez	1ºJan	2ºJan	3ºJan
Centro Ocidental	2011/12	0,33	3,85	5,89	10,52	15,69	9,62	19,53	23,47	11,10
	2012/13	0,06	0,11	1,40	6,29	31,08	39,98	14,85	4,86	1,38
	2013/14	0,01	0,09	2,22	12,58	28,85	37,68	15,74	2,52	0,32
Centro Oriental	2011/12	1,50	0,40	2,10	3,61	8,38	9,07	14,83	19,22	40,89
	2012/13	0,52	0,06	0,52	0,82	2,15	5,35	20,15	34,64	35,79
	2013/14	1,58	0,27	0,53	1,25	2,53	7,20	19,72	25,77	41,16
Centro Sul	2011/12	1,45	0,78	1,57	3,21	6,67	8,65	14,10	24,32	39,26
	2012/13	0,59	0,13	0,81	2,50	5,37	10,33	18,56	24,45	37,25
	2013/14	0,70	0,32	0,44	1,18	2,90	7,89	22,33	23,99	40,24
Metro Curitiba	2011/12	1,81	0,83	2,11	5,05	11,95	12,52	15,99	18,41	31,33
	2012/13	3,14	0,96	2,16	1,86	3,15	4,58	10,41	24,99	48,74
	2013/14	2,23	0,53	0,85	3,68	6,62	10,62	18,57	17,07	39,83
Noroeste	2011/12	0,87	2,71	8,97	13,73	14,86	13,40	20,31	19,07	6,07
	2012/13	1,00	0,45	2,45	7,45	22,05	43,85	17,05	2,72	2,98
	2013/14	0,34	0,21	2,51	13,53	40,13	30,85	10,07	2,03	0,34
Norte Central	2011/12	0,23	0,14	0,32	1,15	3,61	9,67	31,48	36,91	16,49
	2012/13	0,35	0,06	0,31	0,86	8,35	31,82	33,99	18,92	5,34
	2013/14	0,11	0,11	0,61	1,62	11,75	34,71	40,25	9,24	1,59
Norte Pioneiro	2011/12	0,43	0,39	0,72	1,20	3,34	8,23	27,04	35,14	23,52
	2012/13	0,88	0,09	0,06	0,14	0,87	11,78	39,44	34,40	12,35
	2013/14	0,45	0,08	0,10	0,28	1,98	10,15	47,99	32,38	6,60
Oeste	2011/12	0,45	8,62	29,17	21,47	15,53	8,61	8,33	6,07	1,75
	2012/13	0,05	0,13	1,20	11,22	42,53	40,36	3,89	0,54	0,09
	2013/14	0,02	0,20	8,57	29,99	39,74	16,45	4,30	0,64	0,08
Sudeste	2011/12	1,45	0,66	2,55	4,53	7,17	7,61	13,57	24,20	38,27
	2012/13	0,51	0,04	0,37	0,68	1,07	3,99	18,14	33,84	41,36
	2013/14	4,77	4,99	4,43	4,13	3,80	7,43	15,82	16,35	38,27
Sudoeste	2011/12	1,55	4,05	6,92	5,87	4,40	5,32	11,22	21,68	38,99
	2012/13	0,28	0,18	1,25	4,35	14,49	28,61	27,22	14,90	8,73
	2013/14	0,25	0,61	2,57	4,65	8,93	22,78	36,46	18,99	4,75
Paraná	2011/12	0,73	3,12	9,03	8,68	9,71	8,91	18,91	21,75	19,16
	2012/13	0,41	0,13	0,87	4,37	17,55	25,80	21,33	16,04	13,49
	2013/14	0,57	0,43	2,83	9,84	18,10	20,96	24,49	11,65	11,15

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

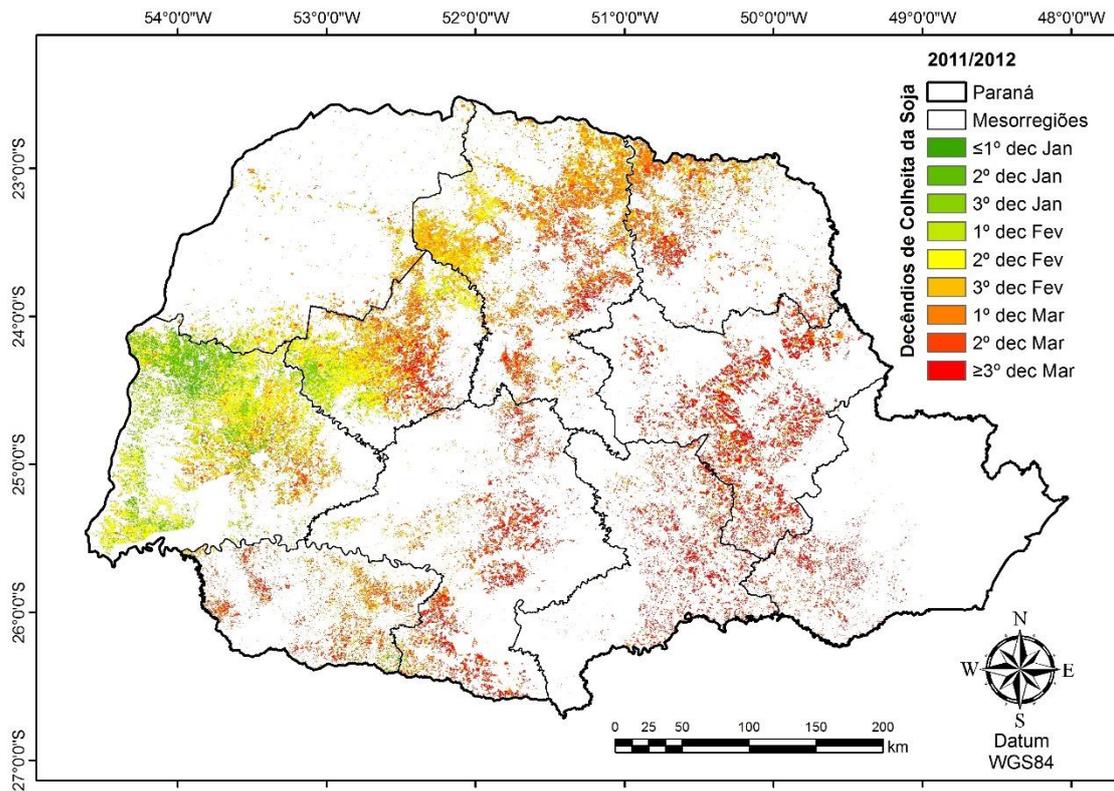


Figura 40 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2011/2012.

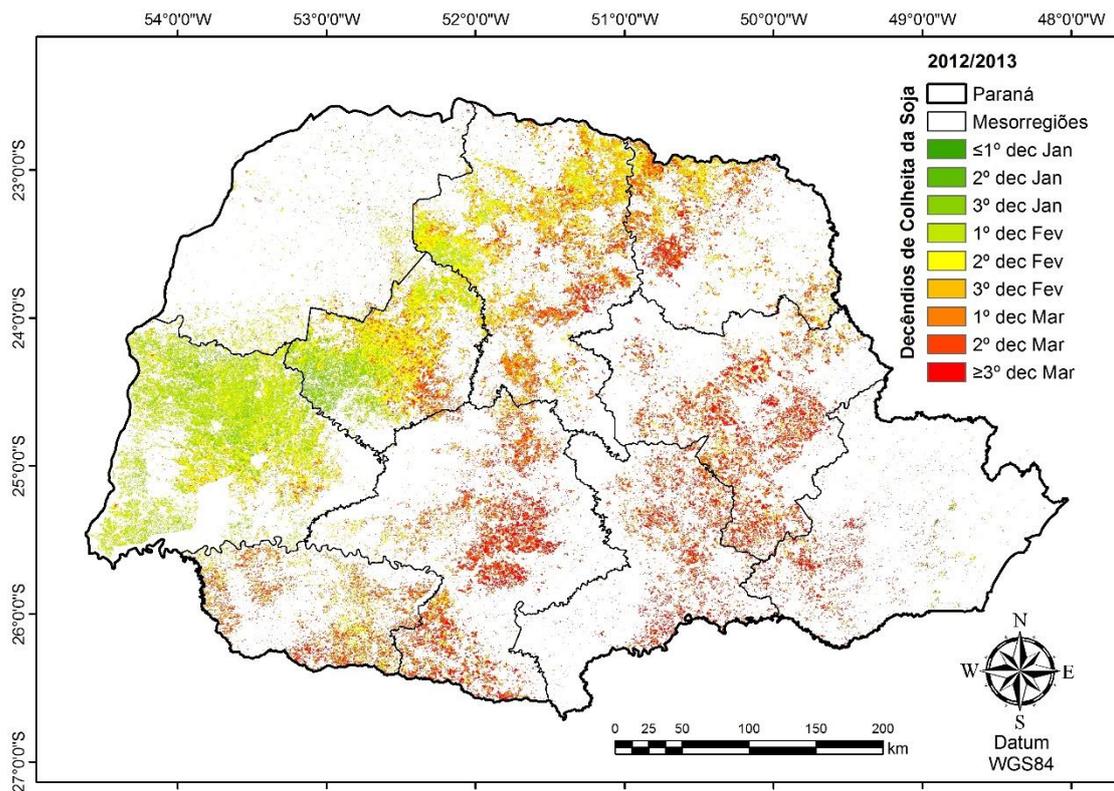


Figura 41 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2012/2013.

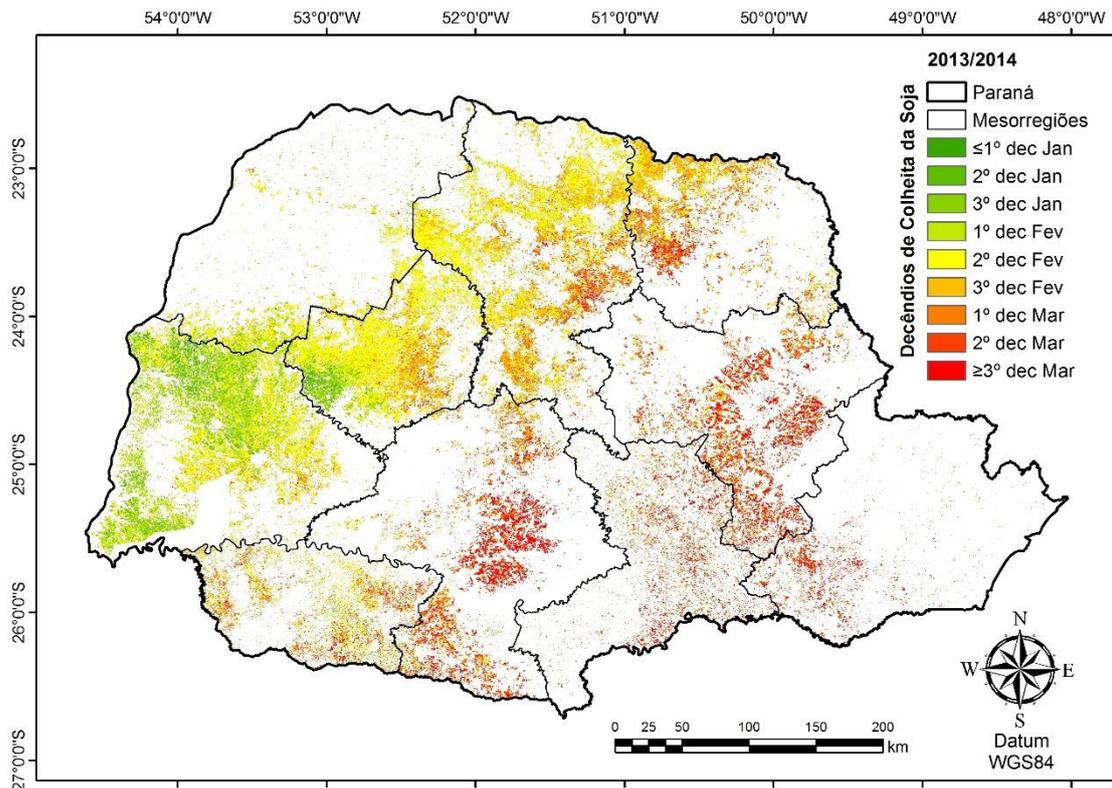


Figura 42 Decêndios de colheita da soja (DC_{EVI}), ano-safra 2013/2014.

Ao avaliar as mesorregiões, verifica-se que o padrão de cultivo antecipado continua para a colheita, em que as regiões a oeste do estado colheram suas lavouras de soja antes das regiões a leste. Esse fato, tal como tratado anteriormente, deve-se à característica regional de cultivo de duas safras de verão. A Tabela 12 retrata regionalmente a colheita da soja. Um fato que foi observado é o percentual elevado de áreas colhidas a partir do 3º decêndio de março adiante.

Novamente, os resultados obtidos podem ser comparados com os obtidos por Johann et al. (2016), e as diferenças entre ambos os resultados pode ser explicada pela granularidade dos dados apresentados. Observamos que os dados oficiais diferem dos encontrados pelas metodologias empregadas neste e no trabalho de Johann et al. (2016). Neste caso, as diferenças remetem-se à forma de obtenção dos resultados, sendo a metodologia oficial mais suscetível a erros.

Tabela 12 Percentual de colheita da soja por decêndio e mesorregiões no estado do Paraná

Mesorregião	Ano-safra	1ºJan	2ºJan	3ºJan	1ºFev	2ºFev	3ºFev	1ºMar	2ºMar	3ºMar
Centro Ocidental	2011/12	0,67	1,16	6,55	7,20	29,38	15,57	21,92	10,28	7,28
	2012/13	0,17	1,17	16,33	20,27	33,78	8,12	10,52	6,63	3,02
	2013/14	0,73	2,89	5,99	11,36	51,42	19,42	5,15	1,00	2,04
Centro Oriental	2011/12	2,21	1,00	1,88	1,28	2,89	2,79	6,31	14,84	66,79
	2012/13	0,92	0,15	0,48	0,74	6,98	7,99	13,91	26,73	42,10
	2013/14	2,24	0,42	0,49	0,62	3,78	7,77	21,83	23,04	39,82
Centro Sul	2011/12	1,89	0,29	0,57	0,97	4,98	7,66	13,67	23,98	45,98
	2012/13	0,98	0,34	0,62	1,50	7,34	3,50	13,65	37,22	34,87
	2013/14	1,19	0,41	0,86	1,21	5,42	9,67	21,08	22,51	37,66
Metro Curitiba	2011/12	2,96	1,67	1,16	0,50	0,95	0,99	8,29	14,27	69,22
	2012/13	8,14	0,63	0,75	2,06	5,17	4,62	5,41	17,60	55,63
	2013/14	4,25	1,39	1,42	1,04	1,82	2,99	18,85	22,60	45,64
Noroeste	2011/12	2,95	3,56	8,85	4,50	30,51	20,44	21,97	4,50	2,72
	2012/13	5,34	5,12	8,80	26,51	29,51	8,13	5,35	4,10	7,15
	2013/14	1,96	1,24	9,38	24,35	47,72	11,34	2,18	0,57	1,26
Norte Central	2011/12	0,57	0,15	0,60	0,83	12,89	27,75	30,17	14,46	12,58
	2012/13	0,60	0,41	0,83	7,41	26,51	25,21	18,72	11,27	9,04
	2013/14	0,30	0,12	0,81	5,23	41,24	30,26	13,78	3,58	4,69
Norte Pioneiro	2011/12	1,56	0,42	1,21	0,83	5,10	15,75	30,61	22,77	21,74
	2012/13	1,09	0,34	0,23	1,69	18,79	17,56	26,57	12,57	21,15
	2013/14	0,56	0,05	0,11	1,44	20,36	32,26	24,96	7,73	12,55
Oeste	2011/12	2,91	14,34	16,79	11,45	31,25	11,35	7,27	3,10	1,55
	2012/13	0,16	1,04	13,84	55,52	23,54	1,94	2,37	0,86	0,73
	2013/14	0,98	6,18	21,85	32,44	30,39	5,93	1,21	0,28	0,74
Sudeste	2011/12	2,67	1,23	1,08	0,96	2,64	1,07	6,00	18,44	65,92
	2012/13	0,63	0,10	0,21	0,32	3,59	4,52	9,14	37,29	44,22
	2013/14	12,00	1,12	5,18	1,76	1,84	4,17	17,00	19,24	37,70
Sudoeste	2011/12	4,74	2,45	2,22	2,33	7,16	11,00	20,47	26,97	22,65
	2012/13	0,48	1,00	3,04	5,18	16,54	4,83	17,94	29,88	21,12
	2013/14	0,45	1,24	4,72	6,85	22,44	21,56	19,12	9,95	13,68
Paraná	2011/12	1,96	4,11	6,30	5,15	16,05	13,75	17,17	13,07	22,45
	2012/13	0,87	0,77	7,66	18,15	18,34	9,69	12,29	15,24	16,99
	2013/14	1,50	2,06	8,16	11,88	26,87	16,46	12,18	7,74	13,15
Paraná SEAB/Deral	2011/12		3			19			78	
	2012/13		1			38			61	
	2013/14		4			38			58	

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

6.2.3.2 Deltas da Soja

Foi criada uma variável avaliando o ciclo da soja entre a DS_{EVI} e a $DMDV_{EVI}$. Essa variável, Delta1, corresponde ao período que a planta utiliza toda sua reserva energética para o seu crescimento vegetativo e parte dos estádios reprodutivos, compreendendo os estádios

fenológicos VE (emergência), VC (cotilédone), V1 (primeiro nó), V2 (segundo nó), V3 (terceiro nó) até Vn (enésimo nó), R1, R2 e R3 (FEHR & CAVINESS, 1981; INPI, 2009).

A informação Delta1 é importante pois revela o intervalo que a planta necessitou para se formar completamente e iniciar o enchimento de grãos (INPI, 2009). Plantas bem formadas refletem diretamente na produtividade final, enquanto plantas que sofreram algum estresse no período do Delta1 apresentam menor porte, menor quantidade de vagens e menor número de grãos por vagem (EMBRAPA, 2013).

A Figura 43 mostra a variável Delta1, para o ano-safra 2011/2012, em que se predomina a coloração amarelada, o que evidencia que a maior parte do estado (40,73%) alcança o $DMDV_{EVI}$ entre 61 a 80 dias após a DS_{EVI} , a qual chamamos aqui de intervalo I. Em seguida, 28,25% da área de soja alcança a $DMDV_{EVI}$ em um intervalo de 81 a 100 dias, sendo este o intervalo II. Para o ano-safra 2012/2013 (Figura 44) este padrão se mantém, com 50,78% das áreas de soja alcançando o $DMDV_{EVI}$ em I e 23,87% em II. Por fim, o ano-safra 2013/2014 (Figura 45) 53,59% das áreas alcançam a $DMDV_{EVI}$ em I e 18,52% em II. Todos os percentuais informados encontram-se na Tabela 13.

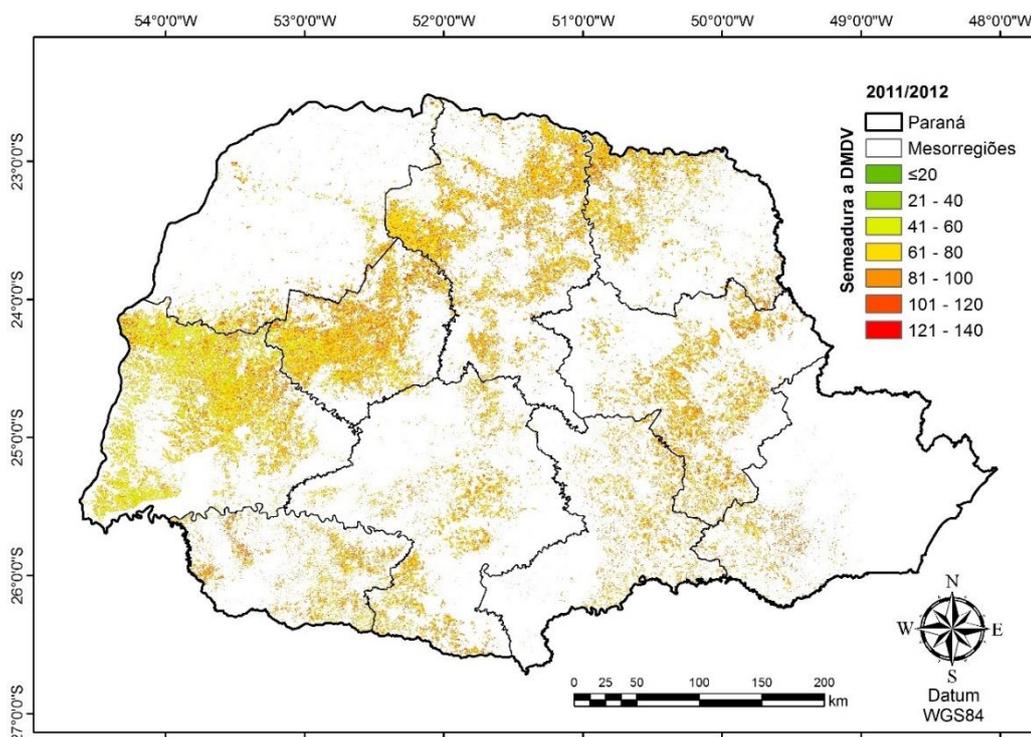


Figura 43 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2011/2012.

