

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS E ESPECTRAIS DA DINÂMICA DAS  
CULTURAS DE SOJA E ALGODÃO NO OESTE BAIANO

Lucas Duarte Felix  
Engenheiro Agrônomo/ULBRA

Dissertação apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Área de Concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto de 2019

### CIP - Catalogação na Publicação

Felix, Lucas Duarte  
INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS E ESPECTRAIS DA  
DINÂMICA DAS CULTURAS DE SOJA E ALGODÃO NO OESTE  
BAIANO / Lucas Duarte Felix. -- 2019.  
98 f.  
Orientadora: Denise Cybis Fontana.

Coorientador: Juliano Schirmbeck.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,  
2019.

1. Agrometeorologia. 2. Reanálise. 3. NDVI. 4.  
Soja. 5. Algodão. I. Cybis Fontana, Denise, orient.  
II. Schirmbeck, Juliano, coorient. III. Título.

LUCAS DUARTE FELIX  
Engenheiro Agrônomo - ULBRA

## **DISSERTAÇÃO**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM FITOTECNIA**

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 30.08.2019  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 29.04.2021  
Por

DENISE CYBIS FONTANA  
Orientadora - PPG Fitotecnia  
UFRGS

CHRISTIAN BREDEMEIER  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

JULIANO SCHIRMBECK  
Coorientador/UNIVATES

CHRISTIAN BREDEMEIER  
PPG Fitotecnia/UFRGS

LAURINDO ANTONIO GUASSELLI  
PPG Sensoriamento Remoto/UFRGS

AMANDA HEEMANN JUNGES  
Secretaria da Agricultura  
Pecuária e Irrigação/RS

CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## AGRADECIMENTOS

Estudar em uma universidade tão bem-conceituada ao mesmo tempo que exercia minhas atividades na empresa em que trabalho, não foi nada fácil. Por isso, agradeço por todo apoio dos meus colegas de trabalho da SLC Agrícola, principalmente, pelo incentivo em voltar aos estudos e, também, por ficarem na minha retaguarda durante as minhas ausências da empresa. Agradeço aos professores, Denise e Juliano, pela excelente orientação na condução do trabalho realizado, pela paciência e compreensão com meu tempo dividido entre os estudos e o trabalho. Agradeço aos meus colegas de departamento da Fitotecnia/Agrometeorologia por partilharem suas experiências e pelos auxílios e conselhos ao longo desta jornada. Agradeço a minha família, meus pais, Emílio e Cleuza e, meu irmão, Leonardo, pela construção do meu caráter e incentivo infinito para eu ser uma pessoa cada vez melhor. Agradeço também aos meus sogros, Raimundo e Nadir, por todo apoio nestes últimos nove anos, onde me acolheram como filho. Agradeço a todos os meus amigos que sempre torceram por mim e compreenderam minha ausência durante os períodos mais trabalhosos e difíceis deste desafio. E agradeço, principalmente, a minha esposa Natali, que amo muito, por todo amor, companheirismo, carinho e paciência em todos esses anos.

# INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS E ESPECTRAIS DA DINÂMICA DAS CULTURAS DE SOJA E ALGODÃO NO OESTE BAIANO<sup>1</sup>

Autor: Lucas Duarte Felix  
Orientadora: Denise Cybis Fontana  
Coorientador: Juliano Schirmbeck

## RESUMO

O Oeste Baiano é uma importante região de produção agrícola brasileira, destacando-se as culturas da soja e do algodão. Como o resultado da atividade agrícola é dependente das condições meteorológicas, é fundamental a obtenção de dados para fins de monitoramento e planejamento. O objetivo do presente trabalho foi definir os indicadores climáticos e espectrais capazes de caracterizar o ciclo de culturas anuais e sua variabilidade no tempo e no espaço, em talhões do oeste da Bahia, como subsídio à modelagem de rendimento de grãos e fibra. O estudo foi realizado na fazenda Palmares localizada próxima ao município de Barreiras/BA. Foram caracterizados os indicadores climáticos (dados de reanálise ERA Interim), o indicador espectral (NDVI/MODIS) e dados de campo (cultivar, calendário e rendimento) e, posteriormente analisada a relação entre todos os indicadores: NDVI *vs* ciclo das culturas, NDVI *vs* condição hídrica e NDVI *vs* rendimento. Os resultados mostraram que os dados meteorológicos estimados pelo ERA Interim são úteis em vastas regiões de produção onde há carência de dados observados em superfície. A grade de 0,125° x 0,125° mostra-se adequada para o representar a variabilidade espacial dos elementos meteorológicos: precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar, com representatividade espacial muito superior a possível quando se usa dados de estações meteorológicas. Verificou-se com as imagens MODIS que é possível caracterizar a variabilidade no tempo e no espaço da produção agrícola na região. Os perfis temporais de NDVI podem distinguir as culturas da soja e do algodão, assim como, diferenciar as condições de crescimento entre as safras. As informações obtidas das áreas de lavouras comerciais são importante fonte de dados que podem ser usadas como referência para estudos agrícolas que envolvam imagens orbitais. Com o índice NDVI é possível determinar o tamanho do ciclo das culturas, identificar a época de semeadura e colheita, assim como, as possíveis anomalias na semeadura ou no ciclo. O ciclo das culturas da soja e algodão coincide com a estação chuvosa no oeste da Bahia, existindo, correlação entre o índice NDVI e indicadores da condição hídrica. Para a precipitação pluvial e excesso hídrico a correlação é diretamente proporcional. A correlação entre o NDVI acumulado ao longo do ciclo e o rendimento das culturas foi alta, o que evidencia que o índice NDVI isoladamente é uma variável chave a ser utilizada na modelagem de grãos, visto que pode explicar grande parte da variabilidade nos rendimentos observados entre os talhões.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (98f.) Agosto, 2019.

# AGROMETEOROLOGICAL AND SPECIAL INDICATORS OF THE DYNAMICS OF SOY AND COTTON CROPS IN WEST OF BAHIA<sup>1</sup>

Author: Lucas Duarte Felix  
Academic adviser: Denise Cybis Fontana  
Academic co-adviser: Juliano Schirmbeck

## ABSTRACT

West of Bahia is an important region of Brazilian agricultural production, especially soybean and cotton crops. As the result of agricultural activity is dependent on weather conditions, it is essential to obtain data for monitoring and planning purposes. The objective of the present work was to define the climatic and spectral indicators capable of characterizing the annual crop cycle and its variability in time and space, in western Bahia plots, as an aid to grain and fiber yield modeling. The study was conducted at Palmares farm located near Barreiras / BA. The climatic indicators (ERA Interim reanalysis data), the spectral indicator (NDVI / MODIS) and field data (cultivar, calendar and yield) were characterized and then the relationship between all indicators was analyzed.: NDVI vs crop cycle, NDVI vs water condition and NDVI vs yield. The results showed that the meteorological data estimated by ERA Interim are useful in large production regions where surface observed data are lacking. The grid of  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$  is adequate to represent the spatial variability of meteorological elements: rainfall, air temperature, relative humidity and solar radiation, with spatial representativeness much higher than possible when using meteorological station data. With MODIS images it was possible to characterize the variability in time and space of agricultural production in the region. NDVI time profiles can distinguish soybean and cotton crops, as well as differentiate growing conditions between crops. Information obtained from commercial crop areas is an important source of data that can be used as a reference for agricultural studies involving orbital images. With the NDVI index it is possible to determine the size of the crop cycle, to identify the sowing and harvesting time, as well as the possible sowing or cycle anomalies. The soybean and cotton crop cycle coincide with the rainy season in western Bahia, and there is a correlation between the NDVI index and indicators of water condition. For rainfall and excess water the correlation is directly proportional. The correlation between accumulated NDVI over the cycle and crop yield was high, which shows that the NDVI index alone is a key variable to be used in grain modeling, as it may explain much of the variability in yields observed between the plots.

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (98p.) August, 2019.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1 Oeste Baiano: características do ambiente.....	03
2.2 Oeste Baiano: Produção de soja e algodão.....	09
2.3 O clima e a produção agrícola.....	15
2.4 O sensor MODIS e sua aplicação em estudos agrícolas.....	19
2.5 O uso de dados de reanálise em estudos agrícolas.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 Área de estudo.....	26
3.2 Etapa I: Indicadores meteorológicos.....	27
3.3 Etapa II: Indicadores espectrais.....	30
3.4 Etapa III: Indicadores de campo.....	31
3.5 Etapa IV: Estabelecimento de relações entre indicadores.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Caracterização Regional.....	33
4.1.1 Elementos Meteorológicos.....	33
4.1.2 NDVI/MODIS.....	47
4.2 Caracterização das Sedes da Fazenda Palmares.....	51
4.2.1 Informação da Cultura: cultivar e ciclo.....	51
4.2.2 Rendimento.....	55
4.2.3 Disponibilidade Hídrica.....	59
4.2.4 NDVI - Perfis temporais dos talhões.....	62
4.3 Relações e estudo de casos.....	69
4.3.1 NDVI e dados do ciclo da cultura.....	69
4.3.2 NDVI e disponibilidade hídrica.....	70
4.3.3 NDVI e rendimento.....	74

	Página
4.3.4 Estudos de Caso.....	76
5. CONCLUSÕES.....	80
6. REFERÊNCIAS.....	81

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Nome, área, número de pixels de cobertura e a Sede a que pertence cada talhão da fazenda Palmares.....	27
2. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de precipitação pluvial estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	34
3. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de temperatura média do ar estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	35
4. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de umidade relativa do ar estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	36
5. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de radiação solar global estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	37
6. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de velocidade média do vento estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	39
7. Lista de cultivares de soja semeadas nos últimos cinco anos nas três sedes da fazenda Palmares, Bahia.....	51
8. Lista de cultivares de algodão semeadas nos últimos cinco anos nas duas sedes da fazenda Palmares, Bahia.....	54
9. Comparativo entre o ciclo da cultura da soja nas sedes I, II e III da fazenda Palmares estimado a partir do índice NDVI e dos dados de campo.....	70
10. Comparativo entre o ciclo da cultura do algodão nas sedes I e II da fazenda Palmares estimado a partir do índice NDVI e dos dados de campo.....	70

	Página
11. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e a Precipitação Pluvial acumulada na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	71
12. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e a Precipitação Pluvial acumulada na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	71
13. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Excesso Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	72
14. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Excesso Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	72
15. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Déficit Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	73
16. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Déficit Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.....	74
17. Correlação de Pearson entre o rendimento de grãos de soja e o NDVI acumulado em diferentes períodos durante o ciclo.....	75
18. Correlação de Pearson entre o rendimento de algodão em caroço e o NDVI acumulado em diferentes períodos durante o ciclo.....	75

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Localização do MATOPIBA (Fonte: <a href="http://www.chamaeleon.com.br/case-matopiba">www.chamaeleon.com.br/case-matopiba</a> ).....	03
2. Localização do Bioma Cerrado (Fonte: <a href="http://www.wwf.org.br">www.wwf.org.br</a> ).....	04
3. Árvores tortuosas do Cerrado (Caliandra do Cerrado, 2008). (Fonte: <a href="http://www.caliandradocerrado.com.br/2008/09/de-troncos-tortuosos.html">www.caliandradocerrado.com.br/2008/09/de-troncos-tortuosos.html</a> ).....	04
4. Distribuição dos climas no Brasil pelo método de classificação climática de Köppen (IBGE, 1990). Em vermelho, localização do Oeste Baiano.....	05
5. Distribuição normal mensal da temperatura média do ar no município de Barreiras – BA (INMET, 2018).....	06
6. Distribuição normal mensal da precipitação pluvial ao longo do ano no município de Barreiras – BA (INMET, 2018).....	06
7. Mapa pluviométrico anual do Oeste da Bahia (SABAI, 2015).....	07
8. Mapa do caminho dos rios voadores. (Projeto Rios Voadores, 2013).....	08
9. Perfil topográfico entre o Tocantins e o Oeste Baiano (Google Earth, 2018) ...	09
10. Dinâmica do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal no Oeste Baiano (Mapbiomas, 2019).....	10
11. Evolução da área plantada do Oeste da Bahia (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).....	11
12. Comparativo da evolução de área plantada de soja e algodão entre os anos de 2009 a 2016. Linhas tracejadas indicam a tendência deste mesmo período (IBGE, 2017).....	11
13. Área plantada e produção de Soja na Safra 2016/17 (CONAB, 2018).....	12
14. Área plantada e produção de Algodão na Safra 2016/17 (CONAB, 2018).....	12
15. Rendimento da Soja comparando-se o Brasil e o Oeste Baiano (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).....	13
16. Rendimento de Algodão comparando-se o Brasil e o Oeste Baiano (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).....	13
17. Mapa das regiões sojícolas dividido por regiões Edafoclimáticas (MAPA, 2016) (Fonte: <a href="http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/cultivares">www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/cultivares</a> ).....	14
18. Malha viária para escoamento da safra (ZANELLA, 2016).....	15

	Página
19. Mapa das estações meteorológicas convencionais (INMET, 2018; GOOGLE EARTH, 2018).....	22
20. Esquema demonstrando a infinidade de sensores utilizados para a elaboração dos modelos de reanálise (ECMWF, 2017).....	23
21. Esquematização da técnica de assimilação de dados observacionais 4D-Var. O parâmetro X tem sua estimativa determinada pelo modelo global do ECMWF, sendo corrigido por uma interpolação estatística no espaço e no tempo com as observações reais. Adaptado de Andersson & Thépaut (2008) por Costi (2011).....	24
22. Localização do Oeste da Bahia e dos talhões da fazenda Palmares no Oeste Baiano.....	26
23. Dispersão entre os dados de precipitação pluvial mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	34
24. Dispersão entre os dados de temperatura média do ar mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	35
25. Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	36
26. Dispersão entre os dados de radiação solar global mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	37
27. Dispersão entre os dados de velocidade média do vento mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.....	38
28. Mapa da distribuição da precipitação pluvial e do coeficiente de variação para os totais anuais e totais para as quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.....	41
29. Mapa da distribuição da radiação solar global e do coeficiente de variação para os totais anuais e totais para as quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.....	42
30. Mapa da distribuição da umidade relativa do ar e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.....	44
31. Mapa da distribuição da temperatura média do ar e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.....	45
32. Mapa da distribuição da velocidade média do vento e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.....	46
33. Mapa da distribuição e coeficiente de variação do NDVI anual e nas estações do ano para o período de 2000 a 2018.....	48
34. Mapa do NDVI médio do período de 2000 a 2018 nas 23 datas, espaçadas em 16 dias, que compõem um ano médio no Oeste Baiano.....	49
35. Duração do ciclo da cultura da soja em sete safras das sedes I (Linha Azul), II (Linha Verde) e III (Linha Amarela) da fazenda Palmares, Bahia.....	53

	Página
36. Duração do ciclo da cultura do algodão em sete safras das Sedes I (Linha Azul) e II (Linha Verde) da fazenda Palmares, Bahia.....	55
37. Rendimento de Soja em 8 safras da Sede I da fazenda Palmares, Bahia.....	56
38. Rendimento de Soja em 10 safras da Sede II da fazenda Palmares, Bahia.....	57
39. Rendimento de Soja em 5 safras da Sede III da fazenda Palmares.....	57
40. Rendimento de Algodão em 9 safras da Sede I da fazenda Palmares, Bahia.....	58
41. Rendimento de Algodão em 10 safras da Sede II da fazenda Palmares, Bahia..	59
42. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Soja na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.....	60
43. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Soja na Sede III da fazenda Palmares, Bahia.....	60
44. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Algodão na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.....	62
45. Perfil temporal de NDVI ao longo de oito safras de soja na Sede I da fazenda Palmares, Bahia.....	64
46. Perfil temporal de NDVI ao longo de dez safras de soja na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.....	65
47. Perfil temporal de NDVI ao longo de cinco safras de soja na Sede III da fazenda Palmares, Bahia.....	66
48. Perfil temporal de NDVI ao longo de nove Safras de Algodão na Sede I da fazenda Palmares, Bahia.....	67
49. Perfil temporal de NDVI ao longo de dez Safras de Algodão na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.....	68
50. Perfil temporal de NDVI ao longo da safra de soja na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18, cada linha representando um talhão.....	76
51. Precipitação pluvial acumulada por talhão para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18.....	77
52. Rendimento de grãos de soja por talhão na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18.....	79

## 1 INTRODUÇÃO

O Oeste Baiano é uma importante região de produção agrícola brasileira. Localizado no Bioma Cerrado, a região já concentra mais que um terço de toda a riqueza agrícola do Estado. Dentre as culturas de sequeiro mais representativas, destacam-se a soja e o algodão. A soja é uma cultura altamente difundida por todo o país, e também no Oeste Baiano, sendo a principal *commodity* brasileira. O algodão é a segunda cultura mais importante no Estado, sendo que a Bahia é conhecida por produzir a pluma de melhor qualidade do Brasil.

Apesar da importância, a região tem carência de informações e de metodologias desenvolvidas e adaptadas às condições ambientais locais, o que poderia possibilitar a obtenção de maiores rendimentos e com menor custo ambiental. As extensões das áreas agrícolas, assim como o tamanho médio dos talhões na região, são muito grandes e as metodologias necessariamente devem apresentar adequação a este contexto espacial. A hipótese assumida nesta dissertação é de que bases de dados oriundas de imagens orbitais, sejam meteorológicas ou de recursos naturais, apresentam escala espacial adequada à região e são promissoras enquanto fornecedoras de dados capazes de propiciar o acompanhamento dos talhões.

Tomando como premissa que o resultado da atividade agrícola é altamente dependente das condições meteorológicas, é fundamental a obtenção de dados para realização de análises tanto para fins de monitoramento (dados meteorológicos), como para o planejamento (dados climatológicos) desta atividade. As séries históricas de dados meteorológicos medidos e atualmente disponíveis, frequentemente apresentam falhas, além do reduzido número de pontos de medição, implicam em uma inadequada distribuição espacial. Como alternativa para os estudos em grandes áreas, surge a utilização de dados de reanálise, os quais possibilitam preencher lacunas, reduzir erros de interpolação, além de gerar dados em regiões descobertas por estações meteorológicas existentes.

Já para a inferência sobre as condições de crescimento e de desenvolvimento das culturas/vegetação ao longo do tempo, pode-se destacar o uso de imagens do *Moderate-*

*Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Estas imagens, quando em adequação ao tamanho dos talhões, são comprovadamente capazes de evidenciar os padrões de variabilidade sazonal e interanual da vegetação, assim como podem ser utilizadas em modelos de estimativa do rendimento de grãos das culturas. O uso destas imagens é, portanto, de grande valia para o entendimento das respostas das culturas em períodos de anomalias climáticas, permitindo estimar tendências futuras do desenvolvimento vegetal em caso de repetitividade da anomalia ao longo dos anos.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi definir os indicadores climáticos e espectrais capazes de caracterizar o ciclo de culturas anuais e sua variabilidade no tempo e no espaço, em talhões do oeste da Bahia, como subsídio à modelagem de rendimento de grãos e fibra. Especificamente, pretende-se:

- Quantificar a acurácia dos dados da base de reanálise meteorológica ERA Interim frente aos dados medidos nas estações meteorológicas de superfície existentes na região e caracterizar, com alto detalhamento espacial, o padrão de distribuição no espaço dos principais elementos climatológicos (originais e derivados) e sua variabilidade ao longo das estações do ano;
- Usar as imagens MODIS de índice de vegetação para obter informações sobre época de semeadura e duração do ciclo das culturas da soja e do algodão na região, assim como para acompanhar as condições de crescimento e desenvolvimento das culturas;
- Caracterizar as condições de cultivo da soja e do algodão na região a partir de dados registrados em talhões comerciais, propiciando a formação de um banco de dados de referência para as análises com imagens MODIS;
- Relacionar as bases de dados MODIS, ERA Interim e dados de referência visando determinar os fatores de variabilidade da produção agrícola regional e sua importância.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Oeste Baiano: características do ambiente

O Oeste Baiano possui uma área total de 16,2 milhões de hectares, sendo destes 9,1 milhões de hectares situados no bioma Cerrado, onde 1,9 milhão é destinado a reserva legal e 1,7 milhão à área de preservação permanente (APP), sobrando 5,5 milhões de hectares de bioma Cerrado com aptidão agrícola (AIBA, 2011). Desta forma, esta área faz o estado da Bahia pertencer a última fronteira para expansão da produção agrícola brasileira, conhecida como MATOPIBA, por compreender a área de bioma cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (FIGURA 1).

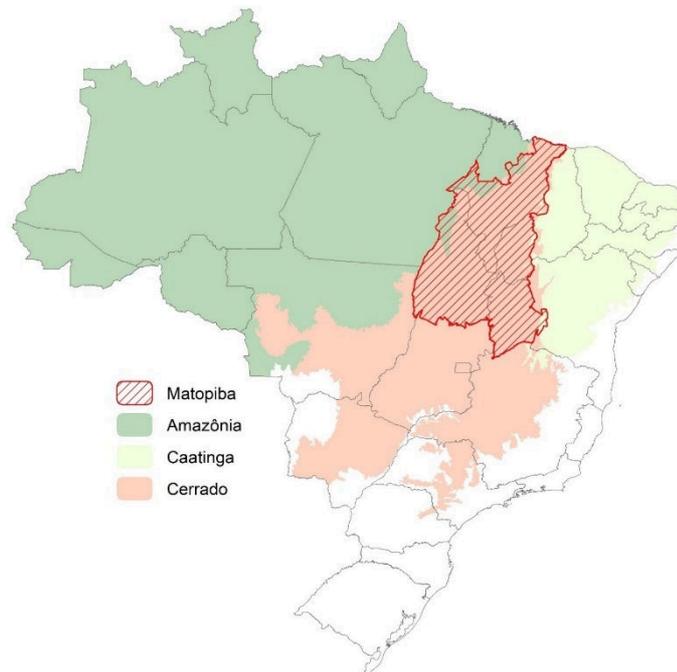


FIGURA 1. Localização do MATOPIBA (Fonte: [www.chamaeleon.com.br/case-matopiba](http://www.chamaeleon.com.br/case-matopiba)).

Grande parte do MATOPIBA situa-se no bioma Cerrado, que abrange doze estados brasileiros: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (FIGURA 2). Com uma área de 2.036.448 km<sup>2</sup>, é o segundo maior bioma da América Latina, ocupando cerca de 22% do território brasileiro (MMA, 2018). O Cerrado tem como característica a presença de

chapadas, extensas áreas com a superfície do solo planas e em altitudes superiores a 500 metros. Os solos possuem, naturalmente, baixos teores de magnésio e cálcio, altos teores de alumínio e baixa saturação e soma de bases, o que acarreta altos investimentos em correção da acidez, neutralização da toxidez do alumínio e adubação. A vegetação tem como característica a presença de árvores tortuosas, como a da FIGURA 3. Essa conformação é um mecanismo de defesa a estresses abióticos, como a presença de alumínio. As raízes costumam ser profundas e bem adaptadas para a busca de água em profundidade no período seco. Para muitos autores é considerada a savana brasileira, justamente por apresentar características semelhantes a savana africana (LINHARES & GEWANDSZNAJDER, 2013).

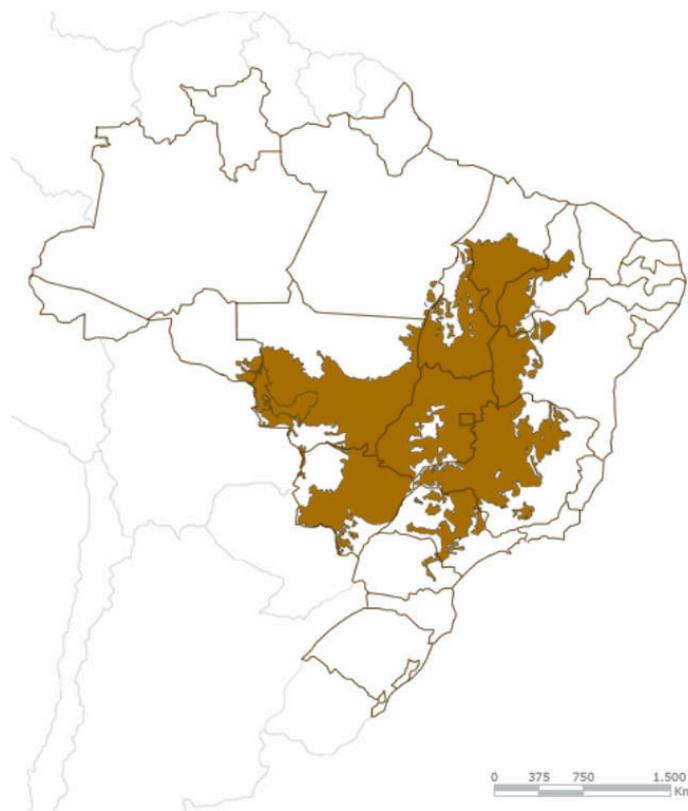


FIGURA 2. Localização do Bioma Cerrado (Fonte: [www.wwf.org.br](http://www.wwf.org.br)).



FIGURA 3. Árvores tortuosas do Cerrado (Caliandra do Cerrado, 2008). (Fonte: [www.caliandrdocerrado.com.br/2008/09/de-troncos-tortuosos.html](http://www.caliandrdocerrado.com.br/2008/09/de-troncos-tortuosos.html)).

O clima da região do Oeste Baiano, segundo Alvares *et al.* (2013) é caracterizado como clima tropical de inverno seco (Aw) (FIGURA 4), ou seja, possui duas estações bem definidas onde, tipicamente, as temperaturas médias mensais ficam acima de 18 °C em todos os meses do ano, e pelo menos um mês, no inverno, tem precipitação pluvial média mensal inferior a 60 mm. Estas duas estações são comumente chamadas de “estação das águas”, que compreendem os meses entre outubro e abril, e a “estação da seca”, que ocorre entre os meses de maio e setembro.

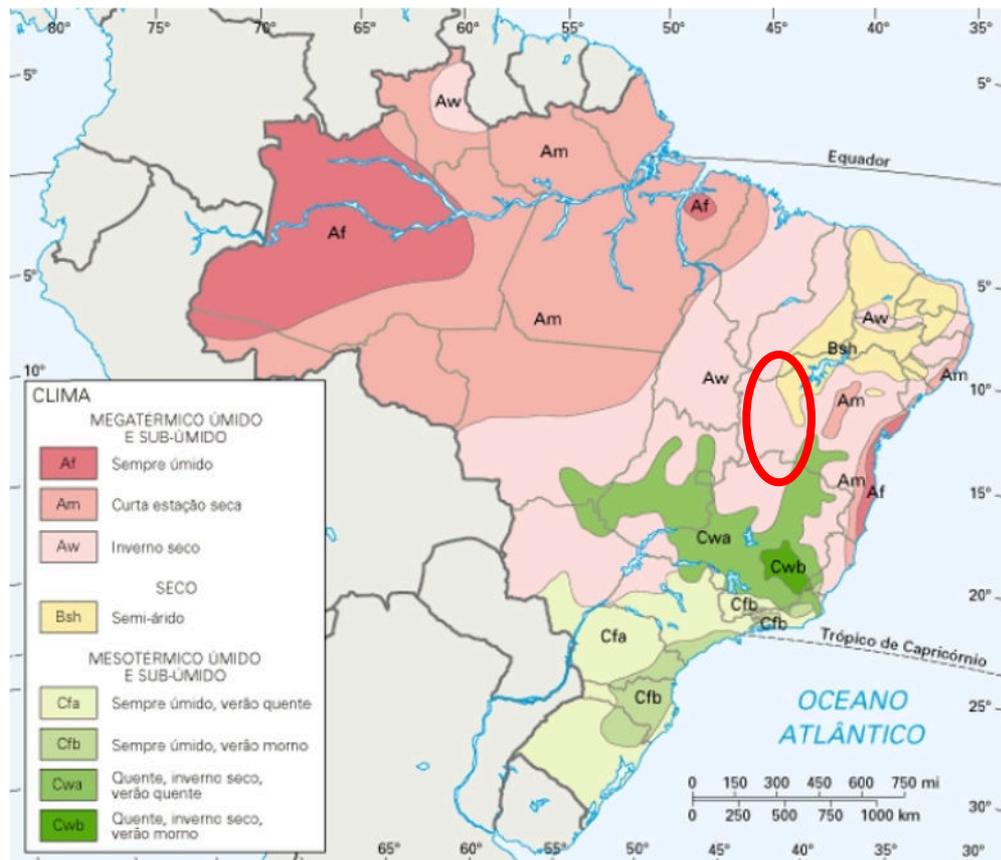


FIGURA 4. Distribuição dos climas no Brasil pelo método de classificação climática de Köppen (IBGE, 1990). Em vermelho, localização do Oeste Baiano.

Na região do Oeste Baiano, os elementos meteorológicos como temperatura, insolação e precipitação possuem características típicas de sua classificação climática (Aw). O município de Barreiras, localizado na região central do Oeste Baiano, exemplifica bem essas características de clima (FIGURA 5), onde há pouca variação entre os meses mais quentes e mais frios, não ultrapassando 5°C de amplitude térmica. A pouca variação entre o mês mais quente e o mais frio é explicado em função da posição geográfica (latitude) da região. O município de Barreiras fica em região tropical, próximo a linha do Equador, onde há pouca variação da radiação solar recebida ao longo do ano.

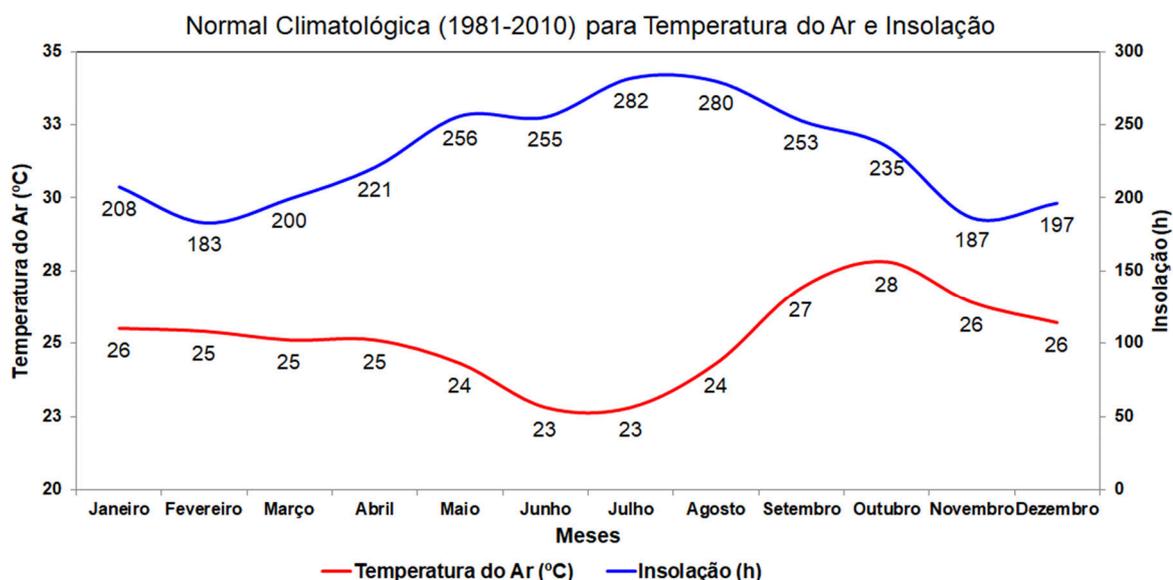


FIGURA 5. Distribuição normal mensal da temperatura média do ar no município de Barreiras – BA (INMET, 2018).

Em média, os meses de primavera e verão possuem menos horas de sol do que nos meses de outono e inverno, o que está associado com a ocorrência da estação chuvosa, representada pela FIGURA 5. Na primavera e verão tem em média 206 e 197 horas, enquanto no outono e inverno possuem médias de 244 e 272 horas, respectivamente. A precipitação pluviométrica (FIGURA 6) é regular apenas entre os meses entre outubro e abril, neste período ocorre toda a precipitação esperada para o ano, em média 1.005 mm no município de Barreiras, já que nos meses entre maio e setembro não há precipitação considerável.

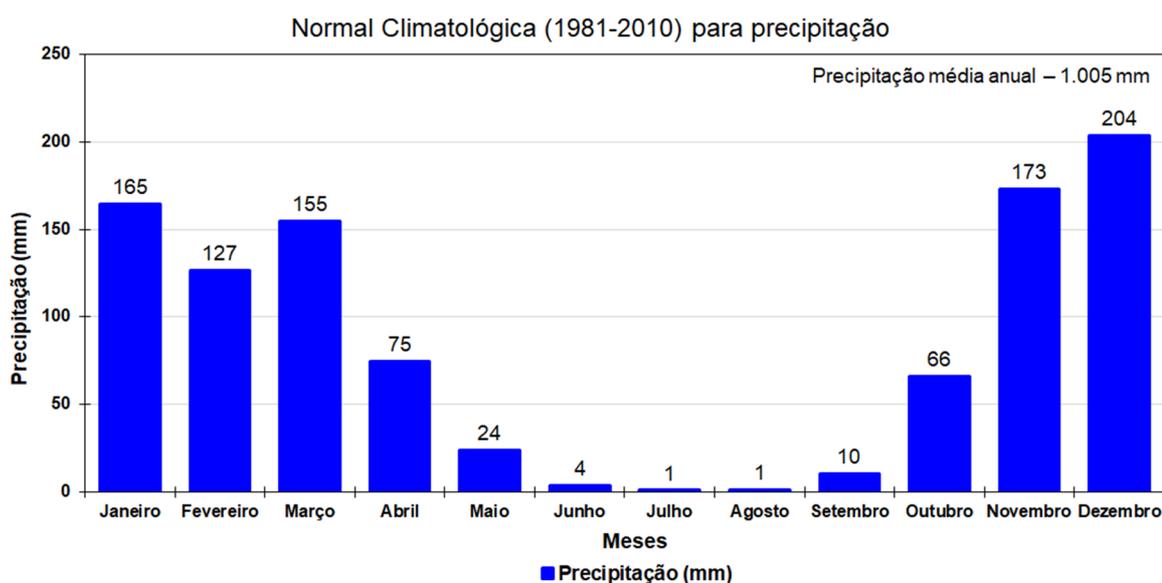


FIGURA 6. Distribuição normal mensal da precipitação pluvial ao longo do ano no município de Barreiras – BA (INMET, 2018).

A FIGURA 7 pode perceber uma diferença importante na região quanto à quantidade de precipitação pluvial acumulada ao longo do ano. Regiões que ficam mais à divisa dos

estados do Goiás e Tocantins possuem maiores acumulados anuais. A quantidade de precipitação pluvial diminui gradativamente em direção ao centro do estado da Bahia. Isto ocorre em função da massa de umidade oceânica e amazônica que influencia na formação da precipitação da região. O deslocamento desta umidade é denominado de “Rios Voadores” (FIGURA 8), o qual se associa ao relevo local, configurando o regime local de precipitação pluvial na região (FIGURA 7).

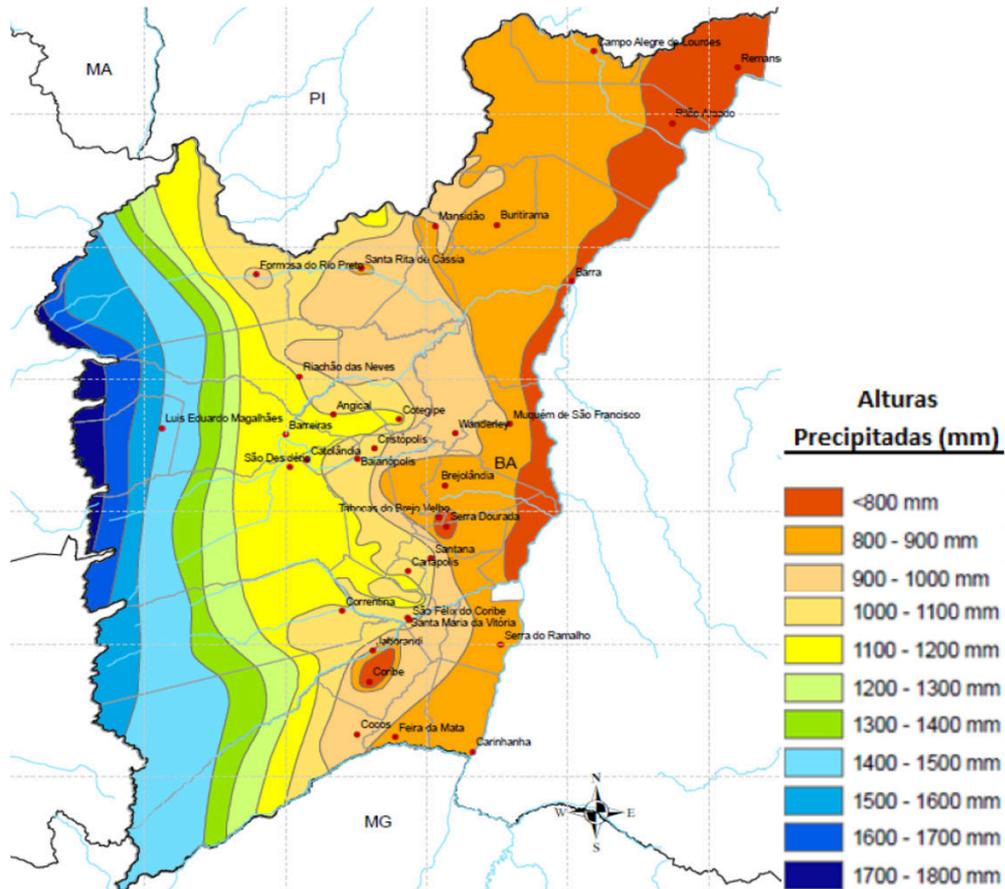


FIGURA 7. Mapa pluviométrico anual do Oeste da Bahia (SABAI, 2015).