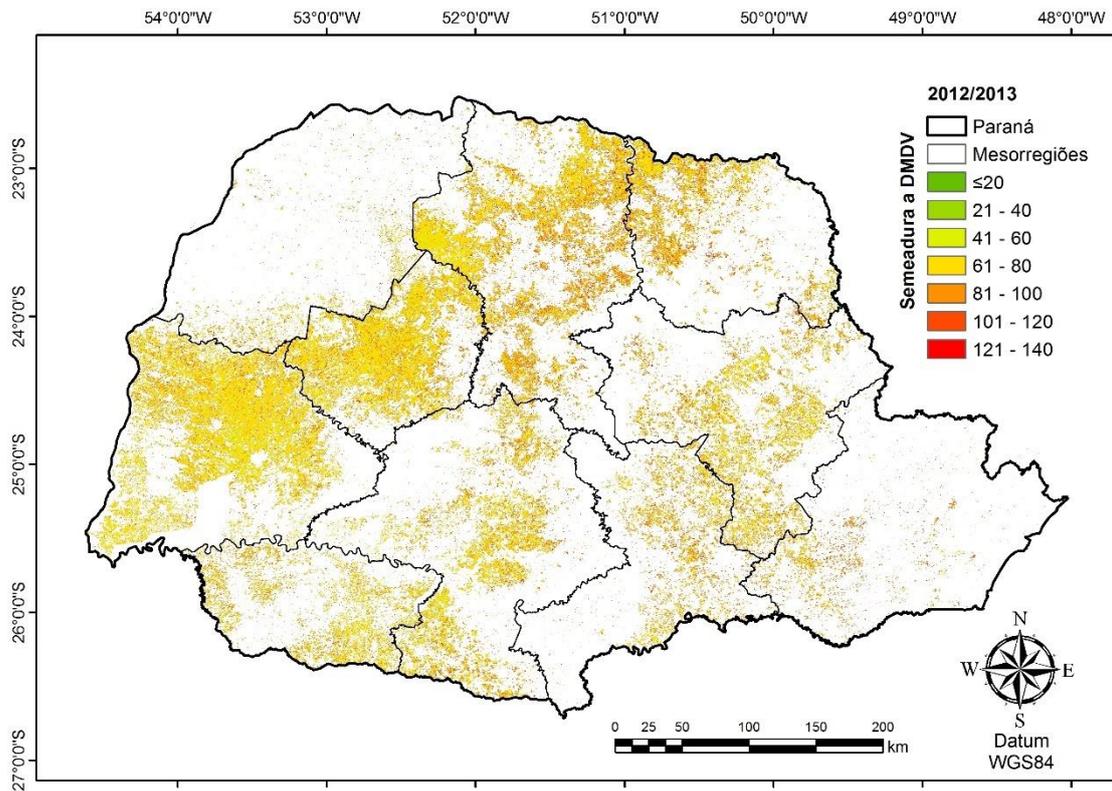


Figura 44 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2012/2013.

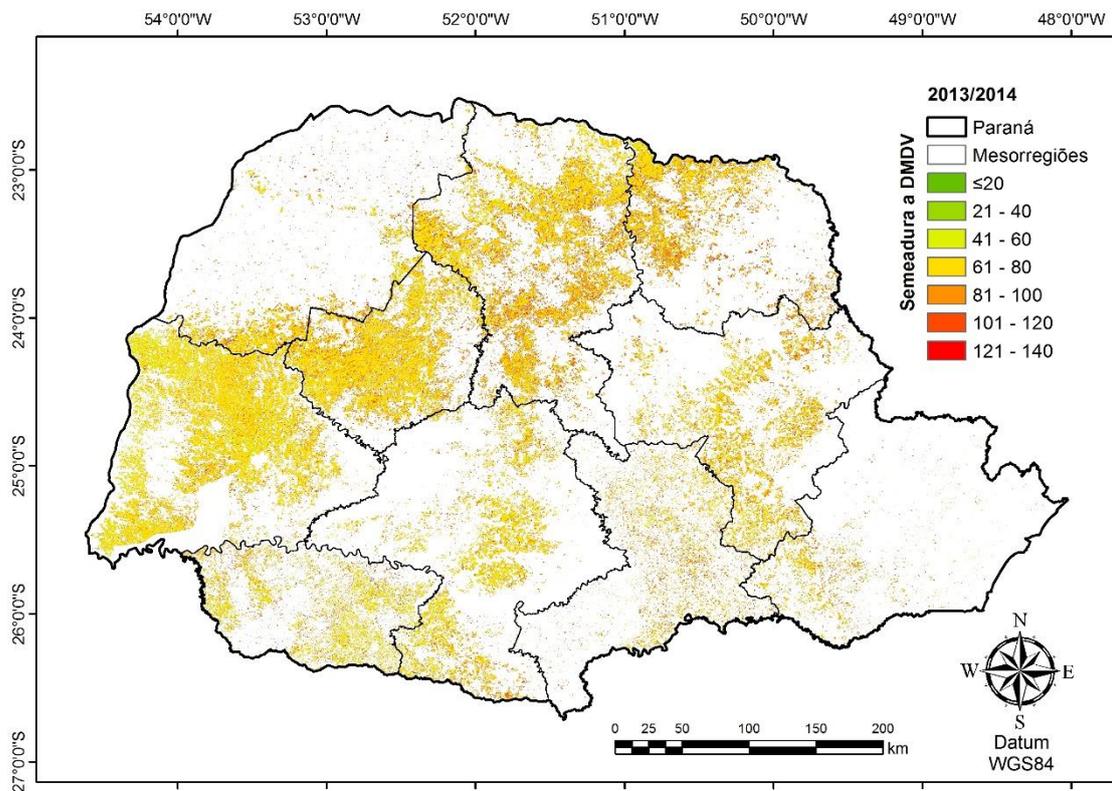


Figura 45 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para a soja, ano-safra 2013/2014.

As Figura 46 a Figura 48 nos trazem o tempo necessário para a soja ser colhida, estando na fase de $DMDV_{EVI}$. Esta informação é de uma importância extrema, principalmente

no setor logístico de unidades armazenadoras. Sabendo-se a data de colheita, tem-se uma noção do fluxo de entrada de grãos nas unidades, podendo-se calcular a necessidade física e de mão de obra para o período (JOHANN et al., 2016).

As colorações esverdeada e amarelada (Figura 46 a Figura 48) representam mais de 80% das áreas do Estado (Tabela 13), indicando que o intervalo entre a $DMDV_{EVI}$ e a DC_{EVI} está entre 41 e 80 dias. Nos anos-safras analisados este período foi dividido em duas classes: I de 41 a 60 dias e II de 61 a 80 dias. Para o ano-safra 2011/2012 (Figura 46) no intervalo I estão 49,42% e no intervalo II estão 33,09% da área do Estado (Tabela 13). No ano 2012/2013 (Figura 47), 61,77% ocorreu no intervalo I e 23,02% no intervalo II, próximo ao que ocorreu no ano-safra 2013/2014 (Figura 48) com 67,58% e 21,07% das áreas de soja nestas classes, respectivamente (Tabela 13).

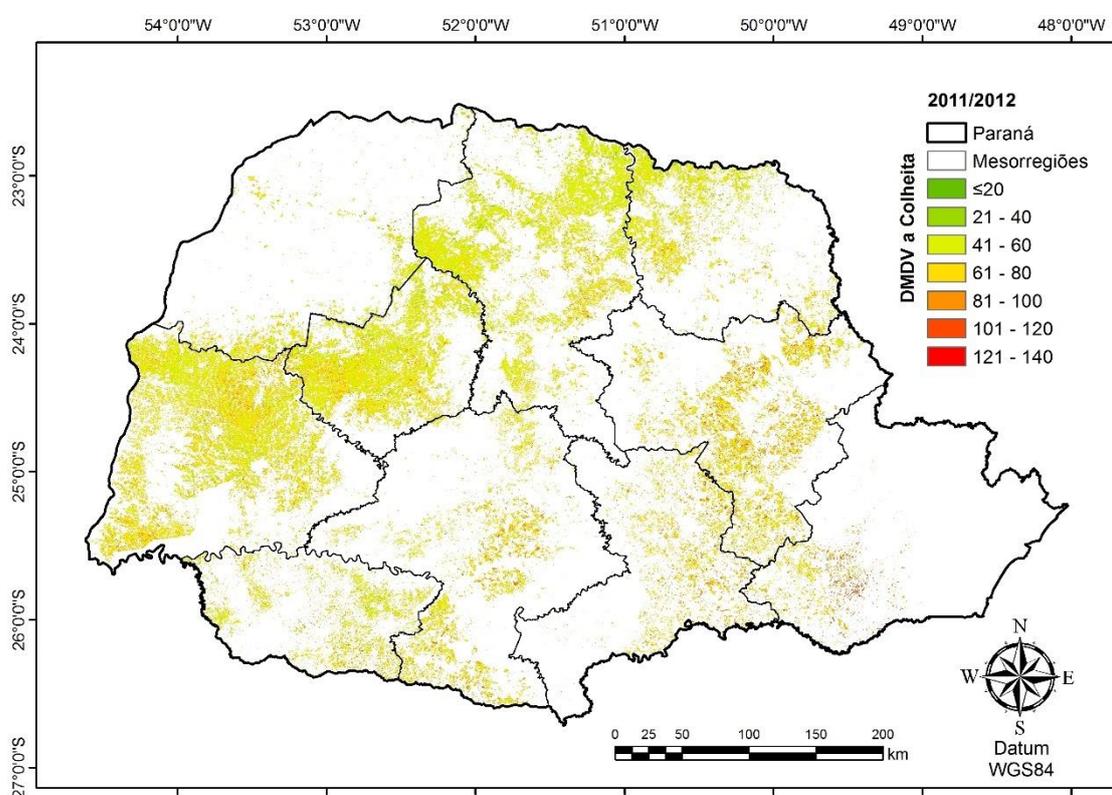


Figura 46 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2011/2012.

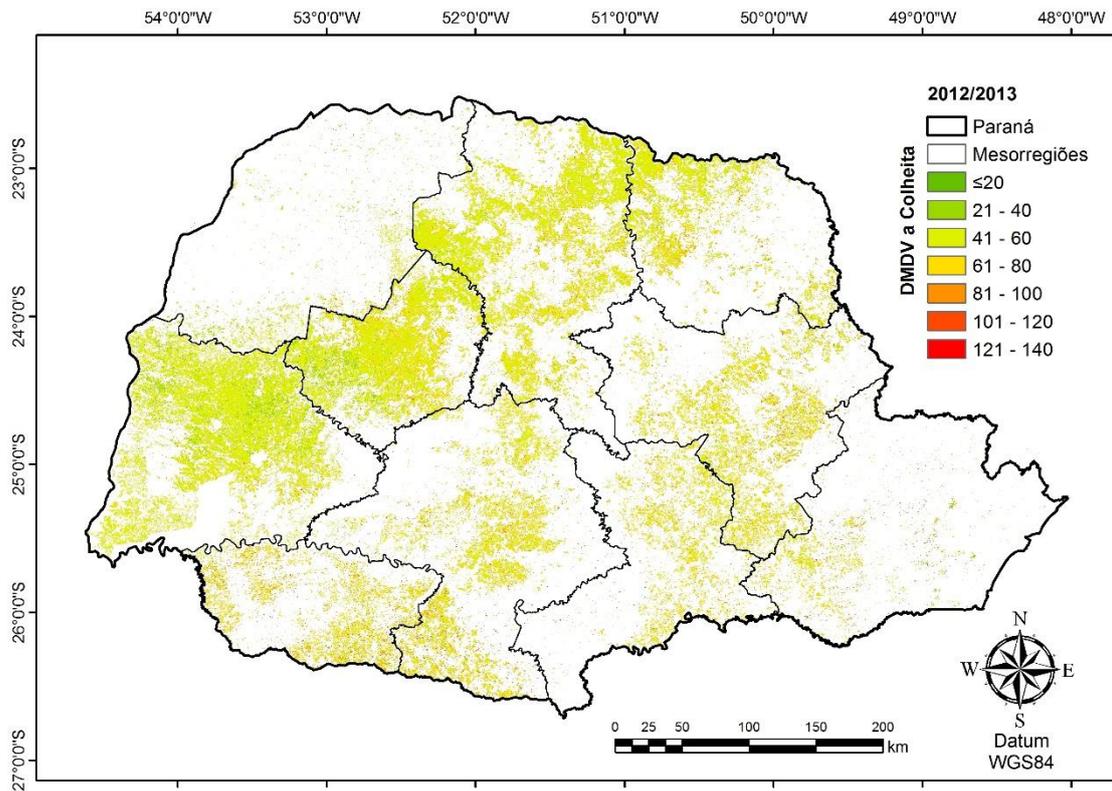


Figura 47 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV_{EVI}) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2012/2013.

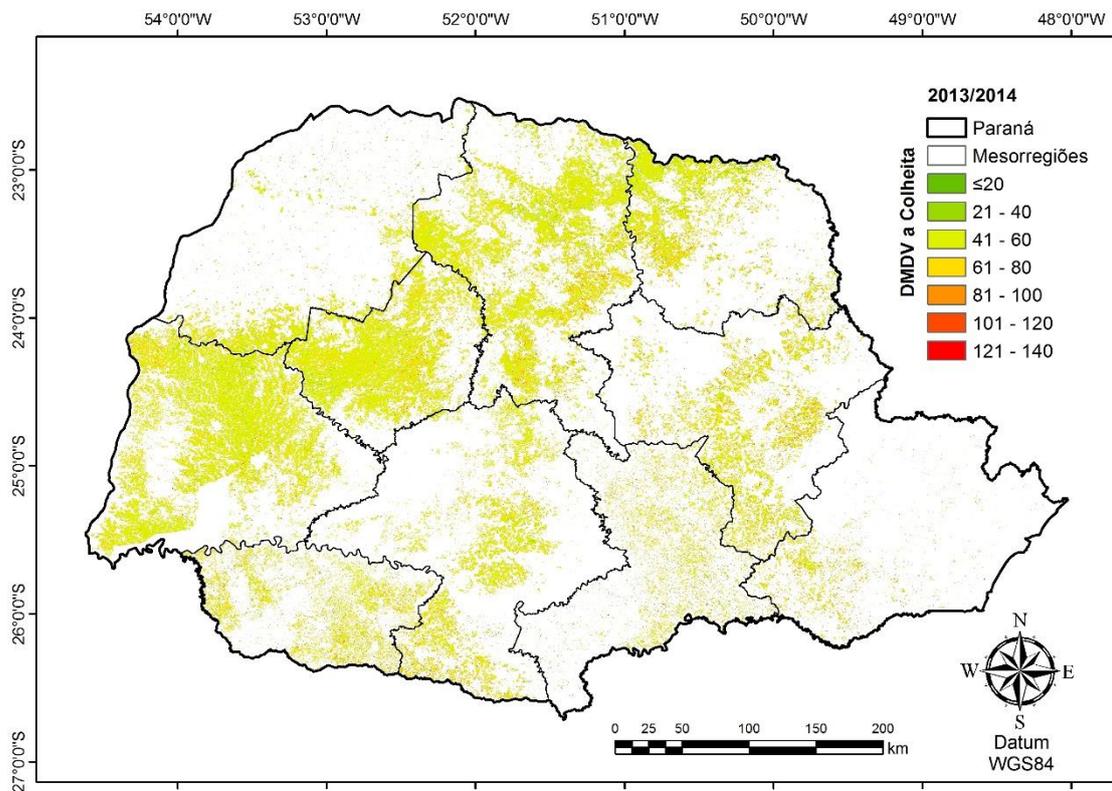


Figura 48 Delta2 - Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV_{EVI}) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para a soja, ano-safra 2013/2014.

Embora sejam utilizadas diferentes variedades de soja no Estado, e haja época de semeadura diferenciada para cada mesorregião, observa-se pelos resultados apresentados

nas Figura 43 a Figura 48 e na Tabela 13, que os intervalos Delta1 e Delta2 são semelhantes nos três anos-safra estudados. Isto evidencia uma certa homogeneidade de ciclo de soja para o Paraná, independente de fatores regionais. A Figura 49 ilustra que cada mesorregião do estado tem comportamento único, porém não difere tanto da média estadual.

Tabela 13 Percentual de áreas de soja por intervalo de desenvolvimento (Delta1 e Delta2) para todo o estado do Paraná

Classes \ Anos-safra	2011/2012		2012/2013		2013/2014	
Dias	Delta1	Delta2	Delta1	Delta2	Delta1	Delta2
≤ 20	0,12%	0,51%	0,14%	0,46%	0,05%	0,56%
21 - 40	1,27%	6,41%	0,59%	7,97%	0,49%	5,86%
41 - 60	13,99%	49,42%	10,73%	61,77%	13,19%	67,58%
61 - 80	40,73%	33,09%	50,78%	23,02%	53,59%	21,07%
81 - 100	28,25%	8,13%	23,87%	4,77%	18,52%	3,64%
101 - 120	10,35%	1,90%	10,78%	1,53%	10,06%	1,07%
121 - 140	5,29%	0,54%	3,11%	0,47%	4,10%	0,22%

Nota: valores em negrito correspondem as 2 classes com maior proporção de área.

Os valores de Deltas, quanto verificados por mesorregiões (Figura 49), também ilustram um comportamento único para cada mesorregião do estado. Vemos que as mesorregiões se assemelham à média, principalmente nos anos 2012/2013 e 2013/2014 para o Delta1 e 2013/2014 para o Delta2. No ano-safra 2011/2012, o Delta1 foi menor para as mesorregiões Oeste e Noroeste, indicando que estas regiões atingiram a DMDV antes das demais. O mesmo pode ser verificado nos demais anos. Para o Delta2, mas mesorregiões Centro Oriental, Centro Sul, Metropolitana, Sudeste e Sudoeste sempre levaram mais tempo da DMDV até a DC, já o Centro Ocidental, Noroeste e Oeste levaram menos tempo.

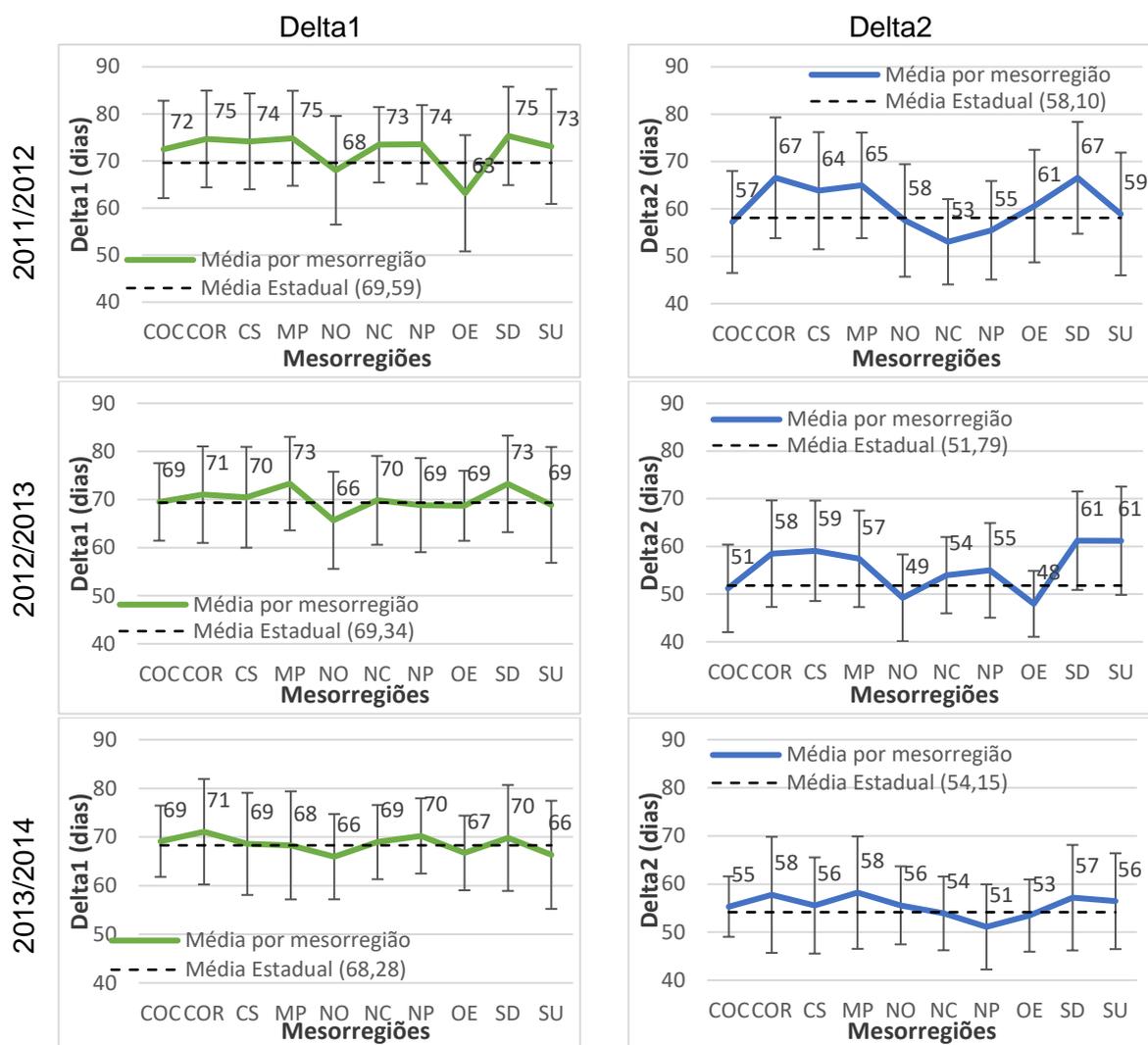


Figura 49 Gráfico de Deltas1 e Delta2 por mesorregiões, sendo o desvio padrão ilustrado em barras acima e abaixo da média da mesorregião, com a média anual do estado em pontilhado. Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

6.2.3.3 Uso do Delta2 para estimativa da data de Colheita da Soja

A média geral do intervalo Delta2 do Paraná ($\Delta_{2\text{Médio-PR}}$) foi de 55 dias entre a DMDV_{EVI} e a DC_{EVI} e as médias por mesorregião do Estado ($\Delta_{2\text{Médio-MR}}$) são apresentadas na Figura 50. Maiores detalhes com valores médios e desvios padrões para cada ano-safra são apresentados na Tabela 14.