Como mostra a FIGURA 8, na faixa equatorial do oceano Atlântico ocorre intensa evaporação. A umidade gerada é carregada pelos ventos alísios em direção ao continente. Devido à intensa evapotranspiração da Floresta Amazônica, ocorre a sucção dos ventos alísios, trazendo toda a umidade que condensa sobre a floresta gerando precipitação pluvial e movimentando a massa de ar úmido. A umidade avança em sentido Oeste até atingir um bloqueio natural, a região da Cordilheira dos Andes. A partir daí, ocorre à recirculação do vapor d'água, parte precipita formando a cabeceira dos rios amazônicos e o restante retorna ao continente na direção leste e sul, formando nuvens e precipitação para outras regiões (Projeto rios voadores, 2013). É este restante da umidade que chega ao Oeste Baiano.



FIGURA 8. Mapa do caminho dos rios voadores. (Projeto Rios Voadores, 2013).

Quanto à contribuição do relevo, a FIGURA 9 mostra que no perfil altimétrico há uma grande variação no relevo na divisa do Oeste Baiano com os estados do Tocantins e Goiás. Esta variação de altitude impulsiona a ascensão do ar úmido, formando precipitações orográficas. À medida que a umidade avança sobre o Oeste da Bahia, vai perdendo força ao encontrar regiões mais secas, justificando a redução da precipitação evidenciado anteriormente.

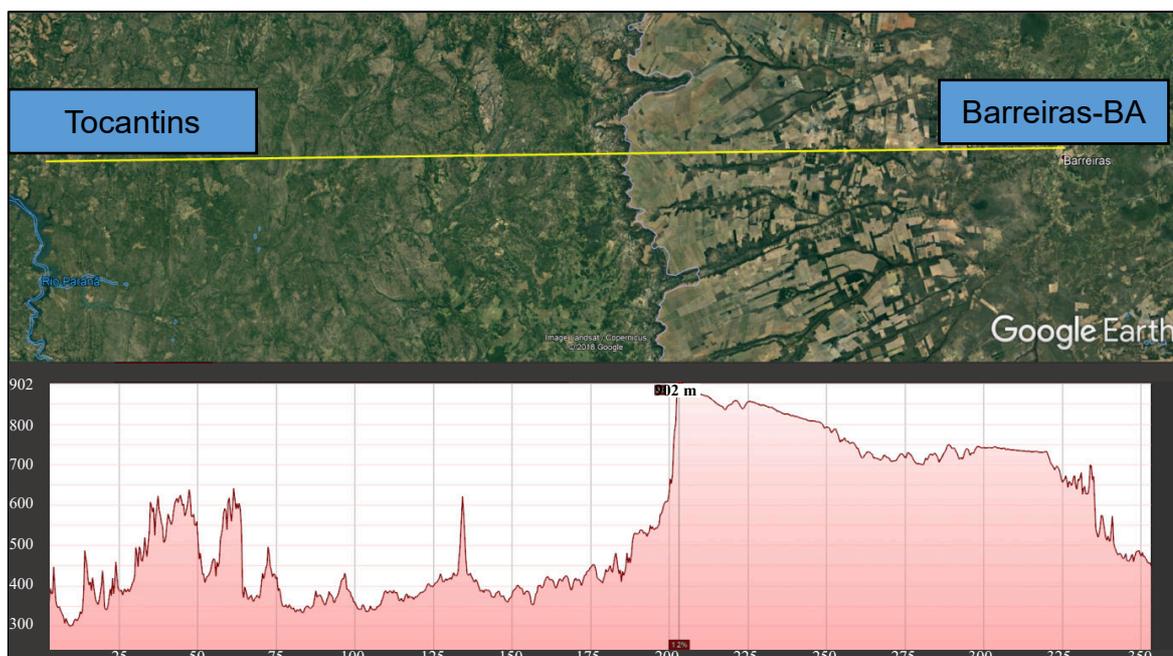


FIGURA 9. Perfil topográfico entre o Tocantins e o Oeste Baiano (Google Earth, 2018).

## 2.2 Oeste Baiano: Produção de soja e algodão

O Oeste Baiano nas décadas de 1980 e 1990 passou por uma expansão agrícola sem precedentes. A FIGURA 10 mostra mapas disponibilizados pelo projeto Mapbiomas. Este projeto é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é produzido por uma rede colaborativa de criadores formado por ONGs, universidades e empresas de tecnologia. Esta rede utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. Os mapas são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens do satélite *Landsat* em resolução de 30 metros, durante o período de 1985 até 2017 (Mapbiomas.org, 2019).

Na década de 80, iniciou-se os cultivos mistos (agricultura e pastagens) nas regiões lindeiras aos estados de Goiás e Tocantins. Na década de 1990 iniciou um processo de mudança para áreas de culturas anuais e perenes. Na década seguinte, o aumento dos cultivos das culturas anuais e perenes avançou sobre o Cerrado até que chegou próximo ao centro da região do Oeste Baiano, na qual conhecemos hoje, tornando-se a principal fronteira agrícola do Estado. O desenvolvimento desta região fez da Bahia um importante produtor nacional de grãos, café, carnes, frutas e fibras (MENDONÇA, 2006). Desde a safra 1979/80 até a safra 2017/18, houve um crescimento médio anual composto de 20%, passando dos 2 mil para quase 2 milhões de hectares atualmente (FIGURA 11).

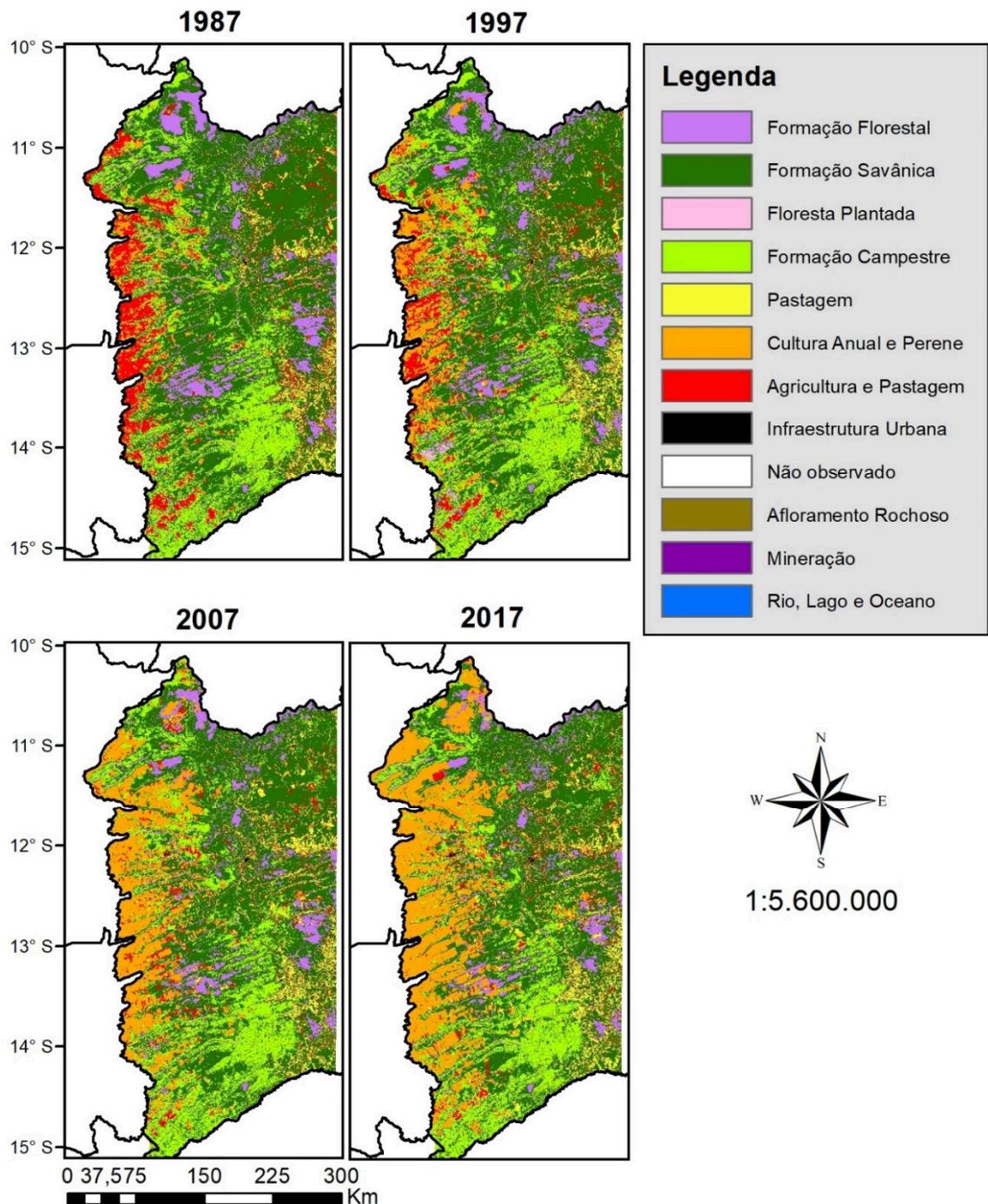


FIGURA 10. Dinâmica do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal no Oeste Baiano (Mapbiomas, 2019).

Os cultivos mais extensos em área são os de Soja e Algodão. Segundo dados do IBGE (2017), na safra 2015/2016 foram plantados 1.440.135 hectares de soja e 332.636 hectares de algodão, com rendimentos médios de 3.134 e 3.599 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste mesmo período, dados do IBGE mostram que o resultado financeiro da soja na Bahia alcançou valores em torno de R\$ 4,45 bilhões e o algodão alcançou cerca de R\$ 1,78 bilhão.

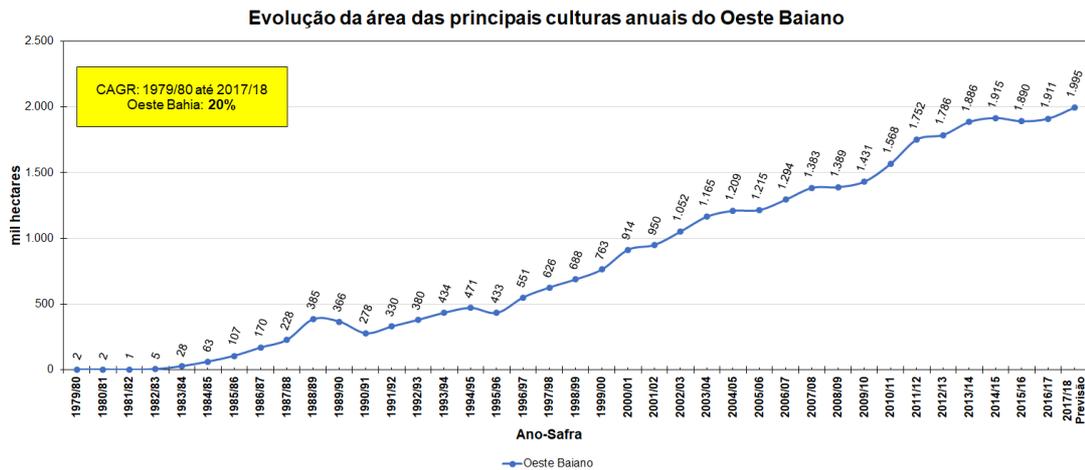


FIGURA 11. Evolução da área plantada do Oeste da Bahia (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).

Para o mesmo período, no Estado do Mato Grosso, principal produtor brasileiro de Soja e Algodão, teve uma área de plantio de 8.983.683 de hectares e 574.145 hectares, respectivamente, e os rendimentos médios foram bem próximos aos obtidos no Oeste Baiano. A soja produziu, em média, 3.106 kg ha<sup>-1</sup> e o algodão 4.012 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2017).

Conforme a FIGURA 12, ao longo dos últimos anos a área plantada de soja vem aumentando na região, enquanto há uma certa estagnação na área de algodão. O período de plantio das duas culturas se sobrepõe. Desta forma, pode-se creditar o padrão da distribuição da área de plantio na região em função do maior custo de produção da cultura do algodão, o que aumenta o risco do produtor (ABAPA, 2017).

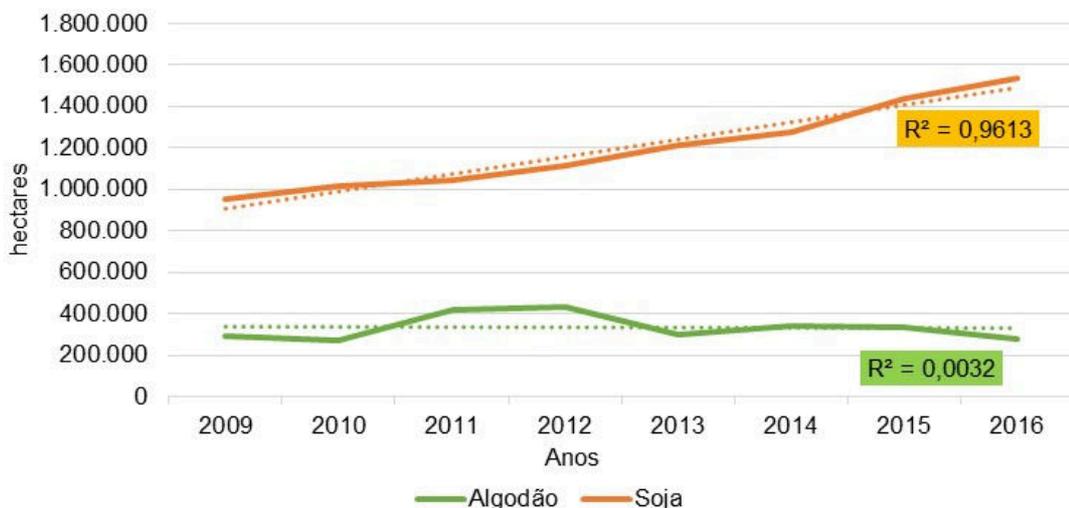


FIGURA 12. Comparativo da evolução de área plantada de soja e algodão entre os anos de 2009 a 2016. Linhas tracejadas indicam a tendência deste mesmo período (IBGE, 2017).

Segundo dados da CONAB (2018), a Bahia é a 6<sup>a</sup> maior produtora de soja do país, tanto em área como em produção, sendo que 100% desta área é cultivada na região Oeste do

estado. Em média, a cultura da Soja ocupa 65% de toda área do Oeste, sendo assim, a cultura mais plantada da região (FIGURA 13). Em relação ao plantio e produção de algodão, a Bahia ocupa a 2ª colocação, onde 97% de todo algodão cultivado na Bahia fica na região Oeste (FIGURA 14).

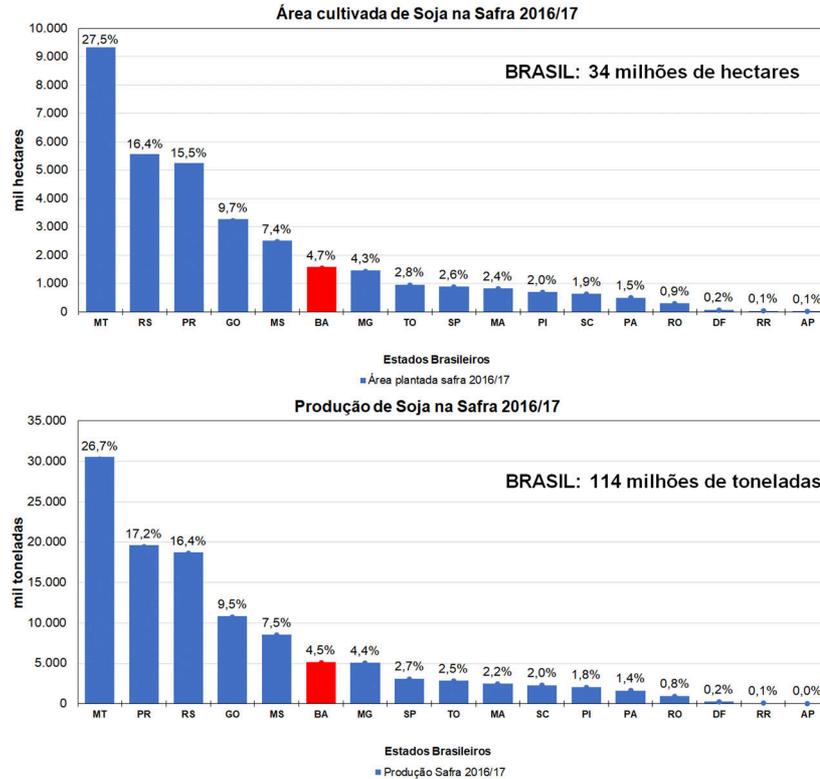


FIGURA 13. Área plantada e produção de Soja na Safra 2016/17 (CONAB, 2018).

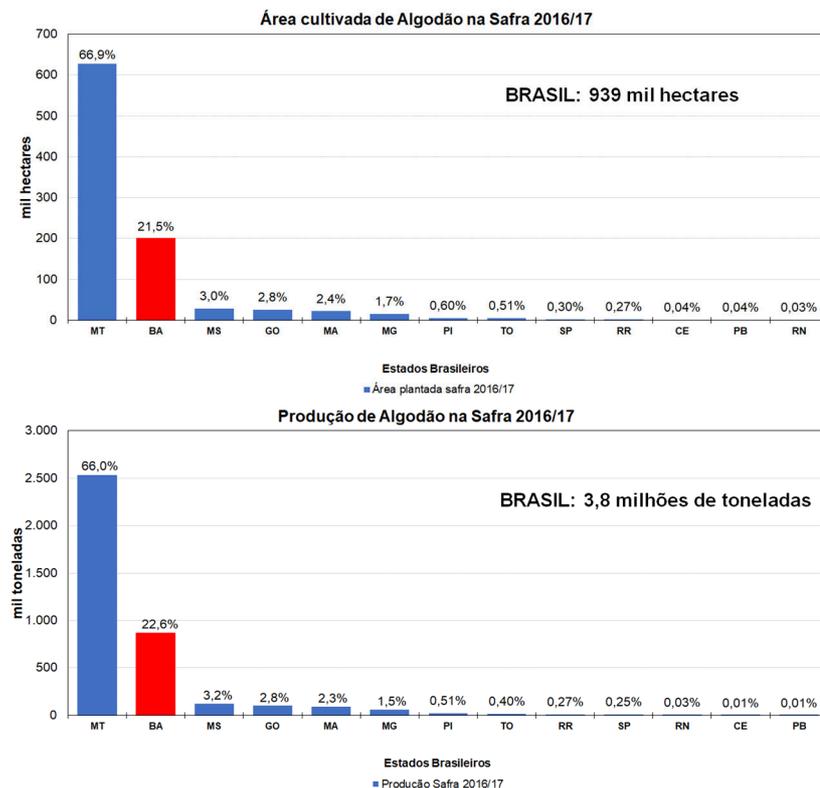


FIGURA 14. Área plantada e produção de Algodão na Safra 2016/17 (CONAB, 2018).

As FIGURA 15 e 16 trazem o histórico de rendimento de soja e algodão, respectivamente, da região Oeste em relação ao Brasil. Historicamente, o rendimento de soja da região Oeste é mais baixa que a média nacional. Na cultura do algodão há um equilíbrio, sendo superior em alguns anos e inferior em outros (ZANELLA, 2016; CONAB, 2018).

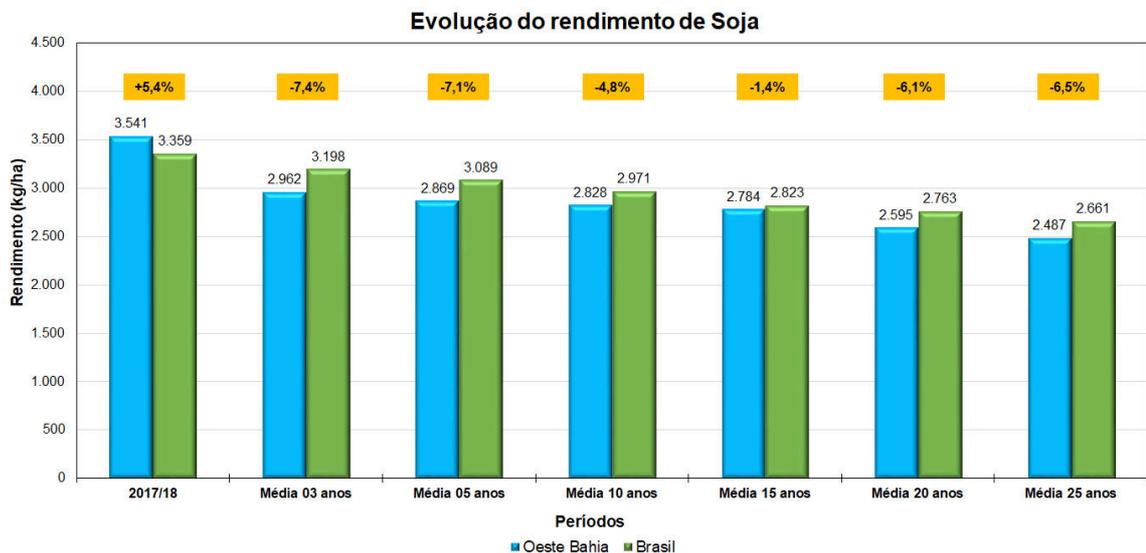


FIGURA 15. Rendimento da Soja comparando-se o Brasil e o Oeste Baiano (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).

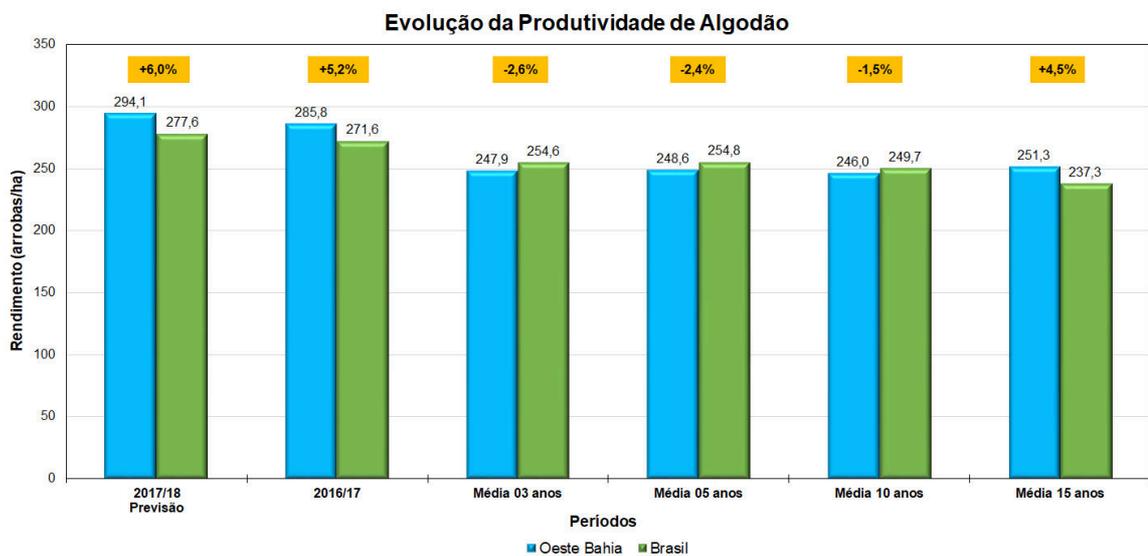


FIGURA 16. Rendimento de Algodão comparando-se o Brasil e o Oeste Baiano (ZANELLA, 2016 e CONAB, 2018).

A Embrapa e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) caracterizaram as áreas sojícolas em macrorregiões no país separadas em regiões edafoclimáticas, conforme a FIGURA 17. Estas macrorregiões foram criadas com o intuito de garantir que o produtor rural utilize nas suas lavouras somente materiais testados e adaptados a sua região. Cada cultivar é cadastrada no Sistema de Zoneamento Agrícola de

Risco Climático (SISZARC) do MAPA, descrevendo as características agronômicas e regiões de adaptação de cada cultivar (MAPA, 2016).

A Macrorregião 4 é a que compreende parte dos estados de Roraima, Mato Grosso, Goiás, Bahia e Tocantins, sendo que cada macrorregião possui regiões edafoclimáticas distintas. O Oeste Baiano está na região edafoclimática 405.

Outro diferencial da região Oeste da Bahia é sua logística. Como mostra a FIGURA 18, a região possui boas opções para escoamento da safra e facilidade para receber os insumos necessário à produção (ZANELLA, 2016).

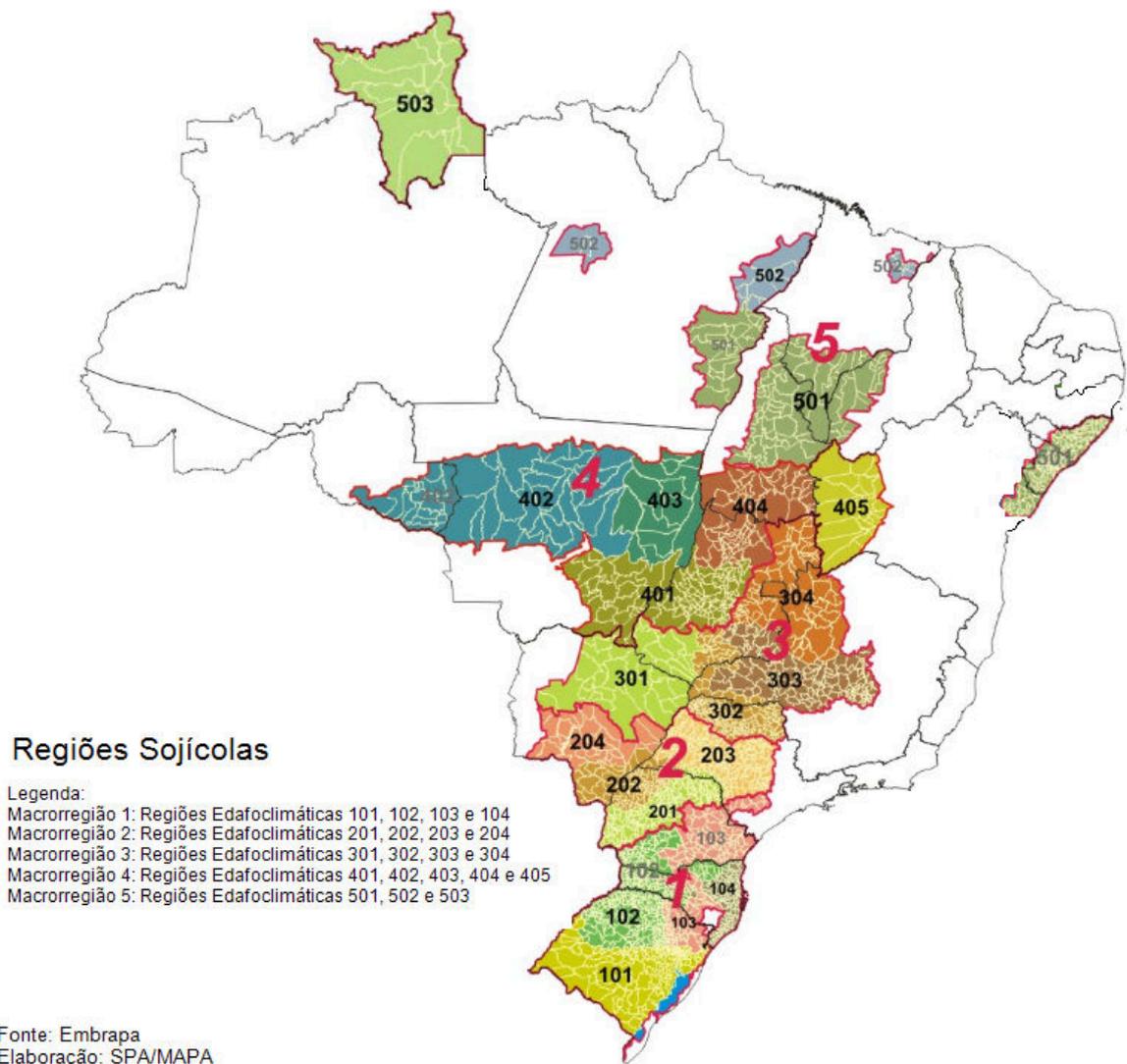


FIGURA 17: Mapa das regiões sojícolas dividido por regiões Edafoclimáticas (MAPA, 2016) (Fonte:/www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/cultivares).



FIGURA 18. Malha viária para escoamento da safra (ZANELLA, 2016).

### 2.3 O clima e a produção agrícola

De modo geral, segundo Hoogenboom (2000), dentre todas as variáveis meteorológicas, a radiação solar, a temperatura do ar e a precipitação pluvial são os principais elementos que afetam o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das culturas. Há ainda, a influência de outros elementos, tais como o fotoperíodo, a umidade do ar e do solo, a velocidade e a direção do vento (PEREIRA; ANGELOCCI; SENDELHAS, 2002; MAVI & TUPPER, 2004).

A radiação solar é responsável em fornecer a energia necessária aos processos da fotossíntese, que tem papel fundamental no desenvolvimento da planta. A fotossíntese também é responsiva à temperatura do ar, afetando o metabolismo das plantas, regulando o crescimento e o desenvolvimento vegetal. O aumento da temperatura é diretamente proporcional ao aumento da taxa de fotossíntese, porém essa proporcionalidade é invertida na presença de temperaturas muito elevadas. Outros processos nas plantas são afetados pela temperatura, tais como: a respiração de manutenção, a transpiração, o repouso vegetativo, a duração das fases fenológicas das culturas, a indução ao florescimento, o conteúdo de óleo em grãos e a taxa de germinação de sementes (PEREIRA; ANGELOCCI; SENDELHAS, 2002; MAVI & TUPPER, 2004). A influência da temperatura em tantos processos a torna, junto com a precipitação pluvial, a principal variável meteorológica a ser considerada nos zoneamentos agroclimáticos (CAMARGO *et al.*, 1974, 1977).

Já a precipitação pluvial não atua diretamente em nenhum processo metabólico nas plantas. Sua ação é indireta, afetando todas as fases das culturas (HOOGENBOOM, 2000). Também afeta a disponibilidade hídrica dos solos, de onde as plantas absorvem a água através das raízes, alterando o estado hídrico da cultura. O excesso ou a falta de água leva a redução do rendimento das culturas. A saturação de água no solo reduz a oxigenação das raízes, diminuindo sua atividade e, conseqüentemente, limitando a absorção de água e nutrientes. Em situação de déficit hídrico, a planta fecha seus estômatos reduzindo as trocas gasosas, isto acaba afetando a fotossíntese negativamente (MONTEIRO, 2009).

O fotoperíodo é uma variável que atua no crescimento e no desenvolvimento das culturas. Em relação ao crescimento, o fotoperíodo corresponde ao tempo em que as plantas realizam o processo da fotossíntese. Sendo assim, analisando quantitativamente, nos locais em que, durante a época de cultivo, o fotoperíodo é maior, a planta realiza fotossíntese por mais tempo e conseqüentemente, produz mais. Em algumas culturas, o fotoperíodo influencia o desenvolvimento das plantas. Por exemplo, a cultura da soja é fotossensível, pois a fase reprodutiva só é iniciada quando o fotoperíodo mínimo necessário é atingido (MONTEIRO, 2009).

O vento afeta indiretamente as culturas, podendo ser de forma positiva ou negativa, dependendo de sua velocidade. As velocidades baixas contribuem para as trocas gasosas e para a manutenção da transpiração das plantas necessárias à fotossíntese. Em velocidades altas, o vento causa um aumento prejudicial da transpiração, fazendo com que as plantas fechem seus estômatos, além da possibilidade de ocorrência de danos mecânicos à planta, acarretando redução na área de realização de fotossíntese (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A umidade do ar é mais uma variável que afeta as culturas de forma indireta. Tem ação sobre o poder evaporante do ar e o condicionamento à transpiração. A baixa umidade, presente em ambientes secos, leva ao aumento excessivo da transpiração, podendo causar desordens fisiológicas. Fungos e bactérias causadores de doenças têm alta interação com a umidade do ar. Um período longo de molhamento foliar (alta umidade) favorece os microrganismos prejudiciais aos cultivos, reduzindo a qualidade e quantidade dos produtos agrícolas (SENTELHAS, 2004).

Segundo Sivakumar; Gommès; Baier (2002), a relação interativa entre os elementos meteorológicos e a cultura pode ser complexa, resultando em uma variedade de reações biológicas e de condições ambientais em constante mudança. Por exemplo, enquanto a temperatura é crítica para a definição do comprimento e da espessura das fibras em formação na maçã do algodoeiro, o fotoperíodo é fator determinante para o início da fase reprodutiva

da soja. Por isso, o entendimento das particularidades de cada cultura e das condições do ambiente físico é fundamental para um sistema de produção mais eficiente e sustentável.

**a) Soja:**

Dentre os elementos meteorológicos mais importantes para o desenvolvimento e rendimento da soja estão a disponibilidade hídrica, a temperatura, a radiação solar e o fotoperíodo (MONTEIRO, 2009).

A disponibilidade hídrica é mais importante, principalmente, durante as fases entre a germinação e a emergência, e entre a floração e o enchimento de grãos. Na primeira fase, tanto o excesso quanto o déficit hídrico são prejudiciais ao estabelecimento da cultura e a boa uniformidade na população de plantas, sendo o excesso hídrico mais limitante do que o déficit (MONTEIRO, 2009). A semente precisa absorver cerca de 50% do seu peso em água para uma boa germinação, desta forma, o conteúdo de água no solo não deve ser superior a 85% do total máximo disponível e, também, não ser inferior a 50% (Embrapa Soja, 2008). A segunda fase é a que demanda maior quantidade água ao longo do ciclo, sendo a distribuição da precipitação pluvial ainda mais importante para garantir o potencial máximo de rendimento de grãos. A floração é a fase que tem necessidade hídrica maior (8 mm/dia) e o enchimento de grãos à que possui maior sensibilidade à ocorrência de déficits hídricos (MONTEIRO, 2009).

A temperatura do ar ideal para o desenvolvimento da cultura da soja fica entre os 30 °C, adaptando-se bem em regiões onde oscilam entre os 20 e 30 °C. Para uma emergência uniforme, a temperatura do solo pode variar entre os 20 e 30°C, sendo 25 °C a ideal para semeadura. Temperaturas do solo inferiores a 20°C comprometem a germinação e a emergência das plantas. O crescimento e desenvolvimento das plantas tornam-se pequenos ou nulos quando temperaturas do ar menores ou iguais a 10°C ocorrem durante o ciclo. Da mesma forma, temperaturas do ar superiores a 40°C têm efeitos adversos na taxa de crescimento, provocando danos à floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Tais problemas acentuam-se drasticamente com a ocorrência, concomitante, de altas temperaturas e déficits hídricos (FARIAS et al., 2007; MONTEIRO, 2009).

A radiação solar é um importante componente ambiental que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também fornece sinais ambientais para os processos fisiológicos da soja. Além da intensidade da radiação, a duração e a qualidade do espectro luminoso são determinantes nas respostas morfológicas e fenotípicas da soja, tais como estatura da planta e indução ao florescimento, por exemplo (MONTEIRO, 2009).