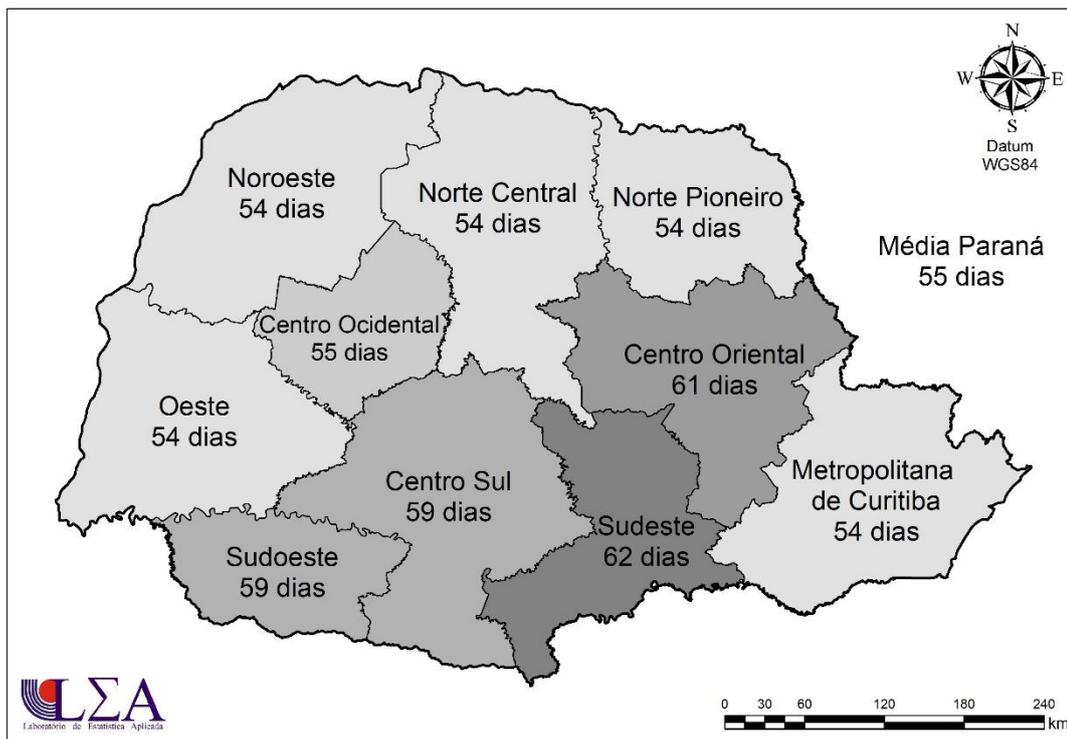


Figura 50 Delta2 médio ($\Delta 2_{\text{M\u00e9dio}}$) da soja dos anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 por mesorregi\u00f5es e para todo o Paran\u00e1, em dias.

Os resultados da diferen\u00e7a ($DC_{\text{Diferen\u00e7a-PR}}$) entre a data de colheita m\u00e9dia estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2}$) para todo o Paran\u00e1 menos a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}) s\u00e3o ilustrados nas Figura 51, Figura 52 e Figura 53. Os anos-safra 2011/2012 (Figura 51) e 2013/2014 (Figura 53) foram semelhantes nos percentuais dos intervalos, por\u00eam em locais diferentes do estado. V\u00ea-se que em 2011/2012 (Figura 51), para o munic\u00edpio de Toledo e seus entornos, a $DC_{\Delta 2}$ foi subestimada em rela\u00e7\u00e3o a DC_{EVI} (colora\u00e7\u00e3o azulada). No ano-safra seguinte (Figura 52) ocorreu o inverso, ou seja, a $DC_{\Delta 2}$ superestimou os dias em rela\u00e7\u00e3o a DC_{EVI} . Em 2013/2014 (Figura 53), na regi\u00e3o de Toledo e munic\u00edpios vizinhos, houve uma leve superestima\u00e7\u00e3o, predominando o intervalo de -8 a 0 dias de diferen\u00e7a.

Tabela 14 Valores de Delta2 ($\Delta_{2, \text{Média}}$) e desvio padrão médios estimados (anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014) para as mesorregiões e para o estado, em dias

Mesorregião	2011/2012		2012/2013		2013/2014		Delta2 (Média 3 anos)
	Delta2	Desvio Padrão	Delta2	Desvio Padrão	Delta2	Desvio Padrão	
COC	57	11	51	9	55	6	55
COR	67	13	58	11	58	12	61
CS	64	12	59	11	56	10	59
MC	65	11	57	10	58	12	60
NO	58	12	49	9	56	8	54
NC	53	9	54	8	54	8	54
NP	55	10	55	10	51	9	54
OE	61	12	48	7	53	8	54
SD	67	12	61	10	57	11	62
SO	59	13	61	11	56	10	59
PR	58	12	52	9	54	8	55

Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

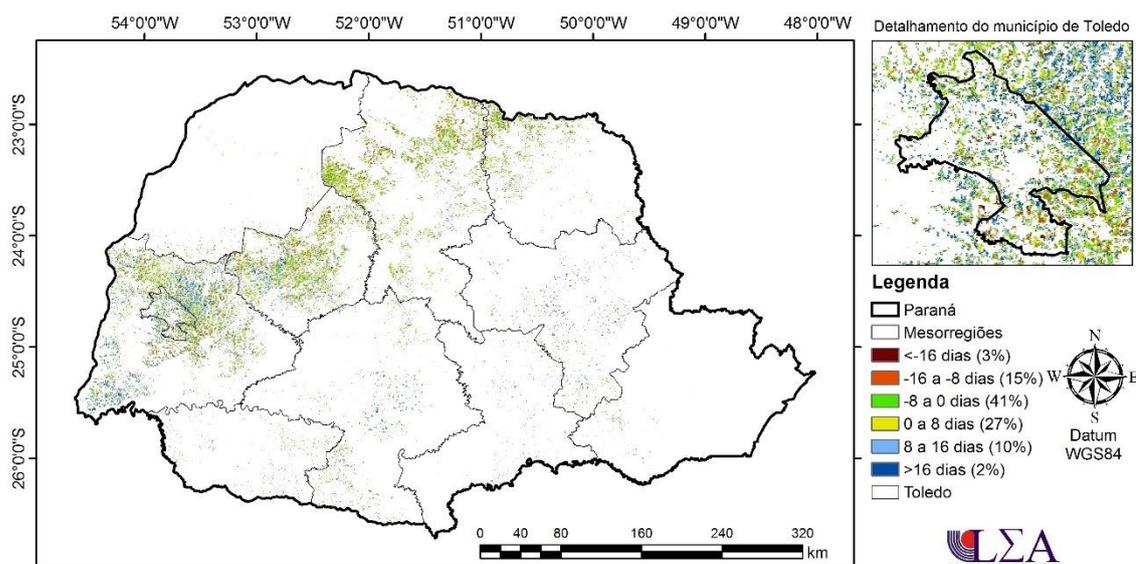


Figura 51 Diferença em dias ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{\Delta 2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2011/2012.

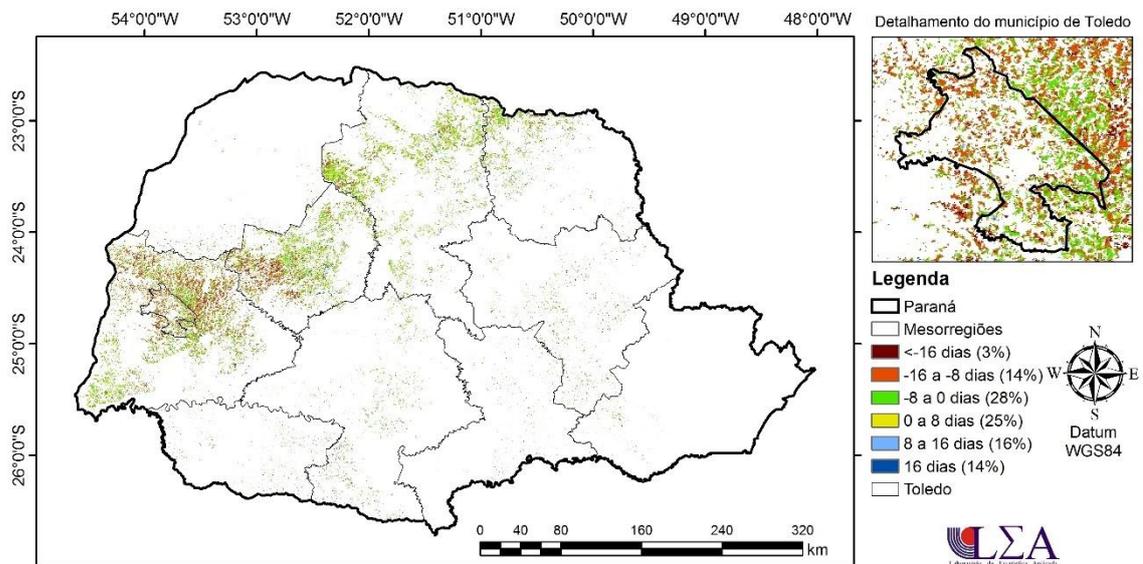


Figura 52 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{Delta2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2012/2013.

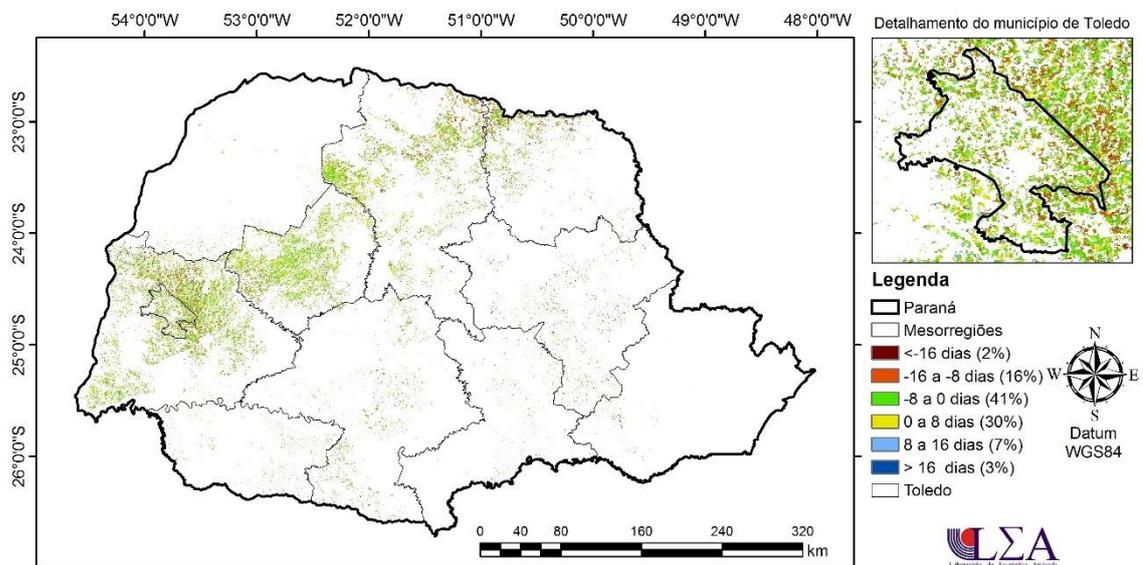


Figura 53 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{Delta2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura da soja, ano-safra 2013/2014.

Após estimar a DC_{Delta2} com o valor médio de 55 dias ($Delta2_{Médio}$) obtido para os três anos-safra (Figura 50), fez-se o mesmo procedimento para estimar a DC_{Delta2} , considerando agora os valores médios dos três anos-safra para cada mesorregião (Figura 50), com o intuito de considerar as características regionais do Estado.

Na

Tabela 15 são apresentados os percentuais de área da diferença ($DC_{Diferença-MR}$) em intervalos de dias para os três anos-safra e cada mesorregião do Paraná. Entretanto, na Figura 54 são apresentados apenas os percentuais da $DC_{Diferença}$ para o estado e as mesorregiões nos intervalos de -16 a 16 dias e -8 a 8 dias, visto que se considerarmos os dois

satélites MODIS (TERRA ou AQUA) temos cenas de 8 dias e se considerarmos apenas um dos satélites, temos cenas a cada 16 dias. Podemos verificar que, quando trabalhamos com a média estadual, a $DC_{Diferença}$ é menor nos anos 2011/2012 e 2013/2014, e maior no ano-safra 2012/2013. Tais resultados sugerem que o uso da DC_{Delta2} estadual é melhor do que a DC_{Delta2} por mesorregião, porém esta última não considera a quantidade de dados (pixels), enquanto que a média estadual os considera. Destaca-se o ano-safra 2013/2014, com os maiores percentuais de inclusão nas classes citadas, o que correspondem a menores diferenças entre as estimativas. Dentro do intervalo -8 a 8 dias teve-se, na $DC_{Diferença-PR}$, 74% das áreas e no intervalo -16 a 16, 95% das áreas do estado. Outro destaque que se faz é a mesorregião Centro Ocidental, no ano-safra 2013/2014, em que 83% das áreas ficaram com diferenças nas estimativas inferiores ao intervalo -8 a 8 dias, e 92% no intervalo -16 a 16 dias.

Tabela 15 Percentual de área da $DC_{Diferença}$ por mesorregião em cada ano-safra, para a cultura da soja

Mesorregião	Ano-safra	Intervalo (dias)						Média (dias)	SD (dias)
		<-16	-16 a -8	-8 a 0	0 a 8	8 a 16	>16		
COC	2011/12	10	17	27	29	14	3	-2,3	10,8
	2012/13	4	6	20	35	30	5	3,7	9,17
	2013/14	2	8	41	42	7	1	-0,4	6,28
COR	2011/12	23	19	24	20	9	5	-5,2	12,8
	2012/13	6	10	22	30	20	12	2,9	11,16
	2013/14	7	10	17	26	27	13	3,6	12,05
CS	2011/12	19	18	23	22	14	4	-4,0	12,4
	2012/13	7	12	24	33	18	6	0,8	10,52
	2013/14	4	8	16	32	31	9	4,4	9,99
MC	2011/12	15	20	31	23	8	3	-4,4	11,2
	2012/13	3	9	24	33	19	11	3,1	10,10
	2013/14	9	11	16	30	24	10	2,3	11,70
NC	2011/12	5	10	27	39	18	3	0,9	9,0
	2012/13	4	9	34	40	12	1	0,0	7,98
	2013/14	2	10	36	36	14	1	0,1	7,66
NO	2011/12	16	15	25	26	15	3	-3,1	11,9
	2012/13	3	5	14	36	34	8	5,2	9,11
	2013/14	4	14	37	33	11	1	-1,1	8,11
NP	2011/12	9	14	27	33	14	3	-1,3	10,4
	2012/13	9	9	29	35	16	1	-0,8	9,91
	2013/14	4	5	21	39	26	4	3,1	8,84
OE	2011/12	21	22	26	20	10	2	-6,2	11,9
	2012/13	1	3	12	40	41	4	6,4	6,90
	2013/14	2	8	31	42	15	1	0,9	7,49
SD	2011/12	18	21	26	22	9	5	-4,6	11,8
	2012/13	6	13	26	33	15	7	0,8	10,32
	2013/14	4	9	16	29	29	12	4,8	10,97
SO	2011/12	13	13	20	24	20	10	0,4	13,0
	2012/13	11	20	25	26	13	6	-1,9	11,34
	2013/14	5	8	22	35	25	6	2,8	9,95
PR	2011/12	3	12	31	35	14	5	0,03	11,59
	2012/13	3	14	28	25	16	14	-0,03	9,17
	2013/14	2	16	41	30	7	3	-0,01	7,95

Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

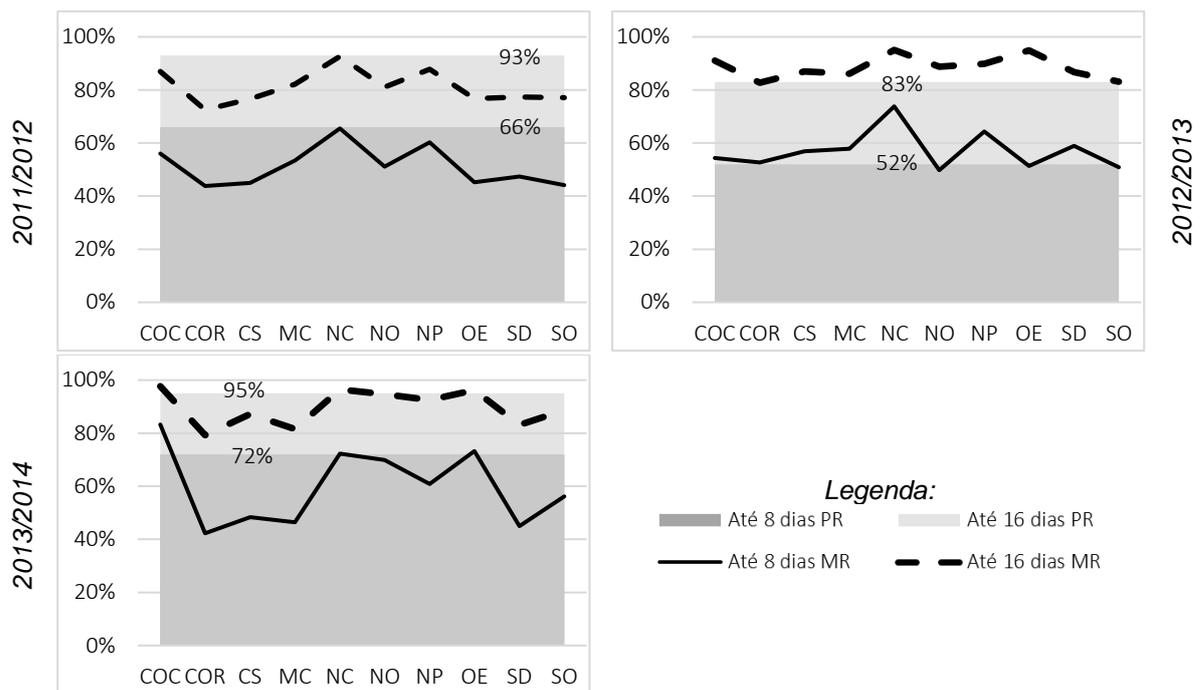


Figura 54 Diferença percentual da data de colheita estimada e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI, para a cultura da soja.

Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

6.2.3.4 Milho

O milho primeira safra é costumeiramente semeado antes da soja, sendo para Yamaoka (2012) dividido em 3 tipos: milho antecipado (semeadura em setembro), milho normal (semeado em outubro) e milho tardio (em novembro). A Figura 55 segue a tendência de coloração esverdeada, indicando que a semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2011/2012, ocorre com mais intensidade no mês de setembro. Na Tabela 16, constam os valores percentuais de áreas semeadas no estado e nas mesorregiões. Especificamente, o 1º e o 3º decêndios de setembro representam 30,44 e 26,24%, respectivamente, da DS_{EVI} do milho. O 1º decêndio de outubro representa 18,12%, da DS_{EVI} de milho no estado. Para o ano-safra 2012/2013 (Figura 56), mais da metade da DS_{EVI} do milho ocorre em um único decêndio, sendo este o 1º decêndio de outubro, com 54,41%. O 2º decêndio de outubro corresponde a 24,07% da DS_{EVI} . Por fim, o ano-safra 2013/2014 (Figura 57) contou com uma DS_{EVI} mais distribuída, entre os meses de outubro e novembro. Os três decêndios de outubro corresponderam a 21,41, 25,57 e 21,84% da DS_{EVI} e o 1º decêndio de novembro 15,88%.

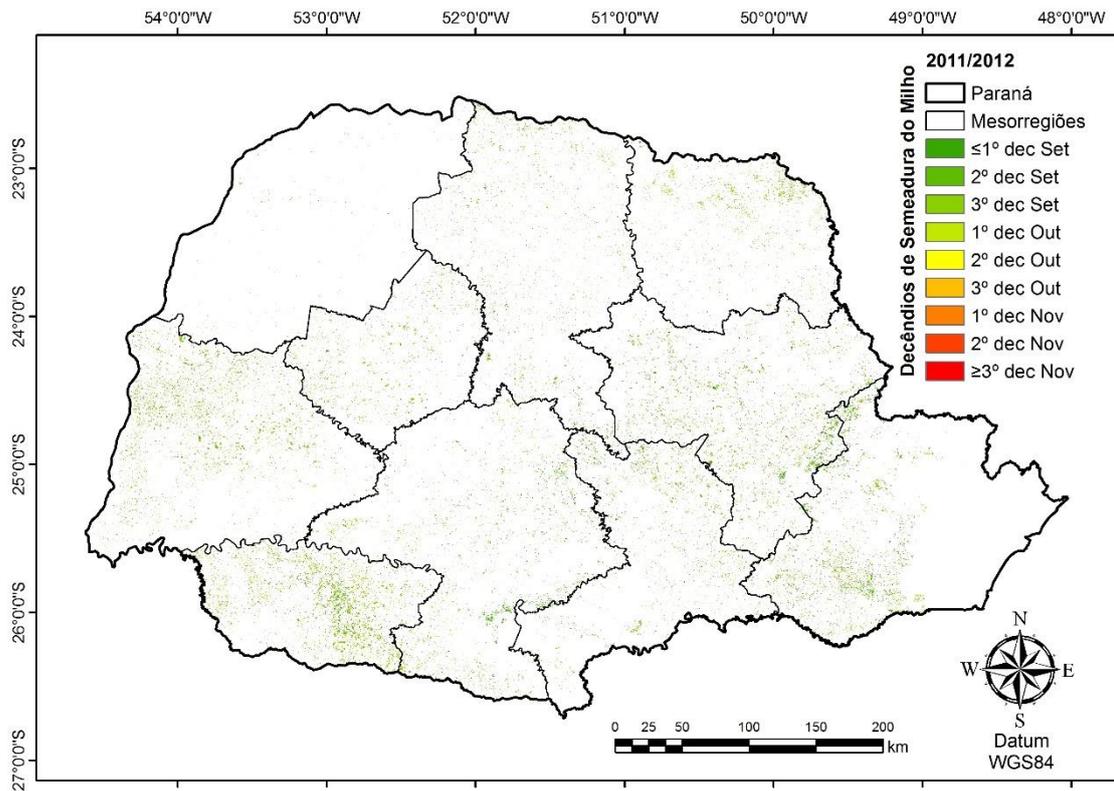


Figura 55 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2011/2012.