O fotoperíodo, para a maioria das cultivares de soja, é o que determina a indução do florescimento. A sensibilidade a ele é característica variável entre cultivares, onde cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima ao qual o florescimento é atrasado. Por esta razão, a soja é considerada planta de dias curtos, com resposta quantitativa e não absoluta, isto é, o florescimento ocorre de qualquer forma, mais rapidamente à medida que os dias se tornam mais curtos e, atrasa, progressivamente, à medida que o fotoperíodo excede ao fotoperíodo crítico específico de cada genótipo (MONTEIRO, 2009).

#### **b) Algodão:**

Dentre os elementos meteorológicos mais importantes para o desenvolvimento e rendimento do algodoeiro estão a disponibilidade hídrica, a temperatura e a radiação solar (MONTEIRO, 2009).

As necessidades hídricas do algodoeiro variam com os estádios fenológicos. Logo após a emergência, no estágio inicial de desenvolvimento, a necessidade hídrica é menor, requerendo quantidades maiores durante o florescimento, quando ocorre o pico de demanda hídrica. A demanda hídrica para completar o ciclo do algodoeiro é de 500 a 700 mm, mas mais importante que a quantidade é a distribuição da água para atender a demanda de cada estágio fenológico. A fase mais crítica ao estresse hídrico está entre o florescimento e a frutificação (MONTEIRO, 2009). Excessos de água e de nutrientes, associados a temperaturas elevadas, proporcionam aumento na formação de ramos vegetativos e redução da formação de ramos frutíferos e, conseqüentemente, de flores e frutos; por isso, em alguns casos, é satisfatório que a cultura seja submetida a um estresse hídrico mínimo antes do florescimento. (MONTEIRO, 2009).

O algodoeiro é uma planta de metabolismo fotossintético tipo C3, apresentando alta taxa de fotorrespiração e baixa eficiência na captação de CO<sub>2</sub>. A atividade fotossintética da folha não é constante ao longo do tempo. A capacidade fotossintética máxima é atingida ao redor dos 20 dias de idade, passando a perder eficiência ao longo de toda sua duração que é de cerca de 65 dias. Desta forma, qualquer evento que promova a senescência da cultura (estresse hídrico, baixa fertilidade, pragas e doenças dentre outros) reduz a capacidade fotossintética, comprometendo a produção e a qualidade da fibra (MONTEIRO, 2009).

A temperatura média do ar afeta diretamente o desenvolvimento do algodão. A temperatura mínima para o desenvolvimento da planta é de 15,5 °C, na presença de temperaturas abaixo deste ponto, ocorre atraso no desenvolvimento da planta. Temperaturas superiores a 32 °C aumentam muito a fotorrespiração, reduzindo a eficiência fotossintética. A faixa ideal de cultivo é entre 22 e 32 °C (MONTEIRO, 2009).

## 2.4 O sensor MODIS e sua aplicação em estudos agrícolas

A modelagem das dinâmicas globais de forma a melhor entender as mudanças climáticas naturais e a influência do homem nestas mudanças tem ocupado um espaço crescente na literatura. Tais modelos precisam de muitos dados sobre todas as regiões do planeta e umas das formas de obtê-los é através de imagens de satélites. Entendendo a importância deste monitoramento global, a NASA, através do programa denominado de *Earth Observing System* (EOS), trabalha juntamente com a comunidade científica mundial no desenvolvimento e lançamento de sensores avançados para obter essa informação imprescindível.

De acordo com NASA/GSFC (2017) e Didan et al. (2015), duas plataformas de coleta de dados da superfície se destacam: o TERRA (lançado em dezembro de 1999) e o AQUA (lançado em maio de 2002). Ambos satélites possuem diversos sensores multiespectrais a bordo, entre eles o MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*). O MODIS oferece uma combinação única de recursos: detecta uma ampla gama espectral de energia eletromagnética, em três resoluções espaciais, com amplo campo de visão. A cada dois dias, o sensor gera uma imagem de todo o globo. O sensor possui largura de faixa de varredura de 2.330 km, sendo que cada imagem possui 36 bandas espectrais, podendo gerar imagens em comprimentos de onda que vão de 0,405 a 14,385  $\mu\text{m}$ . As informações geradas podem ser em 250, 500 e 1.000 metros de resolução espacial. A partir das bandas espectrais e de dados complementares, são produzidos diversos produtos MODIS, em diferentes níveis de processamento, os quais são designados para diversas áreas do planeta, tais como: a atmosfera, a criosfera, os continentes e os oceanos.

Um importante produto do MODIS que vem sendo muito utilizado para monitoramento agrícola é o MOD13Q1. Este produto é voltado ao estudo da vegetação, em que as séries temporais disponibilizadas fornecem informações fundamentais para a realização de comparações consistentes das condições da vegetação no mundo. Este produto pode ser usado para monitorar a atividade fotossintética, para a detecção fenológica, para a observação das mudanças durante o ciclo e para interpretações biofísicas da vegetação terrestre, entre outros. As séries são disponibilizadas através de grades regulares de índices de vegetação abrangendo o globo inteiro na forma de composições de 16 dias ou mensal, possibilitando o monitoramento sazonal e interanual da vegetação.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), é a razão entre a diferença e a soma da refletância no Infravermelho próximo ( $\rho\text{NIR}$ ) e no vermelho ( $\rho\text{RED}$ ), podendo gerar valores entre -1 e +1, sendo expresso pela expressão:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

O NDVI tem como vantagem minimizar certos tipos de ruídos nas bandas de reflectância e de influências atribuídas a variações de irradiação direta/difusa, nuvens, sombras, ângulo de sol e visada, topografia e atenuação da atmosfera. Também pode reduzir erros de calibração e de instrumento, até certo ponto. Em contrapartida, existem algumas limitações, e uma bastante reconhecida é a não linearidade, exibindo padrão assintótico, o que leva a insensibilidade da variação da vegetação em função a cobertura de solo em altos valores de cobertura. Também, não contabiliza os efeitos aditivos da atmosfera e as interações no fundo do dossel com a reflectância bidirecional do dossel. Apesar disso, segundo Gao *et al.* (2000) e Huete *et al.* (2002), este índice apresenta alta sensibilidade à clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção de radiação no vermelho.

O produto MOD13Q1, proporcionado pelo MODIS em forma de composições a cada 16 dias, permite análises regulares da vegetação no mundo, incluindo a observação de aspectos fenológicos e a detecção de mudanças (HUETE *et al.*, 2002). Segundo Viana & Alvalá (2010), muitos trabalhos têm sido realizados utilizando os índices de vegetação (IV) provenientes do sensoriamento remoto orbital, principalmente o NDVI, os quais têm sido utilizados para a avaliação das características espaço-temporais dos tipos de cobertura da superfície, avaliando sua resposta sazonal em função das condições climáticas, além de caracterizar as diferentes fitofisionomias.

As fases de crescimento e desenvolvimento das culturas anuais apresentam valores de IV distintos ao longo do tempo, caracterizando os denominados perfis temporais (RISSO *et al.*, 2009). Os menores índices ocorrem nas fases iniciais da cultura, quando ainda há solo exposto, resultando em baixos valores de IV nas imagens, enquanto que os maiores índices ocorrem na fase de máximo desenvolvimento da cultura, quando o solo está totalmente coberto e há presença de elevada biomassa (RIZZI *et al.*, 2008).

Importante salientar que o perfil temporal das culturas agrícolas anuais difere do restante da vegetação como, por exemplo, das matas ou campos naturais, em função dos últimos apresentarem menor variação no IV ao longo do tempo. Este padrão de evolução no tempo, portanto, representa quantitativamente uma forma de registro da história de desenvolvimento da cultura ao longo do seu ciclo.

Rasmussen (1992) e Masseli *et al.* (1993) propuseram o uso da informação contida nos perfis temporais de índices de vegetação para a geração de relações com parâmetros agrônômicos. Posteriormente, Rudorff & Batista (1990a) usaram perfis temporais de índices de vegetação para monitorar o desenvolvimento e estimar rendimento da cultura.

Os perfis temporais dos cultivos anuais permitem a obtenção de informações que podem ter diversas finalidades, entre os quais salienta-se a localização e o mapeamento dos cultivos anuais. Para a soja no norte do Estado do Rio Grande do Sul, Santos *et al.* (2014) testaram seis métodos de identificação, baseados na dinâmica espaço-temporal usando imagens MODIS, para o mapeamento da cultura. Os resultados foram muito próximos dos obtidos usando imagens Landsat, porém com maior simplicidade e abrangência espacial. Outra aplicação dos perfis temporais de IV foi mostrado por Fontana *et al.* (2015), tendo os perfis sido utilizados para diferenciar subperíodos do ciclo da soja no Rio Grande do Sul (floração, enchimento de grãos e maturação). Ambas informações são subsídios importantes para o desenvolvimento de modelos de estimativa de rendimento de grãos para a cultura da soja.

Também na área de modelagem os perfis têm sido úteis. Com o objetivo de melhorar a acurácia dos modelos de estimativa de rendimento, foi proposto o uso combinado de dados agrometeorológicos e dados espectrais, gerando os modelos agrometeorológicos-espectrais. Os dados espectrais expressam as diferenças de manejo, cultivares e estresses não decorrentes do clima, enquanto os dados agrometeorológicos expressam as condições de temperatura, umidade do ar, radiação solar incidente e disponibilidade hídrica (RUDORFF & BATISTA, 1990b). Klering *et al.* (2016) ajustaram modelos para estimar o rendimento de grãos de arroz irrigado em diferentes localidades do Rio Grande do Sul com até um mês de antecedência ao final da colheita usando esta informação. Rosa *et al.* (2010) conseguiram determinar 80% do rendimento final do café na região do sul/sudoeste de Minas Gerais até a primeira quinzena de fevereiro, antes do início da colheita. Melo *et al.* (2008) usou o enfoque agrometeorológico e espectral para a modelagem do rendimento de soja no Rio Grande do Sul e obteve mapas com a distribuição espacial do rendimento em diversos anos.

## **2.5 O uso de dados de reanálise em estudos agrícolas**

Uma das grandes dificuldades para o estudo da atmosfera é a baixa quantidade e qualidade de informações de clima disponíveis. Regiões remotas e pouco habitadas possuem poucas estações meteorológicas para coleta dessas informações. A título de exemplo, a FIGURA 19 mostra a distribuição das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na área do Oeste Baiano, evidenciando que são apenas cinco estações meteorológicas convencionais para representar 16,2 milhões de hectares. Dada a necessidade de conhecer as condições meteorológicas em pontos distantes das estações existentes, muitos pesquisadores optam por interpolar os dados de estações mais próximas para compor dados para sua região de interesse. Entretanto, é preciso tomar cuidado com as

distâncias entre as estações e as variações de relevo das regiões a serem interpoladas, pois estas características podem estar associadas a padrões climáticos muito distintos.

O exemplo da área de estudo (FIGURA 19), mostra que a região de maior concentração das lavouras (FIGURA 10) situa-se entre as estações meteorológicas, algumas estão a oeste e outras a leste das mesmas. Ao considerar o relevo local (FIGURA 9), percebe-se que as estações localizadas a oeste da área de maior cultivo situam-se em altitudes inferiores. Nas estações localizadas a leste das lavouras, as altitudes são pouco inferiores. Apesar da menor diferença de altitude, as estações encontram-se em regiões com menores precipitações pluviais (FIGURA 7). Portanto, a interpolação simples dos dados na região do Oeste da Bahia possivelmente seja problemática. Sabendo desses problemas que ocorrem em todo o planeta, diversos centros de previsão do tempo e clima vêm oferecendo produtos de reanálise meteorológica.

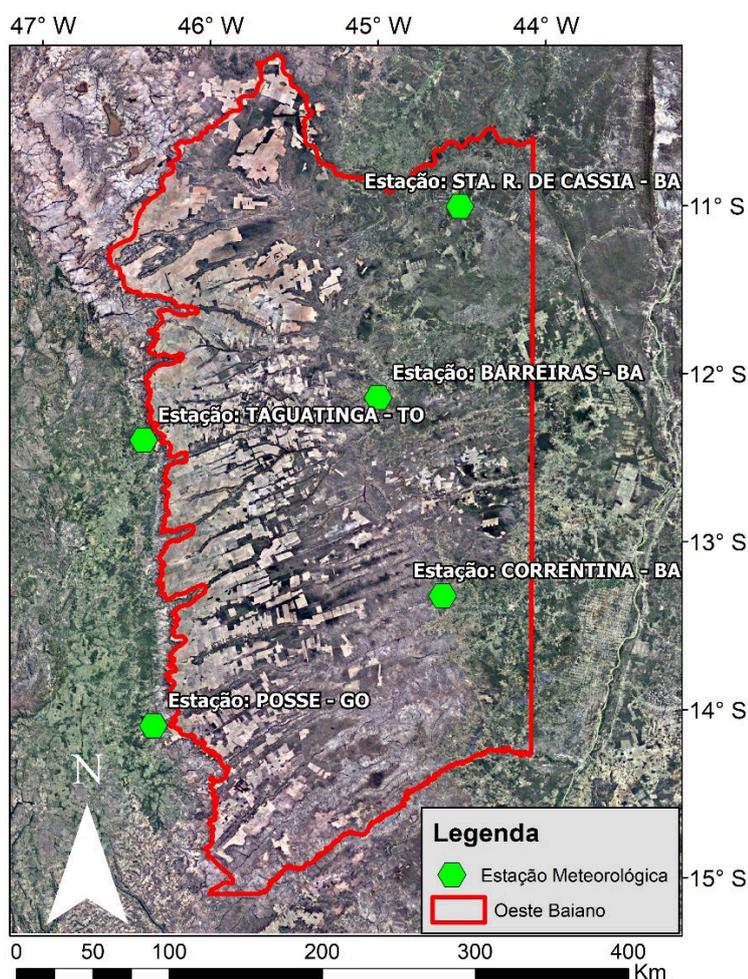


FIGURA 19. Mapa das estações meteorológicas convencionais (INMET, 2018; GOOGLE EARTH, 2018).

Segundo Kalnay *et al.* (1996), reanálise meteorológica é um conjunto de dados que combinam os dados medidos e fornecidos pelos institutos de meteorologia, com dados obtidos a partir de modelos de circulação atmosférica de alta resolução. Desta forma, a

reanálise não é feita em tempo real e resulta em uma síntese de todas as observações disponíveis.

Segundo Parker (2016), a reanálise está entre os conjuntos de dados mais utilizados no estudo do tempo e do clima, fornecendo dados das condições meteorológicas de forma instantânea e abrangente, em intervalos regulares ou em longos períodos, muitas vezes anos ou décadas. Os produtos de reanálises são gerados através da assimilação de dados, um processo que depende tanto das observações quanto de previsões baseadas em modelos. Os dados são provenientes de multiplataformas, podendo ser gerados através de navios, aviões, satélites, estações terrestres, etc. (FIGURA 20), sendo utilizados com o objetivo de calibrar e produzir os modelos de reanálise (KALNAY *et al.*, 1996; PARKER, 2016). Ainda segundo Parker (2016), os dados de reanálise estão sendo comumente utilizados em trabalhos no mundo todo, podendo-se citar, por exemplo, Kidston *et al.* (2010) que estudou a dinâmica da atmosfera, Kravtsov *et al.* (2014) que investigou variabilidades climáticas e GLECKLER; TAYLOR; DOUTRIAUX (2008) que avaliaram modelos climáticos.

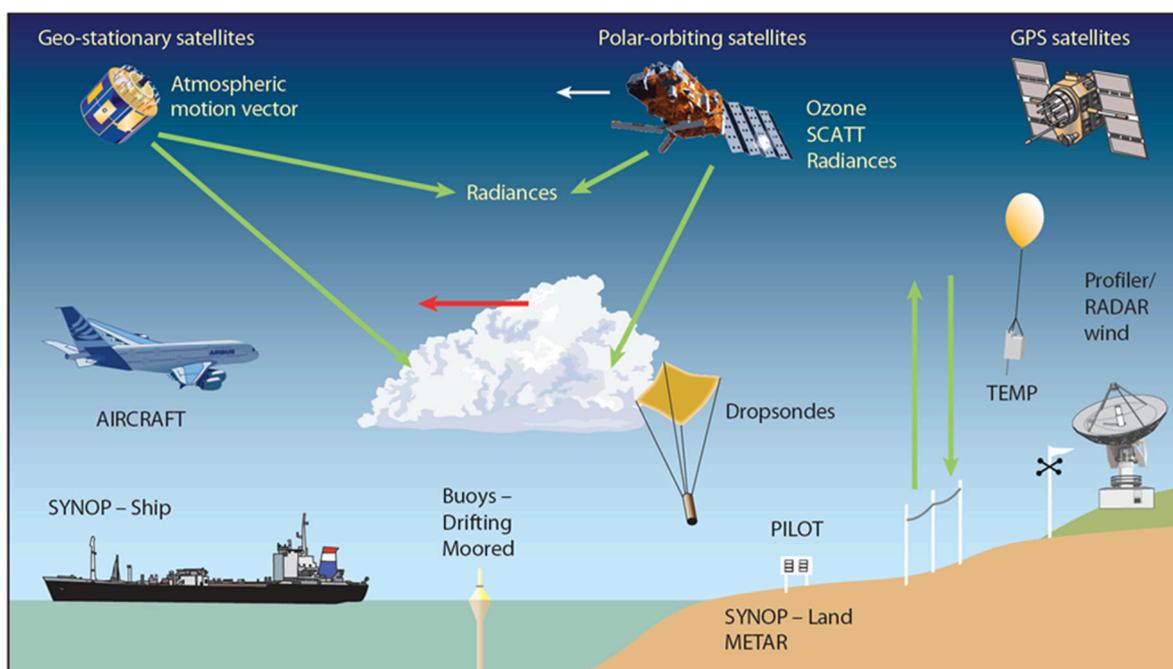


FIGURA 20. Esquema demonstrando a infinidade de sensores utilizados para a elaboração dos modelos de reanálise (ECMWF, 2017).

A evolução das técnicas de assimilação de dados tem sido constante e as mais utilizadas no mundo são as chamadas de 3D-Var e 4D-Var, que são métodos de análises de variação 3D e 4D, respectivamente (KALNAY *et al.*, 2007). Para evitar variações nos produtos em função de diferentes métodos, cada modelo de reanálise utiliza um único método de assimilação.

O *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) possui o projeto denominado ERA-Interim que utiliza análise de variação 4D (4D-Var) em uma grade espectral com truncamento triangular de 255 ondas, aproximadamente 80 km de resolução espacial. Os produtos ERA-Interim usam uma janela de análise de 12 horas e um sistema de coordenadas verticais híbrido de 60 níveis. Os dados são disponibilizados desde 1979 até o presente, sendo atualizados, normalmente, uma vez por mês com um atraso de dois meses para garantir a qualidade e, se necessário, corrigir eventuais problemas técnicos. Os dados são públicos, gratuitos e de fácil acesso.

O método utiliza uma interpolação estatística no tempo e espaço entre os dados meteorológicos observados e os estimados pelo modelo global do ECMWF de forma que a dinâmica e a física do modelo certificam que as observações são usadas de forma consistente (SIMMONS, 2006). Segundo Costi (2011), a FIGURA 21, adaptada de Andersson & Thépaut (2008), mostra o caso de um parâmetro único “X”, em que as observações são comparadas com uma previsão de um período de 12 horas. O estado do modelo no tempo inicial é então modificado até chegar num ajuste estatisticamente adequado ao que foi observado no mesmo período, criando uma janela de assimilação para ajuste da previsão.

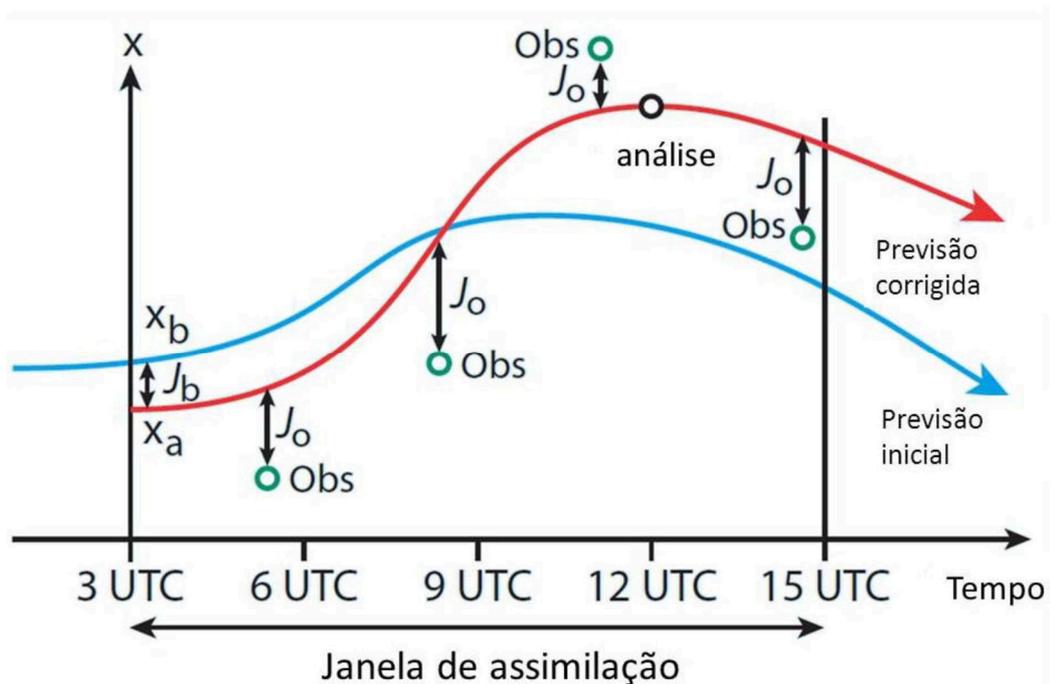


FIGURA 21: Esquematização da técnica de assimilação de dados observacionais 4D-Var. O parâmetro X tem sua estimativa determinada pelo modelo global do ECMWF, sendo corrigido por uma interpolação estatística no espaço e no tempo com as observações reais. Adaptado de Andersson & Thépaut (2008) por Costi (2011).

Alguns autores utilizaram os dados de reanálise do ERA-Interim e comprovaram sua acurácia. Moreira *et al.* (2016) testaram a acurácia do modelo para o elemento temperatura, correlacionando com os dados observados de diversas estações meteorológicas em diferentes localidades do Rio Grande do Sul, obtendo índices de correlação de Pearson superiores a 0,9 para todas as estações. Mariano; Cavalcanti; Beserra (2017) compararam a velocidade do vento simulada pelo *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (BRAMS) com dados observados e de reanálise providos pelo ERA-Interim para algumas cidades do Estado da Paraíba, obtendo também altas correlações, em torno 0,99.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado, primeiramente, em cima de todo o Oeste da Bahia e, após, na fazenda Palmares (FIGURA 22), pertencente a empresa SLC Agrícola. A fazenda fica localizada no município de Barreiras na Bahia e possui área física de 23.122 hectares.

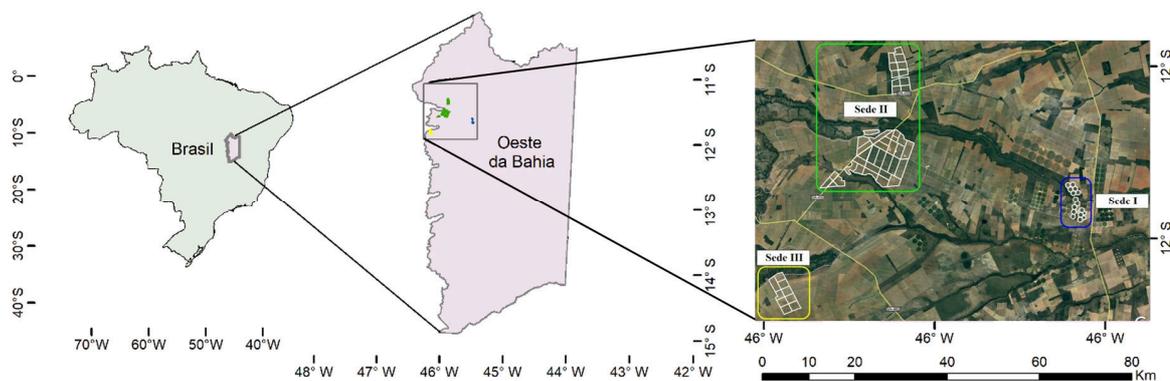


FIGURA 22. Localização do Oeste da Bahia e dos talhões da fazenda Palmares.

A fazenda Palmares tem como principais cultivos a soja e o algodão, e é dividida em três áreas de manejo que são denominadas Sedes (TABELA 1). A Sede I é onde fica o conjunto de talhões irrigados por pivôs centrais. São 16 pivôs, totalizando a área de 1.554 hectares. Esta sede tem a característica de possibilitar o plantio de mais de uma safra no mesmo ano, principalmente o plantio antecipado da soja para o plantio sequencial do algodão.

A Sede II é a maior área, possui 17.782 hectares divididos em 41 talhões. É a área central da fazenda, onde é realizado principalmente o plantio de soja e algodão em sistema de rotação de culturas.

A Sede III é a área mais nova da fazenda. Desde 2013, é cultivada comercialmente apenas com a cultura da soja em seus 3.789 hectares divididos em nove talhões. É o conjunto de talhões que fica mais próximo à divisa do estado do Tocantins.

TABELA 1. Nome, área, número de pixels de cobertura e a Sede a que pertence cada talhão da fazenda Palmares.

Sede	Talhões	Área (hectares)	Nº Pixels de cobertura (MODIS/ERA)	Sede	Talhões	Área (hectares)	Nº Pixels de cobertura (MODIS/ERA)
I	PV01	107	17	II	218	280	45
I	PV02	103	17	II	219	436	70
I	PV03	100	16	II	220	548	88
I	PV04	100	16	II	221	455	73
I	PV05	99	16	II	222	579	93
I	PV06	102	16	II	223	461	74
I	PV07	102	16	II	224	413	66
I	PV08	100	16	II	225	436	70
I	PV09	55	9	II	301	251	40
I	PV10	67	11	II	302	446	71
I	PV11	100	16	II	303	314	50
I	PV12	99	16	II	304	182	29
I	PV13	107	17	II	401	413	66
I	PV14	106	17	II	402	403	64
I	PV15	108	17	II	403	439	70
I	PV16	99	16	II	404	320	51
II	201	609	98	II	405	317	51
II	202	150	24	II	406	288	46
II	203	233	37	II	407	430	69
II	204	179	29	II	408	361	58
II	205	378	60	II	409	429	69
II	206	418	67	II	410	349	56
II	207	371	59	II	411	300	48
II	208	469	75	III	501	421	67
II	209	576	92	III	502	407	65
II	210	834	133	III	503	418	67
II	211	731	117	III	504	414	66
II	212	790	126	III	505	423	68
II	213	790	126	III	506	337	54
II	214	784	126	III	507	420	67
II	215	581	93	III	508	549	88
II	216	511	82	III	509	399	64
II	217	527	84				

### 3.2 Etapa I: Indicadores meteorológicos

Foram utilizadas duas fontes de dados meteorológicos, a base observada, oriunda dos dados medidos em cinco estações convencionais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e a base estimada, oriunda das estimativas geradas pelo ERA Interim.

Os dados do INMET foram obtidos através do site do INMET ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) na área de dados históricos. Foram utilizadas estações convencionais por possuírem uma série histórica maior. As cinco estações convencionais existentes na região foram utilizadas, são elas: Barreiras, Correntina e Santa Rita de Cássia no estado da Bahia, Posse no estado do Goiás e Taguatinga no estado do Tocantins (FIGURA 19).

Os dados ERA Interim foram adquiridos do site do ECMWF ([apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily](https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily)) em resolução espacial de  $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ , em uma matriz de abrangência continental (América do Sul). Os dados são disponibilizados em formato original (netcdf), sendo que cada arquivo possui um elemento meteorológico de forma diária ao longo de um mês. Ao todo, foram obtidos 1.145 arquivos em formato mensal que, inicialmente, foram convertidos em matrizes para uso em ambiente de processamento de imagens e, após, efetuado o recorte da matriz com a área de abrangência do Oeste Baiano. Esses arquivos ainda foram transformados em formato diário, gerando 83.280 arquivos. Como a resolução espacial do MODIS e do ERA Interim são distintas, no processo de interpolação foi necessário converter a matriz de dados em uma nuvem de pontos considerando a coordenada central de cada pixel, após aplicou-se o modelo de interpolação de Kriging (ISAAKS & SRIVASTAVA 1992). Desta forma, a base de dados ERA Interim passou a ter a grade espacial do MODIS, 250 metros. Todo processamento das imagens foi realizado no software ENVI 5.1.

Para ambas as bases de dados a série histórica utilizada foi obtida de forma diária para o período de 2000 a 2018, coincidente com a disponibilidade de imagens MODIS. Os elementos originais obtidos foram: precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A radiação solar global para as estações meteorológicas convencionais, que não medem a densidade de fluxo de radiação solar global, foram obtidas a partir da insolação (número de horas de sol) calculada através da equação de Ångstron (Equação 1). Para todas as estações meteorológicas foi utilizado o coeficiente de Ångstron do município de Barreiras – BA, determinado por Tiba (2001).

**Equação 1:**

$$\frac{R_g}{R_a} = a + b\left(\frac{n}{N}\right)$$

**Onde:**  $R_g$  é a radiação solar global;  $R_a$  é a radiação solar no topo da atmosfera;  $n$  é a insolação ou número de horas de sol ocorrida;  $N$  é o número máximo de horas de sol.

A partir dos dados originais, foram calculados alguns elementos meteorológicos derivados, como a evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>) e real (ET<sub>r</sub>), déficit e excesso hídrico. A ET<sub>o</sub> foi calculada através do método de Penman-Monteith (Equação 2) parametrizado pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998). ET<sub>r</sub>, déficit e excesso hídrico foram calculadas a partir do balanço hídrico meteorológico, que tem com base na lei de conservação da massa (Equação 2), segundo a metodologia de Thornthwaite & Matter (1955). O valor de capacidade de água disponível (CAD) utilizada foi de 75 mm de acordo com valores estabelecidos em média para culturas anuais (BERGAMASCHI, 1999).

**Equação 2:**

$$ET_o = \frac{0,408s(Rn) + \frac{\gamma 900u_2(es - e)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

**Equação 3:**

$$P - ET \pm \Delta A - EXC + DEF = 0$$

**Em que:** Na equação 2:  $ET_o$  corresponde a evapotranspiração de referência ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );  $S$  é a tangente à curva que relaciona pressão de saturação do vapor d'água e temperatura do ar ( $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico ( $0,0665 \text{ kPa.k}^{-1}$ );  $Rn$  é o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $(es-e)$  é o déficit de saturação do ar ( $\text{kPa}$ );  $u_2$  é a velocidade do vento medida a 2m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ). Na Equação 3:  $P$  é a precipitação pluvial;  $ET$  é a evapotranspiração;  $\Delta A$  é a variação no armazenamento de água no solo;  $EXC$  é o excesso hídrico;  $DEF$  é o déficit hídrico.

Os dados estimados ERA Interim foram testados frente aos dados das cinco estações meteorológicas convencionais existentes na região, em uma janela de amostragem de 3x3 pixels sobre as coordenadas das estações de forma a verificar a adequação às condições regionais. Na presença de falhas (ausência de dados) na série das estações convencionais, as bases foram igualadas, ou seja, os dados da série estimada (sem falhas) foram excluídos para não prejudicar os resultados dos testes. As estatísticas utilizadas para comparar os dados estimados (ERA Interim) com os observados (Estação Meteorológica) foram: Coeficiente de Correlação (Equação 4), indica o grau de concordância entre os dois tipos de dados (-1 a 1, sendo 1 a concordância máxima); Coeficiente de Eficiência (Equação 5), avalia a precisão dos dados estimados em relação aos observados (negativo até 1, sendo 1 a precisão máxima); Viés (Equação 6), indica a tendência dos dados estimados superestimarem (positivo) ou subestimarem (negativo) os dados observados; e o índice de concordância proposto por Willmott *et al.* (1985) (Equação 7) mede o grau em que os dados estimados se aproximam dos dados observados (1 indica a concordância perfeita).

**Equação 4:**

$$r = \frac{\sum_1^n (Y_{ERA} - \overline{Y_{ERA}})(Y_{OBS} - \overline{Y_{OBS}})^2}{(n-1)\sigma_{ERA} \sigma_{OBS}}$$

**Equação 6:**

$$Viés = \frac{1}{n} \sum_1^n (Y_{ERA} - Y_{OBS})$$

**Equação 5:**

$$CEF = 1 - \frac{\sum_1^n (Y_{OBS} - Y_{ERA})^2}{\sum_1^n (Y_{OBS} - \overline{Y_{OBS}})^2}$$

**Equação 7:**

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_1^n (Y_{GPCP} - Y_{OBS})^2}{\sum_1^n \left( \left| Y_{GPCP} - \overline{Y_{OBS}} \right| + \left| Y_{OBS} - \overline{Y_{OBS}} \right| \right)^2} \right]$$

**Em que:**  $Y_{OBS}$ ,  $\sigma_{OBS}$  e  $\overline{Y_{OBS}}$  correspondem, respectivamente, ao valor dos dados observados do período  $i$ , o desvio padrão e o valor médio para os dados observados;  $Y_{ERA}$ ,  $\sigma_{ERA}$  e  $\overline{Y_{ERA}}$  correspondem aos mesmos parâmetros, mas para os dados do ERA Interim.

Após os testes de qualidade, para cada uma das variáveis dos dados do ERA Interim, foram calculados os valores médios diários e as médias de períodos de 16 dias equivalentes aos períodos das imagens MODIS e feita a interpolação para resolução compatível com a matriz das imagens MODIS. Assim, os dados foram interpolados e reamostrados, para abranger toda a região do Oeste Baiano e, conseqüentemente, a fazenda Palmares.

A partir dos dados ERA Interim foram calculadas as estatísticas básicas (média e variância) para todos os elementos meteorológicos, que foram representados em mapas, de forma a representar a variabilidade espacial e, graficamente para representar as diferenças entre talhões na fazenda Palmares. Estes mapas foram criados utilizando o software ArcMap 10.1 da ESRI.

O objetivo desta etapa foi caracterizar as condições meteorológicas médias e sua variabilidade na região e, conseqüentemente, na fazenda Palmares.

### **3.3 Etapa II: Indicadores espectrais**

As imagens utilizadas foram do sensor MODIS, a bordo da plataforma Terra, provenientes do produto MOD13Q1, mais especificamente do índice de vegetação NDVI, em resolução espacial de 250 metros, nas composições de 16 dias. Os dados foram obtidos no site da NASA para o período do ano de 2000 a 2018. As imagens foram organizadas e processadas utilizando o software de geoprocessamento ENVI.

As informações foram utilizadas de duas formas. A primeira foi utilizada no formato de mapas da região para apresentar a variabilidade do índice ao longo de um ano, na média de um ano e nas estações do ano. As estações do ano foram definidas através da composição das 23 imagens disponíveis do MODIS, selecionando os períodos: da primavera com 6 imagens (entre 30/09 e 31/12), do verão com 5 imagens (entre 01/01 e 21/03), do outono com 6 imagens (entre 22/03 e 25/06) e do inverno com 6 imagens (entre 26/06 e 29/09). Os tipos de vegetações foram identificados através dos mapas do MapBiomas para entender a variabilidade do índice. A segunda utilização foi a extração do dado para cada talhão em todos os anos de cultivo da fazenda Palmares. As culturas foram identificadas através das informações de campo de fazenda e os índices foram apresentados em gráficos e tabelas.

O objetivo desta etapa foi identificar a dinâmica espacial e temporal das áreas agrícolas e caracterizar o padrão espacial e temporal, confeccionando mapas e perfis temporais.

### **3.4 Etapa III: Indicadores de campo**

Foram selecionados dados disponíveis no histórico de cultivo da fazenda Palmares sobre os talhões referentes a: data de plantio e colheita, rendimento de grão e fibra, cultivares e duração de ciclo.

As datas de semeadura e colheita foram apresentadas através gráficos de barras dos valores médios. As cultivares usadas em cada safra foram listadas em tabelas. Os rendimentos obtidos em cada talhão foram apresentados na forma de diagramas de caixas para cada safra e cultura.

Nesta etapa, o objetivo foi obter dados medidos na superfície que possam servir de referência para a análise dos demais indicadores.

### **3.5 Etapa IV: Estabelecimento de relações entre indicadores**

As análises foram feitas utilizando os dados dos três conjuntos de indicadores, meteorológicos, campo e espectrais. Inicialmente, foi analisada a associação do índice NDVI com as datas de plantio e colheita, para verificar se o índice é capaz de determinar o ciclo das culturas. Para cada talhão, foram comparadas as datas de valor de NDVI mínimo no início e no final do ciclo de ambas culturas para todas as sedes da fazenda Palmares.

Posteriormente, a disponibilidade hídrica foi comparada com o NDVI com o objetivo de verificar a relação do índice com: a precipitação, o déficit e o excesso hídrico durante o ciclo das culturas. As comparações foram realizadas por talhão em todas as safras disponíveis em três fases: i) vegetativa, compreendeu a data de menor valor de NDVI até o valor máximo; ii) reprodutiva, foi estabelecida a partir da data de valor máximo até a de valor mínimo ao final do ciclo; iii) ciclo total, agregando as duas fases anteriores. Cada fase teve seus dados correspondentes somados (dado hídrico e NDVI) para fins de teste de associação.

Também foi analisada a associação entre NDVI e o rendimento das culturas com o objetivo de estabelecer um parâmetro capaz de subsidiar a modelagem do rendimento de grãos e fibra. Para todas as safras disponíveis, cada talhão teve seu rendimento associado à soma do NDVI, agregando o valor de cada data ao longo do ciclo. Todos os casos foram correlacionados (correlação de Pearson) e verificada a significância das correlações.

A última etapa do trabalho foi a análise de um estudo de caso em duas safras contrastantes, 2015/16 e 2017/18. A área de soja da Sede III da fazenda Palmares foi analisada por talhão a fim de verificar as relações entre os perfis NDVI, as datas de

semeadura e colheita, a condição hídrica e o rendimento obtido em cada talhão nas duas safras.

Nesta etapa, o objetivo foi relacionar os indicadores meteorológicos, espectrais e de campo da fazenda Palmares como subsídio à modelagem do rendimento de grãos e fibra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização Regional

#### 4.1.1 Elementos Meteorológicos

##### a) Avaliação de Qualidade

A análise geral da precipitação pluvial, que envolveu todos os pares de dados mensais disponíveis (FIGURA 23 e TABELA 2), mostrou alta associação entre as séries de dados das estações meteorológicas e do ERA Interim. Os índices de correlação alcançaram valores entre 0,83 e 0,87 e os de concordância, entre 0,82 e 0,86. A precisão dos dados, expressa pelo coeficiente de eficiência, variou entre 0,59 e 0,74, garantindo uma boa precisão. O viés variou de 4,91 a 16,86 mm, indicando superestimação dos dados do ERA Interim para as estações de Barreiras – BA (+16,86 mm), Correntina – BA (+11,96 mm) e Santa Rita de Cássia – BA (+4,91 mm), e uma subestimação para as estações de Posse – GO (-12,92 mm) e Taguatinga – TO (-11,68 mm). Apesar da alta associação entre as duas séries de dados, também encontrada por outros autores (SIMMONS *et al.*, 2010; MORAES *et al.*, 2012; SOLMAN *et al.*, 2013), verifica-se uma certa dispersão em relação à linha 1:1. Este é um dos elementos meteorológicos que mais apresenta variabilidade, sendo que parte dela está associada à diferença de natureza dos dados. Enquanto a medida da estação é feita no ponto onde o pluviômetro está instalado, o dado estimado da série ERA Interim se refere a precipitação pluvial média de uma grade de  $0,125 \times 0,125^\circ$  que, para a região de estudo, é equivalente a uma área de 13 x 13 km (janela amostral de 3x3 pixels centrados na estação). Eventos de precipitação oriundos de nuvens isoladas associadas a movimentos convectivos podem ser detectados no pluviômetro, mas são irrelevantes quando considerada uma área maior, como a da janela amostral.

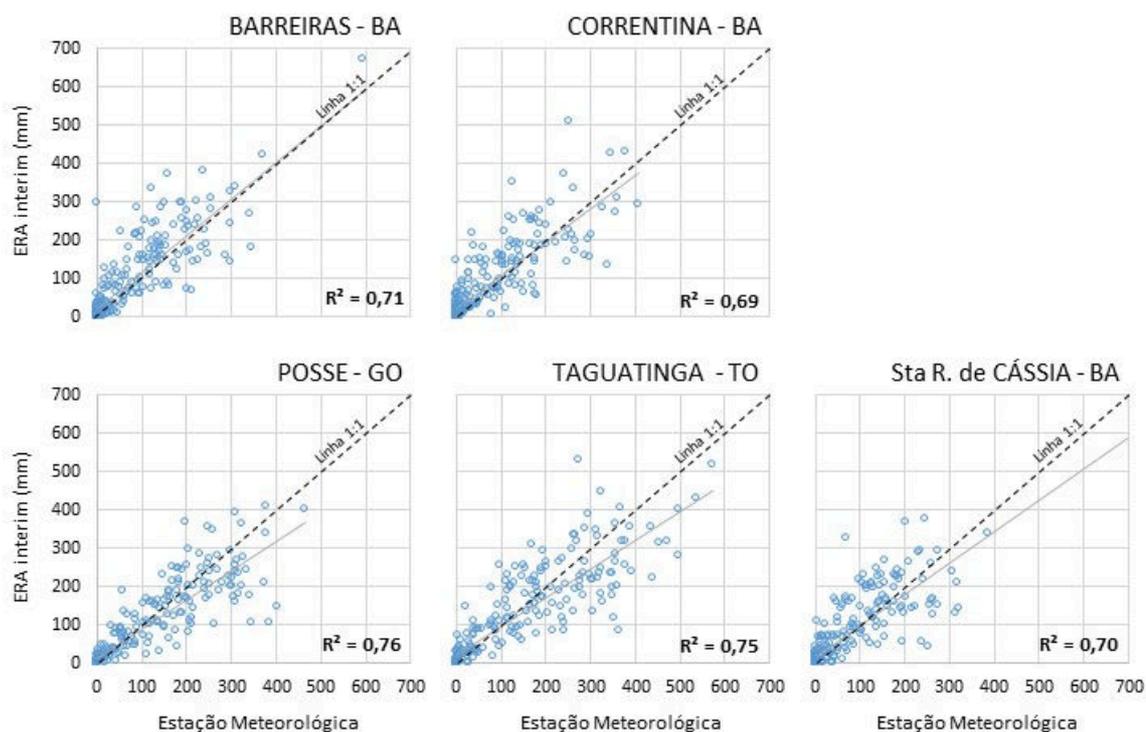


FIGURA 23. Dispersão entre os dados de precipitação pluvial mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

TABELA 2. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de precipitação pluvial estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

Locais	Média ERA Interim (mm)	Média Estação Meteorológica (mm)	Viés	r	CEF	d	n
Barreiras - BA	93,53	76,67	16,86	0,84	0,59	0,82	220
Correntina - BA	84,27	72,31	11,96	0,83	0,63	0,83	226
Santa Rita de Cássia - BA	81,45	76,54	4,91	0,84	0,68	0,84	224
Posse - GO	97,15	110,07	-12,92	0,87	0,74	0,86	228
Taguatinga - TO	120,38	132,05	-11,68	0,86	0,74	0,85	228

Para temperatura média do ar, a análise envolveu todos os pares de dados mensais disponíveis (FIGURA 24 e TABELA 3), sendo esta, a relação que mostrou as mais altas associações entre as séries para todas as estações meteorológicas analisadas. Os coeficientes de correlação variaram entre 0,96 e 0,98, os de concordância, entre 0,87 e 0,98, e os de eficiência variaram entre 0,72 e 0,95. O viés foi baixo, indicando uma pequena subestimação dos dados do ERA Interim para as estações de Barreiras – BA (-0,35 °C), Correntina – BA (-0,04 °C) e Taguatinga – TO (-1,20 °C), e uma pequena superestimação para as estações de Santa Rita de Cássia – BA (+0,01 °C) e Posse – GO (+0,41 °C). Os resultados obtidos para as cinco estações meteorológicas testadas corroboram trabalhos realizados em outras partes do país, os quais também tem demonstrado a adequação das estimativas do elemento

temperatura média do ar da série ERA Interim (MORAES *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2016).

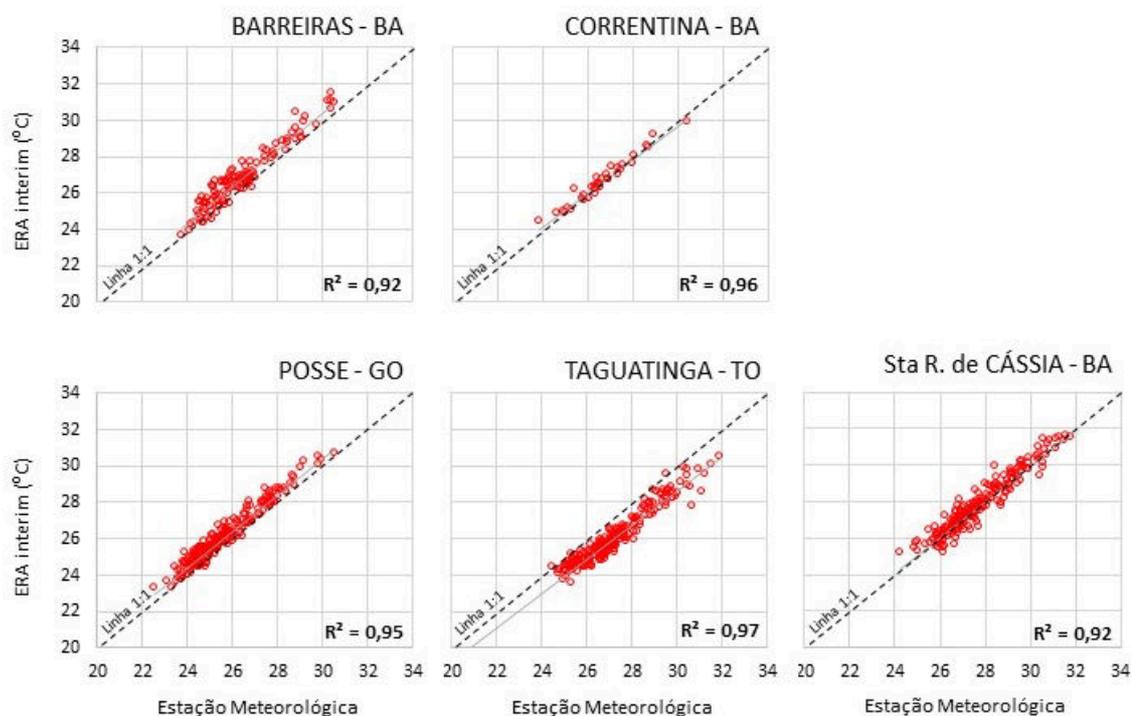


FIGURA 24. Dispersão entre os dados de temperatura média do ar mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

TABELA 3. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação ( $r$ ), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância ( $d$ ) e o número de meses avaliados ( $n$ )) das séries de temperatura média do ar estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

Locais	Média ERA Interim (°C)	Média Estação Meteorológica (°C)	Viés	$r$	CEF	$d$	$n$
Barreiras - BA	26,47	26,82	-0,35	0,96	0,88	0,94	118
Correntina - BA	26,60	26,64	-0,04	0,98	0,95	0,98	36
Santa Rita de Cássia - BA	27,79	27,78	0,01	0,96	0,92	0,96	215
Posse - GO	26,05	25,65	0,41	0,97	0,86	0,94	228
Taguatinga - TO	25,96	27,16	-1,20	0,98	0,72	0,87	216

Para a umidade relativa do ar mensal (FIGURA 25 e TABELA 4) também se verificou alta associação entre as séries para as estações de Barreiras – BA, Santa Rita de Cássia – BA, Posse – GO e Taguatinga – TO e uma associação regular para a estação de Correntina – BA. Entre as estações com alta associação, observou-se altos coeficientes de correlação (0,88 a 0,98), de concordância (0,85 a 0,97) e de eficiência (0,72 e 0,94). O viés foi baixo, indicando uma pequena subestimação dos dados do ERA Interim para a estação de Barreiras – BA (-3,27%) e uma pequena superestimação para as estações de Santa Rita de Cássia – BA (+0,77%), Posse – GO (+1,65%) e Taguatinga – TO (+4,82%). A estação de

Correntina – BA diferiu das demais, com menor associação, a correlação foi de 0,65, a concordância foi regular, de 0,51 baixíssima precisão (0,02) e um viés com subestimativa mais alto (-8,07%). Isto ocorreu, possivelmente em função da série de dados da estação meteorológica conter muitas falhas (ausência de dados), consequentemente, alguns meses ficaram com poucos dias para composição da média mensal, diminuindo o número de pares de dados para realização do teste.

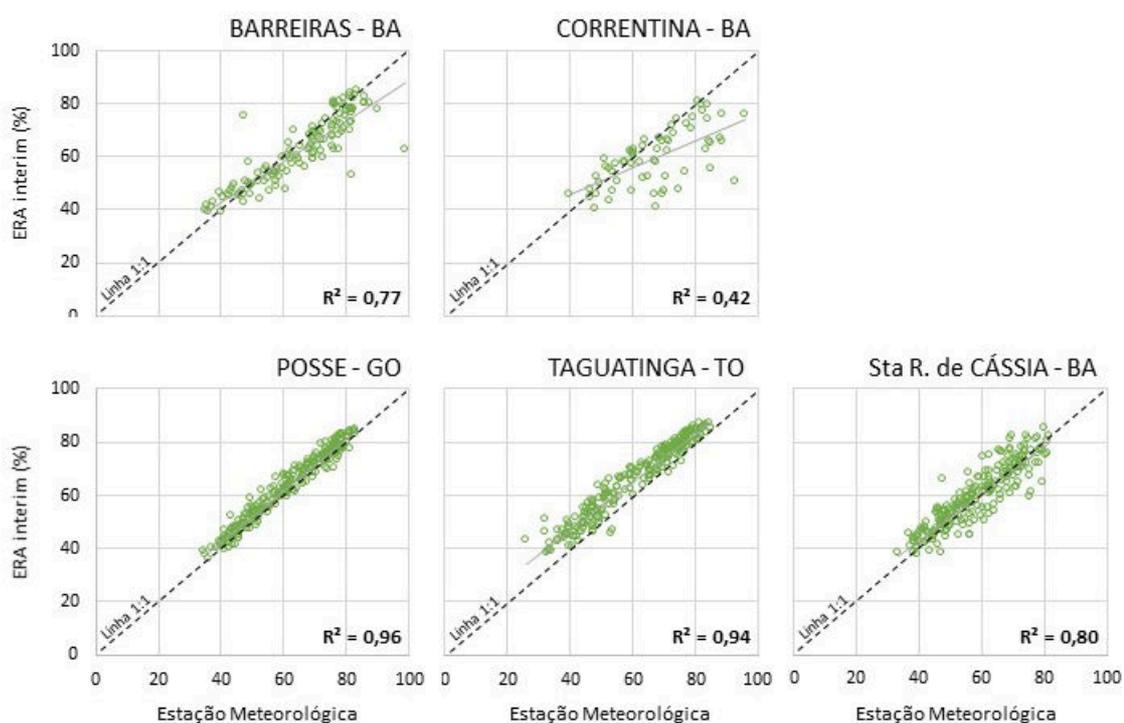


FIGURA 25. Dispersão entre os dados de umidade relativa do ar mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

TABELA 4. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de umidade relativa do ar estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

Locais	Média ERA Interim (%)	Média Estação Meteorológica (%)	Viés	r	CEF	d	n
Barreiras - BA	62,46	65,74	-3,27	0,88	0,72	0,85	124
Correntina - BA	59,52	67,59	-8,07	0,65	0,02	0,51	64
Santa Rita de Cássia - BA	59,54	58,77	0,77	0,90	0,79	0,89	217
Posse - GO	63,28	61,62	1,65	0,98	0,94	0,97	228
Taguatinga - TO	65,96	61,14	4,82	0,97	0,83	0,92	228

Em relação a radiação solar global algumas considerações devem ser feitas. Neste trabalho a insolação foi utilizada para calcular a radiação solar global para que assim fosse comparada e analisada frente a estimada pelo ERA Interim. As incertezas inerentes a esta estimativa podem ser a causa de parte da variabilidade observada. A análise da relação com

a radiação solar global mensal para todos os meses de todos os anos disponíveis (FIGURA 26 e TABELA 5) mostrou uma regular associação entre as séries para as cinco estações estudadas. Os índices de correlação apresentaram valores entre 0,63 e 0,84 e os de concordância, entre 0,31 e 0,69. A precisão dos dados, expressa pelo coeficiente de eficiência, foi baixa, variando entre -2,65 e 0,15. O viés indicou subestimação dos dados do ERA Interim para todas as estações, variando entre -1,29 e -3,16 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

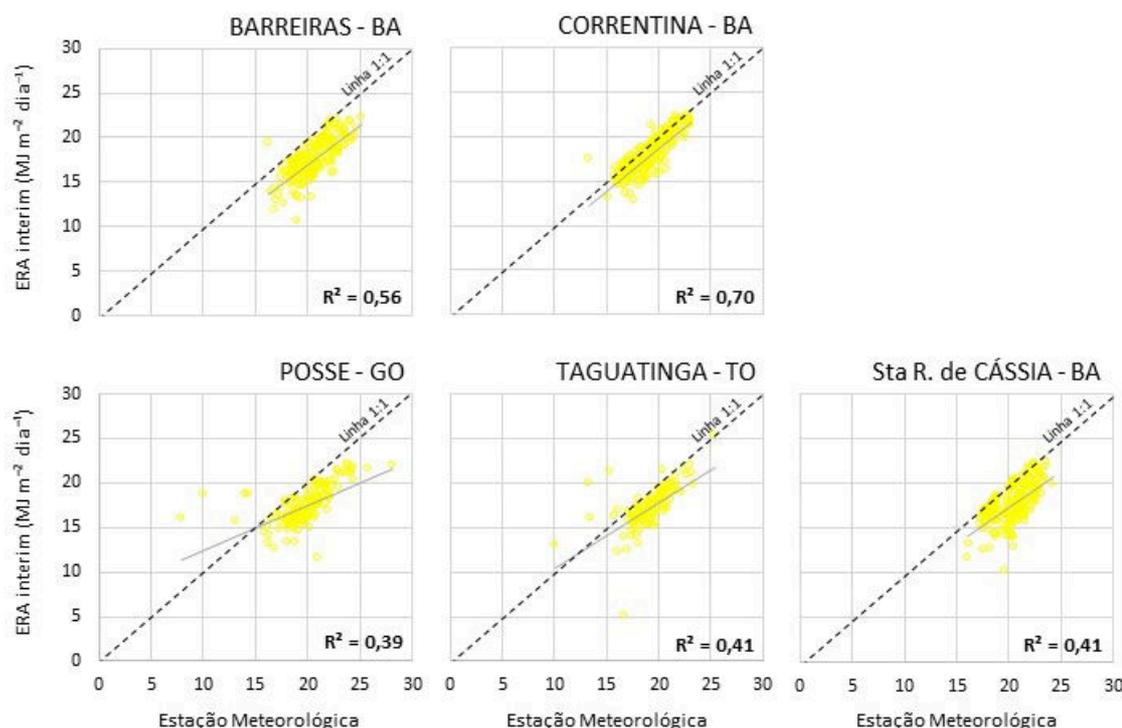


FIGURA 26. Dispersão entre os dados de radiação solar global mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

TABELA 5. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de radiação solar global estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

Locais	Média ERA Interim (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Média Estação Meteorológica (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Viés	r	CEF	d	n
Barreiras - BA	17,50	20,66	-3,16	0,75	-2,65	0,33	204
Correntina - BA	17,93	19,21	-1,29	0,84	0,15	0,69	215
Santa Rita de Cássia - BA	17,70	20,46	-2,76	0,64	-2,62	0,31	225
Posse - GO	17,43	19,94	-2,51	0,63	-0,62	0,39	144
Taguatinga - TO	17,17	19,18	-2,01	0,64	-0,83	0,44	119

A velocidade média do vento mensal (FIGURA 27 e TABELA 6) mostrou baixa associação entre as séries das estações meteorológicas e do ERA Interim. Os índices de correlação variaram entre valores de 0,08 a 0,20 e os de concordância, entre 0,02 e 0,09. A precisão dos dados foi baixa, com CEF variando entre -56,74 e -3,24. O viés indicou

superestimação dos dados do ERA Interim para todas as estações, variando entre +1,40 e +2,47 m/s. A causa desta baixa associação entre as séries de dados deve ser, no futuro, melhor investigada, considerando análises com este objetivo específico, o que não é o caso do presente estudo. Apesar de talvez superficial, pode-se pensar em problemas relativos aos dados observados de velocidade média do vento em estações convencionais. Este dado é obtido através da observação instantânea nos horários das medições. Dada a alta variabilidade deste elemento ao longo do dia, por vezes a média obtida dos três horários com medições instantâneas pode não ser representativa da média diária. Chama atenção, ainda, o fato de as observações nas estações meteorológicas dificilmente serem superiores a 2 m/s, enquanto nos dados ERA Interim a variação é bem maior, variando desde 1 m/s até 8 m/s em todas as estações.

Em resumo, os resultados atestaram a qualidade dos dados ERA Interim na região de estudo para a maior parte dos elementos avaliados. Somente a velocidade do vento gerou maiores ressalvas. Este é um resultado muito importante na medida em que os dados ERA Interim, ao serem disponibilizados na forma de matriz, fornecem informações com uma representatividade espacial muito superior em relação aos dados de estações meteorológicas. Estes dados são, portanto, úteis em vastas regiões de produção onde há carência de dados observados na superfície.

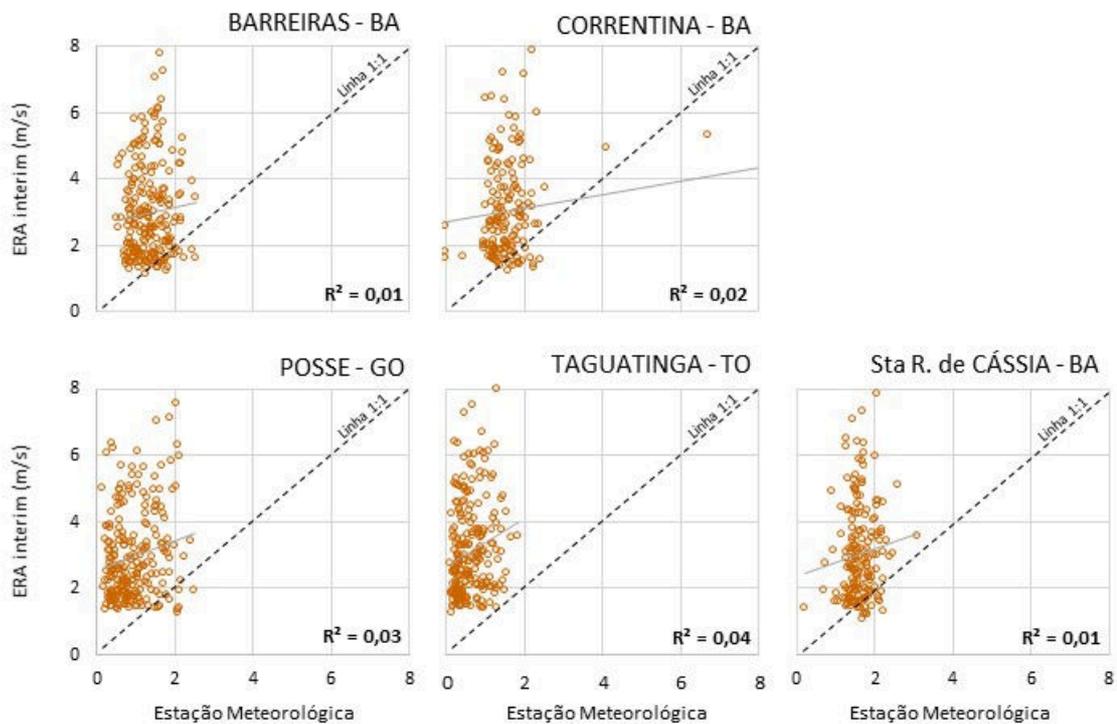


FIGURA 27. Dispersão entre os dados de velocidade média do vento mensal estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

TABELA 6. Estatísticas (média, viés, coeficiente de correlação (r), coeficiente de eficiência (CEF), coeficiente de concordância (d) e o número de meses avaliados (n)) das séries de velocidade média do vento estimada (ERA Interim) e observada (estação meteorológica) no período de 2000 a 2018.

<b>Locais</b>	<b>Média ERA Interim (m/s)</b>	<b>Média Estação Meteorológica (m/s)</b>	<b>Viés</b>	<b>r</b>	<b>CEF</b>	<b>d</b>	<b>n</b>
Barreiras - BA	2,99	1,37	1,62	0,08	-25,26	0,02	220
Correntina - BA	3,07	1,64	1,43	0,15	-3,24	0,09	161
Santa Rita de Cássia - BA	3,05	1,66	1,40	0,10	-31,96	0,03	176
Posse - GO	2,95	0,99	1,96	0,18	-19,00	0,04	228
Taguatinga - TO	3,11	0,64	2,47	0,20	-56,74	0,03	228

### **b) Padrão espacial e temporal**

A interpolação realizada com dados ERA Interim, como anteriormente mencionado, é mais representativa do que a interpolação utilizando apenas as cinco estações meteorológicas do Oeste Baiano. Foi possível verificar as características da variabilidade no tempo e no espaço de cada elemento meteorológico ao longo do ano. As características sazonais são marcantes em toda a região e a magnitude fica evidenciada nos mapas de cada elemento.

A FIGURA 28 mostra o padrão médio anual da precipitação pluvial no Oeste Baiano, sendo possível perceber que no Noroeste, de maior altitude (FIGURA 9), ocorrem os maiores acumulados de precipitação pluvial. Observa-se um gradiente que vai do Sudoeste em direção ao Noroeste, apresentando incrementos significativos nos valores acumulados que vão de 800 mm na região menos chuvosa a 1.700 mm na região mais chuvosa. O padrão obtido com os dados ERA Interim, para a média de 2000 a 2018, foi similar ao apresentado na FIGURA 7, obtido de normais climatológica estabelecidas a partir de dados medidos em estações meteorológicas de superfície. Isto mostra que as médias e padrões espaciais obtidas são úteis e caracterizam de forma muito coerente a região. Em relação a distribuição nas estações do ano, percebe-se uma evidente sazonalidade na primavera, quando iniciam as precipitações, sendo o verão a estação mais chuvosa, onde essas se consolidam. No outono, as precipitações começam a perder intensidade até o inverno, quando praticamente não ocorrem eventos de precipitação pluvial, com valores acumulados no mês muito próximos de zero em toda a região. Também nas estações que existem eventos de chuva, o gradiente sudeste- noroeste é observado.

A radiação solar global (FIGURA 29) mostra um padrão similar ao da precipitação pluvial, mas de forma inversa. Os menores totais anuais de radiação solar global estão na região Noroeste, enquanto as regiões Sudeste e Leste experimentam uma maior incidência

de radiação. Isto é coerente com o fato de que, onde há maior nebulosidade (região chuvosa), há maior bloqueio físico para que a radiação atinja à superfície, determinando, assim, menor quantidade de radiação incidente. De forma geral, o coeficiente de variação ao longo da série analisada ficou em torno de 10%, indicando certa estabilidade deste elemento na região. Também ao longo das estações do ano a radiação solar mostrou associação com a precipitação pluvial. Nos meses onde há menor incidência de precipitação, há os maiores registros de radiação, sendo que, nas estações de inverno e primavera, alcançam acumulados de até  $110 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Nas estações de verão e outono os valores acumulados variam entre 80 e  $95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O coeficiente de variação durante os 18 anos estudados ficou entre 4 e 16%, sendo as estações de verão e primavera, respectivamente, as que mostraram a maior variação, justamente por serem períodos onde há maior instabilidade atmosférica, com formação de nuvens e precipitação na região.

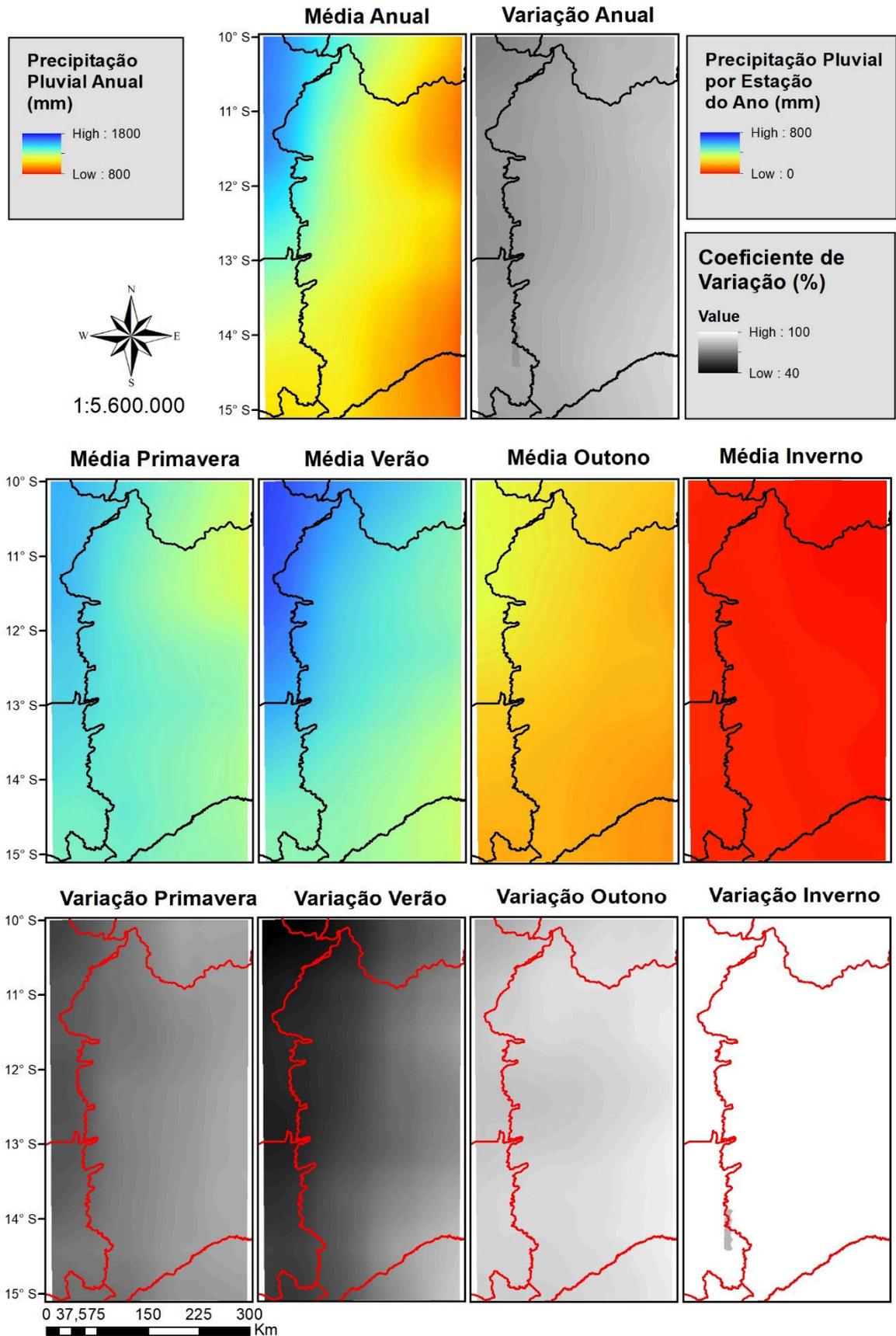


FIGURA 28. Mapa da distribuição da precipitação pluvial e do coeficiente de variação para os totais anuais e totais para as quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.

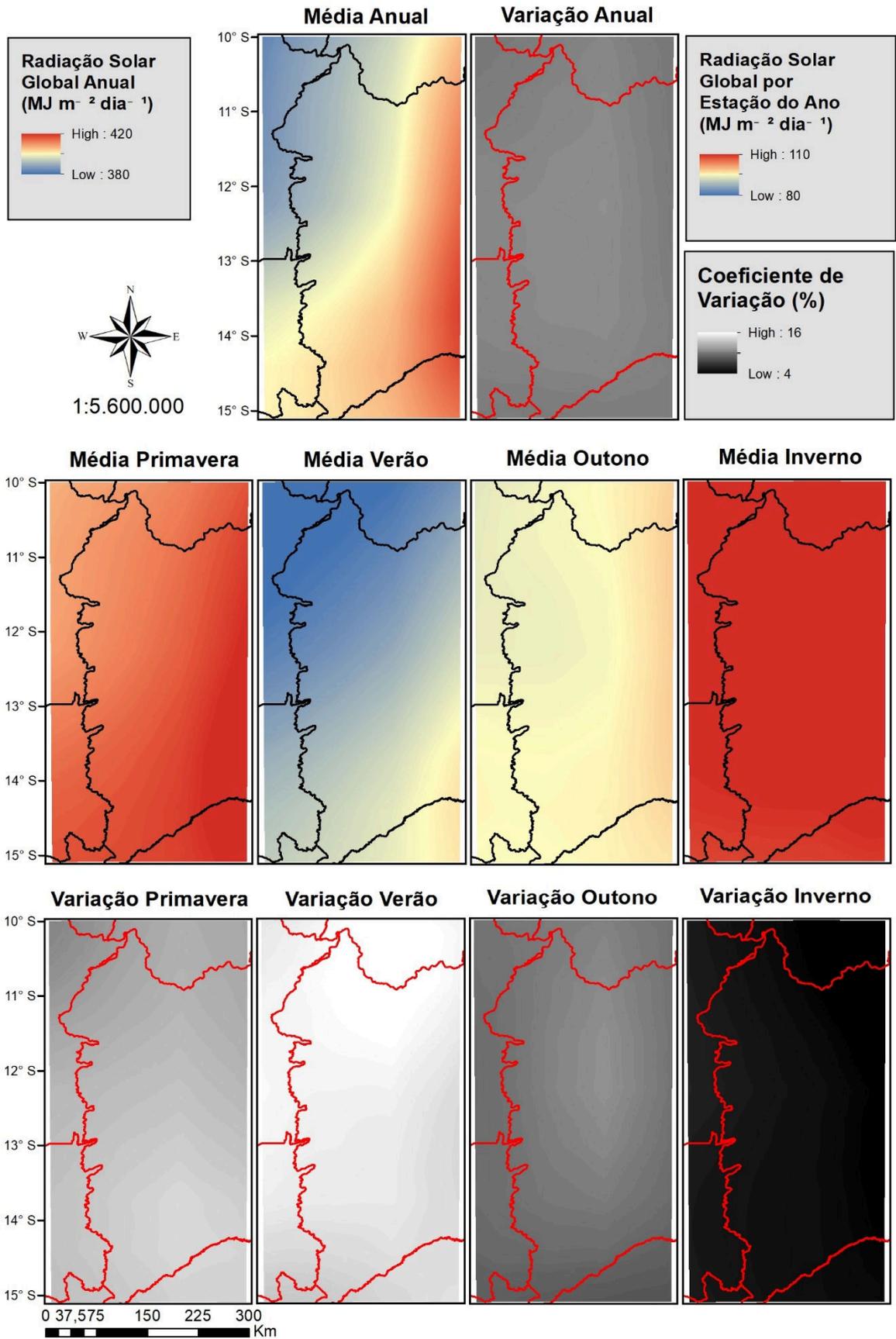


FIGURA 29. Mapa da distribuição da radiação solar global e do coeficiente de variação para os totais anuais e totais para as quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.

A umidade relativa do ar, representada na FIGURA 30, mostrou um padrão de variação muito ligado a sazonalidade da precipitação pluvial, mas agora a relação é direta. A diferença entre o período mais úmido e o mais seco chega a 40%. A estação do verão é a mais úmida, pois é justamente a que ocorre maior precipitação, tornando o ambiente mais úmido, com valores médios de até 85% de umidade relativa do ar. Há também um padrão similar quanto ao gradiente experimentado na região, tanto na média anual como nas estações do ano, com o lado Oeste, sempre mais úmido, que o lado Leste da região. O período mais seco é o do inverno, quando a umidade relativa do ar média fica em torno de 45%, neste período a precipitação fica próxima a zero, o que explica este dado. O coeficiente da variação ficou entre 6 e 18%, sendo a estação da primavera a de maior variação. Isto acontece em função desta estação possuir uma grande variabilidade na precipitação pluvial somada a herança de um período muito seco.