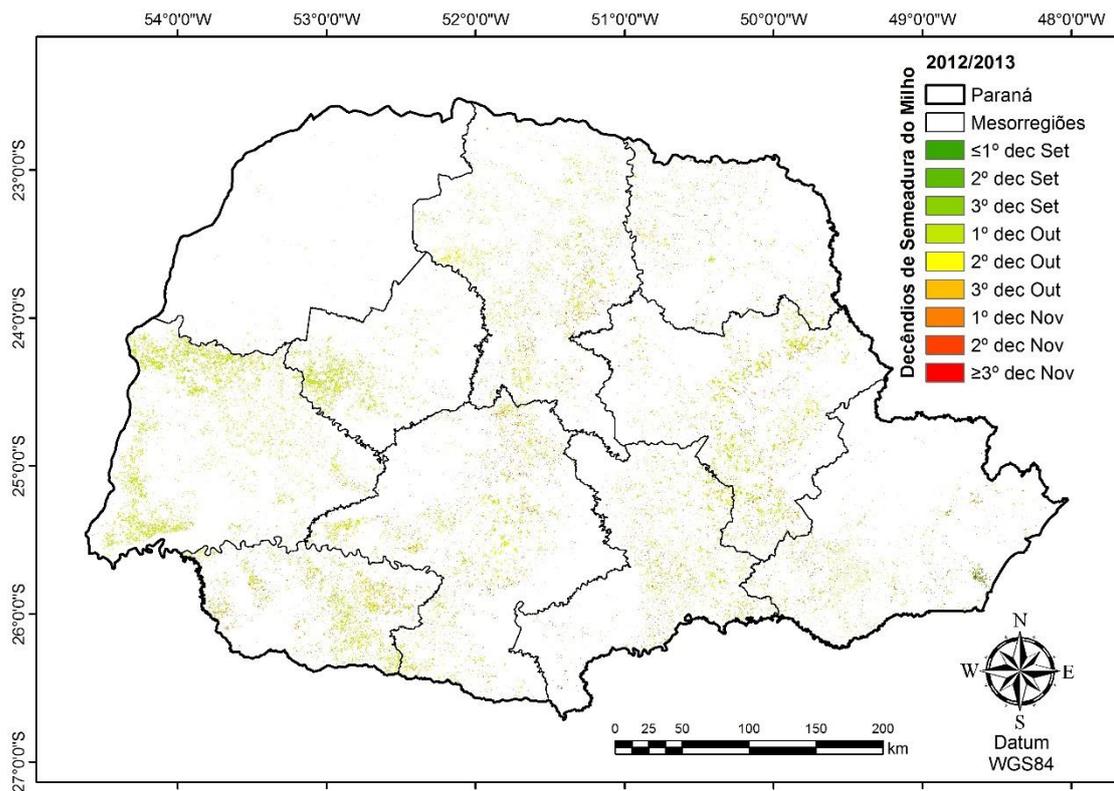


Figura 56 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2012/2013.

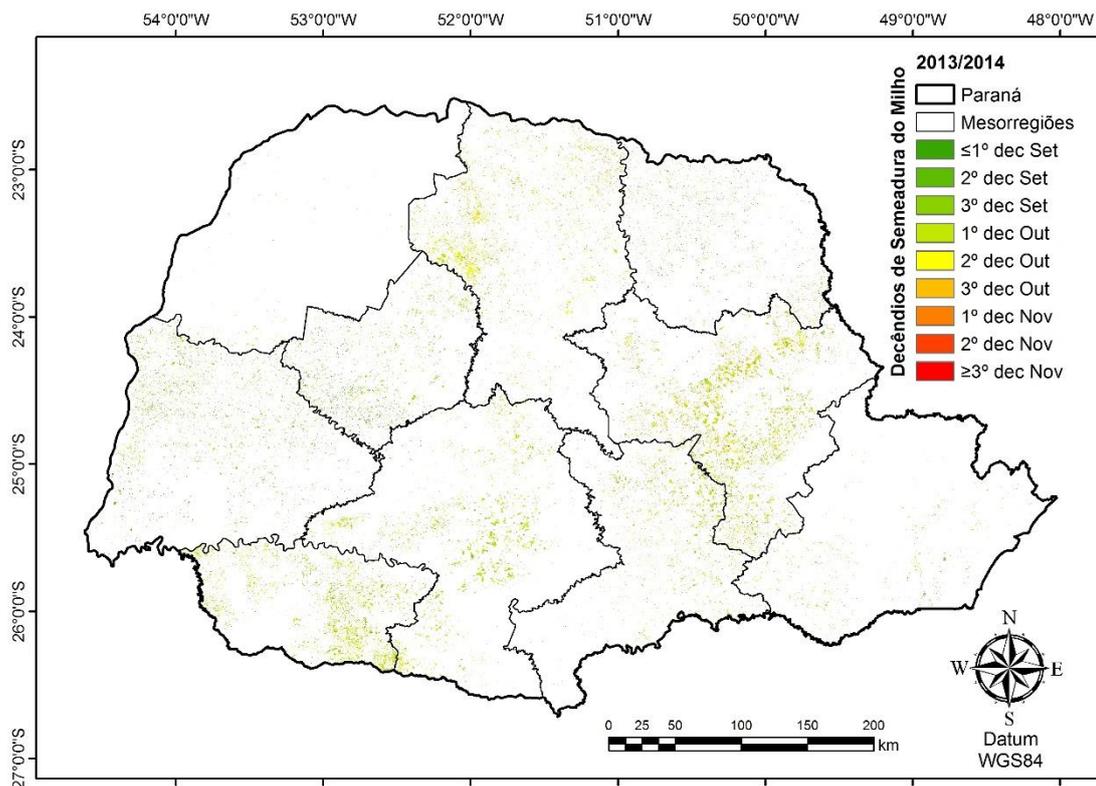


Figura 57 Decêndios de semeadura do milho (DS_{EVI}), ano-safra 2013/2014.

A análise individual das mesorregiões (Tabela 16), denota que todas realizaram semeadura antecipada no ano-safra 2011/2012, e que esse comportamento não se repetiu nos dois anos seguintes. Este fato pode ter ocorrido em razão das condições de plantio propícias no ano de 2011, com quantidade favorável de precipitação (CONAB, 2011). O 1º decêndio de outubro foi o com maior DS_{EVI} , que em todos os anos contou com alto percentual. A Tabela 16 resume as áreas percentuais de DS_{EVI} do milho nas mesorregiões do Paraná, bem como os percentuais totais do Paraná e os oficiais obtidos da SEAB/Deral (2016).

Comparando com os dados oficiais, para o ano-safra 2011/2012, vê-se que a metodologia estima 64,95% da DS_{EVI} ocorrendo no mês de setembro, quase 19% a mais que o informado oficialmente. No ano 2012/2013, no mês de outubro é semeada 79,23% das áreas do estado, diferindo dos 60% informados pela SEAB. No ano 2013/2014 as diferenças são menores, sendo 63,26% estimado pela metodologia e 58% informado pela SEAB.

A maior parte do milho paranaense do ano-safra 2011/2012 (Figura 58 e Tabela 17) atingiu sua $DMDV_{EVI}$ nos meses de novembro, dezembro e janeiro. No mês de novembro, 39,51% das áreas do estado estavam em $DMDV_{EVI}$, no mês de dezembro 34,74% e no mês de janeiro 25,74%. Nos anos 2012/2013 (Figura 59) e 2013/2014 (Figura 60) as $DMDV_{EVI}$ se concentram no mês de dezembro e início de janeiro (Tabela 17).

Tabela 16 Percentual de área semeada de milho por decêndios e mesorregiões no estado do Paraná

Mesorregiões	Ano-safra	1ºSet	2ºSet	3ºSet	1ºOut	2ºOut	3ºOut	1ºNov	2ºNov	3ºNov
Centro Ocidental	2011/12	22,01	5,77	33,01	20,52	5,00	6,28	4,79	1,05	1,57
	2012/13	0,43	0,51	3,05	90,28	5,13	0,00	0,13	0,22	0,25
	2013/14	18,59	17,75	22,20	29,76	6,35	2,08	2,35	0,79	0,12
Centro Oriental	2011/12	37,67	8,84	20,48	14,47	3,33	3,67	4,05	3,76	3,72
	2012/13	0,80	0,90	7,41	48,79	26,58	0,77	3,11	7,17	4,46
	2013/14	3,79	2,49	19,00	21,25	20,31	30,50	0,27	0,11	2,29
Centro Sul	2011/12	35,86	7,09	21,95	17,36	4,06	3,76	3,19	1,54	5,20
	2012/13	1,30	0,69	6,18	38,93	33,62	1,48	3,69	8,21	5,90
	2013/14	4,85	3,80	16,56	46,15	25,23	3,00	0,00	0,23	0,18
Metro Curitiba	2011/12	40,58	9,43	23,05	17,13	1,54	1,98	2,33	2,08	1,89
	2012/13	11,12	1,50	6,30	40,89	20,95	1,94	3,67	6,68	6,95
	2013/14	5,77	2,28	15,99	16,37	17,98	30,07	9,18	0,00	2,36
Noroeste	2011/12	37,52	7,74	30,66	14,60	3,21	4,23	1,17	0,29	0,58
	2012/13	1,90	0,95	6,84	77,38	10,27	0,19	2,09	0,19	0,19
	2013/14	2,88	1,86	10,66	71,91	12,52	0,00	0,17	0,00	0,00
Norte Central	2011/12	25,11	4,51	26,27	16,35	4,10	7,05	10,10	3,65	2,87
	2012/13	1,07	1,00	8,98	39,94	34,75	0,39	4,34	4,74	4,80
	2013/14	4,04	4,00	8,45	16,54	37,40	23,60	5,54	0,26	0,16
Norte Pioneiro	2011/12	12,36	2,83	13,48	21,40	11,39	25,22	10,95	1,54	0,81
	2012/13	1,35	1,72	8,86	36,85	28,27	0,06	4,37	11,33	7,19
	2013/14	11,19	11,36	22,99	15,41	13,17	10,31	7,81	2,64	5,12
Oeste	2011/12	26,30	6,31	32,92	23,48	4,42	3,38	2,64	0,27	0,28
	2012/13	0,57	0,55	4,21	77,69	16,15	0,04	0,35	0,33	0,11
	2013/14	8,32	18,56	47,66	15,05	4,83	3,40	1,72	0,18	0,27
Sudeste	2011/12	40,23	6,09	22,75	13,52	3,67	4,83	3,56	2,54	2,80
	2012/13	1,34	1,57	8,73	43,66	27,11	2,06	3,05	8,07	4,40
	2013/14	2,58	2,74	30,23	21,54	21,93	20,14	0,06	0,02	0,76
Sudoeste	2011/12	23,48	11,93	25,34	18,84	6,21	6,31	4,39	1,14	2,36
	2012/13	1,38	1,03	10,39	52,43	22,36	0,50	4,82	4,05	3,04
	2013/14	2,28	4,27	19,66	34,11	29,47	8,59	0,23	0,77	0,62
Paraná	2011/12	30,44	7,67	26,84	18,12	4,01	4,39	4,10	1,97	2,47
	2012/13	1,63	0,93	6,90	54,41	24,07	0,75	2,83	4,91	3,57
	2013/14	5,59	6,32	21,41	25,57	21,84	15,88	1,88	0,41	1,10
Paraná SEAB/Deral	2011/12		46			40			14	
	2012/13		26			60			14	
	2013/14		27			58			15	

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

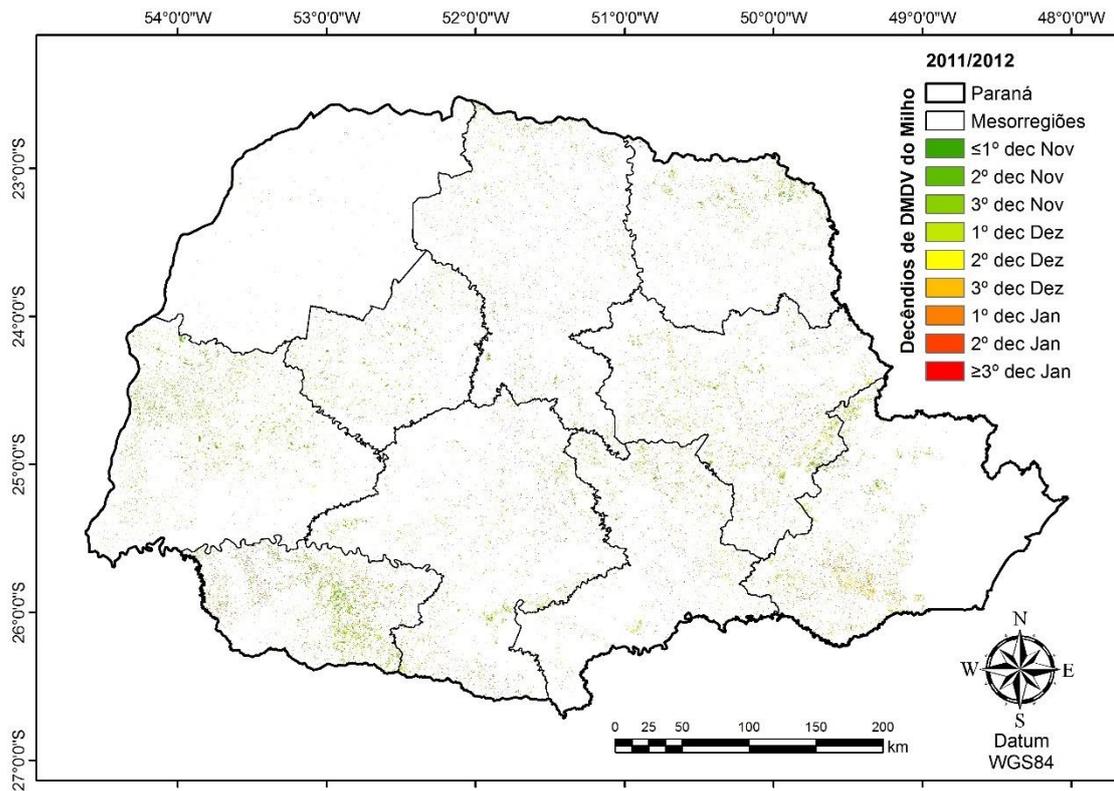


Figura 58 Decênios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2011/2012.

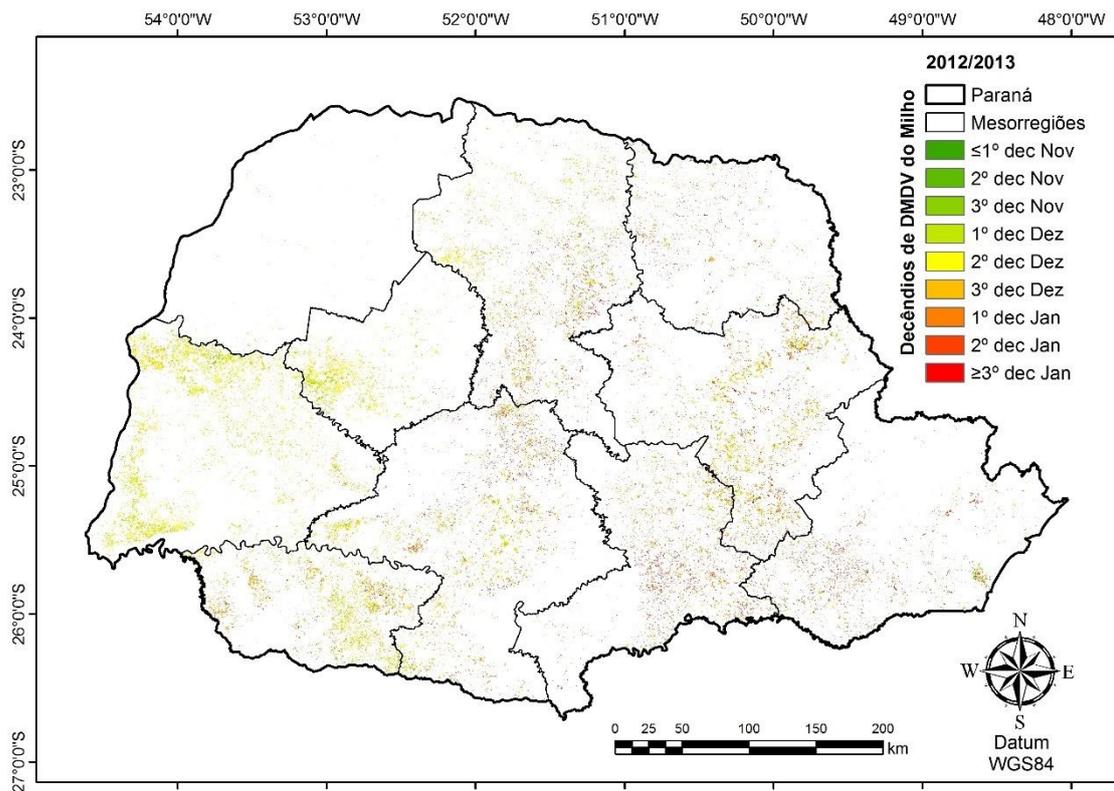


Figura 59 Decênios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2012/2013.

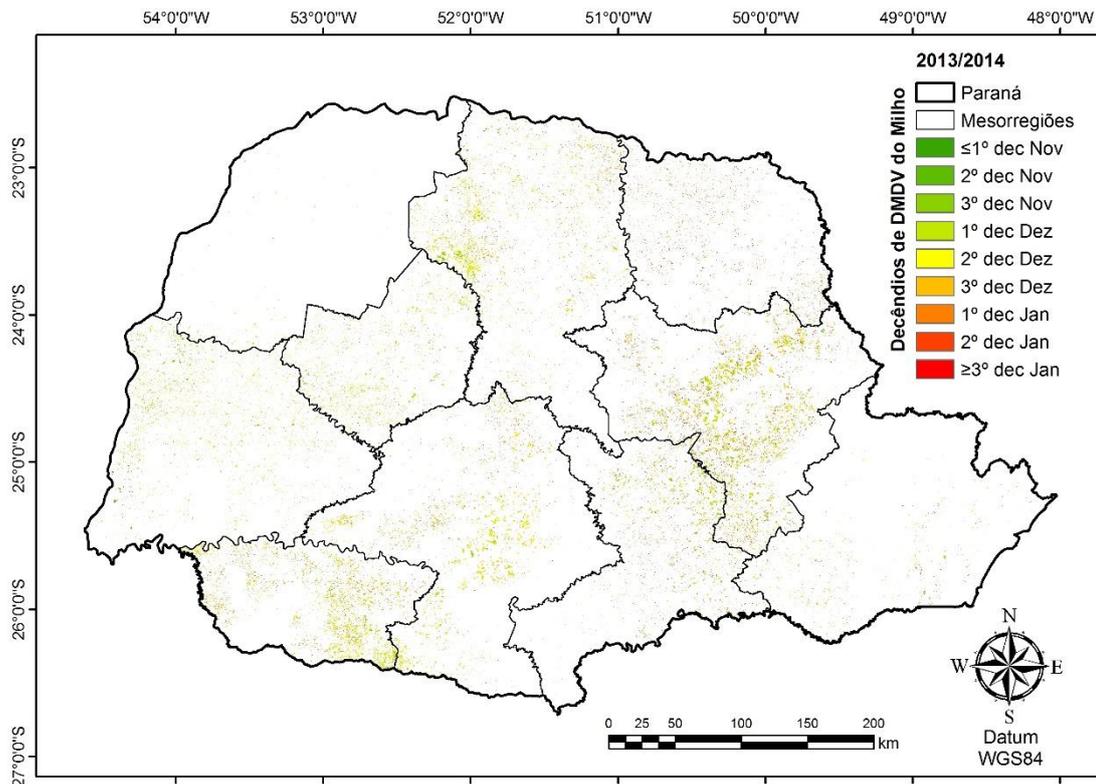


Figura 60 Decêndios de máximo desenvolvimento do milho ($DMDV_{EVI}$), ano-safra 2013/2014.

As mesorregiões paranaenses, obtiveram uma média estadual distribuída pela heterogeneidade das datas nas regiões. Cada uma esteve com sua $DMDV_{EVI}$ definida em dois ou três decêndios. A Tabela 17 traz a área percentual para cada mesorregião e também o total para o estado.

A colheita do milho (DC_{EVI}) deu-se, tal qual a DS_{EVI} e a $DMDV_{EVI}$, de forma distribuída temporalmente no estado. Esse fato deve-se à possibilidade de se manter o milho a campo após este estar pronto para a colheita (AGUIAR e MOURA, 2003), sendo que o mesmo não se aplica para as demais culturas agrícolas, causando perda dos grãos. As Figura 61, Figura 62 e Figura 63, em conjunto com a Tabela 18, trazem essa variação temporal da DC_{EVI} do milho, com maiores percentuais de áreas colhidas no 1º e 2º decênio de janeiro (21,62 e 19,67%) no ano-safra 2011/2012, 20,13% no 3º decênio de janeiro, ano-safra 2012/2013 e 21,79% no 2º decênio de fevereiro, ano safra 2013/2014.

Tabela 17 Percentual de área de máximo desenvolvimento vegetativo do milho por mesorregiões e decêndios no estado do Paraná

Mesorregiões	Ano-safra	1ºNov	2ºNov	3ºNov	1ºDez	2ºDez	3ºDez	1ºJan	2ºJan	3ºJan
Centro Ocidental	2011/12	6,33	17,11	12,93	17,42	14,38	7,68	10,85	8,91	4,39
	2012/13	0,02	0,13	5,51	32,05	51,05	9,61	0,88	0,40	0,35
	2013/14	0,21	0,94	10,21	26,57	28,87	22,54	8,80	1,61	0,24
Centro Oriental	2011/12	6,92	7,47	16,51	14,73	15,42	10,63	11,20	6,87	10,25
	2012/13	1,37	1,54	4,87	8,07	16,49	16,81	18,93	16,69	15,23
	2013/14	1,05	2,62	10,29	18,11	18,46	15,92	14,60	9,88	9,08
Centro Sul	2011/12	8,88	7,89	12,49	13,28	16,27	8,92	9,99	10,13	12,13
	2012/13	0,80	0,44	3,07	11,17	18,72	19,01	17,38	14,75	14,68
	2013/14	0,08	0,44	4,60	19,45	34,13	19,97	14,15	5,64	1,53
Metro Curitiba	2011/12	7,69	7,49	13,33	15,78	18,20	10,73	11,63	6,59	8,55
	2012/13	4,66	2,51	4,89	4,25	5,47	8,03	15,69	20,76	33,75
	2013/14	0,34	1,26	5,10	16,72	25,26	20,80	13,83	7,39	9,30
Noroeste	2011/12	17,08	15,32	19,15	15,76	10,01	9,13	7,95	3,53	2,06
	2012/13	0,38	0,00	9,40	24,95	33,78	22,84	5,76	1,92	0,96
	2013/14	0,00	0,00	8,15	47,88	29,71	8,32	4,92	0,17	0,85
Norte Central	2011/12	8,96	9,18	10,04	8,31	9,58	11,28	16,98	15,07	10,61
	2012/13	0,63	0,24	1,06	4,17	14,88	27,19	24,44	19,20	8,19
	2013/14	0,01	0,86	5,80	9,84	27,73	28,45	21,91	4,44	0,95
Norte Pioneiro	2011/12	10,42	19,40	15,09	9,54	10,42	9,83	10,91	7,42	6,97
	2012/13	1,65	0,32	0,65	2,22	4,80	17,42	31,12	25,99	15,83
	2013/14	3,22	1,14	1,65	1,73	5,41	15,76	35,49	25,59	10,00
Oeste	2011/12	7,79	24,68	29,29	16,99	9,75	4,48	3,55	2,40	1,07
	2012/13	0,02	0,15	3,54	30,80	49,10	15,00	1,05	0,30	0,04
	2013/14	1,26	3,56	18,48	31,90	28,55	12,00	3,37	0,60	0,27
Sudeste	2011/12	5,96	8,58	14,79	16,14	15,30	9,85	9,61	8,88	10,89
	2012/13	1,05	1,06	2,80	3,78	9,20	12,22	21,62	23,20	25,08
	2013/14	0,93	6,67	15,38	19,24	12,90	14,51	14,13	8,57	7,67
Sudoeste	2011/12	9,62	21,65	22,16	12,71	6,52	4,78	5,38	5,91	11,27
	2012/13	0,16	0,85	6,27	17,35	24,46	23,36	17,50	6,54	3,52
	2013/14	0,79	2,00	8,56	19,54	23,70	25,43	15,26	4,33	0,38
Paraná	2011/12	8,10	13,99	17,42	13,97	12,51	8,26	10,05	7,28	8,40
	2012/13	0,85	0,70	3,69	14,65	24,82	17,05	15,90	11,85	10,50
	2013/14	0,75	2,15	9,16	18,40	23,09	19,25	16,62	6,62	3,95

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

Avaliado os decêndios de colheita regionalmente, o comportamento de cada mesorregião não é tão amplo quanto do estado como um todo. As mesorregiões Oeste e a Noroeste colhem com maior antecedência, seguidas da Centro Ocidental. Algumas mesorregiões têm a colheita bem avançada, em março, tais como a Metropolitana de Curitiba e Sudeste. Tal resultado é semelhante ao encontrado para a cultura da soja. A Tabela 18

resume os percentuais de áreas totais e por mesorregião do estado, além dos dados oficiais da SEAB/Deral.

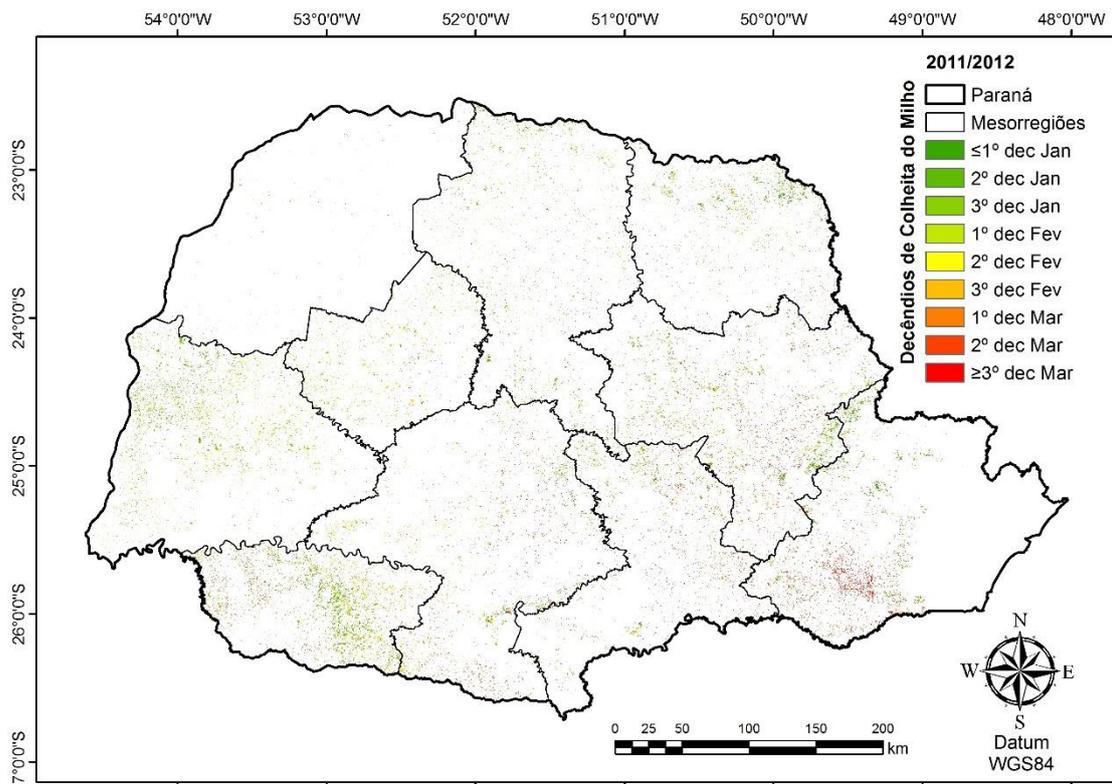


Figura 61 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2011/2012.

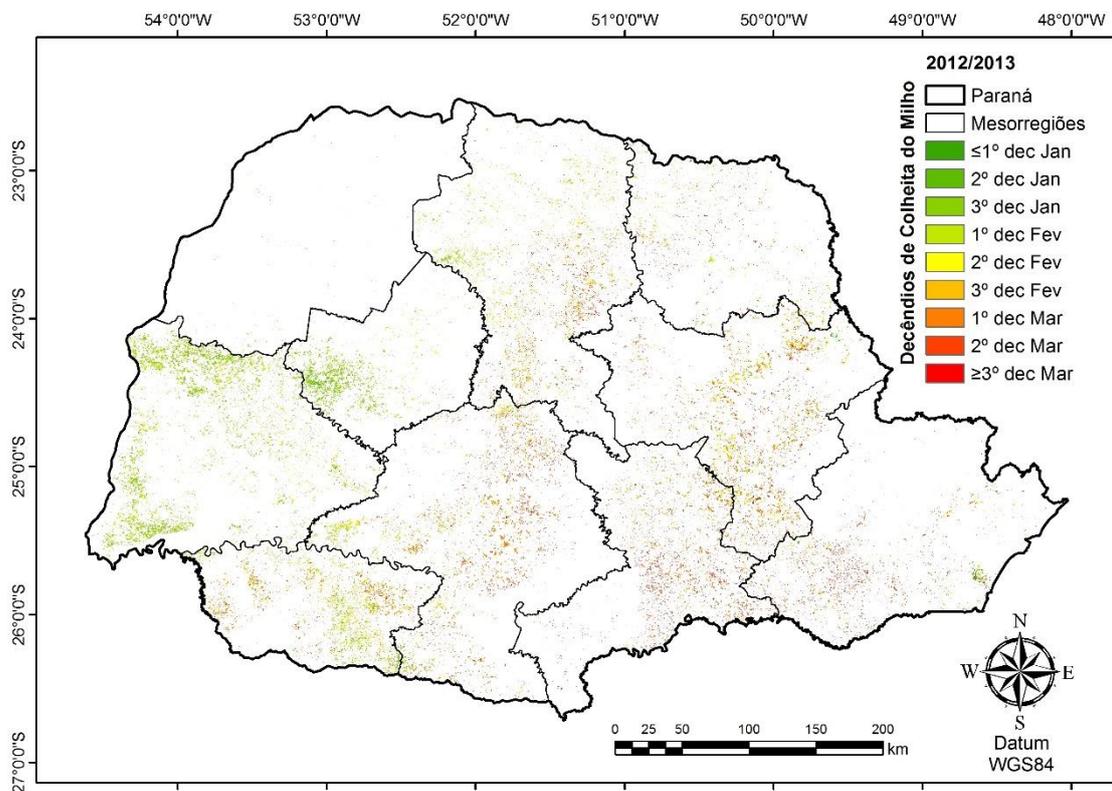


Figura 62 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2012/2013

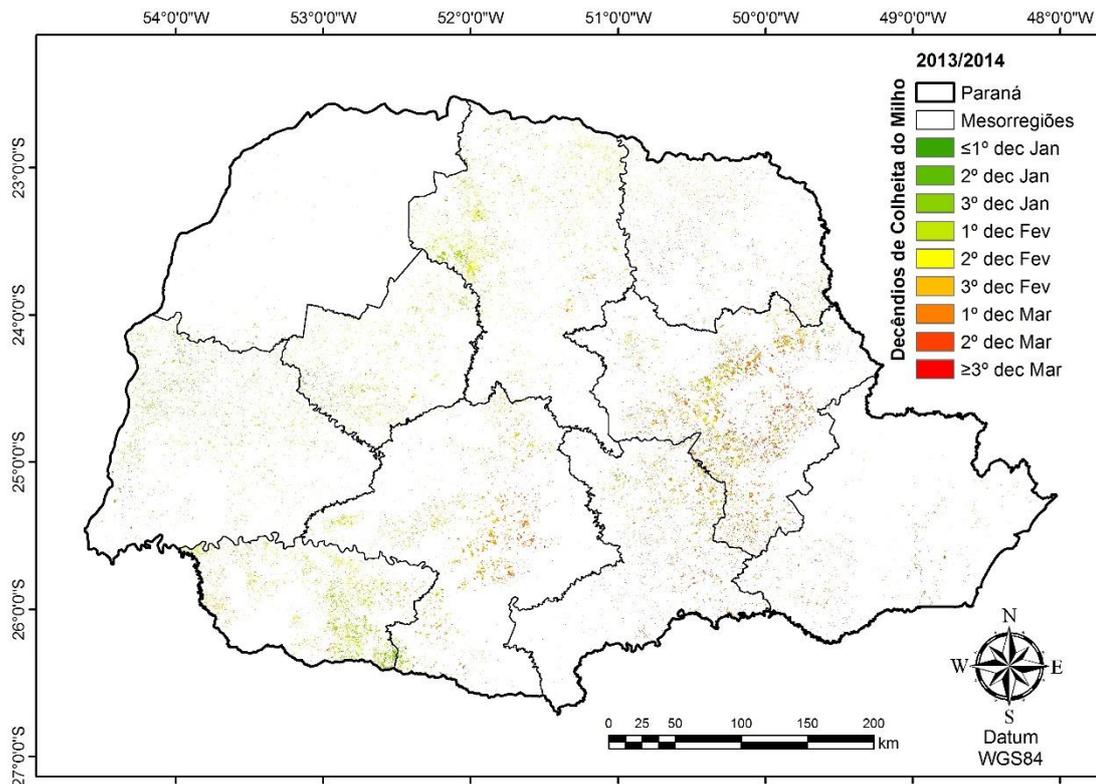


Figura 63 Decêndios de colheita do milho (DC_{EVI}), ano-safra 2013/2014.

Os resultados para a DC_{EVI} do milho diferem muito do informado pelos órgãos oficiais, principalmente no mês de janeiro, em que a SEAB contabiliza 1, 0 e 1%, contra os 44,29, 26,35 e 21,2% da DC_{EVI} , nos anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente. Esses resultados retratam uma diferença exorbitante, principalmente no ano-safra 2011/2012, em que quase metade das áreas de milho foram colhidas, enquanto que a estatística só apresenta 1% das áreas. A estimativa oficial apenas se aproxima das mesorregiões Sudeste e Norte Pioneiro, ano-safra 2012/2013.

Tabela 18 Percentual de área colhida de milho por mesorregiões e por decêndios no estado do Paraná

Mesorregiões	Ano-safra	1ºJan	2ºJan	3ºJan	1ºFev	2ºFev	3ºFev	1ºMar	2ºMar	3ºMar
Centro Ocidental	2011/12	8,00	6,49	15,81	17,28	26,56	9,74	7,03	3,57	5,54
	2012/13	0,18	10,54	66,47	11,35	8,21	0,96	1,38	0,60	0,31
	2013/14	4,53	5,84	14,37	22,94	40,06	7,90	2,30	0,37	1,69
Centro Oriental	2011/12	20,35	13,51	13,26	5,82	5,53	2,45	3,58	5,91	29,58
	2012/13	3,85	1,57	4,18	4,27	18,98	14,40	16,46	15,38	20,90
	2013/14	7,28	2,52	3,83	5,73	11,80	15,71	19,65	11,26	22,21
Centro Sul	2011/12	18,86	3,04	6,16	8,51	12,19	7,81	7,41	7,15	28,86
	2012/13	1,67	1,54	4,35	6,85	16,04	6,86	22,05	25,76	14,88
	2013/14	1,09	1,96	4,37	8,16	20,88	26,36	16,92	8,83	11,44
Metro Curitiba	2011/12	24,47	12,34	4,94	1,94	1,73	1,79	4,66	4,36	43,77
	2012/13	13,21	0,96	1,68	4,52	10,59	5,55	6,51	15,63	41,33
	2013/14	7,04	4,61	5,09	6,59	6,89	7,79	22,25	13,30	26,44
Noroeste	2011/12	34,31	10,36	18,39	11,39	12,41	3,50	5,55	1,75	2,34
	2012/13	9,13	15,02	28,71	32,51	7,60	2,28	0,38	2,85	1,52
	2013/14	3,05	18,44	36,38	22,34	17,43	1,35	0,68	0,17	0,17
Norte Central	2011/12	25,58	2,67	8,92	9,31	14,62	11,78	9,09	6,79	11,25
	2012/13	1,27	0,87	4,36	13,16	23,37	16,65	16,51	11,95	11,87
	2013/14	2,11	1,38	9,65	21,66	43,76	12,69	5,00	1,54	2,21
Norte Pioneiro	2011/12	43,12	5,77	8,79	4,87	6,79	10,31	6,60	4,11	9,64
	2012/13	2,36	0,95	1,33	9,42	23,36	13,17	15,51	9,90	24,01
	2013/14	5,30	0,54	1,92	9,00	27,75	16,24	13,65	6,94	18,66
Oeste	2011/12	14,61	21,34	19,14	14,68	18,33	5,76	2,99	1,55	1,60
	2012/13	0,59	4,38	43,18	42,41	7,20	0,75	0,80	0,32	0,37
	2013/14	5,63	15,04	31,13	25,21	18,23	2,79	0,64	0,16	1,16
Sudeste	2011/12	21,57	8,42	9,41	5,18	6,57	1,58	4,65	8,09	34,54
	2012/13	2,37	0,99	1,97	1,99	10,22	7,90	15,57	28,21	30,78
	2013/14	12,44	3,52	5,84	4,69	8,32	15,68	22,82	9,71	16,97
Sudoeste	2011/12	21,85	14,35	8,70	8,82	12,17	7,53	8,48	8,64	9,45
	2012/13	0,60	3,71	13,98	16,78	23,18	6,47	17,10	12,32	5,85
	2013/14	1,15	6,34	18,04	18,62	33,87	11,68	5,08	1,64	3,59
Paraná	2011/12	21,62	11,22	11,45	9,08	9,58	5,98	5,81	5,59	19,67
	2012/13	2,32	2,90	20,13	14,62	13,86	7,60	12,16	12,79	13,62
	2013/14	4,79	4,46	11,95	14,24	21,79	13,99	11,87	5,91	11,01
Paraná SEAB/Deral	2011/12		1			21			77	
	2012/13		-			19			81	
	2013/14		1			28			72	

Nota: valores em negrito correspondem aos 3 decêndios com maior proporção de área.

6.2.3.5 Deltas do Milho

De maneira semelhante à cultura da soja, foi criada uma variável avaliando o ciclo do milho entre a DS_{EVI} e a $DMDV_{EVI}$. Essa variável, Delta1, corresponde ao período que a planta

utiliza toda sua reserva energética para o seu crescimento vegetativo, compreendendo os estádios fenológicos VE (emergência), V1 (primeira folha desenvolvida), V2 (segunda folha desenvolvida), V3 (terceira folha desenvolvida) até Vn (enésima folha desenvolvida) e VT (pendoamento) e o estágio reprodutivo R1 (EMBRAPA Sorgo e Milho, 2011; SAKAMOTO et al., 2010).

A Figura 64 mostra a variável Delta1, para o ano-safra 2011/2012, a qual relata que os períodos se enquadram em 3 intervalos principais, 41 a 60 dias (intervalo I), 61 a 80 dias (intervalo II) e 81 a 100 dias (intervalo III), sendo que a maior parte do estado (31,05%) alcança $DMDV_{EVI}$ no intervalo II. Em seguida, tem-se 24,92% do milho alcançando a $DMDV_{EVI}$ no intervalo III e 22,10%, antecipadamente, em I. Para o ano-safra 2012/2013 (Figura 65) os padrões se mantêm, com 49,89% das áreas em II, 22,90% em III e 16,43% em I. Por fim, o ano-safra 2013/2014 (Figura 66) conta com 47,78% das áreas alcançando a $DMDV_{EVI}$ em II, 21,83% em III e 19,94% em I. Os percentuais informados constam na Tabela 19.

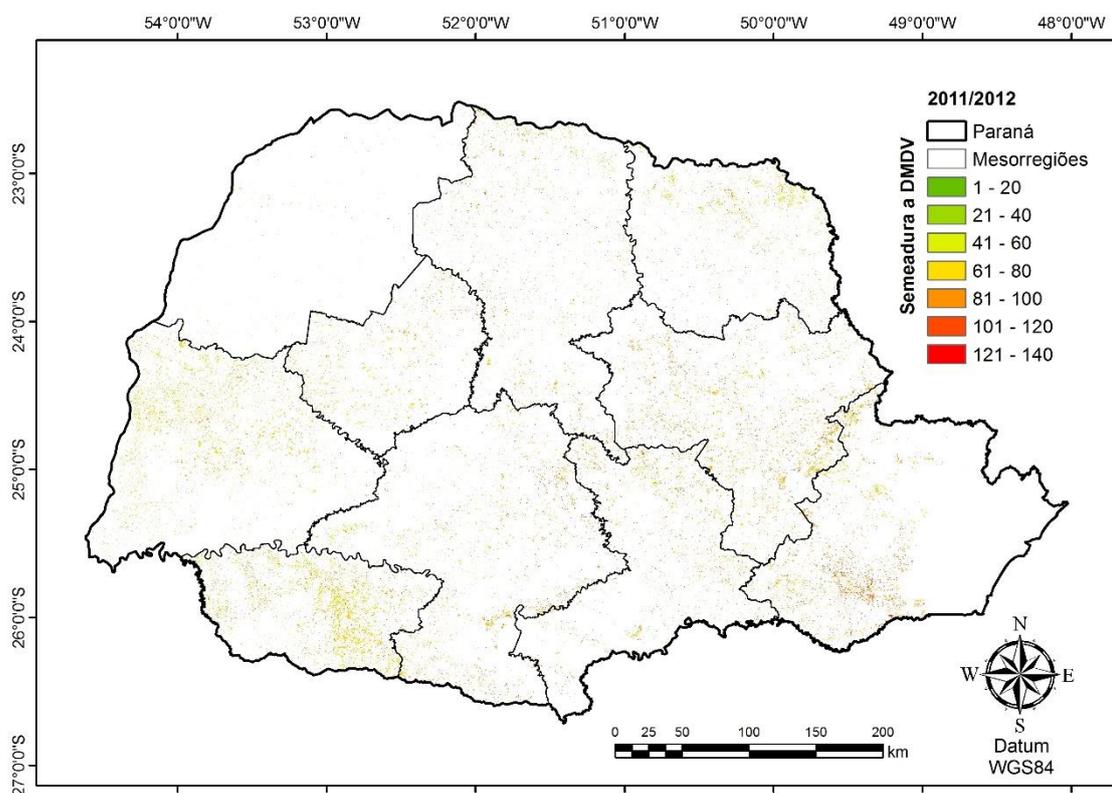


Figura 64 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para o milho, ano-safra 2011/2012.