A análise da temperatura média do ar mostrou que a amplitude térmica ao longo do ano é muito baixa, em torno de 6° C, o que é característico de regiões tropicais. O padrão de distribuição espacial é muito determinado pela disponibilidade de radiação solar e inverso ao da precipitação pluvial e da umidade relativa do ar, sendo que à Oeste ocorreram as temperaturas anuais médias mais baixas em relação ao Nordeste (FIGURA 31). As temperaturas mais baixas são decorrentes das maiores altitudes (FIGURA 9) e das precipitações mais altas (FIGURA 28), que por haver uma maior nebulosidade nestas áreas, diminui a quantidade de radiação solar (FIGURA 29) na região e conseqüentemente, diminui a temperatura. A estação mais quente é a primavera, sendo a parte leste a mais quente. Esta também é a estação do ano com maior variabilidade. O coeficiente de variação é próximo a 6%. As precipitações ainda são escassas nesta época e a radiação solar é alta, o que mantém as temperaturas mais altas por mais tempo. As estações mais frias são as do verão e do outono, associado principalmente a estação chuvosa, que passa boa parte do tempo sob nebulosidade mais intensa, reduzindo as temperaturas ao longo dos dias. O inverno novamente é a estação com menor variabilidade, sendo os coeficientes de variação em torno de 3%.

A velocidade do vento (FIGURA 32) varia pouco, ficando em entre 2 e 4 m/s. A região mais a oeste (divisa dos estados de Tocantins e Goiás com o Oeste Baiano) é a que apresentou ventos com maior velocidade. As estações outono e inverno são as mais ventosas. Ao contrário dos outros elementos, a velocidade do vento possui coeficientes de variação bem mais altos, em torno de 35 e 45%, evidenciando que o vento é um elemento de alta variação no tempo e no espaço.

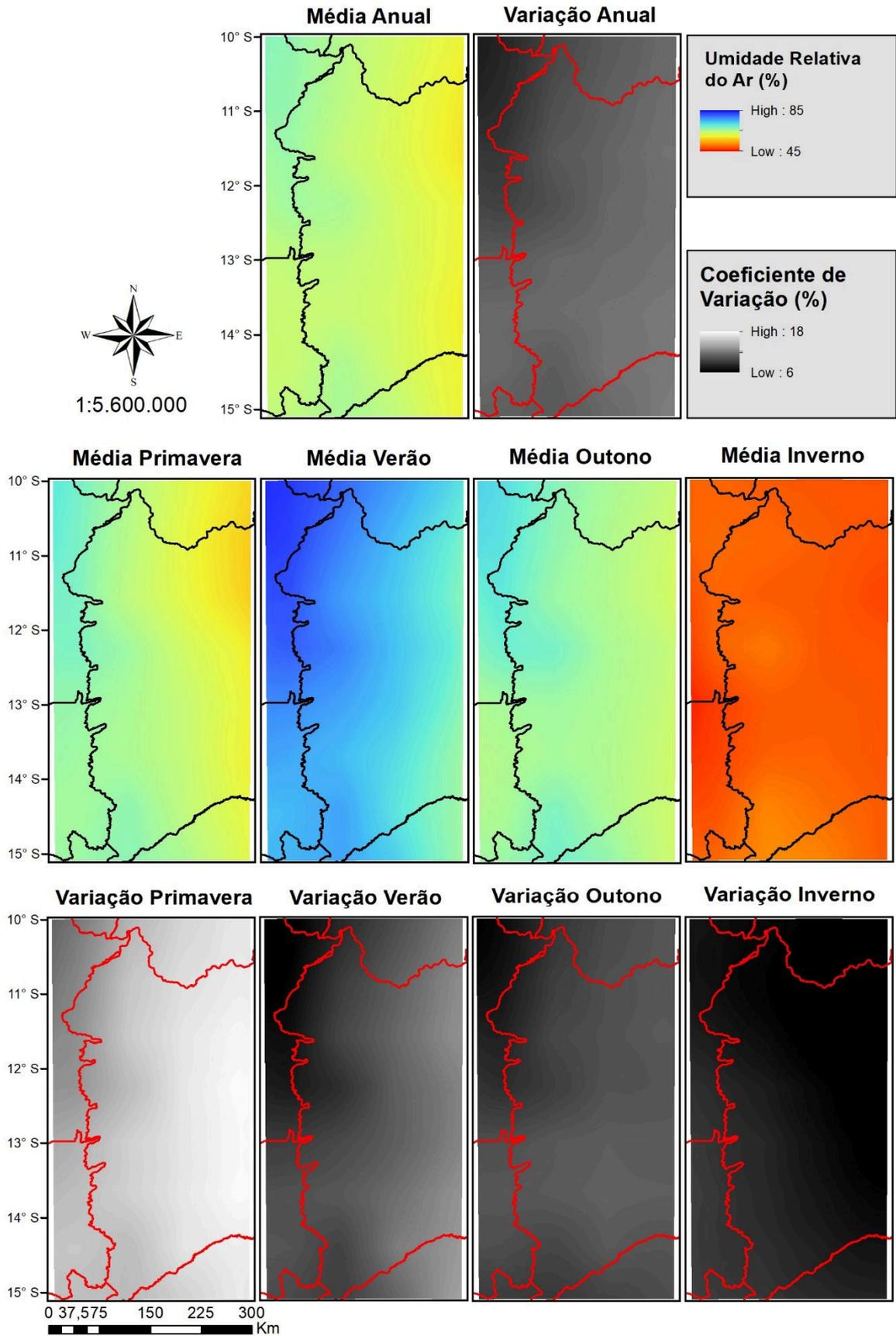


FIGURA 30. Mapa da distribuição da umidade relativa do ar e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.

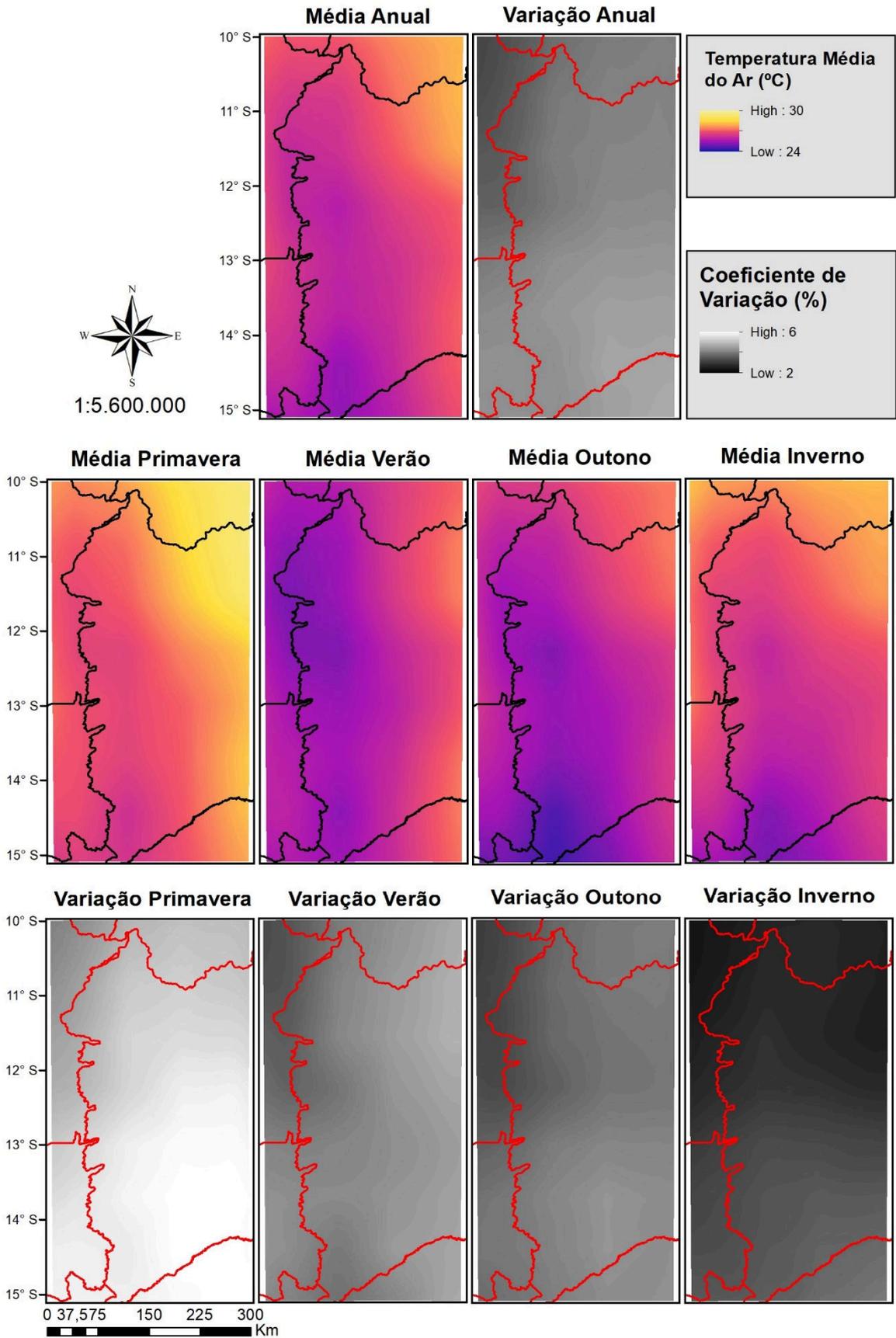


FIGURA 31. Mapa da distribuição da temperatura média do ar e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.

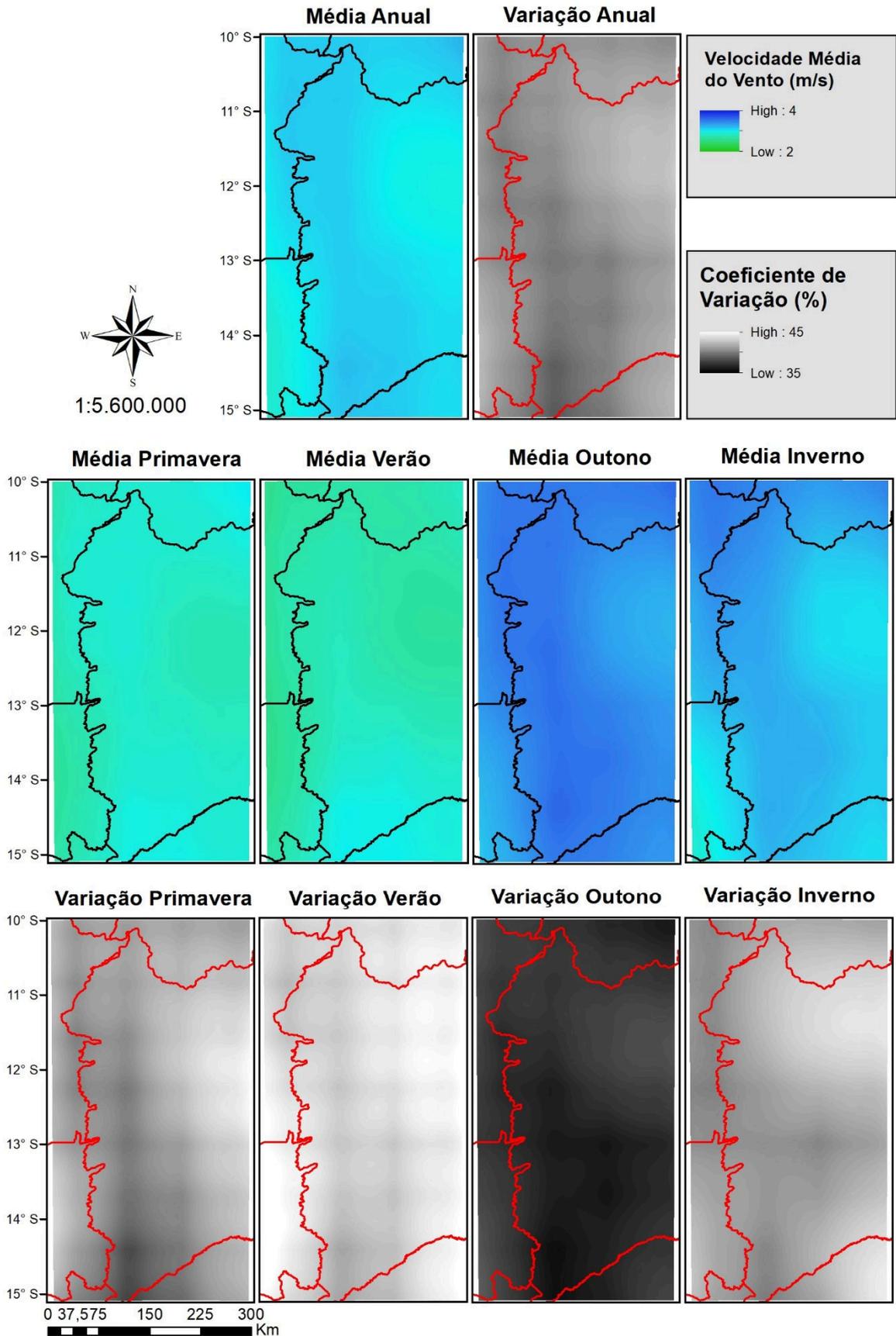


FIGURA 32. Mapa da distribuição da velocidade média do vento e do coeficiente de variação para as médias anuais e para as médias das quatro estações do ano. Oeste Baiano, período de 2000 a 2018.

#### 4.1.2 NDVI/MODIS

Na FIGURA 33, é possível reconhecer o padrão de distribuição no tempo e no espaço da vegetação na área em estudo, assim como distinguir as áreas de cultivos anuais daquelas com vegetação natural de Cerrado usando o índice NDVI. Neste sentido, é muito vasta a bibliografia disponível que suporta o uso do NDVI, este indicador espectral do estado e condição da biomassa verde na superfície (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003; JUNGES & FONTANA, 2009; WAGNER *et al.*, 2013; FONTANA *et al.*, 2015).

Os cultivos agrícolas estão majoritariamente alocados nas áreas limdeiras aos estados de Goiás e Tocantins, onde há melhores condições climáticas, especialmente condições hídricas (FIGURA 28), para cultivos agrícolas. As áreas mais a Leste permanecem em sua maioria “intactas” com seu bioma natural. As áreas com vegetação perene (Cerrado) permanecem mais “verdes” e em consequência os índices médios de NDVI são maiores do que o das áreas cultivadas. Isto ocorre porque nas áreas de cultivo anual, nas épocas secas, o solo fica sem cobertura vegetal associados a valores muito baixos de NDVI. Silva *et. al.* (2019) corroboram esta afirmação comparando o perfil temporal do NDVI de três classes vegetais (cana, citrus e mata). Para a cana os autores observaram mudanças significativas no NDVI ao longo do ciclo, sendo possível distinguir o período de plantio, a época de colheita, o desenvolvimento das plantas, além de identificar quando as classes vegetais sofreram em algum período de seca. As áreas de matas e citrus mantiveram índices NDVI mais constantes, variando pouco ao longo do período. Neste mesmo sentido, Couto Júnior; Carvalho Junior; Martins (2013) avaliaram por 11 anos uma área de algodão na mesma região de estudo e constataram as mudanças drásticas que a cultura experimenta no índice NDVI ao longo do ciclo, com mínimos e máximos de 0,2 e 0,8, respectivamente, durante seu ciclo em torno de 200 dias.

Esta grande variabilidade na densidade de biomassa associado ao ciclo das culturas anuais e, conseqüentemente, no NDVI das áreas cultivadas, fica evidente nas estações de primavera e inverno, onde se dá o início e fim dos cultivos, respectivamente. Nestas estações, o NDVI é muito inferior ao da vegetação natural predominante. A estação do ano onde ocorre os maiores índices NDVI para todos os tipos de cobertura vegetal é no verão, quando a estação chuvosa coincide com o pleno desenvolvimento das culturas anuais. Também pode-se observar que somente no inverno, com a quase ausência de chuvas, é que a vegetação natural experimenta reduções importantes nos valores do NDVI.

Na FIGURA 34, pode-se identificar com maior detalhe no tempo (imagens espaçadas em 16 dias) a dinâmica anual das áreas de cultivos agrícolas e diferenciar estas do restante

das áreas cobertas com vegetação no Oeste Baiano. Os dados provenientes destas imagens com maior detalhamento espacial serão utilizados nos itens que seguem para relacionar as alterações no NDVI com os fatores de variabilidade que decorrem especialmente das condições meteorológicas e de manejo das culturas.

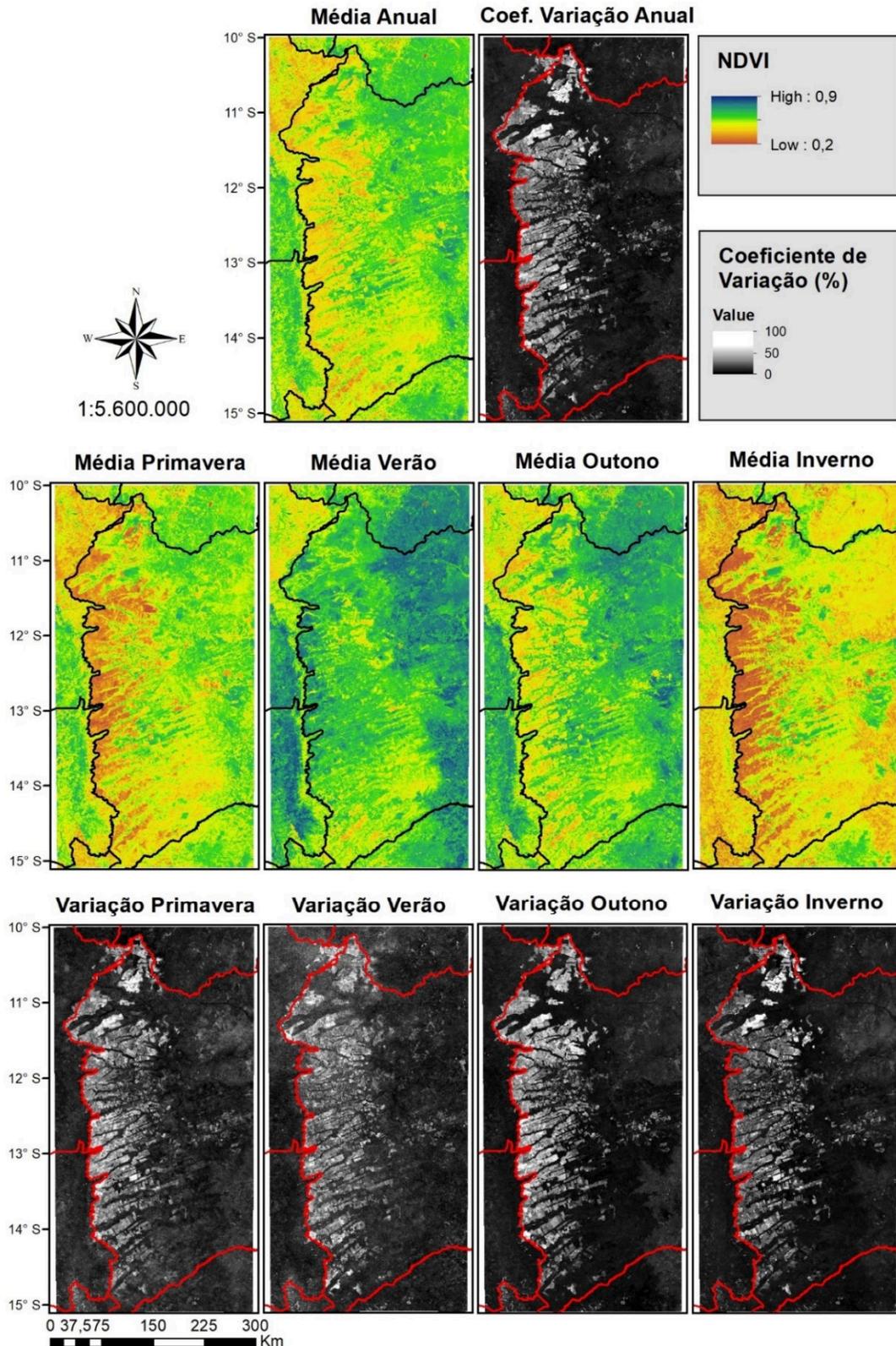


FIGURA 33. Mapa da distribuição e coeficiente de variação do NDVI anual e nas estações do ano para o período de 2000 a 2018.

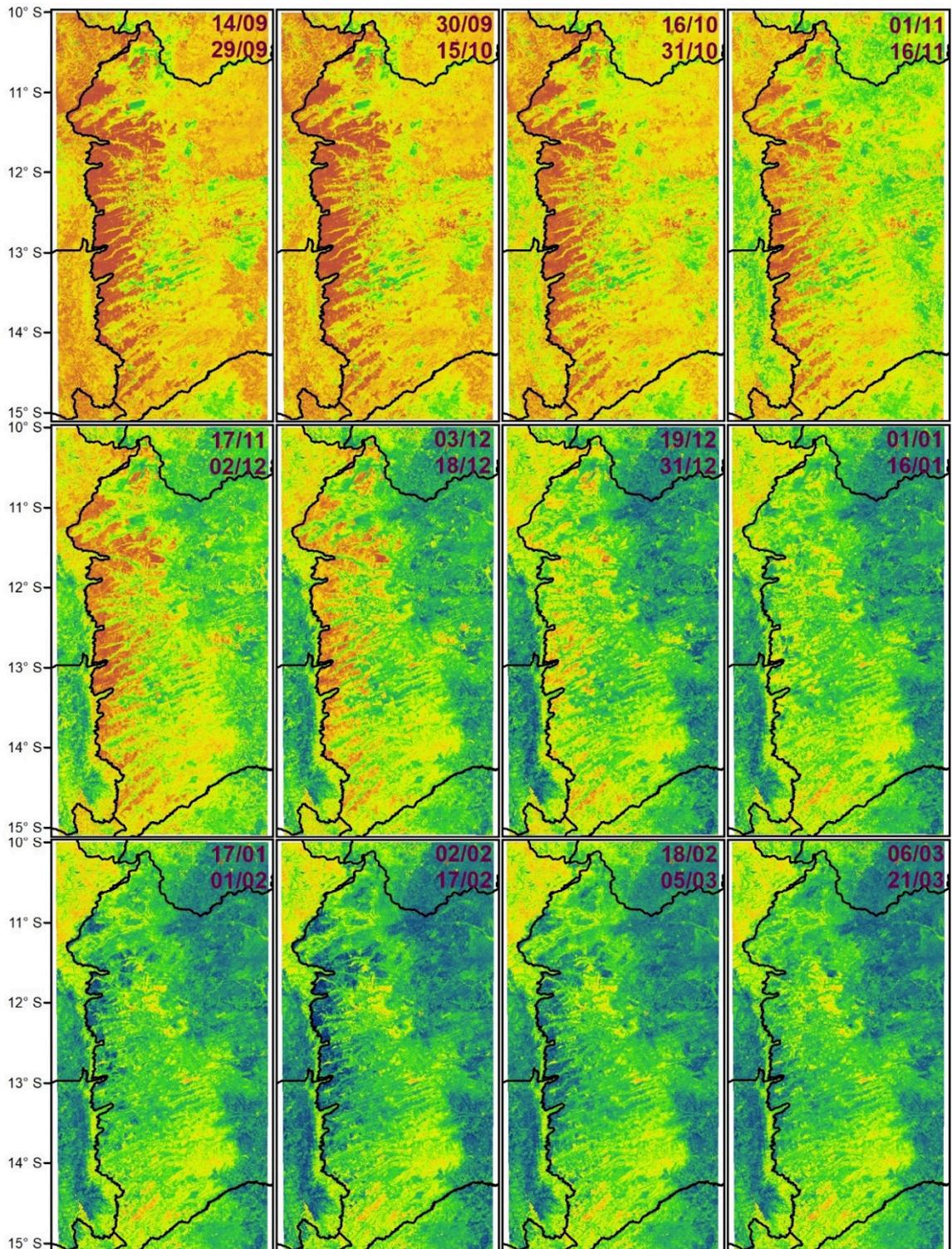
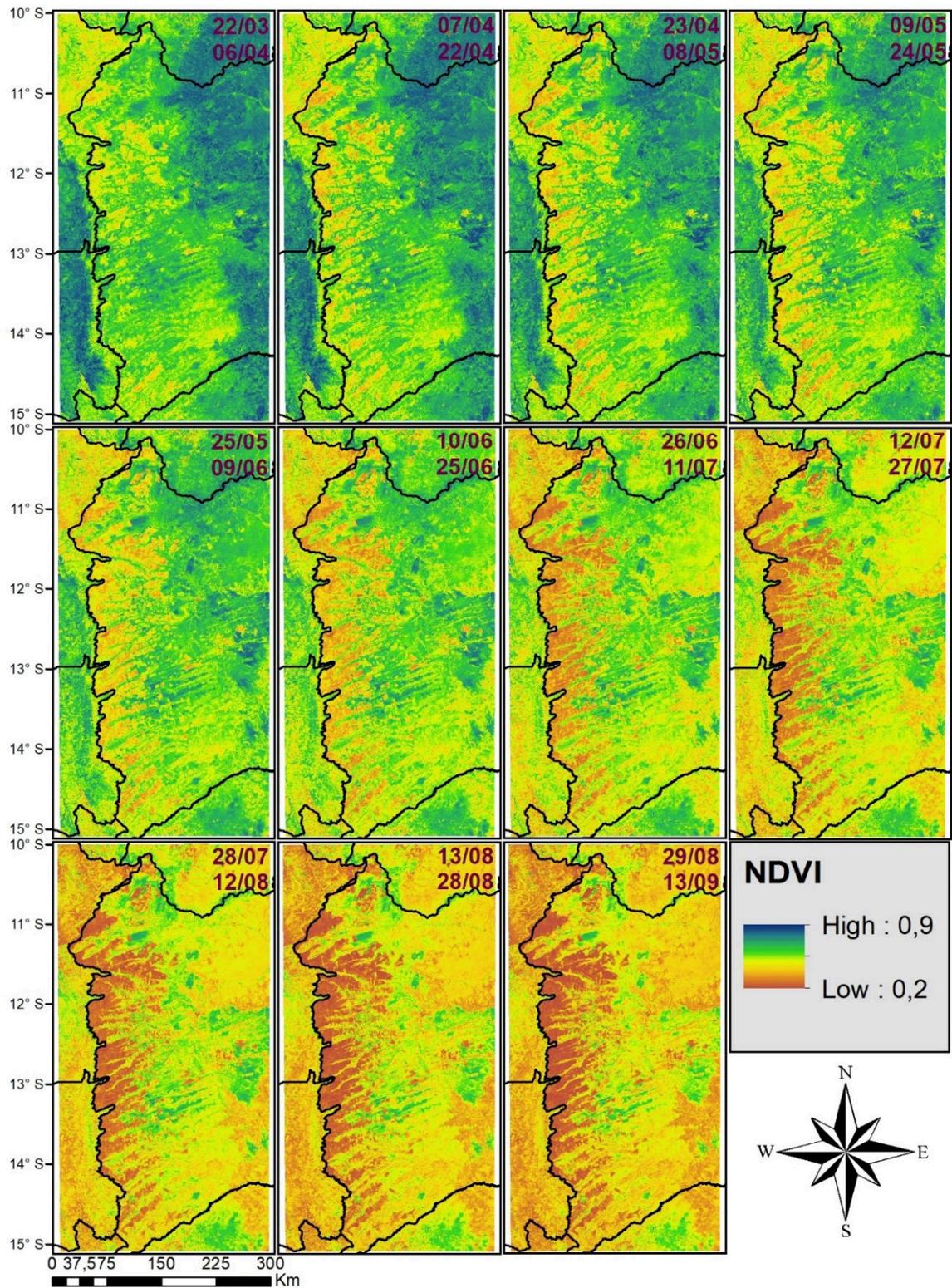


FIGURA 34: Mapa do NDVI médio do período de 2000 a 2018 nas 23 datas, espaçadas em 16 dias, que compõem um ano médio no Oeste Baiano.



continuação FIGURA 34: Mapa do NDVI médio do período de 2000 a 2018 nas 23 datas, espaçadas em 16 dias, que compõem um ano médio no Oeste Baiano.

## 4.2 Caracterização das Sedes da Fazenda Palmares

### 4.2.1 Informação da Cultura: cultivar e ciclo

#### a) Soja:

Na TABELA 7 são apresentadas as cultivares de soja utilizadas nos últimos cinco anos nas três Sedes da fazenda Palmares. Verifica-se que, na maioria das vezes, elas estavam de acordo com as recomendações do SISZARC (MAPA, 2016), de utilização de cultivares para a região edafoclimática 405 (FIGURA 17).

Os ciclos das cultivares na Sede I são mais precoces, em média com ciclo de 115 dias, adotado para possibilitar o plantio de outra cultura após a colheita, já que são áreas irrigadas. Já nas Sedes II e III, as cultivares utilizadas são mais tardias, na faixa dos 130 dias de ciclo.

No recente histórico da fazenda, a época ideal de semeadura para obter os melhores rendimentos fica na primeira quinzena de novembro. Entretanto, muitas vezes não é possível plantar na época recomendada, pois, como mencionado anteriormente, a região possui uma grande variabilidade na fase inicial da “estação das águas” (final da primavera – início do verão). Escassez ou excesso de água pode atrasar o início da semeadura. Em decorrência, pode-se observar, na FIGURA 35, uma variabilidade importante na época inicial de plantio e na duração do ciclo entre as safras. Na Sede I, devido ao uso de irrigação, a semeadura tem início mais cedo, enquanto que, nas Sedes II e III, onde não há irrigação, é necessário aguardar o início da estação chuvosa e a semeadura se dá mais tardiamente.

TABELA 7. Lista de cultivares de soja semeadas nos últimos cinco anos nas três sedes da fazenda Palmares, Bahia.

Safra	Cultivar	Grupo de Maturação	Macrorregião Edafoclimática	Período de Semeadura	Ciclo Padrão na Fazenda (Dias)
<b>Sede I</b>					
2013/14	BMX DESAFIO RR	7.4	301, 302, 303, 304, 401, 404, 405 e 501	17/10 - 18/10	120
2013/14	BMX RAÇA RR	7.6	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403 e 404	17/10 - 19/10	120
2013/14	MSOY 8527 RR	8.5	303, 402, 403, 404, 405, 406 e 408	12/10 - 16/10	124
2013/14	MSOY AS 7307 RR	7.3	301 e 401	10/10 - 19/10	101
<b>2013/14</b>	<b>Média</b>				<b>109</b>
2014/15	BMX DESAFIO RR	7.4	301, 302, 303, 304, 401, 404, 405 e 501	25/09 - 04/11	120
2014/15	CD 2737 RR	7.3	301, 302, 303 e 402	27/09 - 29/09	97
2014/15	M 7739 IPRO	7.7	301, 302, 303, 401, 404, 405 e 501	26/09 - 27/09	110
2014/15	MSOY 8527 RR	8.5	303, 402, 403, 404, 405, 406 e 408	30/09 - 24/10	124
2014/15	NS 7300 IPRO	7.3	301, 302, 303, 304, 401, 404, 402, 403, 404, 405 e 501	29/09 - 20/10	100
2014/15	P97R21	7.2	102, 202, 301 e 401	30/09 - 21/10	115
<b>2014/15</b>	<b>Média</b>				<b>117</b>
2015/16	BMX DESAFIO RR	7.4	301, 302, 303, 304, 401, 404, 405 e 501	26/09 - 11/10	120
2015/16	CD 2728 IPRO	7.2	301, 302, 303 e 401	25/09 - 07/10	98
2015/16	M 6952 IPRO	7.2	301, 302, 401 e 403	06/10 - 09/10	99
2015/16	TMG 1182 RR	8.3	301, 401, 402, 403, 404, 405 e 501	25/09 - 07/10	127
<b>2015/16</b>	<b>Média</b>				<b>115</b>
2016/17	BRS 7380 RR	7.3	301, 303, 304, 401, 402 e 403	30/09 - 01/10	100
2016/17	TMG 1182 RR	8.3	301, 401, 402, 403, 404, 405 e 501	27/09 - 07/10	127
<b>2016/17</b>	<b>Média</b>				<b>126</b>

continuação TABELA 7. Lista de cultivares de soja semeadas nos últimos cinco anos nas três sedes da fazenda Palmares, Bahia.

Safra	Cultivar	Grupo de Maturação	Macrorregião Edafoclimática	Período de Semeadura	Ciclo Padrão na Fazenda (Dias)
2017/18	BRS 7380 RR	7.3	301, 303, 304, 401, 402 e 403	11/10 - 17/10	100
2017/18	BRS GO 7460 RR	7.4	301, 304 e 404	07/10 - 11/10	110
2017/18	M 7198 IPRO	7.1	301, 401, 403 e 406	10/10 - 12/10	101
2017/18	TEC 7022 IPRO	7.0	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	13/10 - 16/10	97
<b>2017/18</b>	<b>Média</b>				<b>104</b>
<b>Sede II</b>					
2013/14	M 8330 IPRO	8.3	sem informação	19/11 - 20/11	153
2013/14	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	21/10 - 04/12	137
2013/14	P98Y30	8.3	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501, 502 e 503	12/11 - 25/11	124
2013/14	P98Y70	8.7	301, 303, 304, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501, 502 e 503	27/11 - 07/12	132
2013/14	P99R09	9.0	402, 403, 404, <b>405</b> , 501, 502 e 503	22/11 - 26/11	136
2013/14	ST 920 RR	9.2	304, 403, <b>405</b> e 501	23/11 - 24/11	144
2013/14	TMG 1187 RR	8.7	401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	25/11 - 30/11	140
2013/14	TMG 1188 RR	8.0	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	13/11 - 03/12	119
<b>2013/14</b>	<b>Média</b>				<b>135</b>
2014/15	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	30/10 - 24/11	126
2014/15	M 8372 IPRO	8.3	401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	03/11 - 12/11	126
2014/15	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	31/10 - 22/11	137
2014/15	ST 920 RR	9.2	304, 403, <b>405</b> e 501	14/11 - 22/11	144
2014/15	TMG 1187 RR	8.7	401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	10/11 - 15/11	140
2014/15	TMG 1288 RR	8.8	404, <b>405</b> , 501 e 502	19/11 - 22/11	136
<b>2014/15</b>	<b>Média</b>				<b>135</b>
2015/16	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	02/11 - 27/11	126
2015/16	M 8372 IPRO	8.3	401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	02/11 - 28/11	126
2015/16	M 8644 IPRO	8.6	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	13/11 - 27/11	137
2015/16	M SOY 8527 RR	8.5	303, 402, 403, 404, <b>405</b> , 406 e 408	11/11 - 13/11	124
2015/16	TMG 1187 RR	8.7	401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	16/11 - 25/11	140
<b>2015/16</b>	<b>Média</b>				<b>130</b>
2016/17	CD 2728 IPRO	7.2	301, 302, 303 e 401	09/11 - 26/11	98
2016/17	CD 2851 IPRO	8.5	301, 302, 303, 304, 401 e 402	23/11 - 26/11	128
2016/17	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	21/10 - 26/11	126
2016/17	M 8644 IPRO	8.6	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	08/11 - 10/11	137
2016/17	M 8808 IPRO	8.8	<b>405</b> , 501 e 502	23/11 - 26/11	132
2016/17	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	10/11 - 11/11	137
<b>2016/17</b>	<b>Média</b>				<b>130</b>
2017/18	HO JURUENA IPRO	8.7	304, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	15/11 - 17/11	133
2017/18	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	03/11 - 18/11	126
2017/18	M 8644 IPRO	8.6	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	03/11 - 05/11	137
2017/18	M 8808 IPRO	8.8	<b>405</b> , 501 e 502	01/10 - 03/11	132
2017/18	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	06/11 - 13/11	137
<b>2017/18</b>	<b>Média</b>				<b>131</b>
<b>Sede III</b>					
2013/14	M 8330 IPRO	8.3	sem informação	02/12 - 09/12	153
2013/14	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	13/11 - 02/12	137
2013/14	M SOY 9350	9.3	301, 302, 303, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	24/10 - 07/11	138
2013/14	P98Y30	8.3	301, 302, 303, 304, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501, 502 e 503	21/10 - 09/11	124
<b>2013/14</b>	<b>Média</b>				<b>139</b>
2014/15	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	30/10 - 14/11	126
2014/15	M SOY 8527 RR	8.5	303, 402, 403, 404, <b>405</b> , 406 e 408	15/11 - 20/11	124
2014/15	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	21/11 - 27/11	137
2014/15	M SOY 9350	9.3	301, 302, 303, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	10/12 - 11/12	138
2014/15	ST 920 RR	9.2	304, 403, <b>405</b> e 501	27/11 - 28/11	144
2014/15	TMG 1187 RR	8.7	401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	27/11 - 28/11	140
<b>2014/15</b>	<b>Média</b>				<b>129</b>
2015/16	M 8349 IPRO	8.3	402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	12/11 - 16/12	126
2015/16	M 8644 IPRO	8.6	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	23/11 - 31/12	137
2015/16	M SOY 8527 RR	8.5	303, 402, 403, 404, <b>405</b> , 406 e 408	03/12 - 15/12	124
2015/16	M SOY 9144 RR	9.1	404, <b>405</b> , 501 e 502	01/12 - 04/12	137
2015/16	TMG 1182 RR	8.3	301, 401, 402, 403, 404, <b>405</b> e 501	29/10 - 03/12	127
<b>2015/16</b>	<b>Média</b>				<b>128</b>
2016/17	CD 2728 IPRO	7.2	301, 302, 303 e 401	30/10 - 07/11	98
2016/17	CD 2851 IPRO	8.5	301, 302, 303, 304, 401 e 402	22/11 - 23/11	128
2016/17	M 8372 IPRO	8.3	401, 402, 403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	11/11 - 12/11	126
2016/17	M 8644 IPRO	8.6	403, 404, <b>405</b> , 501 e 502	14/11 - 18/11	137

continuação TABELA 7. Lista de cultivares de soja semeadas nos últimos cinco anos nas três sedes da fazenda Palmares, Bahia.