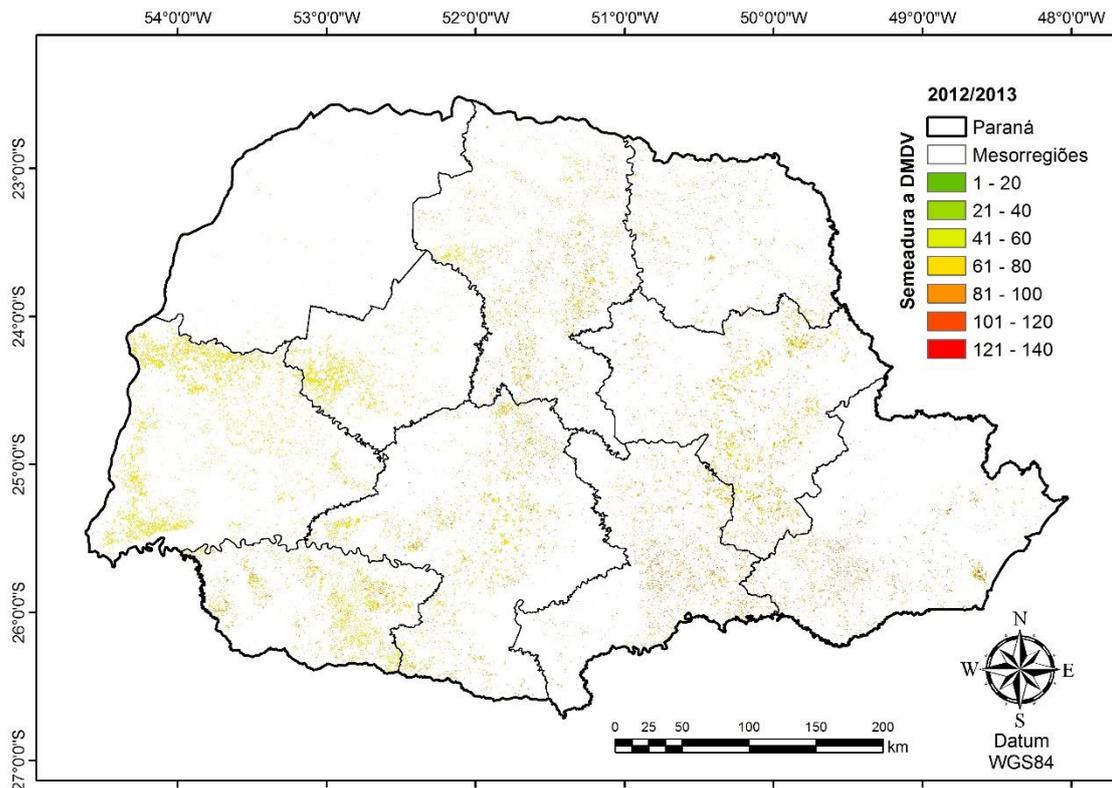


Figura 65 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para o milho, ano-safra 2012/2013.

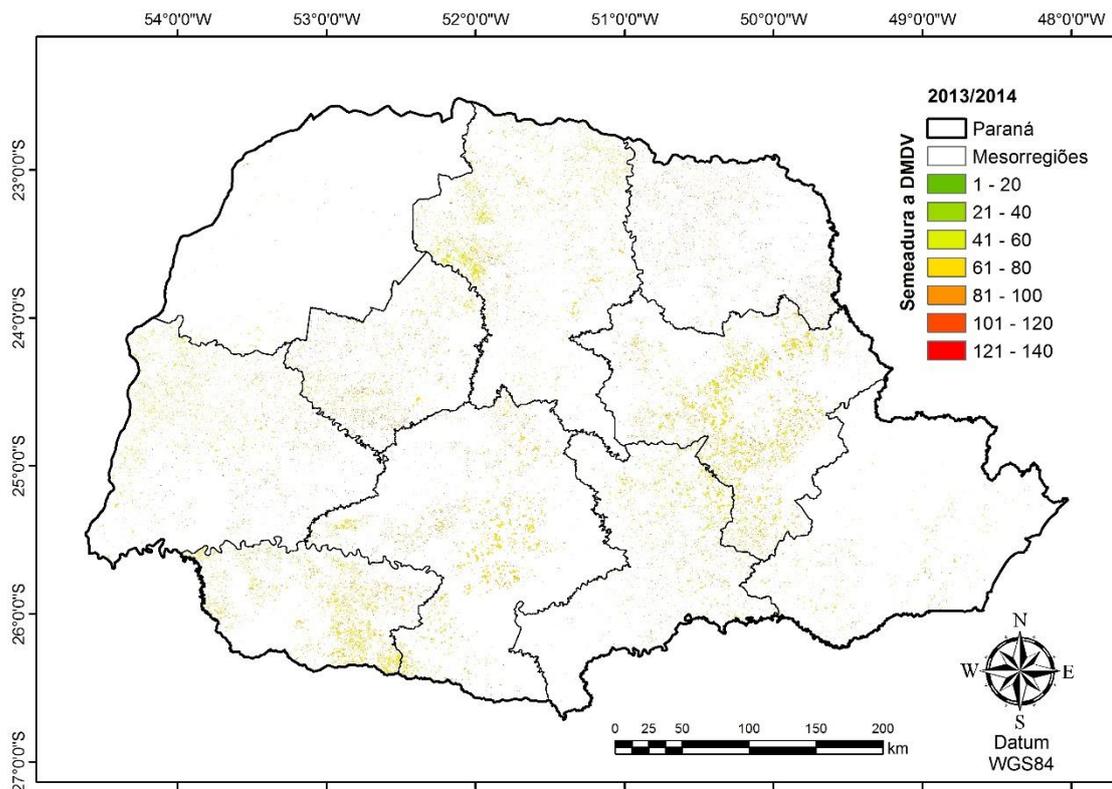


Figura 66 Delta1 – Diferença da data de semeadura (DS_{EVI}) a data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$), em dias, para o milho, ano-safra 2013/2014.

As Figura 67, Figura 68 e Figura 69 e a Tabela 19 mostram a variável Delta2, ou seja, o período em dias, da $DMDV_{EVI}$ até a DC_{EVI} . No ano safra 2011/2012 (Figura 67), 31,61% das

áreas de milho necessitaram de 41 a 60 dias para serem colhidas, a partir da DMDV. Tal intervalo também se repete no ano-safra 2012/2013 (Figura 68), com 52,88%, e no ano-safra 2013/2014 (Figura 69), com 44,88% das áreas. Esta informação é de grande valia, pois revela que independente do ano e das condições climáticas envolvidas no crescimento das plantas, os ciclos se mantêm, em sua maior parte, constantes.

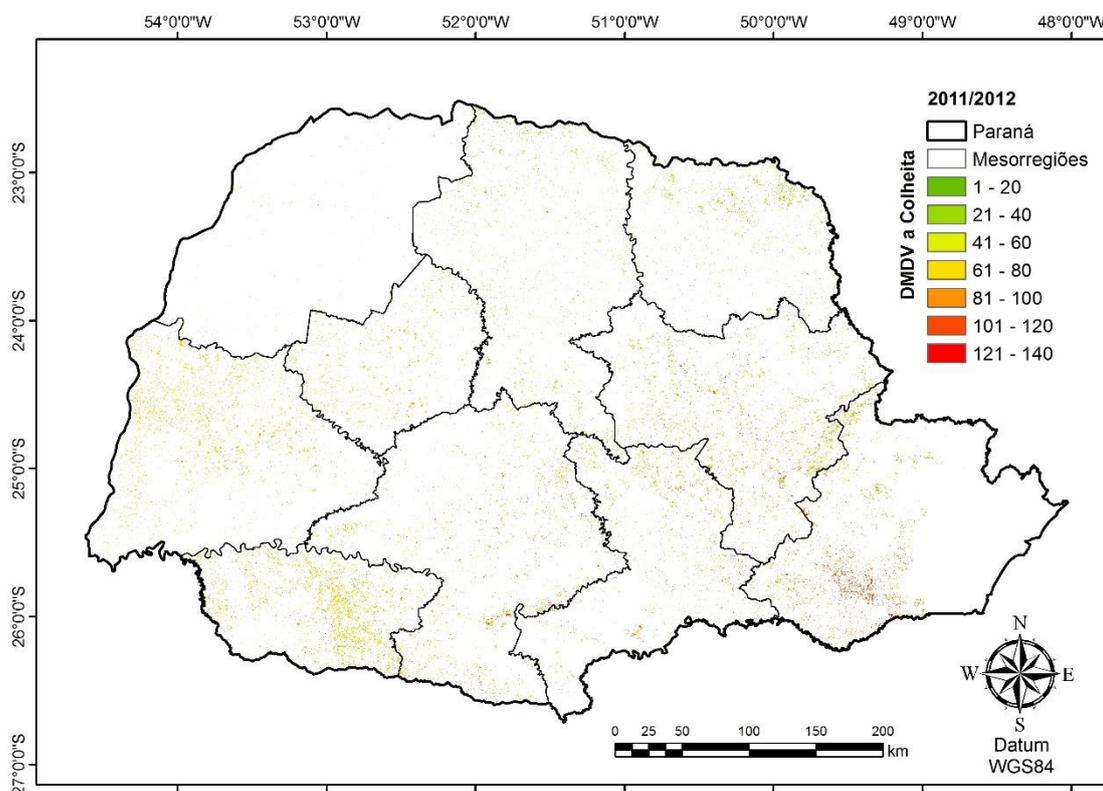


Figura 67 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV_{EVI}) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2011/2012.

Tabela 19 Percentual de áreas de milho por intervalo de desenvolvimento da cultura

Dias	2011/2012		2012/2013		2013/2014	
	Delta1	Delta2	Delta1	Delta2	Delta1	Delta2
1 - 20	0,33%	4,88%	0,29%	1,00%	0,12%	1,36%
21 - 40	3,16%	18,37%	1,26%	11,79%	1,53%	11,51%
41 - 60	22,10%	31,61%	16,43%	52,88%	19,94%	44,88%
61 - 80	31,05%	24,03%	49,89%	24,36%	47,78%	27,31%
81 - 100	24,92%	10,63%	22,90%	6,97%	21,83%	10,18%
101 - 120	12,51%	5,81%	7,61%	2,31%	7,07%	3,37%
121 - 140	5,93%	4,67%	1,62%	0,69%	1,72%	1,39%

Nota: valores em negrito correspondem as 2 classes com maior proporção de área.

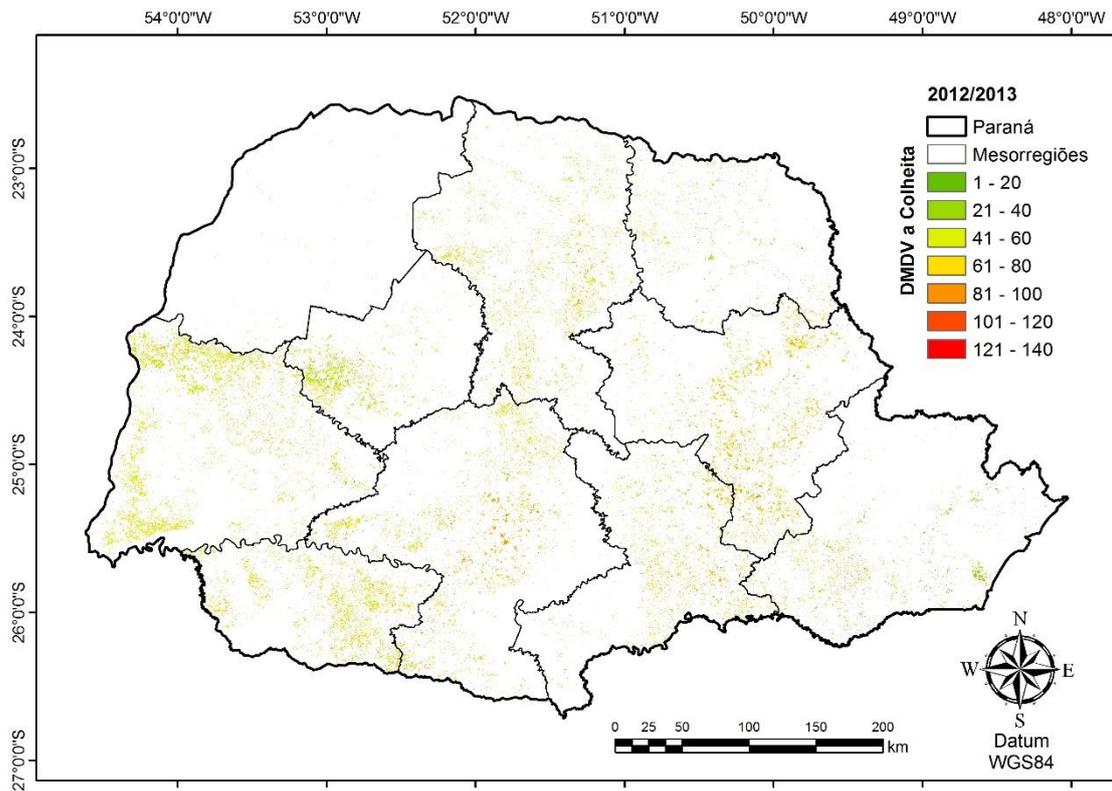


Figura 68 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2012/2013.

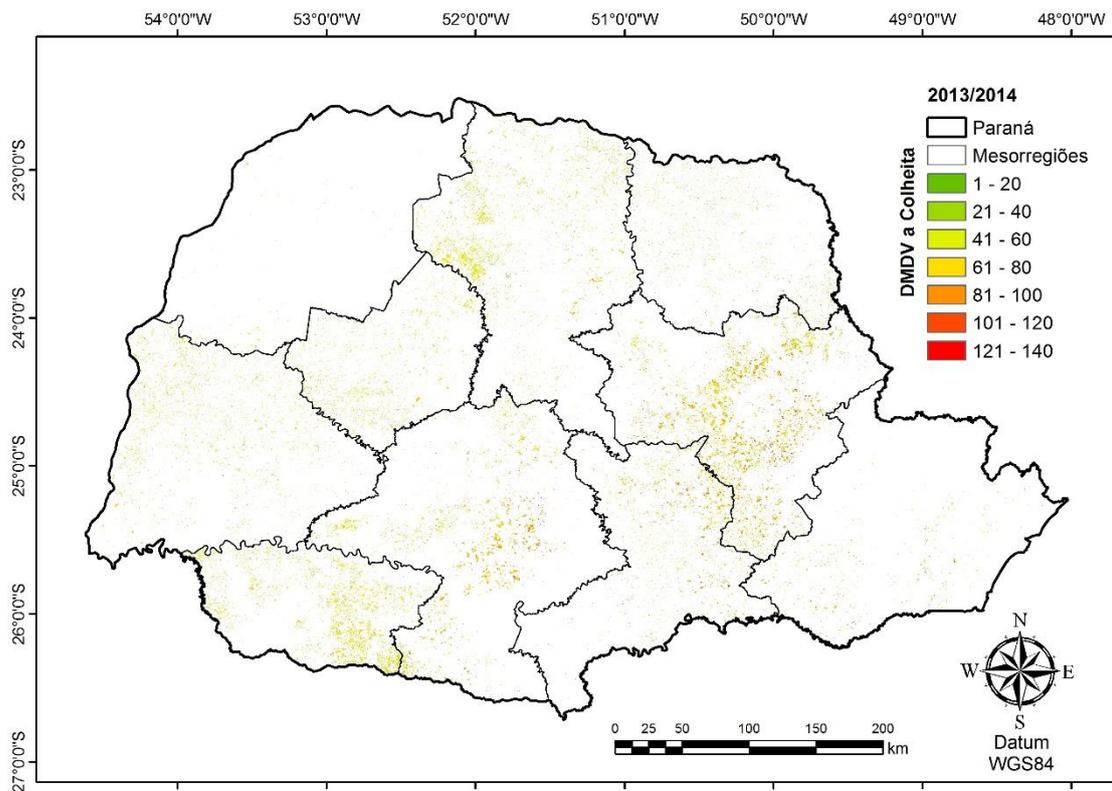


Figura 69 Delta2 – Diferença da data de máximo desenvolvimento vegetativo ($DMDV_{EVI}$) a data de colheita (DC_{EVI}), em dias, para o milho, ano-safra 2013/2014.

Os Deltas, verificados regionalmente, possuem características distintas quando visualizados por mesorregiões, que podem ser observadas na Figura 70. Vemos que as

mesorregiões variam muito umas das outras, bem como da média estadual. Algumas diferenças com a média do Paraná chegam a 14 dias. Também se notam elevados valores de desvio padrão, principalmente em mesorregiões onde há poucas áreas cultivadas, como é o caso da Metropolitana.

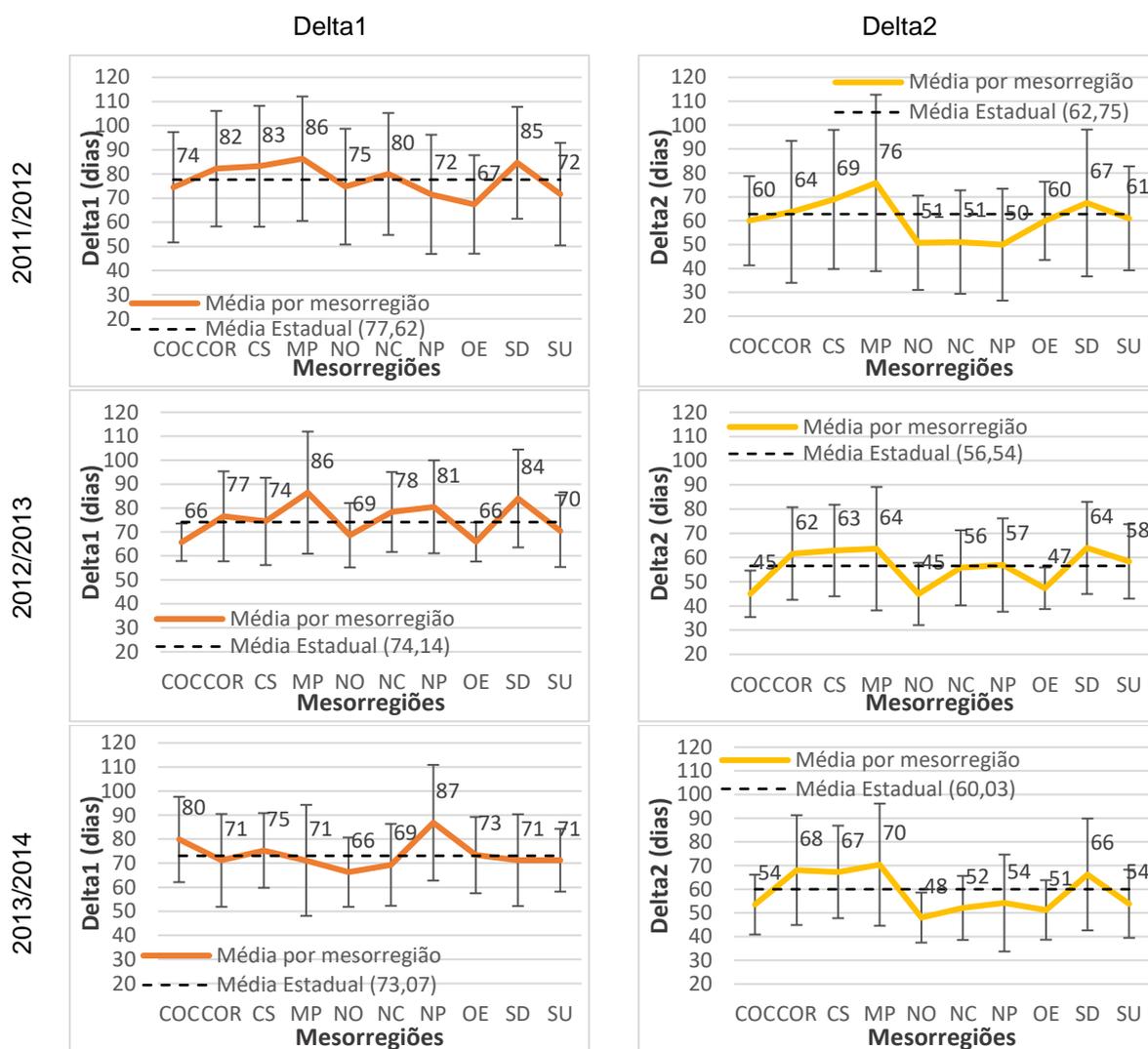


Figura 70 Gráfico de Deltas por mesorregiões, sendo o desvio padrão ilustrado em barras acima e abaixo da média da mesorregião, com a média anual do estado em pontilhado. Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

6.2.3.6 Uso do Delta2 para estimativa da data de Colheita do Milho

A média geral do intervalo Delta2 do Paraná ($\Delta_{2\text{Médio-PR}}$) foi de 60 dias entre a DMDV_{EVI} e a DC_{EVI} e a média para cada mesorregião do estado ($\Delta_{2\text{Médio-MR}}$) são apresentadas na Figura 71. Maiores detalhes com valores médios e desvios padrões para cada ano-safra são apresentados na Tabela 20.