Safra	Cultivar	Grupo de Maturação	Macrorregião Edafoclimática	Período de Semeadura	Ciclo Padrão na Fazenda (Dias)
2016/17	M 8808 IPRO	8.8	405, 501 e 502	18/11 - 01/12	132
2016/17	TMG 1182 RR	8.3	301, 401, 402, 403, 404, 405 e 501	07/11 - 10/11	127
2016/17	TMG 2187 IPRO	8.7	301, 303, 401, 402, e 403	02/12 - 06/12	132
<b>2016/17</b>	<b>Média</b>				<b>123</b>
2017/18	HO JURUENA IPRO	8.7	304, 401, 402, 403, 404, 405, 501 e 502	02/11 - 13/11	133
2017/18	M 8808 IPRO	8.8	405, 501 e 502	31/10 - 02/11	132
2017/18	TMG 1182 RR	8.3	301, 401, 402, 403, 404, 405 e 501	14/11 - 15/11	127
<b>2017/18</b>	<b>Média</b>				<b>132</b>

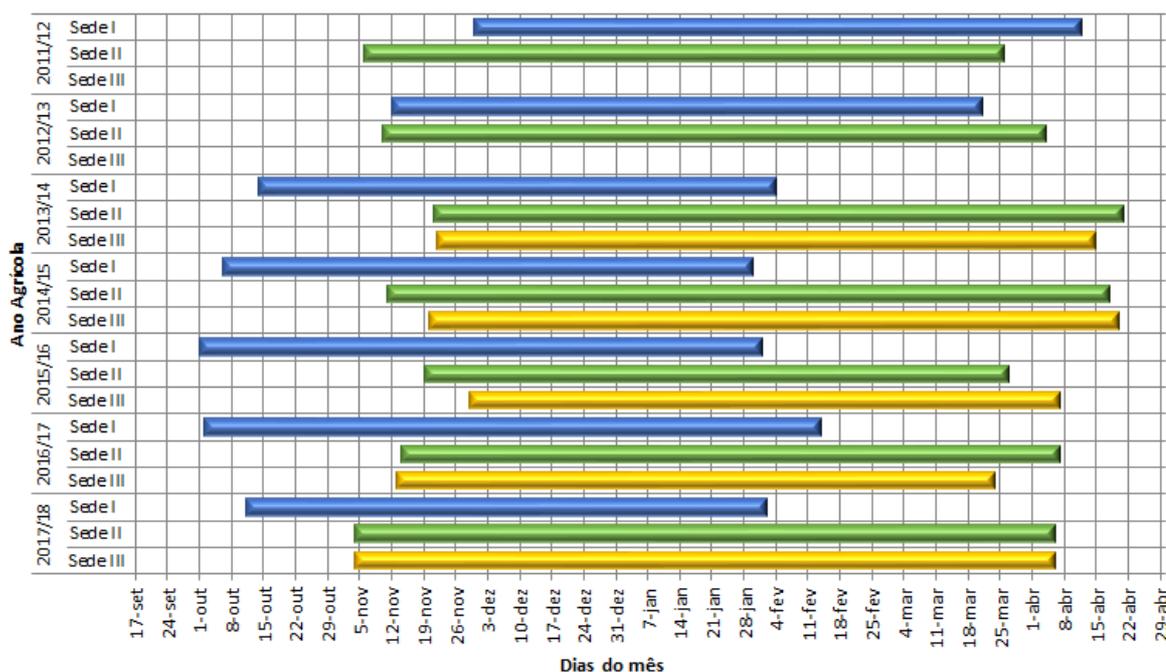


FIGURA 35: Duração do ciclo da cultura da soja em sete safras das sedes I (Linha Azul), II (Linha Verde) e III (Linha Amarela) da fazenda Palmares, Bahia.

#### b) Algodão:

O algodão possui características diferentes da soja, além do viés do rendimento ser importante, também há o foco em qualidade de fibra (CHANSELME & BACHELIER, 2006). É preciso pensar em um equilíbrio entre as cultivares que possuem um rendimento maior com as que possuem uma qualidade melhor. O algodão é semeado mais tarde que a soja para que o final do seu ciclo coincida no período seco da região. A umidade nesta fase gera o apodrecimento da pluma de algodão, o que causa redução do rendimento e da qualidade da fibra (CHANSELME & BACHELIER, 2006; MONTEIRO, 2009).

Na TABELA 8, são apresentadas as cultivares utilizadas nas últimas quatro safras na fazenda Palmares. Ao longo deste período, o ciclo das cultivares tem variado entre 190 a 220 dias. Parte do ciclo da cultura é manejada com reguladores de crescimento e maturadores fisiológicos para que ocorra um equilíbrio adequado entre a fase vegetativa e reprodutiva da planta.

Historicamente, na fazenda a época ideal de semeadura do algodão se dá na primeira quinzena de dezembro, mas, como se pode verificar (FIGURA 36), a época de plantio é diferente entre a Sede I e II. Na Sede I, a cultura é conduzida em regime de segunda safra, ou seja, é plantada em sucessão, após a colheita da soja precoce. Na região, isto só é possível em áreas irrigadas, pois o período chuvoso é mais curto que em outras áreas do Cerrado, como no Mato Grosso, por exemplo. Na Sede II, o plantio se dá a partir do início de dezembro, um pouco após o da soja. Isto ocorre para que haja a menor quantidade de pluma exposta durante o período chuvoso, pois a pluma de algodão é muito sensível a umidade podendo causar podridão e a impossibilidade de aproveitamento para comercialização.

TABELA 8. Lista de cultivares de algodão semeadas nos últimos cinco anos nas duas sedes da fazenda Palmares, Bahia.

Safra	Cultivar	Período de Semeadura	Ciclo Padrão na Fazenda (Dias)
<b>Sede I</b>			
2013/14	DP 1240 B2RF	05/02 - 06/02	190
2013/14	FM 913 GLT	12/02 - 13/02	200
2013/14	FM 940 GLT	05/02 - 07/02	200
2013/14	FM 944 GL	02/02 - 07/02	200
2013/14	FM 975 WS	27/01 - 11/02	200
2013/14	FM 980 GLT	30/01 - 31/01	190
<b>2013/14</b>	<b>Média</b>		<b>198</b>
2014/15	FM 940 GLT	22/01 - 21/02	200
2014/15	TMG 82 WS	30/01 - 18/02	200
<b>2014/15</b>	<b>Média</b>		<b>200</b>
2015/16	FM 975 WS	30/01 - 11/02	200
2015/16	TMG 42 WS	03/02 - 04/02	190
2015/16	TMG 45 B2RF	05/02 - 06/02	190
2015/16	TMG 46 B2RF	10/02 - 11/02	190
2015/16	TMG 81 WS	01/02 - 03/02	200
2015/16	TMG 82 WS	15/02 - 17/02	200
<b>2015/16</b>	<b>Média</b>		<b>197</b>
2017/18	DP 1536 B2RF	15/02 - 16/02	200
2017/18	DP 1746 B2RF	15/02 - 16/02	200
2017/18	FM 906GLT	14/02 - 15/02	200
2017/18	FM 944 GL	13/02 - 14/02	200
2017/18	TMG 81 WS	27/12 - 16/02	200
<b>2017/18</b>	<b>Média</b>		<b>200</b>
<b>Sede II</b>			
2013/14	FM 944 GL	10/12 - 16/12	230
2013/14	FM 975 WS	22/11 - 02/01	220
<b>2013/14</b>	<b>Média</b>		<b>221</b>
2014/15	FM 944 GL	28/11 - 15/12	230
2014/15	FM 975 WS	24/11 - 15/12	220
2014/15	FM 980 GLT	28/11 - 13/12	220
2014/15	FM 982 GL	25/11 - 29/11	210
2014/15	TMG 81 WS	18/12 - 18/12	210
<b>2014/15</b>	<b>Média</b>		<b>221</b>
2015/16	DP 1536 B2RF	14/12 - 15/12	190
2015/16	FM 944 GL	11/12 - 31/12	230
2015/16	FM 975 WS	07/12 - 06/01	220
2015/16	FM 980 GLT	14/12 - 31/12	220
2015/16	TMG 42 WS	16/12 - 17/12	200
2015/16	TMG 81 WS	15/12 - 17/12	210
<b>2015/16</b>	<b>Média</b>		<b>220</b>
2016/17	DP 1536 B2RF	08/12 - 09/12	190
2016/17	FM 944 GL	02/12 - 09/12	230
2016/17	FM 975 WS	29/11 - 09/12	220
2016/17	FM 983 GLT	08/12 - 09/12	230
2016/17	TMG 42 WS	08/12 - 09/12	200
2016/17	TMG 44 B2RF	09/12 - 10/12	210

continuação TABELA 8. Lista de cultivares de algodão semeadas nos últimos cinco anos nas duas sedes da fazenda Palmares, Bahia.

Safra	Cultivar	Período de Semeadura	Ciclo Padrão na Fazenda (Dias)
2016/17	TMG 46 B2RF	09/12 - 10/12	210
2016/17	TMG 81 WS	06/12 - 17/12	210
<b>2016/17</b>	<b>Média</b>		<b>211</b>
2017/18	DP 1536 B2RF	03/12 - 15/12	190
2017/18	FM 944 GL	29/11 - 10/12	230
2017/18	FM 975 WS	27/11 - 07/12	220
2017/18	FM 983 GLT	27/11 - 04/12	230
2017/18	TMG 81 WS	29/11 - 06/12	210
<b>2017/18</b>	<b>Média</b>		<b>206</b>

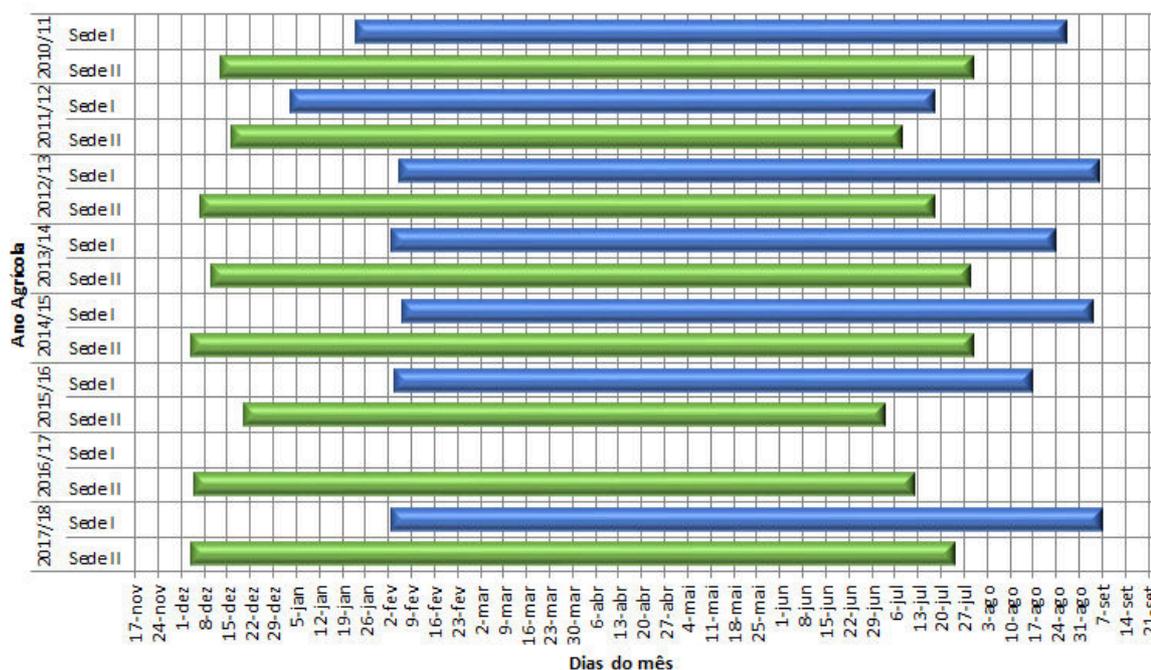


FIGURA 36: Duração do ciclo da cultura do algodão em sete safras das Sedes I (Linha Azul) e II (Linha Verde) da fazenda Palmares, Bahia.

## 4.2.2 Rendimento

### c) Soja:

Na fazenda Palmares como um todo, nas últimas dez safras, observa-se importante variação no rendimento de grãos da cultura da soja entre as safras e entre os talhões numa mesma safra. As sedes da fazenda tiveram épocas distintas de controle por parte da Fazenda Palmares. Algumas áreas foram adquiridas ou arrendadas em períodos diferentes, por isto as séries históricas são distintas. Por exemplo, a Sede III foi incorporada à fazenda apenas na safra 2013/14.

Nas três Sedes, a safra com menores rendimentos foi a 2015/16 e a com maior rendimento foi a 2017/18, mostrando que possivelmente tenha ocorrido algum evento de macroescala definindo a variabilidade nos rendimentos na região. A Sede I, área irrigada, obteve média de rendimento mais alta entre as safras, de 3.491 kg/ha, onde a menor safra foi

de 2.122 kg/ha e a maior de 4.798 kg/ha. A Sede II, com maior área da fazenda, obteve uma média 2.880 kg/ha, variando de 2.113 kg/ha a 4.085 kg/ha. A Sede III, a área mais jovem da fazenda, obteve nas últimas cinco safras um rendimento médio de 3.005 kg/ha, intermediário às demais sedes. Na menor safra, o rendimento foi de 2.301 kg/ha e na maior safra 4.323 kg/ha.

Observando as FIGURAS 37, 38 e 39 percebe-se que também que há grande variabilidade dos rendimentos de grãos entre os talhões dentro de uma mesma safra. Variações que, mesmo em safras com rendimentos médios altos, chegam a diferenças maiores que 2.500 kg/ha entre o pior e o melhor talhão. Isto demonstra que existem fatores de variabilidade em escala local definindo as diferenças nos rendimentos entre os talhões numa mesma safra.

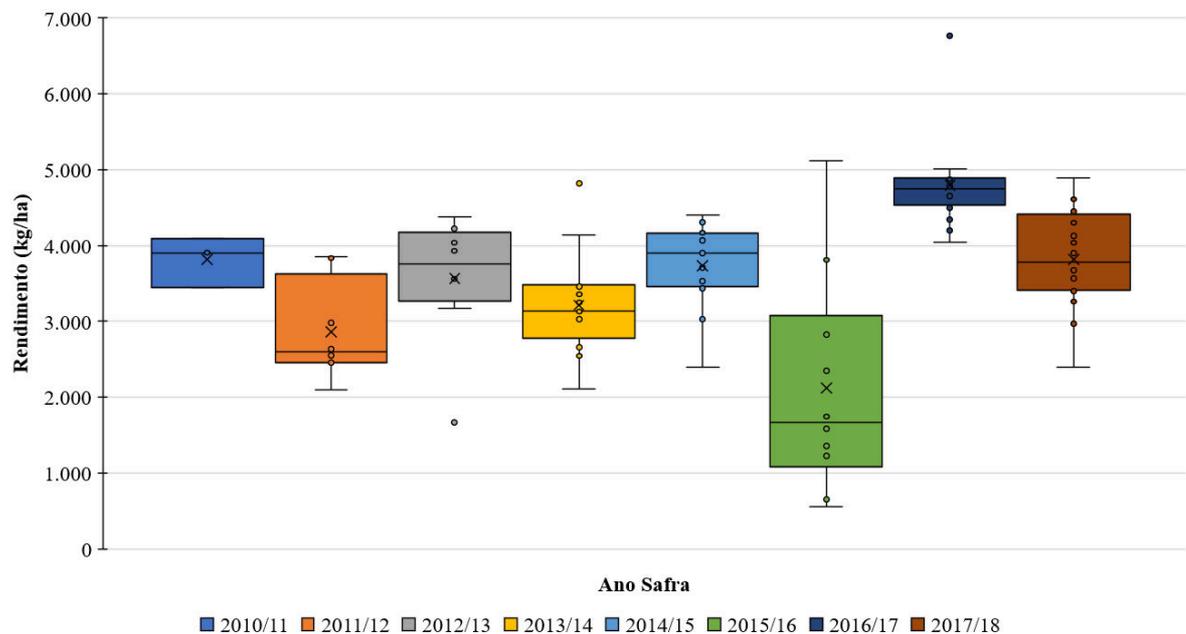


FIGURA 37. Rendimento de Soja em 8 safras da Sede I da fazenda Palmares, Bahia.

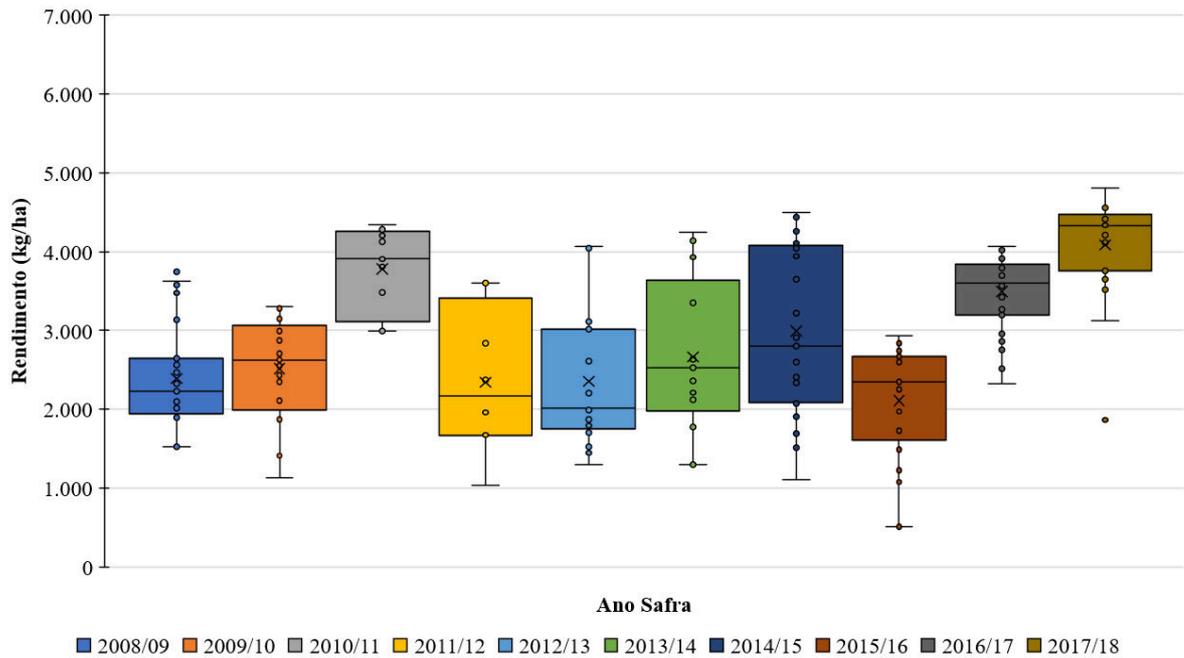


FIGURA 38. Rendimento de Soja em 10 safras da Sede II da fazenda Palmares, Bahia.

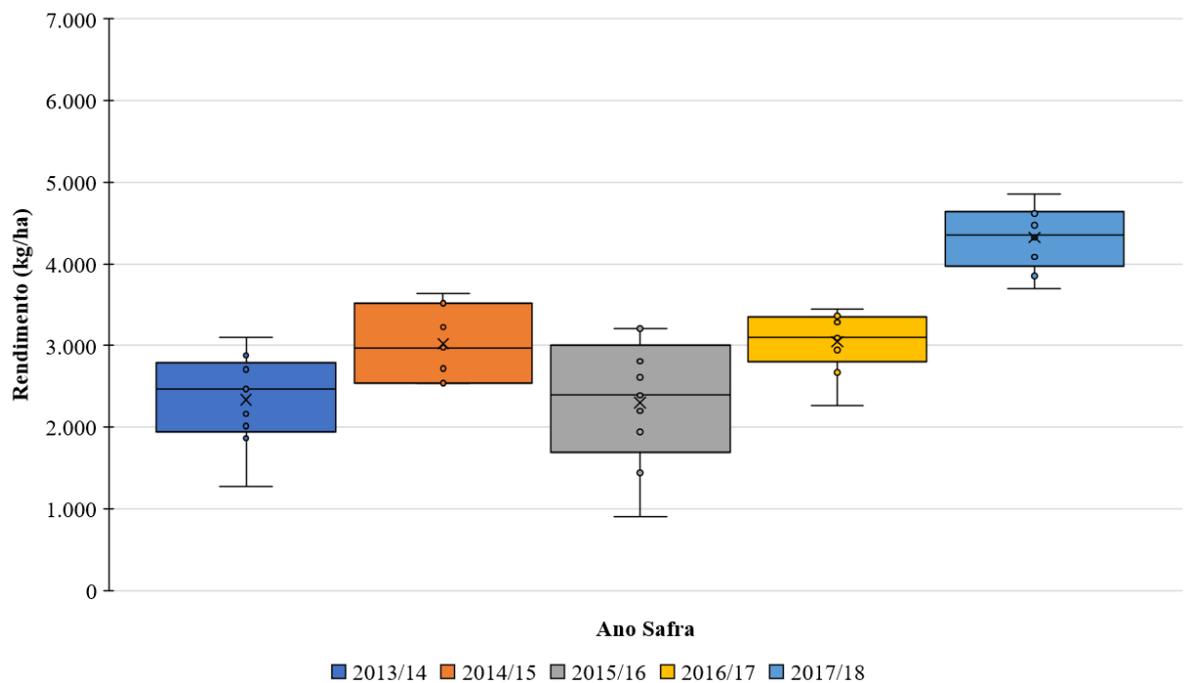


FIGURA 39. Rendimento de Soja em 5 safras da Sede III da fazenda Palmares.

#### d) Algodão:

O padrão de rendimento para as duas sedes produtoras de algodão é bem distinto. A Sede I possui um padrão mais linear, com ligeira evolução ao longo dos anos, conforme a FIGURA 40. A média histórica nestas últimas nove safras foi de 266 arrobas/ha. A menor média obtida foi no primeiro ano de plantio, quando apenas 215 arrobas/ha foram colhidas. Nesta safra, ocorreu uma amplitude muito grande no rendimento entre os talhões, o menor rendimento foi de 61 arrobas/ha e o maior de 309 arrobas/ha, respectivamente. A maior safra

registrada foi a 2013/14. Foram colhidas 304 arrobas/ha, variando entre 241 arrobas/ha e 351 arrobas/ha. Como a cultura na Sede I é toda plantada em regime de segunda safra, os rendimentos tendem a ser mais baixas, mesmo em áreas irrigadas. Isto ocorre porque a cultura é semeada fora da época ideal e seu ciclo precisa ocorrer de forma mais precoce para que não haja mais cultura no campo no período de vazio sanitário, que na Bahia é entre os dias 20 de setembro e 20 de novembro (ADAB, 2018).

Apesar de possuir um rendimento médio de 337 arrobas/ha nas últimas dez safras, média bem superior a Sede I, o padrão histórico das safras é de altos e baixos, como se pode observar na FIGURA 41. Assim como ocorreu na cultura da soja, a pior safra foi em 2015/16, quando foram colhidas apenas 157 arrobas/ha, valor muito abaixo da média histórica da região. Neste ano, o talhão com maior rendimento produziu 259 arrobas/ha enquanto o de menor foi de apenas 81 arrobas/ha. A diferença é muito grande quando compararmos os dois anos posteriores. Nas safras 2016/17 e 2017/18, a Sede II colheu uma média de 334 e 337 arrobas/ha, respectivamente. Em ambas as safras o rendimento máximo entre os talhões foi acima das 380 arrobas/ha, a diferença maior entre safras ocorreu em relação ao rendimento mínimo que foi de 240 arrobas/ha na safra 2016/17 e 266 arrobas/ha na safra 2017/18. Na última safra, o rendimento mínimo foi superior ao rendimento máximo da safra menos produtiva. Isto mostra que há grande variabilidade sazonal nos cultivos não irrigados na região.

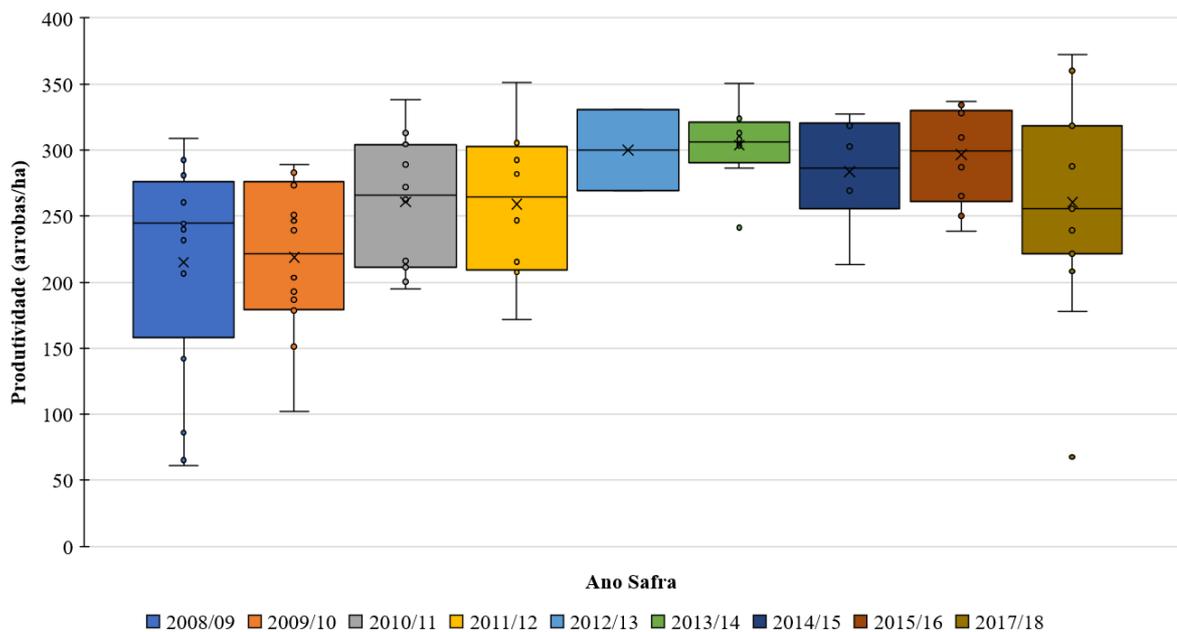


FIGURA 40. Rendimento de Algodão em 9 safras da Sede I da fazenda Palmares, Bahia.

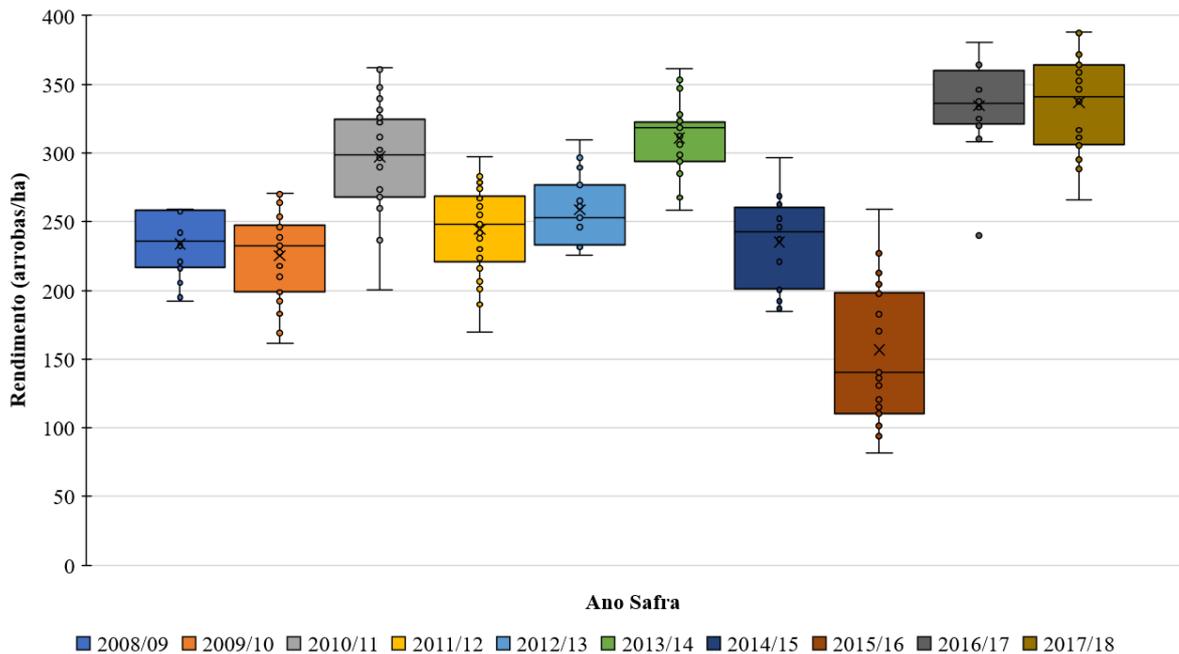


FIGURA 41. Rendimento de Algodão em 10 safras da Sede II da fazenda Palmares, Bahia.

### 4.2.3 Disponibilidade Hídrica

#### a) Soja:

A importância da disponibilidade hídrica para a cultura da soja fica evidenciada na medida em que a recomendação da data de semeadura é definida de forma que os períodos críticos da cultura, especialmente o florescimento e enchimento de grãos, ocorram em períodos de menor risco de déficit hídrico (MONTEIRO, 2009). Em consequência, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) define que a semeadura da soja na Bahia não deva ocorrer antes de outubro (CONAB, 2019).

Em consonância a esta informação, verifica-se nas FIGURAS 42 e 43 que, em todas as safras avaliadas, houve déficit hídrico no período que antecede a semeadura, evidenciando o padrão característico da região no período seco no inverno (INMET, 2018). Após o início da estação chuvosa, ocorre a semeadura da soja e observa-se que a ocorrência de excessos hídricos foi predominante, ocorrendo em todas as safras. Mas, mesmo durante a estação chuvosa, déficits hídricos ocorrem com certa frequência, com magnitudes que variaram bastante entre os anos avaliados, tanto na Sede II como na III (a disponibilidade hídrica da Sede I não foi apresentada neste item dado ao uso de irrigação). Apenas nas safras 2010/11, 2011/12, 2016/17 e 2017/18 não houve déficit hídrico durante o ciclo da soja.

Chama a atenção duas safras contrastantes. A safra 2015/16, com os piores rendimentos (Sede II: 2.100 kg/ha e Sede III: 2.280 kg/ha), foi marcada pelo atraso no início das precipitações, pela ocorrência de déficits em dezembro, por um janeiro extremamente chuvoso (excesso hídrico) e por déficit hídrico no restante do ciclo. A safra 2017/18 foi

considerada a melhor em termos de rendimentos (Sede II: 4.080 kg/ha e Sede III: 4.320 kg/ha). Não houve déficit hídrico ao longo de todo o ciclo da soja e os excessos hídricos foram bem distribuídos quando se compara com o restante dos anos.

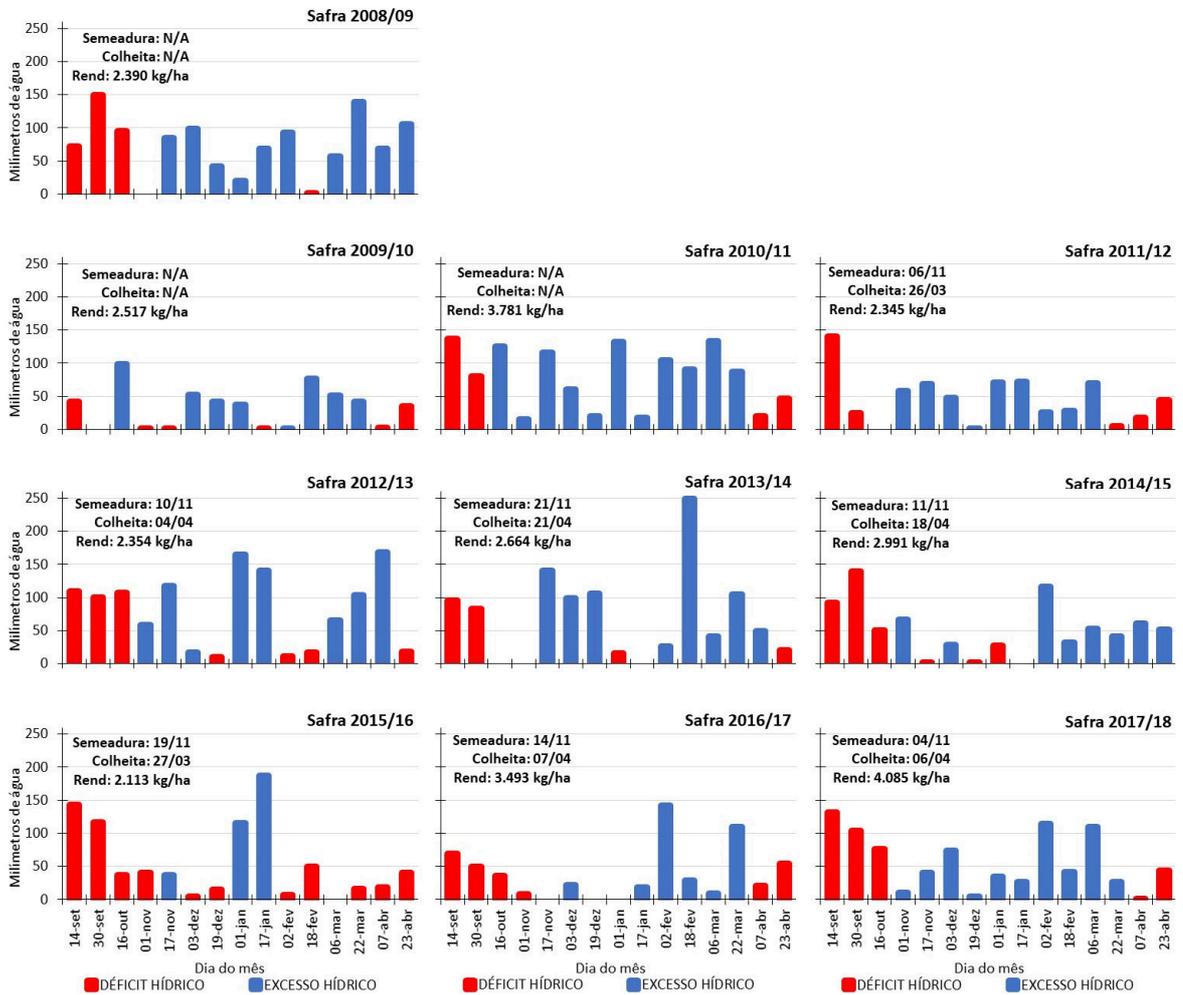


FIGURA 42. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Soja na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.

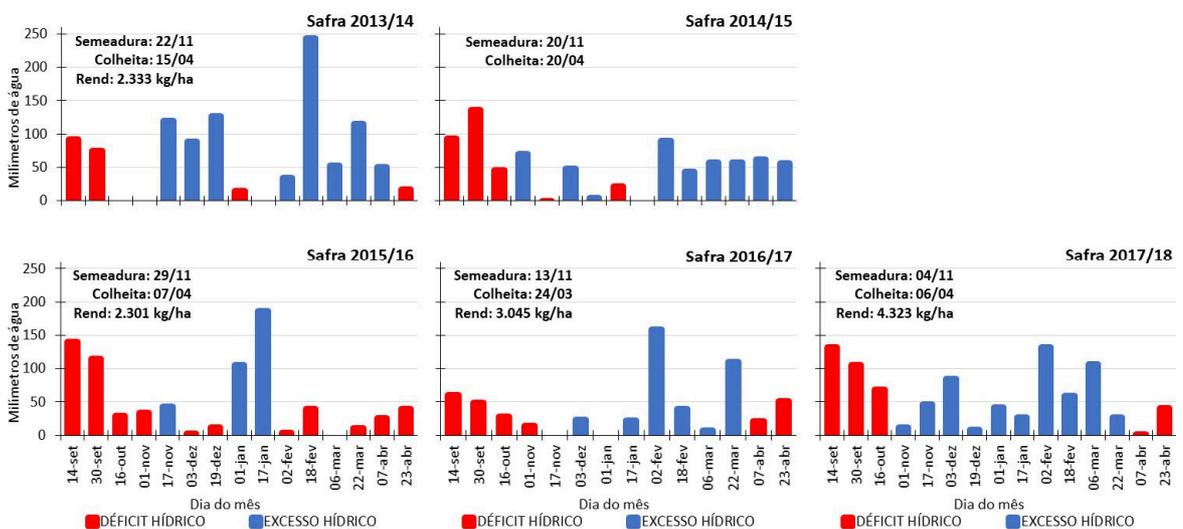


FIGURA 43. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Soja na Sede III da fazenda Palmares, Bahia.

## **b) Algodão**

A cultura do algodão possui um ciclo mais longo em relação à soja, próximo dos 200 dias, deixando a cultura exposta as condições meteorológicas por um longo período. Como o produto do algodoeiro é muito sensível a umidade, o excesso hídrico pode causar apodrecimento da pluma (MONTEIRO, 2009). Em função disso, o período de semeadura é definido da forma que a planta tenha condições hídricas adequadas ao seu crescimento durante a fase vegetativa, ao mesmo tempo que ao final do período reprodutivo, com a exposição da pluma, haja ausência de precipitação.

De forma a atender esta demanda, o ZARC estabelece que na Bahia a semeadura não deva ocorrer antes de novembro (CONAB, 2019). A fazenda Palmares prioriza que a semeadura fique dentro da primeira quinzena de dezembro, onde historicamente tem obtido os maiores rendimentos com o menor risco de perdas devido à precipitação tardia. A FIGURA 44 apresenta os excessos e déficits hídricos ocorridos nas dez safras da Sede II (a disponibilidade hídrica da Sede I não está apresentada neste item dado ao uso de irrigação), onde se observa grande variabilidade entre as safras, principalmente o que diz respeito aos déficits e excessos ocorridos no período chuvoso e na data de início da época seca. Os registros indicaram que o período inicial da fase seca já ocorreu em fevereiro (ocorrido em 2015/16) a maio (ocorrido em 2014/15).

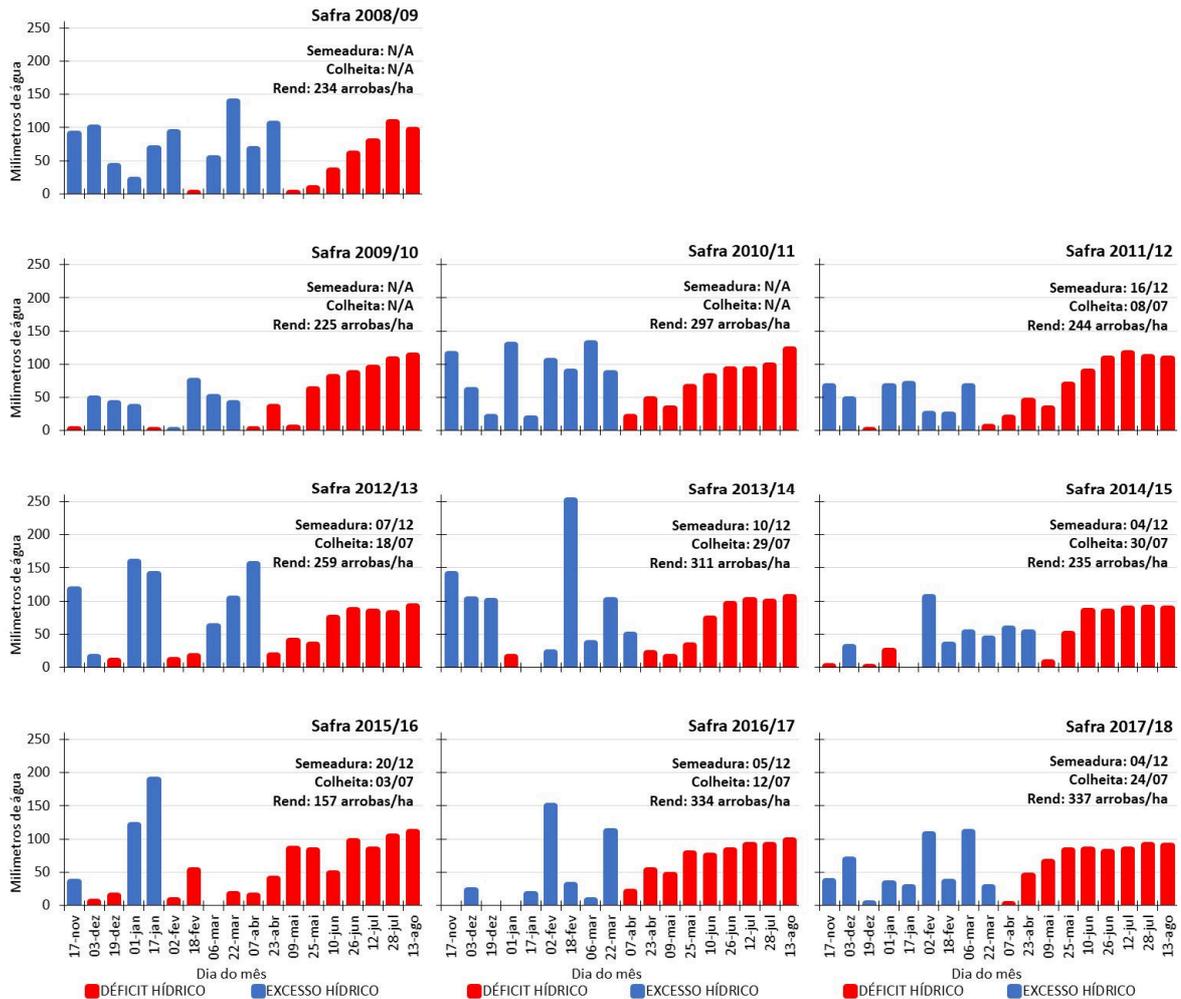


FIGURA 44. Déficit e Excesso hídrico registrado durante o ciclo da Algodão na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.

#### 4.2.4 NDVI - Perfis temporais dos talhões

##### a) Soja:

As variações do NDVI ao longo de todas as safras analisadas descreveram perfis temporais com padrões característicos de culturas anuais. Na fase inicial de implantação da cultura, o NDVI apresentou os índices mais baixos (entre 0,2 - 0,4), devido a uma porção maior de solo exposto e baixa biomassa da cultura (JENSEN, 2009) em relação à vegetação dentro do pixel. O NDVI tem seus valores aumentados à medida que a planta cresce e cobre completamente o solo, visto que o NDVI tem evidente associação com biomassa verde (JENSEN, 2009). Em geral, o ápice (NDVI máximo) é atingido próximo ao florescimento, quando todo o aparato fotossintético formado durante a fase vegetativa está formado (THOMAS & COSTA, 2010). Para cultura da soja na fazenda Palmares o NDVI máximo encontrado nos anos estudados foi em torno de 0,9. Na fase de enchimento de grão, o índice começa a cair, pois o processo de amarelamento das folhas inicia-se em função da translocação de nutrientes das folhas para os grãos, causando a redução da biomassa verde

(THOMAS & COSTA, 2010). Com a chegada da senescência, ocorre a desfolha e o solo volta a ficar exposto, fazendo com que o índice volte próximo aos valores iniciais.

Para a cultura da soja em diversas regiões de produção no Rio Grande do Sul, Fontana *et al.* (2015) observaram um padrão muito similar ao descrito. Os valores de NDVI foram próximos aos observados na região do presente estudo e também expressaram variabilidade entre as regiões e safras. Naquele trabalho, os autores utilizaram os perfis para inferir sobre as fases fenológicas da cultura da soja e salientaram a importância econômica da informação gerada, que contrasta com o reduzido custo de obtenção da mesma, visto que as imagens MODIS são gratuitas. Esta é uma informação relevante especialmente no contexto de extensas áreas, como é o caso do Oeste da Bahia.

O perfil temporal do NDVI é capaz de contar a “história” da safra e, portanto, expressa as diferenças entre regiões e entre safras (Martinko *et al.*, 2000). A variabilidade entre talhões em uma mesma safra pode ser avaliada pela diferença em cada data entre o valor do NDVI das duas linhas tracejadas, que representam o mínimo e máximo observado nos anos em estudos. A variabilidade entre safras pode ser vista na diferença entre a forma das linhas médias. Também é possível perceber diferenças entre as sedes da fazenda Palmares.

Na Sede I (FIGURA 45), com áreas irrigadas, o perfil do NDVI mostra variações mais suaves ao longo da safra e menos variável entre as safras. Este padrão contrasta com as demais sedes (FIGURA 46 e 47).

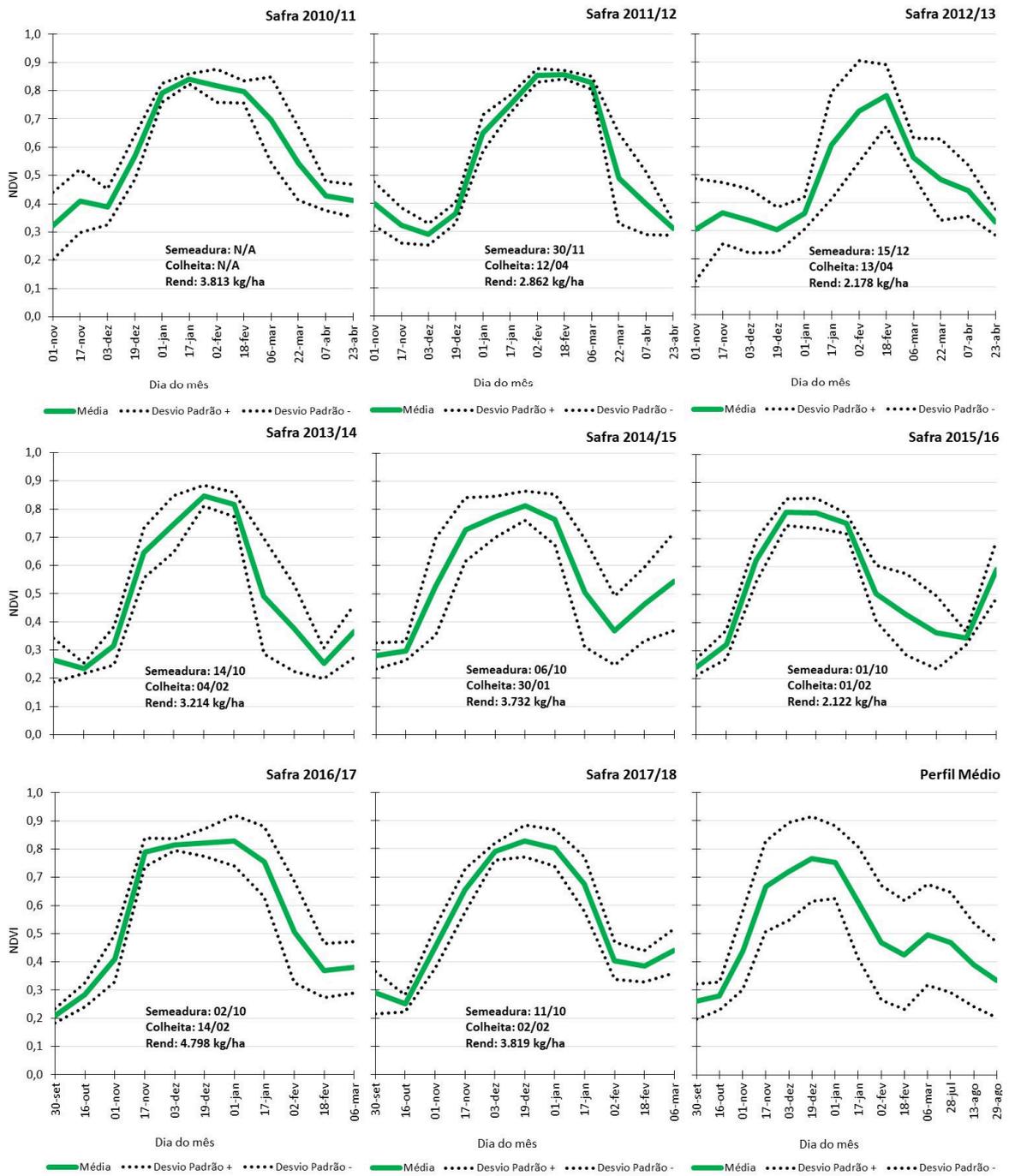


FIGURA 45. Perfil temporal de NDVI ao longo de oito safras de soja na Sede I da fazenda Palmares, Bahia.



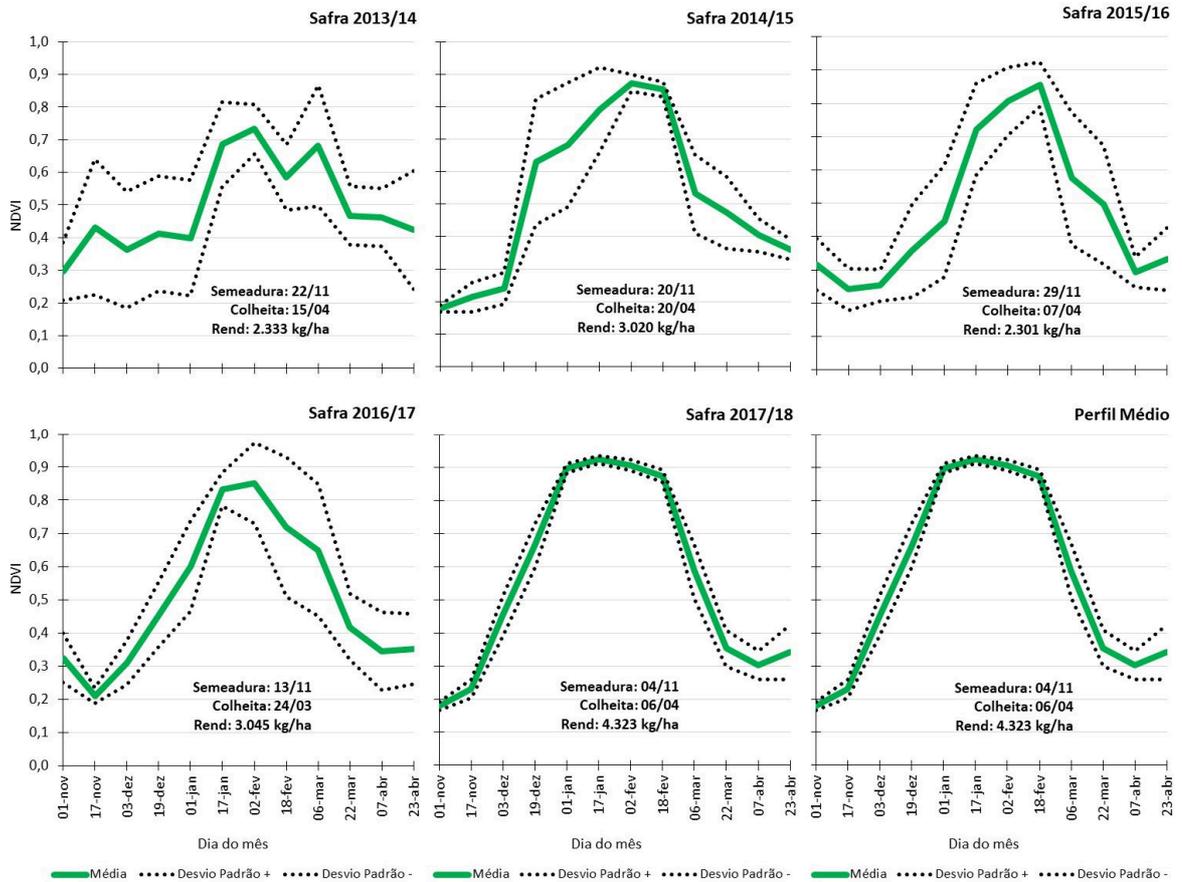


FIGURA 47. Perfil temporal de NDVI ao longo de cinco safras de soja na Sede III da fazenda Palmares, Bahia.

## b) Algodão

Para a cultura do algodão as características de variação ao longo do ciclo, expressas pelo NDVI, foram muito similares às observadas a cultura da soja. Da mesma forma, as fases iniciais apresentam os menores valores do índice. Durante a fase vegetativa, ocorreram aumentos dos valores gradativamente até alcançar seu ápice nas fases reprodutivas. O NDVI permanece alto por um período mais longo, até que o período de maturação fisiológica faça com que o índice volte a reduzir até o encerramento do ciclo.

A diferença mais evidente entre as duas culturas é a maior duração do ciclo do algodão e todas as inferências que a cultura pode sofrer devido ao maior tempo exposto a estresses bióticos e abióticos, que podem ou não alterar o pleno desenvolvimento da cultura, variando, assim, o NDVI ao longo do tempo (COUTO JÚNIOR; CARVALHO JUNIOR; MARTINS, 2013). Observando as FIGURAS 48 e 49, percebe-se variação nos índices ao longo das safras e entre as Sedes I e II.

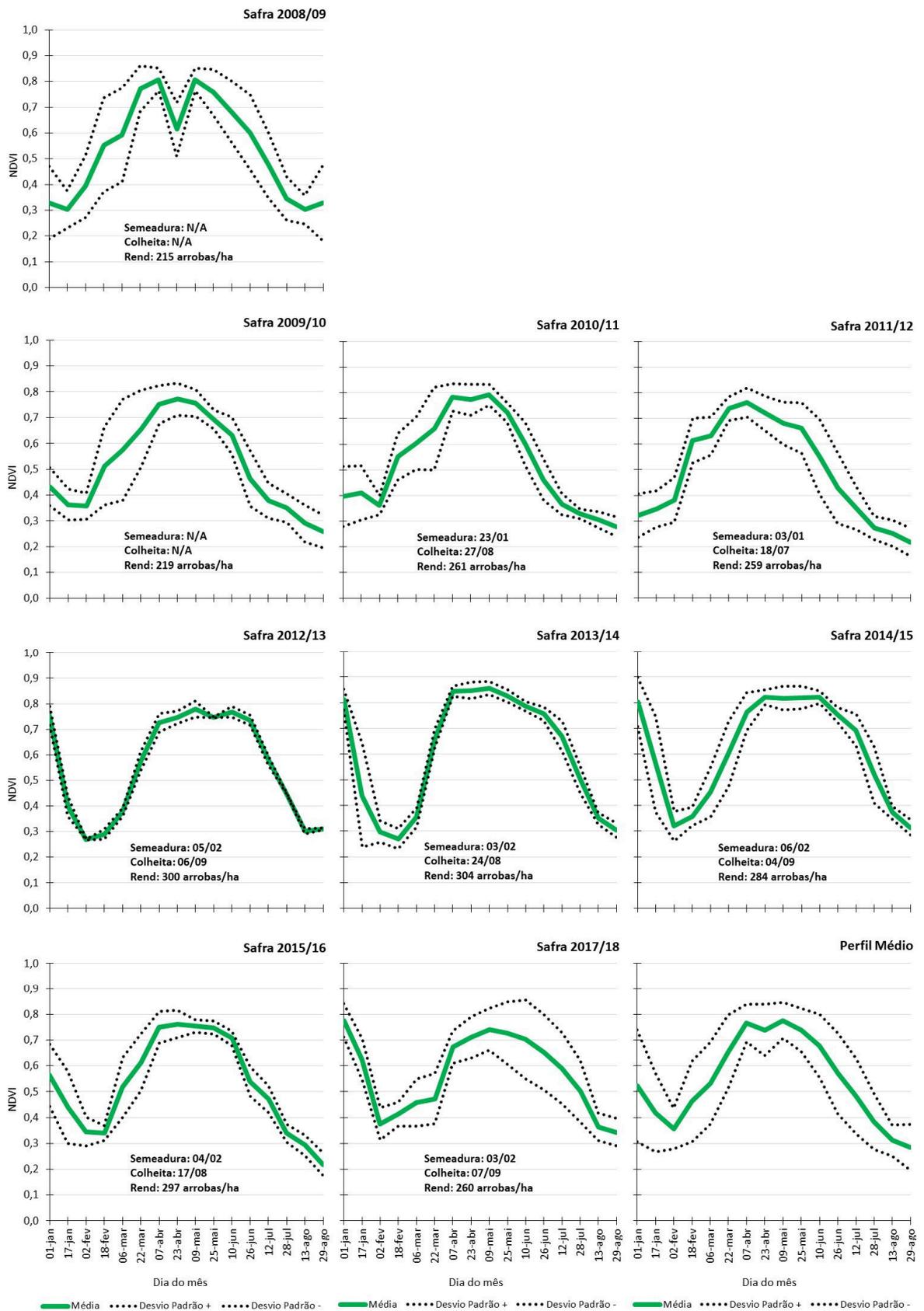


FIGURA 48. Perfil temporal de NDVI ao longo de nove Safras de Algodão na Sede I da fazenda Palmares, Bahia.

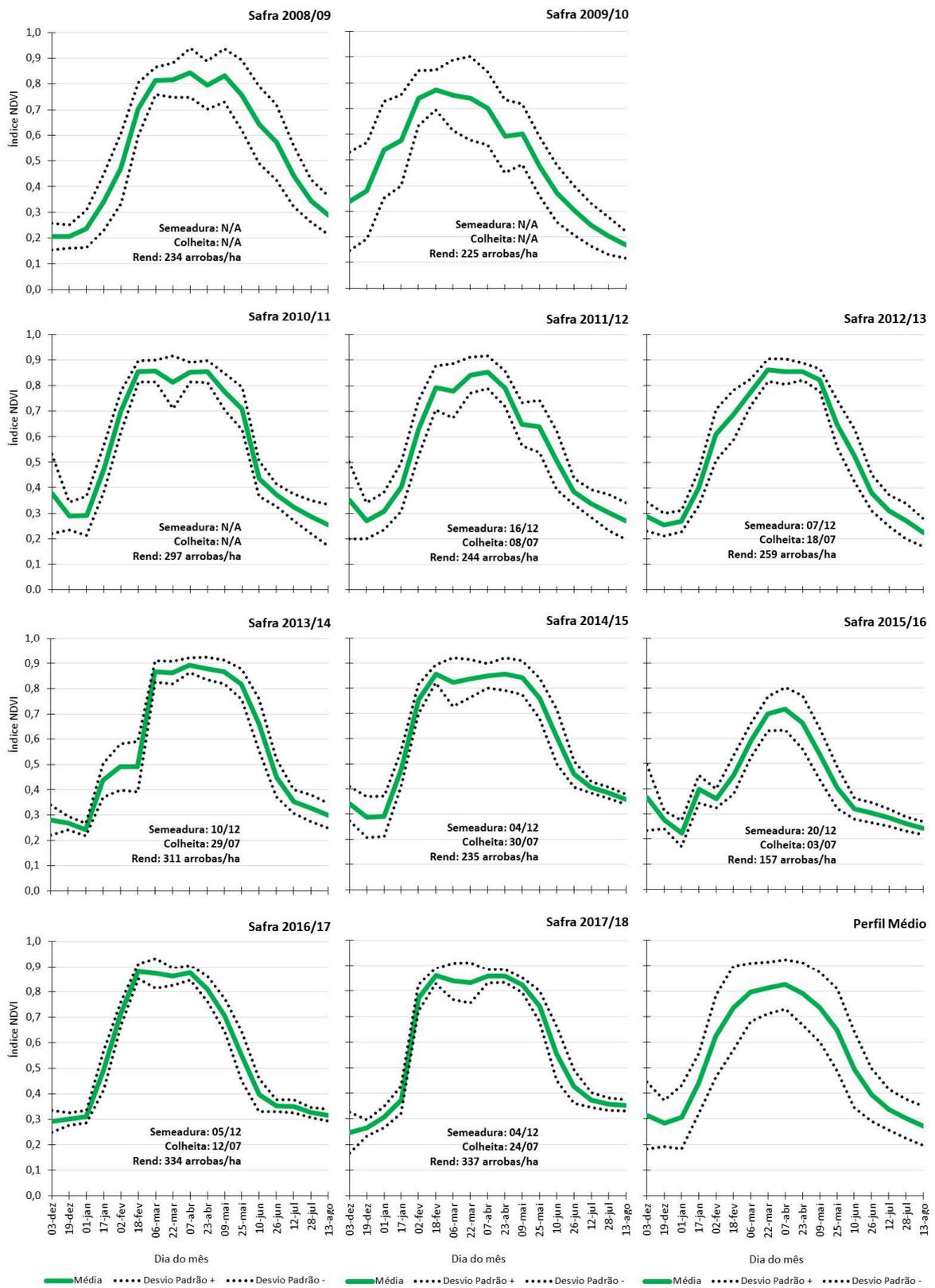


FIGURA 49. Perfil temporal de NDVI ao longo de dez Safras de Algodão na Sede II da fazenda Palmares, Bahia.

### 4.3 Relações e estudo de casos

#### 4.3.1 NDVI e dados do ciclo da cultura

A análise dos perfis temporais de NDVI permitiu acompanhar o ciclo das culturas em estudo e mostrou semelhança com outros autores para soja (FONTANA *et al.* 2015) e para o algodão (COUTO JÚNIOR; CARVALHO JUNIOR; MARTINS, 2013), que é possível fazer inferências sobre alguns parâmetros destas culturas para a região. As TABELAS 9 e 10 apresentam o comparativo entre o tamanho do ciclo determinado a partir do perfil de NDVI frente à informação obtida no campo para culturas da soja e do algodão, respectivamente, nas sedes da fazenda Palmares. Na análise de 278 talhões de soja e de 236 talhões de algodão em todas as safras estudadas, obteve-se coeficientes de correlação de 0,91 e 0,96 e de determinação de 0,82 e 0,92, respectivamente, evidenciando alta associação entre o ciclo determinado pelo NDVI e o obtido no campo.

As diferenças verificadas entre a duração do ciclo obtida com as duas culturas variaram de -5 a 9 dias na Sede I, de -2 a 4 dias na Sede II e -3 a 7 dias na Sede III.

Também se observa que o valor inicial e final do NDVI em todas as safras e sedes foi baixo. No início do ciclo da soja, o índice variou entre 0,18 e 0,30 e, no final, entre 0,31 e 0,40. Padrão similar foi constatado para o algodão, porém em grandezas um pouco diferentes, sendo que no início do ciclo o índice apresentou valores entre 0,27 e 0,38 e ao final entre 0,29 e 0,39. Estes valores evidenciam a presença de mistura de plantas e material não verde, definindo os baixos valores de NDVI no período de implantação e de senescência das plantas ao final do ciclo (JENSEN, 2009).

Estas informações reforçam que o NDVI é um indicador espectral do ciclo das culturas e pode fornecer informações úteis da presença da cultura em áreas extensas. Como, por exemplo, a utilização destas informações pode ser uma importante ferramenta adotada por órgãos competentes (governo, financiadores, seguradoras, etc.) para fiscalização das áreas agrícolas e afins. Exemplo desta possibilidade é a resolução nº 4.427, de 25 de junho de 2015 do Banco Central, a qual institui a fiscalização através de sensoriamento remoto, das áreas com financiamento agrícola superior à 40 mil reais. Na resolução, é recomendado o uso de imagens com resolução espacial de até 30 m. Para a região do oeste da BA, os resultados obtidos neste trabalho mostram que a resolução espacial do MODIS, de 250 m, é adequada ao atendimento da resolução na medida em que as áreas cultivadas são extensas e o perfil do NDVI indica a presença da cultura.

TABELA 9. Comparativo entre o ciclo da cultura da soja nas sedes I, II e III da fazenda Palmares estimado a partir do índice NDVI e dos dados de campo.

Sede	Safr	NDVI Início		NDVI Fim		NDVI (dias)	CAMPO (dias)	Diferença (dias)	Coeficiente Correlação	Coeficiente Determinação
		Data	Valor	Data	Valor					
I	2011/2012	07/12/2011	0,29	19/04/2012	0,31	134	133	-1		
I	2012/2013	12/10/2012	0,18	04/03/2013	0,29	143	137	-5		
I	2013/2014	09/10/2013	0,23	01/02/2014	0,26	115	112	-3		
I	2014/2015	07/10/2014	0,26	29/01/2015	0,35	114	116	3		
I	2015/2016	30/09/2015	0,24	31/01/2016	0,33	123	123	-1		
I	2016/2017	01/10/2016	0,21	14/02/2017	0,34	136	135	-1		
I	2017/2018	16/10/2017	0,25	09/02/2018	0,35	116	114	-2		
II	2011/2012	01/11/2011	0,23	15/03/2012	0,36	135	138	3		
II	2012/2013	06/11/2012	0,23	27/03/2013	0,40	141	145	4		
II	2013/2014	14/11/2013	0,28	11/04/2014	0,35	149	152	3	<b>0,91*</b>	<b>0,82</b>
II	2014/2015	01/11/2014	0,26	09/04/2015	0,36	159	158	0		
II	2015/2016	13/11/2015	0,29	19/03/2016	0,34	128	129	1		
II	2016/2017	08/11/2016	0,24	29/03/2017	0,39	142	144	2		
II	2017/2018	26/10/2017	0,22	28/03/2018	0,35	153	152	-1		
III	2013/2014	25/11/2013	0,26	10/04/2014	0,32	136	143	7		
III	2014/2015	12/11/2014	0,21	11/04/2015	0,36	150	152	1		
III	2015/2016	18/11/2015	0,24	30/03/2016	0,31	133	130	-3		
III	2016/2017	06/11/2016	0,27	16/03/2017	0,37	130	131	1		
III	2017/2018	30/10/2017	0,18	30/03/2018	0,37	152	153	1		

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 278)

TABELA 10. Comparativo entre o ciclo da cultura do algodão nas sedes I e II da fazenda Palmares estimado a partir do índice NDVI e dos dados de campo.

Sede	Safr	NDVI Início		NDVI Fim		NDVI (dias)	CAMPO (dias)	Diferença (dias)	Coeficiente Correlação	Coeficiente Determinação
		Data	Valor	Data	Valor					
I	2010/2011	14/01/2011	0,38	20/08/2011	0,29	218	216	-2		
I	2011/2012	25/12/2011	0,31	10/07/2012	0,33	197	197	0		
I	2012/2013	02/02/2013	0,27	29/08/2013	0,31	208	213	5		
I	2013/2014	25/01/2014	0,34	17/08/2014	0,35	204	202	-2		
I	2014/2015	27/01/2015	0,36	29/08/2015	0,36	213	210	-3		
I	2015/2016	26/01/2016	0,36	09/08/2016	0,30	196	195	-2		
I	2017/2018	02/02/2018	0,42	29/08/2018	0,33	208	217	9		
II	2010/2011	09/12/2010	0,31	21/07/2011	0,31	224	228	4	<b>0,96*</b>	<b>0,92</b>
II	2011/2012	11/12/2011	0,28	02/07/2012	0,37	204	205	1		
II	2012/2013	29/11/2012	0,30	09/07/2013	0,34	222	223	1		
II	2013/2014	04/12/2013	0,27	22/07/2014	0,36	230	231	0		
II	2014/2015	27/11/2014	0,35	23/07/2015	0,38	238	238	0		
II	2015/2016	11/12/2015	0,28	26/06/2016	0,30	198	196	-2		
II	2016/2017	29/11/2016	0,30	03/07/2017	0,35	216	218	2		
II	2017/2018	27/11/2017	0,27	16/07/2018	0,36	231	232	1		

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 236)

### 4.3.2 NDVI e disponibilidade hídrica

As TABELAS 11 a 16 apresentam o NDVI acumulado nas fases vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo frente ao acumulado da precipitação pluvial, déficit e

excesso hídrico ocorrido nestes períodos para as culturas da soja e algodão. Os dados sobre as áreas irrigadas da fazenda Palmares (Sede I) não são apresentadas pois não foi possível obter as lâminas de água aplicadas ao longo das safras.

Correlações significativas e coerentes com o esperado ocorreram com a precipitação pluvial para ambas as culturas (TABELAS 11 e 12). Em todos os períodos, a correlação foi positiva, indicando que quanto mais água no sistema, maior o crescimento das plantas e maior o NDVI acumulado (FONTANA *et al.*, 2015). As correlações no algodão foram maiores que na soja na fase vegetativa, com 0,73 contra 0,40, na fase reprodutiva os valores foram muito próximos 0,63 e 0,64 e para o ciclo total voltou a ser superior no algodão, alcançando 0,45 contra 0,28. Isto ocorre porque o consumo de água da cultura do algodão é maior que o da soja. A necessidade hídrica diária é crescente até a abertura do primeiro capulho (início da exposição da pluma), que ocorre somente após 100 dias da semeadura (MONTEIRO, 2009).

TABELA 11. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e a Precipitação Pluvial acumulada na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safr	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação			
II	2011/2012	3,55	692,43	1,83	304,55	5,38	996,98			
II	2012/2013	3,34	915,57	1,54	431,29	4,88	1.346,86			
II	2013/2014	3,43	920,57	1,87	458,17	5,30	1.378,75			
II	2014/2015	3,98	755,69	2,23	408,19	6,21	1.163,89			
II	2015/2016	2,96	743,84	1,76	164,72	4,72	908,56			
II	2016/2017	3,76	696,72	1,77	279,49	5,52	976,21			
II	2017/2018	3,94	788,30	2,12	391,22	6,06	1.179,52	<b>0,40*</b>	<b>0,64*</b>	<b>0,28*</b>
III	2013/2014	3,68	964,61	1,28	353,52	4,96	1.318,14			
III	2014/2015	3,34	567,15	2,49	510,61	5,84	1.077,76			
III	2015/2016	3,56	731,43	1,34	145,15	4,91	876,58			
III	2016/2017	3,31	638,03	1,81	305,96	5,12	944,00			
III	2017/2018	3,47	693,64	2,80	539,05	6,28	1.232,69			

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 182)

TABELA 12. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e a Precipitação Pluvial acumulada na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safr	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Precipitação			
II	2011/2012	4,58	691,61	3,54	112,45	8,12	804,07			
II	2012/2013	4,76	1.080,31	3,83	177,14	8,59	1.257,45			
II	2013/2014	4,44	1.113,28	4,63	151,63	9,07	1.264,91			
II	2014/2015	4,84	818,31	4,95	231,11	9,79	1.049,41	<b>0,73*</b>	<b>0,63*</b>	<b>0,45*</b>
II	2015/2016	2,72	572,47	3,44	241,57	6,09	802,60			
II	2016/2017	4,16	732,33	4,48	223,01	8,62	949,94			
II	2017/2018	4,52	858,92	4,78	117,53	9,30	976,45			

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 176)

Na análise de excesso hídrico para soja (TABELAS 13), apenas a correlação na fase reprodutiva foi significativa (0,43), o que é coerente, com a maior necessidade hídrica desta cultura coincidir com o enchimento de grãos (MONTEIRO, 2009). Para o algodão, as correlações (TABELA 14) foram significativas em todos os períodos, com valores de 0,48 na fase vegetativa, 0,62 na fase reprodutiva e 0,35 considerando o ciclo todo. Percebe-se que para o algodão os valores acumulados de excesso hídrico foram menores em comparação com a soja, o está associado a data de semeadura mais tardia, o que faz com que a parte final do ciclo ocorra na estação seca.