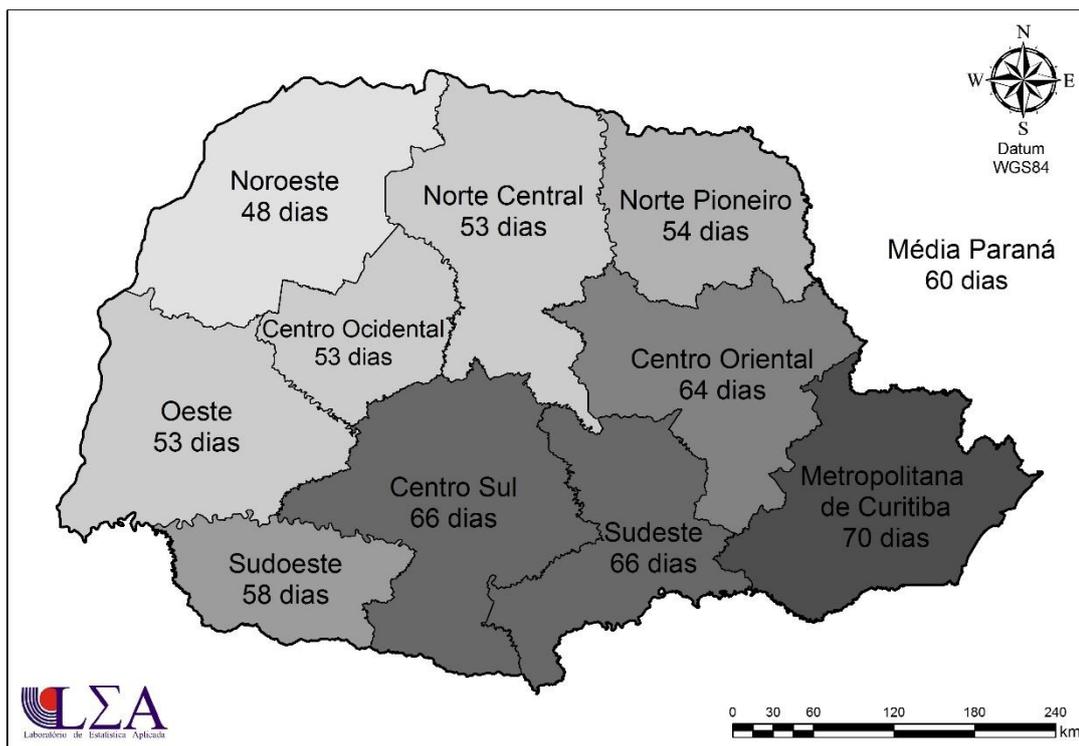


Figura 71 Delta2 médio ($\Delta 2_{\text{Médio}}$) do milho dos anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014 por mesorregiões e para todo o Paraná, em dias.

Os resultados da diferença ($DC_{\text{Diferença-PR}}$) entre a data de colheita média estimada com Delta2 (DC_{Delta2}) para todo o Paraná menos a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}) são ilustrados nas Figura 72, Figura 73 e Figura 74. Em todos nos três anos houve subestimação e superestimação das datas de colheita quanto comparadas as duas metodologias. No ano-safra 2011/2012 (Figura 72), 30% das áreas do estado divergiram -16 dias da $DC_{\text{Diferença-PR}}$ em relação à DC_{Delta2} , e 24% divergiram mais que 16 dias. Tal fato se repetiu nos outros anos, sendo que o que apresentou melhores resultados foi o ano-safra 2013/2014 (Figura 74), com 32% das áreas do estado com diferença entre as metodologias na ordem de 8 dias para mais e para menos.

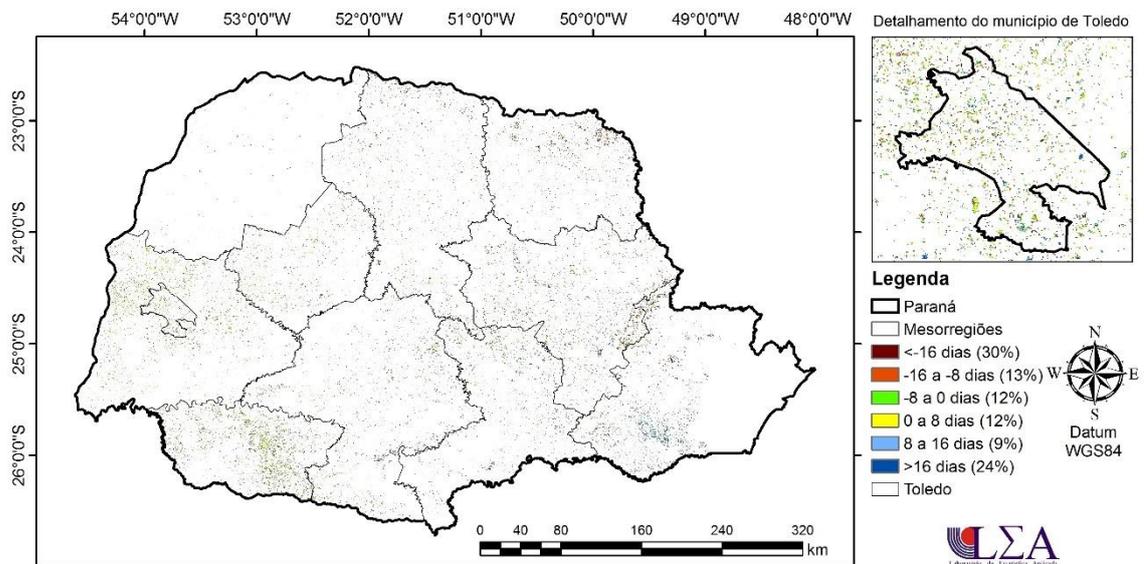


Figura 72 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{Delta2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2011/2012.

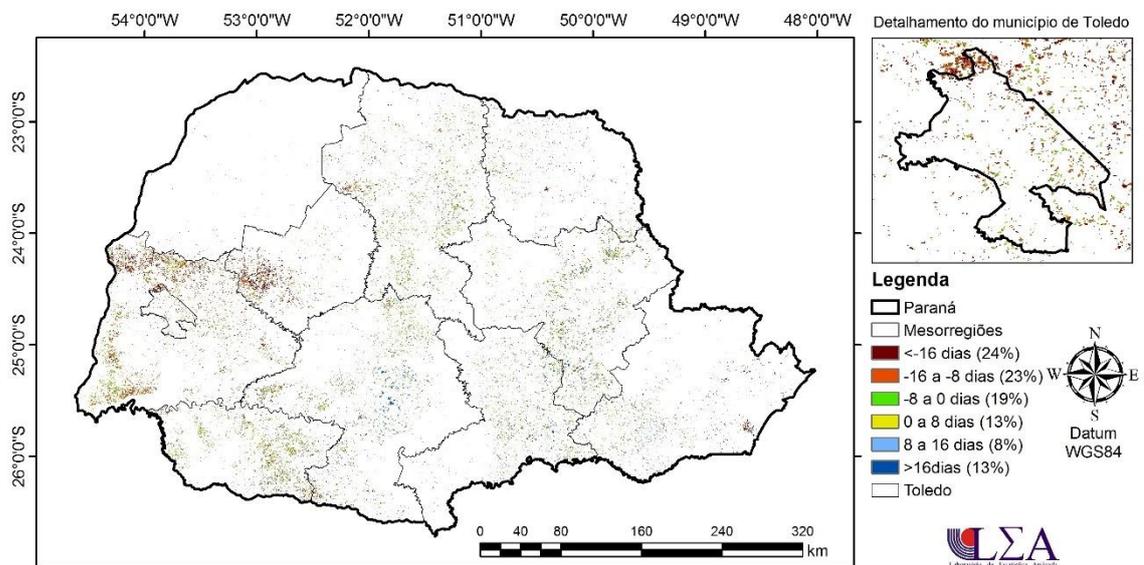


Figura 73 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{Delta2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2012/2013.

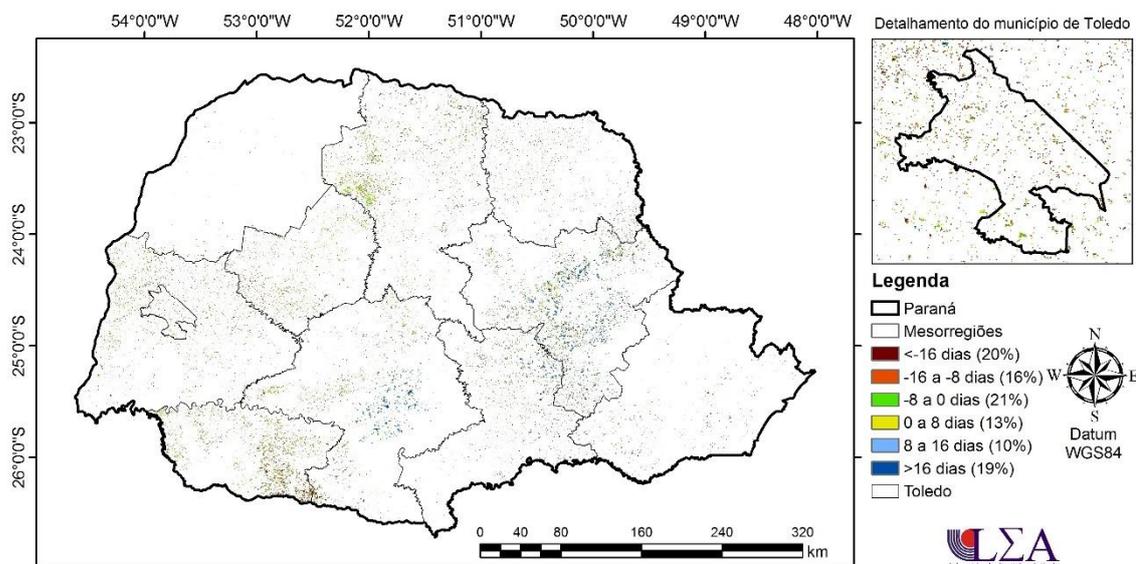


Figura 74 Diferença em dias ($DC_{Diferença-PR}$) e percentual de área da data de colheita estimada com Delta2 ($DC_{Delta2-PR}$) e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI (DC_{EVI}), para a cultura do milho, ano-safra 2013/2014.

Tabela 20 Valores de Delta2 ($Delta2_{Médio}$) e desvio padrão médios estimados (anos-safra 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014) para as mesorregiões e para o estado, em dias

Mesorregiões	2011/2012		2012/2013		2013/2014		Delta2 (Média 3 anos)
	Delta2	Desvio Padrão	Delta2	Desvio Padrão	Delta2	Desvio Padrão	
COC	57	11	51	9	55	6	55
COR	67	13	58	11	58	12	61
CS	64	12	59	11	56	10	59
MC	65	11	57	10	58	12	60
NO	58	12	49	9	56	8	54
NC	53	9	54	8	54	8	54
NP	55	10	55	10	51	9	54
OE	61	12	48	7	53	8	54
SD	67	12	61	10	57	11	62
SO	59	13	61	11	56	10	59
PR	58	12	52	9	54	8	55

Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

Após estimar a DC_{Delta2} de 60 dias ($Delta2_{Médio}$) obtido para os três anos-safra (Figura 71), fez-se o mesmo procedimento para estimar a DC_{Delta2} considerando agora os valores médios dos três anos-safra para cada mesorregião (Figura 71), com o intuito de considerar as características regionais do estado.

Na Tabela 21 são apresentados os percentuais de área da diferença ($DC_{Diferença-MR}$) em intervalos de dias para os três anos-safra e cada mesorregião do Paraná. Ao observarmos a média, em dias, percebemos que todas as mesorregiões, em todos os anos, estiveram próximas a 0, porém os percentuais em cada intervalo, principalmente nos externos

(<-16 e >16) foram altos, mostrando a grande dispersão dos dados. Essa dispersão é apresentada na coluna SD, que são os desvios padrão de cada mesorregião para cada ano. Os percentuais das DC_{Diferença-MR} foram representados graficamente, na Figura 75, a qual considerou as classes -16 a 16 dias e -8 a 8 dias.

Tabela 21 Percentual de área da diferença (DC_{Diferença-MR}) entre a DC_{EVI} e a DC_{Delta2} por mesorregião em cada ano-safra, para a cultura do milho

Mesorregiões	Ano	Intervalo (dias)						Média (dias)	SD (dias)
		<-16	-16 a -8	-8 a 0	0 a 8	8 a 16	>16		
COC	2011/12	12	9	16	18	16	29	6,4	19,58
	2012/13	15	43	26	8	4	3	-7,6	9,61
	2013/14	7	13	32	27	13	8	0,7	12,95
COR	2011/12	41	11	11	8	7	23	-4,6	31,72
	2012/13	24	18	19	15	9	14	-3,1	19,51
	2013/14	22	11	14	14	12	27	2,8	24,01
CS	2011/12	32	11	11	11	9	26	-0,4	31,35
	2012/13	27	19	17	13	10	14	-3,7	19,32
	2013/14	20	15	15	18	13	19	1,0	19,65
MC	2011/12	41	6	5	5	5	37	2,0	39,16
	2012/13	43	14	10	8	6	18	-10,4	28,11
	2013/14	29	12	13	12	9	25	-1,4	27,53
NC	2011/12	33	15	15	13	8	16	-4,7	23,22
	2012/13	6	15	29	24	12	14	2,7	15,8
	2013/14	12	17	26	24	12	8	-1,5	14,53
NO	2011/12	26	11	16	15	11	21	-1,0	22,94
	2012/13	15	18	35	18	9	5	-3,8	13,79
	2013/14	7	12	34	27	13	7	0,3	10,76
NP	2011/12	43	14	12	10	7	15	-7,7	25,27
	2012/13	12	18	23	18	10	20	2,9	19,76
	2013/14	21	20	20	13	9	18	-0,4	21,17
OE	2011/12	7	10	18	21	18	27	6,7	16,94
	2012/13	5	36	40	14	4	2	-5,4	8,59
	2013/14	9	19	32	22	11	7	-1,7	12,87
SD	2011/12	17	16	18	14	12	23	-0,8	32,05
	2012/13	12	18	22	19	16	13	-2,3	19,57
	2013/14	16	24	28	16	8	8	-1,1	24,91
SO	2011/12	36	10	10	9	7	28	2,7	22,44
	2012/13	22	18	21	14	10	15	0,7	15,48
	2013/14	27	13	13	13	11	23	-3,7	14,42
PR	2011/12	30	13	12	12	9	24	0,57	28,77
	2012/13	24	23	19	13	8	13	-3,63	18,15
	2013/14	20	16	21	13	10	19	-0,28	20,71

Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

Agrupando-se os valores entre -8 a 8 dias, que correspondem à utilização dos satélites MODIS (TERRA e AQUA), e de -16 a 16 dias, que correspondem à utilização de um dos satélites, temos os percentuais da Figura 75. Nela, podemos notar que em todos os anos, os gráficos do milho ficaram menores que os apresentados anteriormente para a soja (Figura 54), estimando mais áreas fora do intervalo de -8 a 8 dias, bem como de -16 a 16 dias. Destaca-se os anos-safra 2012/2013 e 2013/2014, com os maiores percentuais de inclusão

nas classes citadas, o que correspondem a menores diferenças entre a DC_{EVI} e a DC_{Delta2} . Dentro do intervalo -8 a 8 dias teve-se, na média estadual, 32 e 34%, para os anos-safra 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente, e no intervalo -16 a 16, 63 e 60%, respectivamente, das áreas do estado. Outro destaque que se faz é a semelhança no traçado dos perfis nos três anos, em que a mesorregião Metropolitana sempre esteve com baixos percentuais e a Oeste com altos percentuais.

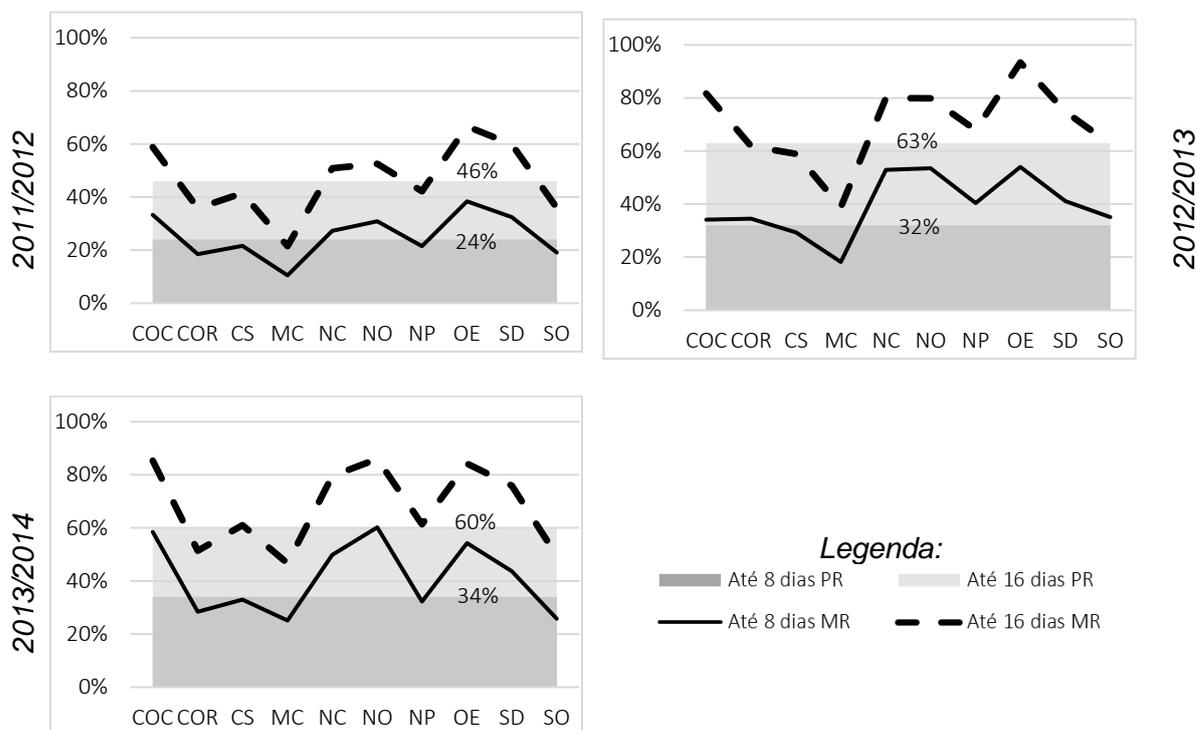


Figura 75 Diferença percentual da data de colheita estimada e a data de colheita obtida por perfil temporal EVI, para a cultura da soja.
 Nota: Centro Ocidental (COC), Centro Oriental (COR), Centro-Sul (CS), Metropolitana (MP), Noroeste (NO), Norte Central (NC), Norte Pioneiro (NP), Oeste (OE), Sudeste (SD) e Sudoeste (SU).

6.2.4 CONCLUSÕES

A análise de padrões sazonais pelo Timesat contribui significativamente na aplicação do sensoriamento remoto na agricultura, extraindo padrões que caracterizam e resumem o comportamento das culturas agrícolas ao longo de seus ciclos, tais como datas de semeadura (DS), máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e colheita (DC). Nos três anos-safras estudados (2011/2012 a 2013/2014) verificou-se que a DS da soja se concentra principalmente no mês de outubro; entretanto, na mesorregião Oeste ela abrange também o mês de setembro e na mesorregião Leste avançam no mês de novembro. Este padrão se repete na DMDV e na DC. O milho caracteriza-se pela DS antes da soja, concentrando-se principalmente no final de setembro a meados de outubro. A DMDV acontece majoritariamente no mês de dezembro e a DC distribui-se nos meses de janeiro a março.

Os intervalos dentre as datas (deltas) foram importantes para caracterizar as mesorregiões do estado, mostrando que a mesma cultura diferencia seu comportamento temporal a campo, dependendo de sua localização. O intervalo entre a $DMDV_{EVI}$ e a DC_{EVI} (Delta2), para a soja, é em média de 55 dias para todo o estado. Para o milho, este intervalo é de 60 dias.

As diferenças entre as datas de colheita ($DC_{EVI} - DC_{Delta2}$) apontam que, para a soja, é possível utilizar o $Delta2_{Médio}$ estadual para prever a DC para todo Estado com uma subestimativa média de 0,007 dias. Para a cultura do milho esta subestimativa foi de 1,11 dias, verificando-se que, para este, existe grande diferença entre os resultados das metodologias, sendo que a DC_{Delta2} apresenta grandes variações da média, em relação à média estadual. As diferenças nas DC ($DC_{Diferença}$), quando utilizadas as médias por mesorregiões, apresentam melhores resultados que para o Paraná como um todo.

Assim, as informações obtidas nos trabalhos apresentados serão de grande valia em modelos de produtividade, bem como na logística empregada no recebimento de grãos nas empresas, as quais poderão antecipar suas operações ao saber que, em média, em 55 dias os grãos serão colhidos e chegarão nas unidades.

6.2.5 REFÊRENCIAS

ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens Modis**, 2010. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Milho Safrinha**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fya0krse02wx5ok0pvo4k3mp7ztkf.html>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

AGUIAR, A. das C. F.; MOURA, E. G. de. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade proteica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 429–435, 2003.

ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. de L. E.; ÁVILA, M. R.; et al. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 865–873, 2008.

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. de; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405–417, 2016.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. DOS; MANZATTO, C. V.; et al. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**, 2007. Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2011/12 - 1-Levantamento**, 40p., 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2011/12 - 11-Levantamento**, 40p., 2012.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2015/16 – 7º Levantamento**. 158p., 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Safra 2015/2016. Brasília. v.3, p.1-130, set. 2015.