TABELA 13. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Excesso Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safrá	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso			
II	2011/2012	3,55	319,86	1,83	123,41	5,38	443,27			
II	2012/2013	3,34	481,20	1,54	240,61	4,88	721,82			
II	2013/2014	3,43	486,69	1,87	278,70	5,30	765,40			
II	2014/2015	3,98	201,56	2,23	190,93	6,21	392,50			
II	2015/2016	2,96	340,70	1,76	0,00	4,72	340,70			
II	2016/2017	3,76	191,58	1,77	128,38	5,52	319,96			
II	2017/2018	3,94	284,00	2,12	197,78	6,06	481,78	0,03 <sup>ns</sup>	0,43*	-0,05 <sup>ns</sup>
III	2013/2014	3,68	518,08	1,28	224,97	4,96	743,05			
III	2014/2015	3,34	133,89	2,49	263,02	5,84	396,91			
III	2015/2016	3,56	320,13	1,34	0,00	4,91	320,13			
III	2016/2017	3,31	168,73	1,81	152,98	5,12	321,71			
III	2017/2018	3,47	233,91	2,80	304,29	6,28	538,20			

“\*” e “ns”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 182)

TABELA 14. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Excesso Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safrá	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Excesso			
II	2011/2012	4,58	265,32	3,54	9,59	8,12	274,91			
II	2012/2013	4,76	566,51	3,83	93,37	8,59	659,88			
II	2013/2014	4,44	628,38	4,63	33,73	9,07	662,11			
II	2014/2015	4,84	272,67	4,95	105,95	9,79	378,63	0,48*	0,62*	0,35*
II	2015/2016	2,72	242,43	3,44	67,89	6,09	310,32			
II	2016/2017	4,16	251,90	4,48	86,70	8,62	338,60			
II	2017/2018	4,52	389,50	4,78	36,70	9,30	426,21			

“\*” e “ns”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 176)

Na análise do déficit hídrico (TABELAS 15 e 16), espera-se que quanto maior o déficit menor o crescimento e, portanto, menor o NDVI (FONTANA et al. 2015). Isto foi observado só no ciclo completo na soja. Para o algodão, o déficit hídrico é benéfico na fase final do ciclo, pois, a semeadura é realizada de modo que se reduza a possibilidade do

molhamento da pluma. A correlação mostrou-se positiva em 0,45 e significativa, mas, mesmo que para a qualidade do produto seja melhor em presença de déficit, não explica a relação diretamente proporcional entre déficit e NDVI.

Durante todos os anos estudados, em média, para o algodão a maior parte do déficit (92%) ocorreu na fase final. Na fase vegetativa, para ambas as culturas, ocorreu o inverso do esperado, com correlação positiva e significativa (0,21) para soja e positiva não significativa para o algodão (0,17). Explicar o porquê disso é complexo, mas parte pode decorrer do balanço hídrico ter sido feito com acumulados de 16 dias, não representando de forma adequada o déficit hídrico ou também a CAD constante ao longo do ciclo de 75 mm assumida no trabalho pode estar subestimando o armazenamento de água no solo, o que faz com que os déficits obtidos sejam menores do que os experimentados pelas plantas. Estes são aspectos que devem ser melhor analisados em trabalhos futuros.

Em todas as relações estabelecidas entre o NDVI e indicadores da condição hídrica a ocorrência de nuvens é algo que também deve ser melhor estudado. A presença de nuvens pode trazer ruídos nas imagens, com reduções no NDVI, ou mesmo a presença mais constante de nebulosidade pode limitar o crescimento das plantas, o que também reduz o NDVI.

TABELA 15. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Déficit Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo da Soja nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safr	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		∑ NDVI	∑ Déficit	∑ NDVI	∑ Déficit	∑ NDVI	∑ Déficit			
II	2011/2012	3,55	0,03	1,83	4,49	5,38	4,52	0,21*	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,27*
II	2012/2013	3,34	27,16	1,54	9,74	4,88	36,90			
II	2013/2014	3,43	15,38	1,87	11,25	5,30	26,62			
II	2014/2015	3,98	35,65	2,23	0,00	6,21	35,65			
II	2015/2016	2,96	32,27	1,76	65,33	4,72	97,60			
II	2016/2017	3,76	29,30	1,77	12,15	5,52	41,45			
II	2017/2018	3,94	27,98	2,12	0,58	6,06	28,56			
III	2013/2014	3,68	13,99	1,28	7,65	4,96	21,64			
III	2014/2015	3,34	21,65	2,49	0,00	5,84	21,65			
III	2015/2016	3,56	60,99	1,34	33,34	4,91	94,33			
III	2016/2017	3,31	31,66	1,81	4,56	5,12	36,22			
III	2017/2018	3,47	7,57	2,80	4,81	6,28	12,38			

\* \* e " ns ": significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 182)

TABELA 16. Correlação de Pearson entre o NDVI acumulado e o Déficit Hídrico acumulado na fase vegetativa, reprodutiva e no ciclo completo do Algodão nas áreas de sequeiro da fazenda Palmares.

Sede	Safrá	Fase Vegetativa		Fase Reprodutiva		Ciclo Completo		Correlação Fase Vegetativa	Correlação Fase Reprodutiva	Correlação Ciclo Completo
		$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Déficit	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Déficit	$\Sigma$ NDVI	$\Sigma$ Déficit			
II	2011/2012	4,58	18,80	3,54	397,44	8,12	416,24			
II	2012/2013	4,76	43,60	3,83	319,65	8,59	363,26			
II	2013/2014	4,44	17,79	4,63	403,09	9,07	420,87			
II	2014/2015	4,84	26,08	4,95	391,60	9,79	417,68	0,17 <sup>ns</sup>	0,45*	0,38*
II	2015/2016	2,72	78,44	3,44	386,98	6,09	463,82			
II	2016/2017	4,16	29,14	4,48	391,62	8,62	420,76			
II	2017/2018	4,52	11,89	4,78	461,91	9,30	473,80			

\* \* e " ns ": significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. (n 176)

### 4.3.3 NDVI e rendimento

Durante o período de desenvolvimento vegetativo, as plantas acumulam o máximo de biomassa verde, pois é nesta fase que ocorre a formação de todo aparato fotossintético e a determinação do número potencial de gemas meristemáticas, onde as estruturas reprodutivas irão se desenvolver (THOMAS & COSTA, 2010). Como o NDVI é um índice que possui alta associação com o acúmulo de biomassa (ALMEIDA, 2008; PINTO *et al.*, 2017), na TABELA 17 foi comparado ao índice NDVI, acumulado em diferentes períodos do ciclo, em relação ao rendimento de grãos obtido em cada talhão de soja ao longo do período estudado.

Verifica-se que, para ambas culturas, as correlações foram baixas no início de ciclo, inclusive negativas em alguns casos. Após, à medida que a cultura se estabelece, o NDVI por a ser um eficiente indicador do crescimento das plantas (RIZZI *et al.*, 2008; RISSO *et al.*, 2009), a correlação com o rendimento de grãos assume valores maiores.

Para a Sede I, o acumulado até 18 de fevereiro foi o que apresentou melhor associação, alcançando uma correlação de Pearson de 0,70 em 95 registros. A Sede II, em 198 registros, apresentou sua melhor correlação, 0,61, até o dia 06 de março. A Sede III, por ser mais jovem possui apenas 43 registros, mas obteve a melhor correlação entre as sedes, 0,88 no acumulado até os dias 18 de fevereiro e 06 de março. Como as áreas da fazenda são divididas em áreas irrigadas e em sequeiro, também foi correlacionado a união das Sedes II e III, obtendo a melhor correlação até o dia 06 de março, 0,65. A Sede I não foi agregada a análise conjunta porque possui época de semeadura distinta das outras sedes.

Na série de dados correspondente a cultura do algodão (TABELA 18) os resultados foram similares com os da soja, mas em períodos posteriores. Na Sede I o período que melhor se associou ao rendimento foi até o mês de junho, com correlação de 0,66. Já para Sede II

os acumulados que tiveram melhor associação ficaram até os dias 25 de maio e 10 de junho, obtendo correlação de 0,71.

Estes resultados tornam evidentes dois aspectos relevantes no contexto do monitoramento de culturas. Primeiro, que o NDVI isoladamente é uma variável chave a ser utilizada na modelagem de grãos, visto que pode explicar grande parte da variabilidade nos rendimentos observados entre os talhões. Segundo, que a alta correlação observada entre o rendimento de grão e o NDVI acumulado em parte do ciclo, de ambas culturas, indica que é possível ajustar modelos de previsão, ou seja, obter valores de rendimento com antecedência à colheita. Testes similares foram realizados, entre outros, no estudo de Klering *et al.* (2016) como subsídio a modelagem de previsão de safra de arroz, e de Junges & Fontana (2011) para o trigo no RS.

TABELA 17. Correlação de Pearson entre o rendimento de grãos de soja e o NDVI acumulado em diferentes períodos durante o ciclo.

Sede I (n 95)	Sede II (n 198)	Sede III (n 43)	Sede II + III (n 241)	Período de NDVI acumulado
0,26 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,43*	-0,19*	01/11 + 17/11
0,36*	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	01/11 + 17/11 + 03/12
0,42*	0,17 <sup>ns</sup>	0,39*	0,21*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12
0,52*	0,39*	0,72*	0,44*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01
0,62*	0,45*	0,79*	0,51*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01
0,68*	0,50*	0,85*	0,56*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02
0,70*	0,58*	0,88*	0,63*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02
0,62*	0,61*	0,88*	0,65*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03
0,58*	0,55*	0,84*	0,59*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03
0,54*	0,48*	0,83*	0,53*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04
0,51*	0,42*	0,81*	0,47*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04
0,48*	0,37*	0,78*	0,42*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05
0,47*	0,34*	0,76*	0,39*	01/11 + 17/11 + 03/12 + 19/12 + 01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

TABELA 18. Correlação de Pearson entre o rendimento de algodão em caroço e o NDVI acumulado em diferentes períodos durante o ciclo.

Sede I (n 90)	Sede II (n 227)	Período de NDVI acumulado
0,13 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	01/01 + 17/01
0,15 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	01/01 + 17/01 + 02/02
0,17 <sup>ns</sup>	0,27*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02
0,24 <sup>ns</sup>	0,40*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03
0,32*	0,46*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03
0,38*	0,54*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04
0,49*	0,62*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04
0,54*	0,68*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05
0,60*	0,71*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05
0,65*	0,71*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06
0,66*	0,70*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06
0,64*	0,68*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07
0,61*	0,67*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07 + 28/07
0,58*	0,67*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07 + 28/07 + 13/08
0,55*	0,66*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07 + 28/07 + 13/08 + 29/08
0,52*	0,65*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07 + 28/07 + 13/08 + 29/08 + 14/09
0,49*	0,64*	01/01 + 17/01 + 02/02 + 18/02 + 06/03 + 22/03 + 07/04 + 23/04 + 09/05 + 25/05 + 10/06 + 26/06 + 12/07 + 28/07 + 13/08 + 29/08 + 14/09 + 30/09

“ \* ” e “ ns ”: significativo e não significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

### 4.3.4 Estudo de caso

Como os perfis temporais reconhecidamente registram a história do desenvolvimento das lavouras (Martinko *et al.*, 2000), se torna possível através da análise destes, acompanhar o ciclo e identificar anomalias. Este foi o objetivo das análises feitas neste estudo de caso, tendo como pressuposto que o índice NDVI pode ser usado para o gerenciamento e monitoramento de propriedades. A FIGURA 50 mostra, como exemplo, os perfis de NDVI associados a semeaduras de soja dos talhões da Sede III da fazenda Palmares em duas safras contrastantes em termos de disponibilidade de água, 2015/16 e 2017/18.

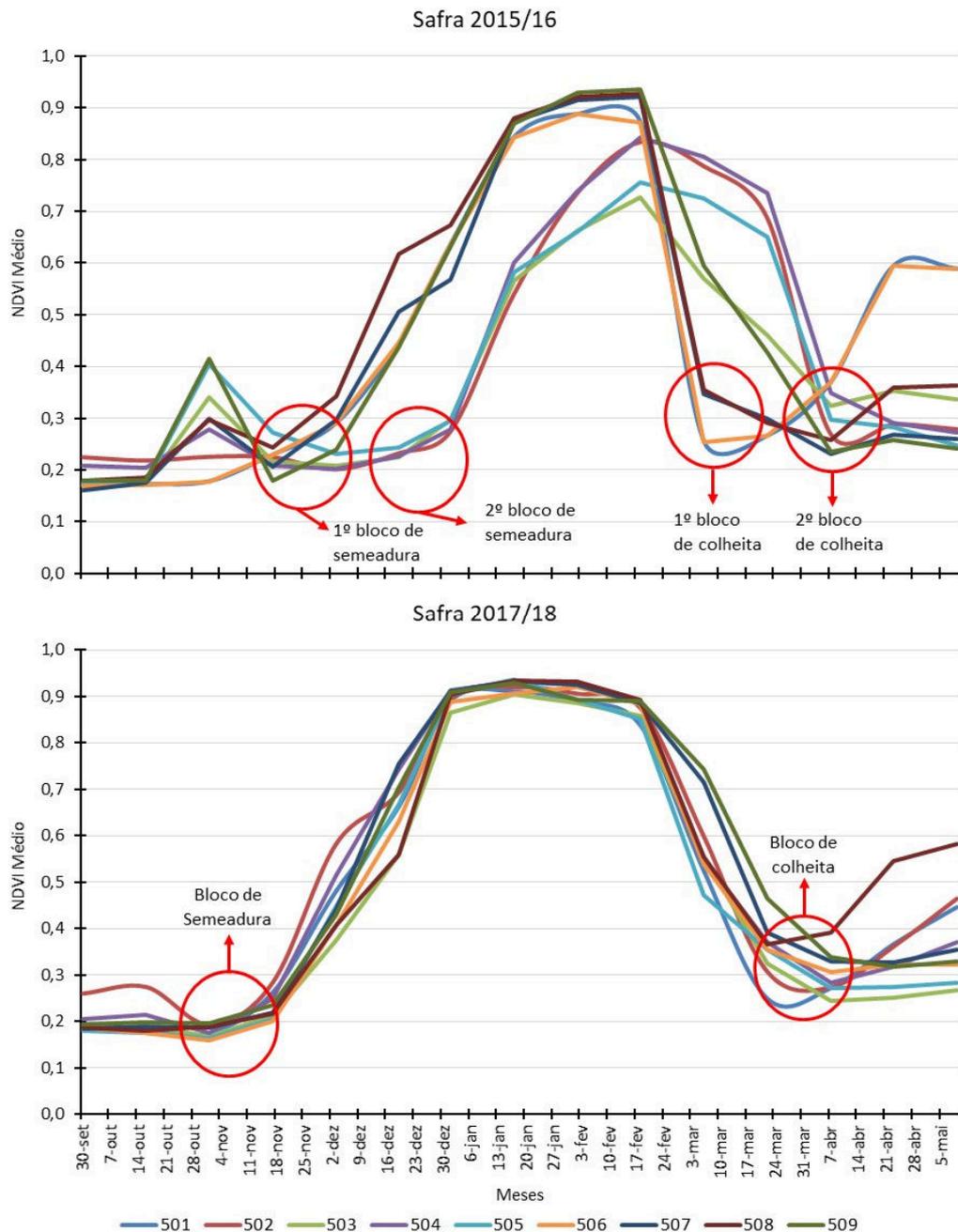


FIGURA 50. Perfil temporal de NDVI ao longo da safra de soja na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18, cada linha representando um talhão.

Na safra 2015/16, foi possível identificar os dois momentos de semeadura e de colheita que ocorreram na propriedade. Também, a falta de uniformidade nos perfis de alguns talhões indica a ocorrência de estresses ou problemas no desenvolvimento das plantas. Pode-se inferir que, por ter atingido picos mais elevados de NDVI, os talhões que foram semeados no primeiro bloco tenham obtido um melhor desempenho produtivo frente às do segundo bloco. Neste, além do NDVI máximo ter sido menor, também se observa maior variabilidade entre os talhões.

O perfil da safra 2017/18 apresentou maior uniformidade entre os talhões e maior tempo de permanência em NDVI máximo, o que indica um desenvolvimento ótimo da cultura (FONTANA *et al.*, 2015) e, possivelmente, um maior rendimento ao final da safra.

A condição hídrica afeta todas as fases da cultura (HOOGENBOOM, 2000), sendo que tanto o excesso como a falta de água levam a redução do rendimento das culturas (MONTEIRO, 2009). Acompanhar e caracterizar o que aconteceu em diferentes safras, assim com o rendimento de grãos obtido, pode auxiliar no entendimento das perdas, quer sejam por excesso ou por falta de água, principalmente se a informação estiver espacializada, por talhão. Novamente, usando como exemplo os talhões de soja da Sede III da fazenda Palmares, a FIGURA 51 apresenta os totais de precipitação pluvial durante o período reprodutivo e de enchimento de grãos nestas safras. Verifica-se importante variabilidade entre os meses, assim como entre os talhões.

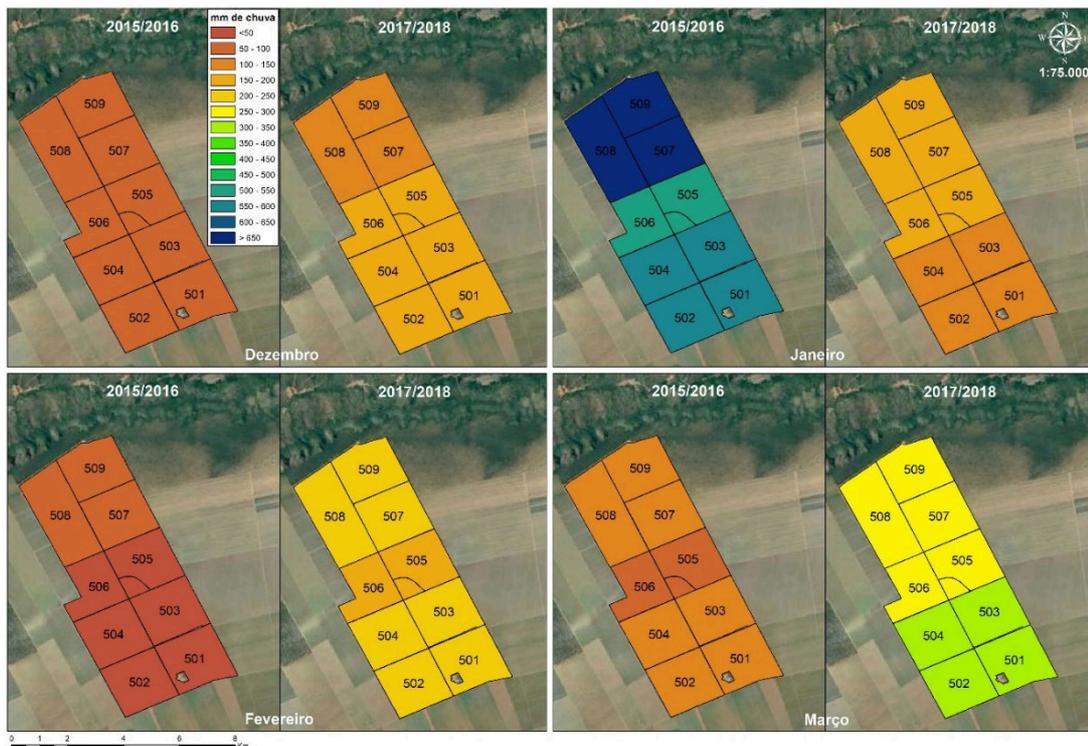


FIGURA 51. Precipitação pluvial acumulada por talhão para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18.

No início do ciclo as duas safras se diferenciaram. Em dezembro, na safra 2015/16, choveu cerca de 65 a 100 mm, quantia bem inferior à média histórica de 210 mm. Neste mês, as restrições hídricas podem implicar em redução no potencial produtivo da cultura, pois influenciam na uniformidade da população de plantas (MONTEIRO, 2009). Por outro lado, na safra 2017/18 choveu cerca de 140 a 165 mm, quantia adequada o desenvolvimento da cultura (MONTEIRO, 2009).

Na safra 2015/16, o mês de janeiro foi extremamente chuvoso, acumulando entre 550 a 700 mm, quando a média histórica é de cerca de 180 mm. O excesso de chuvas e dias nublados podem prejudicar a fotossíntese, o arejamento do solo, o desenvolvimento de raízes e a fixação de nitrogênio, causando anomalias no desenvolvimento e reduzindo rendimento de grãos (MONTEIRO, 2009). Os talhões plantados ainda em novembro tenderam a ser menos prejudicados por estarem em um estágio fenológico mais avançado do que os plantados em dezembro. Em contrapartida, a safra 2017/18 apresentou um acumulado entre 140 e 200 mm, o que é adequado para o período (MONTEIRO, 2009).

Historicamente, no mês de fevereiro, na região observa-se a menor média de precipitação da estação chuvosa, cerca de 140 mm, mas as duas safras analisadas apresentaram padrões bem distintos. Em 2015/16 ocorreu uma grande estiagem que durou o mês todo, com acumulados entre 40 e 60 mm, causando, desta vez, estresse por restrição hídrica. Já na safra 2017/18, ocorreram entre 190 e 220 mm, tornando menos provável a ocorrência de estresse por falta de água, o que é normal para o período na região.

O mês de março possui média histórica de 170 mm de chuva para a região. A safra 2015/16 foi verificado entre 90 e 150 mm, ficando novamente abaixo da média, sendo insuficiente para a recuperação dos estresses ocorridos anteriormente. Em contraponto, a safra 2017/18 se observou 290 a 320 mm, quantia que favoreceu o pleno enchimento dos grãos.

Agregando as informações discutidas anteriormente com a FIGURA 50 e 51, pode-se dizer que as hipóteses apresentadas podem ser comprovadas através dos mapas de rendimento de grãos (FIGURA 52) que mostram grandes diferenças entre essas duas safras. Na safra 2015/16 os talhões tiveram um pior resultado, com produção média de 2.280 kg/ha, sendo que o pior talhão produziu cerca de 900 kg/ha e o melhor, cerca de 3.240 kg/ha. A produção foi menor justamente nos talhões que foram plantados mais tarde, em dezembro. A safra 2017/18 foi excepcional, a produção média obtida foi de 4.320 kg/ha, sendo que o pior talhão produziu cerca de 3.720 kg/ha e o melhor, cerca de 4.860 kg/ha.

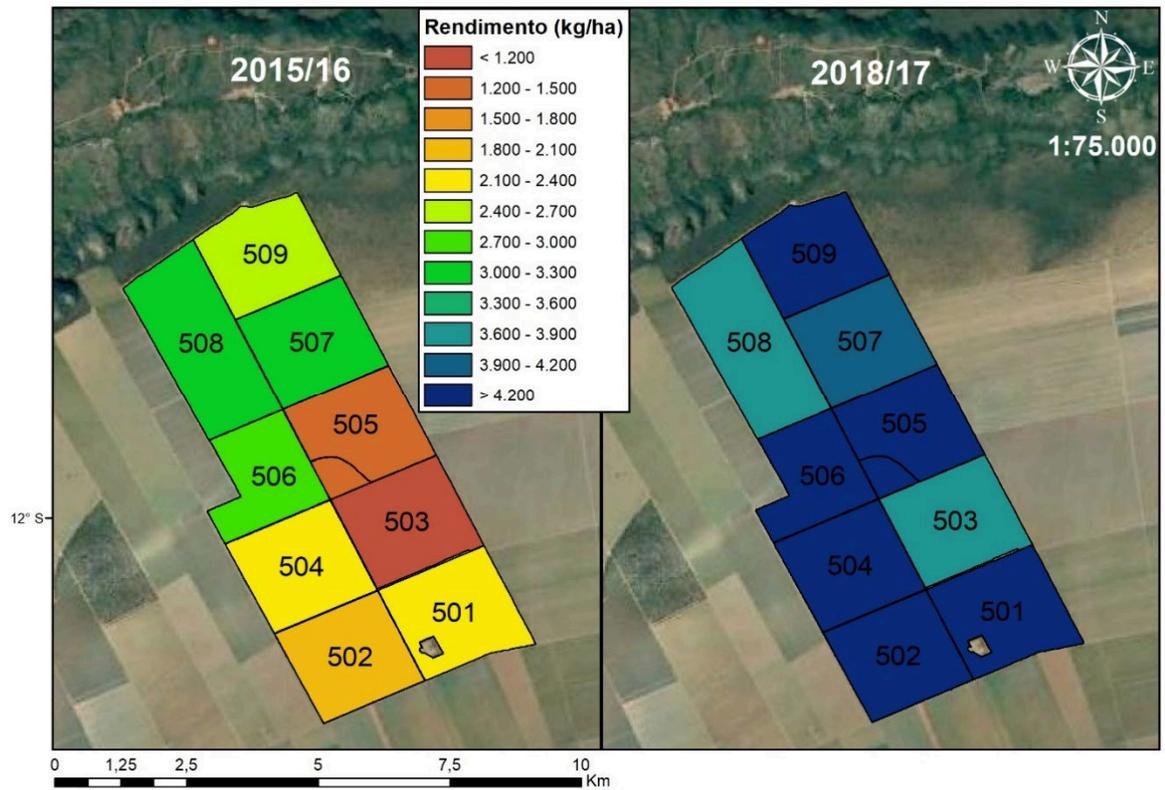


FIGURA 52. Rendimento de grãos de soja por talhão na Sede III da fazenda Palmares nas safras 2015/16 e 2017/18.

## 5 CONCLUSÕES

Os dados meteorológicos estimados pela reanálise ERA Interim são úteis para estudos climatológicos em vastas regiões de produção onde há carência de dados observados em superfície, como é o caso do oeste da Bahia. A grade de  $0,125^\circ \times 0,125^\circ$  mostra-se adequada para o representar a variabilidade espacial dos elementos meteorológicos precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar, com representatividade espacial muito superior a possível quando se usa dados de estações meteorológicas. Somente o elemento velocidade do vento não apresenta boa associação com os dados das estações meteorológicas convencionais.

Com as imagens MODIS é possível caracterizar a variabilidade no tempo e no espaço da produção agrícola na região do oeste da Bahia. Os perfis temporais de NDVI podem distinguir as culturas da soja e do algodão, assim como diferenciar as condições de crescimento entre as safras.

As informações obtidas com base nas áreas de lavouras comerciais são uma importante fonte de dados que podem ser usadas como referência para o entendimento de padrões em estudos agrícolas que envolvam imagens orbitais.

Com o índice NDVI é possível determinar o tamanho do ciclo das culturas da soja e algodão, identificando a época de semeadura e de colheita para cada talhão, duração do ciclo, assim como identificar possíveis anomalias na semeadura ou no ciclo das mesmas.

O ciclo das culturas da soja e algodão coincidem com a estação chuvosa no oeste da Bahia, existindo, de forma geral, correlação entre o índice NDVI e indicadores da condição hídrica das lavouras. Para a precipitação pluvial e excesso hídrico, a correlação é diretamente proporcional.

A correlação entre o NDVI acumulado ao longo do ciclo e o rendimento das culturas é alta, o que evidencia que o índice NDVI isoladamente é uma variável chave a ser utilizada na modelagem de grãos. Dado que o NDVI explica grande parte da variabilidade nos rendimentos observados entre os talhões, é recomendado seu uso no ajuste de modelos de previsão, ou seja, para obter estimativas de rendimentos com antecedência à colheita.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABAPA - ASSOCIAÇÃO BAIANA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Abapa informa**. Barreiras, 2017. Disponível em: <https://www.abapa.com.br/informativo-mensal>. Acesso em: 25 set. 2017.
- AIBA - ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA. **Anuário da região oeste da Bahia Safra 2010/11**. Barreiras, 2011. Disponível em: [http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2013/11/anuario\\_oeste\\_bahia\\_2011.pdf](http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2013/11/anuario_oeste_bahia_2011.pdf). Acesso em: 25 set. 2017.
- ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. 1998. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and drainage paper, 56). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- ALMEIDA, T. S. **Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo de solo**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSSON, E.; THÉPAUT, J. N. ECMWF's 4D-Var data assimilation system – the genesis and ten years in operations. **ECMWF Newsletter**, Reading, n. 115, p. 2-12, Spring 2008. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2008/17509-ecmwfs-4d-var-data-assimilation-system-genesis-and-ten-years-operations.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 125 p.
- CAMARGO, A. P. *et al.* Aptidão climática de culturas agrícolas. *In*: ZONEAMENTO agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1974. v.1, p. 109-149.
- CAMARGO, A. P. *et al.* Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília, DF. [**Anais...**]. São Paulo: USP, 1977. p. 89-105.

CHANSELME, J.; BACHELIER, B. Preservação da qualidade da fibra exige cuidados. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 6, p. 103-106, 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/edicoes/algodao>. Acesso em: 8 nov. 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil 2019**. Brasília, [2019]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes>. Acesso em: 30 jun. 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras**. Brasília, DF, [2018]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 2 maio 2018.

COSTI, J. **Estimativa do derretimento e descarga de água na porção norte da península antártica**. 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

COUTO JÚNIOR, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS para caracterização fenológica do algodão. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 1, p. 199-210, 2013.

DIDAN, K. *et al.* **MODIS vegetation index user's guide: (MOD13 series): version 3.00.: collection 6**. Tucson: The University of Arizona, Jun. 2015. Disponível em: [https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS\\_VI\\_UsersGuide\\_June\\_2015\\_C6.pdf](https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_June_2015_C6.pdf). Acesso em: 1º out. 2017.

ECMWF - EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. **Research – Data assimilation**. Reading, [2017]. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation/observations>. Acesso em: 1º out. 2017.

EMBRAPA Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2008**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2008. 280 p. (Embrapa Soja, n. 12).

FARIAS, J. R. B. *et al.* **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMPRABA Soja, 2007. 9 p. (Circular técnica, 48).

FONTANA, D. C. *et al.* Inferências sobre o calendário agrícola a partir de perfis temporais de NDVI/MODIS. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 3, p. 350-358, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0439>. Acesso em: 8 nov. 2018.

GAO, X. *et al.* Optical–biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 74, n. 3, p. 609–620, 2000.

GLECKLER, P. J.; TAYLOR K. E.; DOUTRIAUX C. Performance metrics for climate models. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 113, n. D6104, p. 1-20, 2008. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007JD008972>. Acesso em: 23 nov. 2018.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, n. 1/2, p. 137-157, 2000.

HUETE, A. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, p. 195-213, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. [Banco de Dados]. Rio de Janeiro, [2017]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 9 nov. 2017.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados históricos para ensino e pesquisa** – dados históricos. Brasília, DF, [2018]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 30 set. 2018.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associadas a eventos El Niño e La Niña usando imagens NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, p. 361-374, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1349-1355, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782009000500007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000500007). Acesso em: 8 nov. 2018.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 1, p. 9-16, 2011.

KALNAY, E. *et al.* Response to the discussion on “4-D-Var or EnKF?” by Nils Gustafsson. **Tellus A**, [s.l.], v. 59, n. 5, p. 778–780, 2007.

KALNAY, E. *et al.* The NCEP/NCAR 40-year re-analysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 77, p. 437-471, 1996.

KIDSTON, J. *et al.* Observations, simulations, and dynamics of jet stream variability and annular modes. **Journal of Climate**, Boston, v. 23, p. 6186–6199, 2010.

KLERING, E. V. *et al.* Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 2, p. 247-256, 2016.

KRAVTSOV, S. *et al.* Two contrasting views of multidecadal climate variability in the twentieth century. **Geophysical Research Letters**, Washington, DC, v. 41, n. 19, p. 6881–6888, 2014.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia hoje**. São Paulo: Ática, 2013. v. 3.

MAPBIOMAS. **Projetos**. [S.l.], 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 1º jul. 2019.

MARIANO, E. B.; CAVALCANTI, E. P.; BESERRA, E. A. Análise comparativa da velocidade do vento simulado pelo BRAMS com dados observados e de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 269-276, 2017.

MASSELI, F. *et al.* Environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel through the use of NOAA NDVI data. A case study: Niger 1986-89. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 4, p. 3471-3487, 1993.

MAVI, H. S.; TUPPER, G. J. **Agrometeorology: principles and application of climate studies in agriculture**. New York: Food Products, 2004. 364 p.

MELO, R. W. *et al.* An agrometeorological-spectral model to estimate soybean yield, applied to southern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 29, p. 4013-4028, 2008.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no oeste da Bahia. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 2, p. 38-46, 2006.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomás**. Brasília, DF, [2018]. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biomás/cerrado>. Acesso em: 4 abr. 2018.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

MORAES, R. A. *et al.* Avaliação dos dados decendiais de precipitação e temperatura máxima e mínima do ar simulados pelo modelo ECMWF para o estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 397-407, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/73686>. Acesso em: 4 abr. 2018.

MOREIRA, A. *et al.* Estimativas da relação entre a temperatura do ar do ERA Interim e dados meteorológicos observados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 19., 2016, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: CBMET, 2016. p. 1-2.

NASA/GSFC. **MODIS: Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer**. Greenbelt: NASA/Goddard Space Flight Center, [2017]. Disponível em: [https://modis.gsfc.nasa.gov/about/media/modis\\_brochure.pdf](https://modis.gsfc.nasa.gov/about/media/modis_brochure.pdf). Acesso em: 1º out. 2017.

PARKER, W.S. Reanalyses and observations: what's the difference? **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington, DC, v. 97, p. 1565-1572, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

- PINTO, D. A. *et al.* Correlations between spectral and biophysical data obtained in canola canopy cultivated in the subtropical region of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 10, p. 825-832, 2017.
- RASMUSSEN, M. S. Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from AVHRR. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 13, p. 3431-3442, 1992.
- RISSE, J. *et al.* Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal, RN. **Anais [...]**. Natal: INPE, 2009. p. 379-386.
- RIZZI, R. *et al.* Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal, RN. **Anais [...]**. Natal: INPE, 2009. p. 387-394.
- ROSA, V. G. C. *et al.* Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorológico espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, 2010.
- ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITESYMPIOSIUM*, 3., 1973, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: NASA, 1973. v.1, p. 309-317.
- RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 31, p. 53-63, 1990a.
- RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 33, p. 183-192, 1990b.
- SABAI, E. E. **Panorama socioeconômico do agronegócio do oeste da Bahia**. Barreiras: AIBA, 2015. Disponível em: <http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2013/11/producao-e-destino-dos-graos-do-oeste-da-bahia.pdf>. Acesso em: 25 set 2017.
- SANTOS, J. S. *et al.* Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 18, p. 54-63, 2014.
- SENTELHAS, P. C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- SILVA, I. D. C. *et al.* Avaliação de perfis temporais de NDVI em pixels puros provenientes do sensor MODIS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 19., 2019, Santos, SP. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2019.
- SIMMONS, A. *et al.* ERA-Interim: new ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. **ECMWF Newsletter**, Reading, v. 110, p. 26-35, 2006.

SIMMONS, A. J. *et al.* Low-frequency variations in surface atmospheric humidity, temperature, and precipitation: Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 115, p.1-21, 2010.

SOLMAN, S. A. *et al.* Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model performance and uncertainties. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 41, n. 5/6, p. 1139-1157, 2013.

SIVAKUMAR, M. V. K.; GOMMES, R.; BAIER, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 11-26, 2000.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos. *In*: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (ed.). **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 13-33.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology/ Laboratory of Technology, 1955. 104 p.

TIBA, C. Solar radiation in the Brazilian Northeast. **Renewable Energy**, v. 22, n. 4, p. 565–578, 2001.

VIANA, D. R.; ALVALÁ R. C. S. Avaliação de desempenho de índices de vegetação na caracterização de classes de cobertura da terra na região do Pantanal nas estações seca e chuvosa. *In*: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres, MT. **Anais [...]**. Cáceres, MT: EMPRABA Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 434-446.

WAGNER, A. P. L. *et al.* Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 1192-1200, 2013.

WILLMOTT, C. J. *et al.* Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

ZANELLA, C. **Panorama agroeconômico do oeste da Bahia e safra 2016/17**. Barreiras: AIBA, [2016]. Disponível em:  
[http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/czpe/Eventos/ZPE\\_Agroneg%C3%B3cio/Panorama\\_do\\_agroneg%C3%B3cio\\_baiano\\_Aiba\\_\\_Celestino\\_Zanella.pdf](http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/czpe/Eventos/ZPE_Agroneg%C3%B3cio/Panorama_do_agroneg%C3%B3cio_baiano_Aiba__Celestino_Zanella.pdf). Acesso em: 25 set. 2017.