Espíndola, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTexto**, v. 11, n. 1, p. 217–238, 2015.

ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 16–28, 2015. Elsevier Ltd.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **TIMESAT 3.2 Software Manual**. 2015.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. TIMESAT: a Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics In: KUENZER, C.; DECH, S.; WAGNER, W. (Orgs.). **Remote Sensing Time Series - Revealing Land Surface Dynamics**. Springer International Publishing. 2015. p.141-158

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Sistemas de produção**, 1. 8. ed., 2011. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm>. em: 16 abr. 2016.

EMBRAPA SOJA. **Soja na alimentação**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/soja-na-alimentacao>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

- EMBRAPA SOJA. **Cultivares de soja**. Londrina/PR. Embrapa Soja, 2015.
- EMBRAPA SOJA. **Ecofisiologia da soja**. Circular técnica, n. 48. Londrina, 2007.
- EMBRAPA SOJA – **Tecnologias de Produção de Soja** – Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina/PR. Out. 2011.
- ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 13, p. 3711–3727, 2011.
- FAOSTAT - FOOD AND DRUG ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. 12p. Special Report 80 - Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1981.
- GRZEGOZEWSKI, D. M.; JOHANN, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; COUTINHO, A. C. Mapping soya bean and corn crops in the State of Paraná, Brazil, using EVI images from the MODIS sensor. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 6, p. 1257–1275, 2016.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 195–213, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisas agropecuárias**. v. 6, p. 92, 2002. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Metodologia_da_pesquisa/PesquisasAgropecuarias2002.pdf>.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agregados** - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: abr. 2016.
- INPI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Como a planta da soja se desenvolve**. Piracicaba – SP, n. 11, p.2-23. Disponível em: <[http://www.ppippic.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/\\$webindex/434692071948C16083256B2700392EB0](http://www.ppippic.org/ppiweb/BRAZIL.NSF/$webindex/434692071948C16083256B2700392EB0)>. Acesso em: 12 abr. 2017.
- JAMALI, S.; JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L.; ARDÖ, J.; SEAQUIST, J. Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 182–195, 2015. Elsevier Inc.
- JOHANN, J. A. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**, 2012. Universidade Estadual de Campinas.
- JOHANN, J. A.; BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná - Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 126–142, 2016.
- JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; DUFT, D. G.; LAMPARELLI, R. A. C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1295–1306, 2012.

MARTINS, R. S.; REBECHI, D.; PRATI, C. A.; CONTE, H. Decisões Estratégicas na Logística do Agronegócio: Compensação de Custos Transporte-Armazenagem para a Soja no Estado do Paraná. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, v. 9, n. 1, p. 53–78, 2005.

MEADE, BIRGIT et al. Corn and Soybean Production Costs and Export Competitiveness in Argentina, Brazil, and the United States. **Economic Research Services/USDA**. Economic Information Bulletin 154. 2016.

MISHRA, N. B.; CHAUDHURI, G. Spatio-temporal analysis of trends in seasonal vegetation productivity across Uttarakhand, Indian Himalayas, 2000–2014. **Applied Geography**, v. 56, p. 29–41, jan. 2015.

NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Technical specifications: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**, 2014. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: janeiro de 2016.

PARANÁ. **Informação de Turismo**. Disponível em: <<http://www.cidadao.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=73>>. Acesso em: 02 jan. 2017

SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B. D.; GITELSON A. A.; VERMA, S. B.; SUYKER, A. E.; ARKEBAUER, T. J. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2146-2159, 2010.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**. v. 36, n. 8, p. 1627-1639, 1964.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Divisão de estatísticas básicas – 315 DEB**, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.316.php?conteudo=75>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Divisão de estatísticas básicas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.316.php?conteudo=75>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

SOUZA, C. H. W.; MERCANTE, E.; JOHANN, J. A.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. 7, p. 1809-1824, 2015.

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/regionalizacao.pdf>>. Acesso: 08 jan. 2017.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir que as ferramentas de sensoriamento remoto facilitam e agilizam os trabalhos de aquisição de informações no que diz respeito a previsão de safras.

A análise de padrões sazonais pelo Timesat contribui significativamente na aplicação do sensoriamento remoto na agricultura, extraindo padrões que caracterizam e resumem o comportamento das culturas agrícolas ao longo de seus ciclos, tais como datas de semeadura (DS), máximo desenvolvimento vegetativo (DMDV) e colheita (DC). As métricas fornecidas pelo software foram úteis na etapa de separação das culturas, podendo-se extrapolar os resultados a nível estadual e obter o mapeamento de soja e milho. A data de colheita se faz uma informação útil na logística de entidades relacionadas ao setor agrícola.

O software WEKA foi fundamental da etapa de mineração de dados, aplicando o algoritmo da árvore de decisão e verificando que as variáveis: máximo EVI, data de semeadura, data de máximo desenvolvimento vegetativo, ciclo e integral maior são as que apresentam maior potencial para a separação das culturas de soja e milho no estado do Paraná.

Os intervalos (deltas) são informações valiosas para se verificar o andamento das culturas, e podem estimar a colheita, principalmente para a soja, com base em comportamentos médios de anos anteriores.

Assim, as informações obtidas nos trabalhos apresentados serão de grande valia em modelos de produtividade, bem como na logística empregada no recebimento de grãos nas empresas, as quais poderão antecipar suas operações ao saber que, em média, em 55 dias os grãos serão colhidos e chegarão nas unidades.

Futuros trabalhos podem realizar a aplicação da árvore de decisão em áreas extensas, como níveis regionais e estaduais, criando os mapeamentos agrícolas automaticamente. Também podem vir a averiguar, em áreas com acompanhamento periódico, o comportamento dos intervalos entre datas de semeadura, máximo desenvolvimento vegetativo e colheita, refinando-os e relacionando-os com informações agrometeorológicas, a fim de prever a produtividade obtida.

8 ANEXO 1 - NORMAS DA REVISTA ENGENHARIA AGRÍCOLA

8.1.1.1 CONFIGURAÇÃO

- 1.1 O manuscrito deve ter no máximo cinco autores;
- 1.2 Não inserir os nomes e as identificações dos autores;
- 1.3 O texto completo pode apresentar figuras coloridas ou não (fotografias, gráficos, diagramas, etc.) e tabelas;
- 1.4 As unidades das grandezas devem ser expressas de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/sistema-internacional-unidades.pdf>);
- 1.5 Texto em editor MSWord 2010 ou superior ou totalmente compatível com esse editor;
- 1.6 Tamanho do papel: A4 (21 x 29,7 cm);
- 1.7 Espaçamento entre linhas: 2,0;
- 1.8 Tipo de letra para o texto: Times New Roman, tamanho 12;
- 1.9 Tipo de letra para o cabeçalho/rodapé: Times New Roman, tamanho 9;
- 1.10 Margens: 2 cm em todos os lados do papel;
- 1.11 Inserir numeração de páginas;
- 1.12 Inserir numeração contínua de linhas nas páginas;
- 1.13 Parágrafo de 1,0 cm;
- 1.14 Tamanho máximo do arquivo: 2,0 Mb (arquivos maiores não serão gravados no sistema);
- 1.15 Identificação dos autores: quando os autores receberem a comunicação da aceitação do manuscrito para publicação, o autor que o submeteu deverá anexar no sistema da revista, como “Documento suplementar” (Incluir Documento Suplementar) na mesma submissão, um documento contendo: último título definitivo do manuscrito e abaixo deste, os nomes completos dos autores na mesma ordem de publicação. Cada nome deverá ser seguido por um número em sobrescrito, em sequência. Abaixo dos nomes, separado por dois espaços, uma lista com a ordem numérica referente a cada autor. Nessa lista, os números vêm primeiro em sobrescrito e na frente de cada número, em texto normal, deverá constar, do respectivo autor, a titulação, instituição, departamento, etc. e um endereço de e-mail definitivo.

8.1.1.2 CATEGORIA

Os artigos podem ser da seguinte natureza: 2.1 artigo científico; 2.2 artigo técnico, e 2.3 artigo de revisão.

2.1. Artigo Científico: Refere-se a relato de pesquisa original, com hipótese bem definida, prestigiando assuntos inovadores. Deve incluir Título, Resumo, Palavras-chave, Introdução, Material e Métodos, Resultados e discussão, Conclusões e Referências.

Todos os itens deverão ser destacados em letras maiúsculas e negrito.

- **Título:** Centralizado; deve ser claro e conciso, permitindo pronta identificação do conteúdo do trabalho, procurando-se evitar palavras do tipo: análise, estudo e avaliação. Um número-índice sobrescrito, como chamada de rodapé, poderá seguir-se ao título para possível explicação em se tratando de trabalho apresentado em congresso, extraído de dissertação ou tese, ou para indicar o órgão financiador da pesquisa.
- **Resumo:** O texto, contendo no máximo 14 linhas, deve iniciar-se na mesma linha do item, ser claro, sucinto e, obrigatoriamente, explicar o(s) objetivo(s) pretendido(s), procurando justificar sua importância (sem incluir referências), os resultados e as conclusões mais expressivos. Abaixo devem aparecer as Palavras-chave (seis no máximo, procurando-se não repetir palavras do título) escritas em letras minúsculas, em ordem alfabética e separadas por vírgula.
- **Figuras e tabelas:** Em qualquer parte do texto do manuscrito ilustrações, gráficos e fotografias devem ser inseridos com o título de “Figura” e quadros e tabelas serão sempre “Tabela”. - **Figuras:** apresentadas com tamanho, resolução e detalhes suficientes para a composição final, preferivelmente na mesma posição do texto, podendo ser coloridas. O título e outras informações contidas na Figura deverão ser, no conjunto, autoexplicativos, para que não seja necessário recorrer a qualquer parte do texto para entender a figura. **Gráficos:** podem apresentar partes coloridas, sendo os eixos x e y e as divisões de escala, em cor preta, com 1/2 pt de espessura das linhas, e títulos e valores nesses eixos devem ser grafados com o mesmo tipo e tamanho de letras contidas no texto (Times New Roman 12). Os gráficos não devem conter bordas e linhas de grade e a legenda deve ser colocada na posição inferior do mesmo. As linhas das curvas ou barras e dos pontos referentes aos dados obtidos, não devem ser colocados com cores claras, como amarelo, azul claro, marrom claro, que dificultam, em fundo branco, a perfeita distinção desses. A numeração da Figura deve ser sucessiva e em algarismos arábicos. **Fotografias:** podem ser coloridas. **3.4 - Tabelas:** as tabelas devem sempre ser elaboradas utilizando a ferramenta de tabelas do Microsoft Word ou outro “software” compatível e devem ser colocadas na página em posição retrato, evitando tabelas extensas e dados supérfluos, privilegiando-se dados médios; adequar seus tamanhos ao espaço útil do papel e colocar, na medida do

possível, apenas linhas contínuas horizontais no cabeçalho principal da tabela e na última linha fechando a tabela. Linhas verticais não devem aparecer. Assim como nas Figuras o título e outras informações contidas na tabela, devem ser concisas mas autoexplicativas (não deverá ser necessário recorrer ao texto para entender completamente a tabela). Resultados apresentados em Tabelas não devem ser repetidos em Figuras e vice-versa.

- No caso de artigos submetidos em português, as tabelas e figuras deverão conter o título traduzido para o inglês.
- Introdução: Devem ser evitadas divagações, e se concentrando no assunto que levará o leitor a entender o objetivo do trabalho. Para isso, deve-se utilizar principalmente de bibliografia recente (últimos 5 anos e preferencialmente periódicos indexados) e apropriada para formular os problemas abordados e a justificativa da importância do assunto, deixando muito claro o(s) objetivo(s) do trabalho, utilizando no máximo 50 linhas.
- Material e métodos: Dependendo da natureza do trabalho, uma caracterização da área experimental deve ser inserida, tornando claras as condições em que a pesquisa foi realizada. Quando os métodos forem os consagradamente utilizados, apenas a(s) referência(s) bastará (ão); caso contrário, é necessário apresentar descrição dos procedimentos utilizados, adaptações promovidas, etc. Unidades de medidas e símbolos devem seguir o Sistema Internacional de Unidades.
- Resultados e discussão: Os resultados obtidos e analisados deverão ser confrontados com os da bibliografia apresentada na Introdução e com outras pertinentes à área do trabalho, e discutidos à luz dos conhecimentos consagrados, concordando ou discordando desses com explicações científicas e ou técnicas, mas destacando principalmente a importância e a originalidade desses dados. A redação desse item deve ser elaborada não apenas relatando que os resultados obtidos concordam com ou discordam de os resultados obtidos por outros pesquisadores, mas também, de forma clara e concisa, procurar explicar por que os resultados foram esses e por que concordam ou discordam dos apresentados na literatura. e Tabelas:..
- Conclusões: Devem basear-se exclusivamente nos resultados do trabalho. Evitar a repetição dos resultados em listagem subsequente, buscando, sim, confrontar o que se obteve, com os objetivos inicialmente estabelecidos. As conclusões devem ser escritas de forma clara, direta e concisa, facilitando a interpretação do artigo, sem necessidade de consultar outros itens do mesmo.
- Agradecimento(s): Agradecimentos a pessoas e/ou a instituições devem ser inseridos, se for o caso, após as conclusões, de maneira sucinta.

- Referências: No texto (Introdução, Material e Métodos e Resultados e Discussão) devem ser citadas apenas as referências essenciais, o que, geralmente, não é observado em se tratando de artigos originários de teses. Especialmente em artigos científicos e artigos técnicos, pelo menos 70% das referências devem ser dos últimos 5 anos, e 90% das referências deverão ser de artigos científicos e/ou técnicos de periódicos com corpo editorial e indexados. Os 10% restantes se não forem de artigos científicos, deverão ser apenas de dissertações, teses ou livros. As citações no texto deverão aparecer em letras maiúsculas, seguidas da data, conforme abaixo:

SOUZA & SILVA (2014), ou ainda (SOUZA & SILVA, 2014); existindo outras referências do(s) mesmo(s) autor(es) no mesmo ano (outras publicações), isso será identificado com letras minúsculas (a, b, c) após o ano da publicação: SOUZA & SILVA (2014 a). Quando houver três ou mais autores, no texto será citado apenas o primeiro autor seguido de et al., mas na listagem bibliográfica final os demais nomes também deverão aparecer. Na citação de citação, identifica-se a obra diretamente consultada; o autor e/ou a obra citada nesta é assim indicado: SILVA (2006) citado por PESSOA (2013).

Na listagem das referências citadas (item Referências) incluir apenas as mencionadas no texto e em tabelas e figuras, aparecendo em ordem alfabética e em letras maiúsculas. Evitar citações de resumos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, trabalhos não publicados, boletins técnicos e comunicação pessoal.

Qualquer dúvida, consultar a norma NBR-6023 (ago. 2002) da ABNT, mas observar as particularidades aplicadas a esta revista. A seguir, estão colocados alguns exemplos:

**Qualquer fonte de referência relacionada a seguir que disponibilizar o código de identificação DOI (Digital Object Identifier), este deve ser colocado sempre como último item da informação que está sendo listada. Ver o segundo exemplo de Revistas/Periódicos em meio eletrônico–Com DOI.

Revistas/Periódicos

ALVES, S.P.; RODRIGUES, E.H.V. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.241-245, maio/ago. 2004.

Revistas/Periódicos em meio eletrônico

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O., GUISELINI, C.; PIEDADE, S.M.S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.83-92, jan./abr. 2007. Disponível em: <<http://endereço eletrônico da revista>>. Acesso em: 24 set. 2007.

Com DOI (Digital Object Identifier)

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do balanço hídrico climatológico para duas cidades do Estado de São Paulo e para Paris. **Confins** [Online], v.4, n.4, 2008. Disponível em: <<http://endereço eletrônico da revista>>. doi: 10.400/confins.4733

Livros (Dar preferência ao capítulo e às páginas do capítulo em que o assunto abordado no trabalho está localizado ou, mais especificamente, somente as páginas do capítulo relativas exclusivamente ao que está sendo abordado no manuscrito).

Capítulo completo de livros ou obras semelhantes

CARVALHO, J.A. **Hidráulica básica**. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. v.2, p.1-106. (Série Engenharia Agrícola)

Capítulo de livros ou obras semelhantes: apenas a paginação específica (**forma preferida**)

CARVALHO, J.A. **Associação de bombas**. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. v.2, p.57-64. (Série Engenharia Agrícola)

Anais de congressos, simpósios, encontros científicos ou técnicos (devem ser evitados)

MARINI, V.K.; ROMANO, L.N.; DALLMEYER, A.U. A análise da operação agrícola como base para a definição de requisitos funcionais no processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

Dissertações e teses (evitar)

CORTEZ, J.W. **Densidade de semeadura da soja e profundidade de deposição do adubo no sistema plantio direto**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

Documento cartográfico (mapa, fotografia aérea, imagem de satélite, imagem de satélite digital)

BRASIL e parte da América do Sul: mapa político, escolar, rodoviário, turístico e regional. São Paulo: Michalany, 1981. 1 mapa, color., 79 cm x 95 cm. Escala 1:600.000.

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo, SP). **Projeto Lins Tupã**: foto aérea. São Paulo, 1986. Fx 28, n.15. Escala 1:35.000. LANDSAT TM5. **São José dos Campos**: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987- 1988. Imagem de satélite. Canais 3, 4 e composição colorida 3, 4 e 5. Escala 1:100.000.

ESTADOS UNIDOS. National Oceanic and Atmospheric Administration. **GOES- 08: SE**. 13 jul. 1999, 17:45Z. IR04. Itajaí: UNIVALI. Imagem de satélite: 1999071318. GIF: 557 Kb.

Órgãos públicos, instituições, associações

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação:

Citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. **Biodiesel**: novas perspectivas de sustentabilidade. Rio de Janeiro, 2002. 27 p.

Equações: Todas as equações que fizerem parte do texto deverão ser alinhadas com o parágrafo e numeradas, como segue:

$$y = a x + b \quad (1)$$

em que,

y - velocidade, m s⁻¹;

a - coeficiente angular;

x - rotação, rad s⁻¹, e

b - coeficiente linear.

Equações mais complexas deverão ser elaboradas com a ferramenta “Equação” do editor de texto Word, mantendo o mesmo tipo e o mesmo tamanho da fonte do texto (Times New Roman – 12).

2.2. Artigo Técnico: Deverá retratar avanços em teorias, metodologias e técnicas, sem apresentação de hipótese. Quando se tratar de estudo de caso, as conclusões devem apresentar proposições. Deve ser redigido em linguagem técnica, de fácil compreensão, sobre assuntos de interesse para a Engenharia Agrícola, por autor(es) que demonstre(m) experiência sobre o assunto tratado, permitindo orientação para os diferentes usuários da Engenharia Agrícola. Somente justifica-se a apresentação de artigos que tragam contribuição sobre o assunto e não simplesmente casos pessoais ou de interesse restrito. Com maior liberdade de estilo do que em artigos científicos, os artigos técnicos devem, na maioria das vezes, conter os seguintes itens: Título, Resumo, Palavras-Chave, Introdução, Descrição do Assunto, Conclusões e Referências.

- Cabeçalho: ARTIGO TÉCNICO deve aparecer no cabeçalho da primeira página, em letras maiúsculas, sublinhadas, negritadas, centralizadas e espaçadas de 1,1 cm da margem superior.
- Títulos, Resumo, Palavras-chave, Abstract e Keywords devem seguir as mesmas normas descritas para artigo científico relatadas no item 3 – Composição.
- Introdução: deve conter breve histórico, esclarecendo a importância, o estágio atual do assunto, apoiando-se em revisão bibliográfica, e deixar claro o objetivo do artigo.
- Descrição do Assunto: com diferentes títulos que podem ser divididos em subitens, deve-se discorrer sobre o assunto, apontando-se as bases teóricas, trazendo experiências e recomendações, discutindo e criticando situações, baseando-se ao máximo em bibliografia e normas técnicas sobre o assunto.
- Conclusões: quando couberem, devem ser redigidas de forma clara e concisa, coerentes com o(s) objetivo(s) estabelecido(s). Não devem ser uma simples reapresentação de outros parágrafos do artigo.

2.3 Artigo de Revisão: É a apresentação, exclusivamente a pedido do Conselho Editorial da revista, de um estudo, reunindo, analisando e discutindo o estado da arte e propondo perspectivas futuras sobre um assunto de importância para a Engenharia Agrícola. Tal estudo deverá estar baseado em ampla pesquisa bibliográfica, permitindo compilação dos conhecimentos existentes. Embora com maior liberdade de estilo do que em artigos científicos, os artigos de Revisão devem conter os seguintes itens: Título, Resumo, Palavras-Chave, Introdução, Revisão, Conclusões e Referências. Para a redação desse trabalho de revisão, devem ser seguidas as mesmas orientações para composição de artigos científicos, com as seguintes particularidades:

- Cabeçalho: ARTIGO DE REVISÃO deve aparecer no cabeçalho da primeira página em letras maiúsculas, sublinhadas, negritadas, centralizadas e espaçadas de 1,1 cm da margem superior.
- Introdução: deve conter breve histórico, situando a importância, o estágio atual do assunto e o objetivo da revisão.
- Revisão: seguir as normas de citação da revista. Se necessário, pode ser dividida por assuntos em subitens. A redação deve ser crítica e não apenas mera exposição dos assuntos; deve apresentar sequência lógica por ordem de assuntos e/ou cronológica. Sempre que possível, deve conter uma análise comparativa dos trabalhos sobre o assunto tratado.
- Conclusões: devem ser apresentadas de forma clara e concisa, coerentes com o(s) objetivo(s) estabelecido(s). Não devem ser uma simples reapresentação de parágrafos da revisão.