

HUMBERTO PAIVA FONSECA

**DATAS DE PLANTIO E INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NO OESTE DA BAHIA
NO PERÍODO DE 2001 A 2019**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gabrielle Ferreira Pires

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F676d
2021 Fonseca, Humberto Paiva, 1995-
Datas de plantio e início da estação chuvosa no Oeste da
Bahia no período de 2001 a 2019 / Humberto Paiva Fonseca. –
Viçosa, MG, 2021.
60 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Gabrielle Ferreira Pires.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 53-60.

1. Sensoriamento remoto. 2. Semeadura. 3. MODIS
(Espectrorradiômetro). I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 621.3678

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fatima Alves CRB6 2578

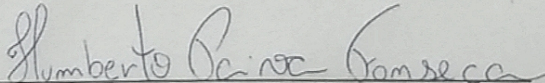
Humberto Paiva Fonseca

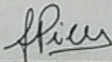
**DATAS DE PLANTIO E INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NO OESTE DA BAHIA
NO PERÍODO DE 2001 A 2019**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de abril de 2021

Assentimento:


Humberto Paiva Fonseca
Autor


Gabrielle Ferreira Pires
Orientadora

*À minha Mãe Tarcisia Helena de Paiva
Ao meu pai Valter Lima da Fonseca*

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial a minha mãe, Tarcisia, pelo amor incondicional, apoio, ajuda e carinho durante toda minha trajetória de vida.

Ao meu pai Valter (*in memoriam*) que sempre me incentivou a expandir meus horizontes, fazendo brotar em mim a paixão pelas mais variadas formas de conhecimento.

À minha irmã Ana Lucia (Uxa), pela amizade e por todo o carinho de sempre e, também, por ter me apoiado tanto em todas as fases dos meus estudos.

À minha parceira de vida, Maria Clara, por toda paciência antes e durante o mestrado, por me dar suporte, amor e carinho e por me incentivar/suportar durante os momentos mais difíceis. Agradeço também à nossa cachorrinha Bulma pela companhia e alívio ao longo do trabalho.

À minha orientadora, Gabrielle Pires, acima de tudo pela paciência e confiança. Também por todas as contribuições e pelo conhecimento científico. Muito Obrigado!

Aos amigos do grupo de pesquisa ClimAp pela parceria e por tonar essa jornada um pouco mais tranquila e prazerosa.

A todos os professores e funcionários do programa de pós graduação em Meteorologia Aplicada, em especial a Graça Freitas, pelos ensinamentos e contribuições para minha formação profissional e científica.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, obrigado pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Study hard what interests you the most in the most undisciplined, irreverent and original manner possible.”

(Richard Feynman)

RESUMO

FONSECA, Humberto Paiva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2021. **Datas de plantio e início da estação chuvosa no Oeste da Bahia no período de 2001 a 2019.** Orientadora: Gabrielle Ferreira Pires.

É incontroversa a importância econômica do agronegócio para o Produto Interno Bruto brasileiro, devido em grande parte à expansão, tecnificação e mecanização em larga escala de regiões como o Oeste da Bahia. Para tanto, fazem-se necessários estudos que auxiliem a gestão agrícola de alto rendimento, principalmente na compreensão da forma com que as alterações da data de início da estação chuvosa afetam o calendário de semeadura, para culturas sob os sistemas de irrigação e sequeiro. Este estudo buscou avaliar a relação entre as datas de plantio e o início da estação chuvosa para agricultura irrigada e de sequeiro no Oeste da Bahia. Para isso, foram construídas curvas fenológicas a partir de séries temporais densas de Normalized Difference Vegetation Index, dos anos de 2001 a 2019, por meio das imagens MCD43A4 do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. A partir das curvas fenológicas foram identificadas as datas de *green-up* e, posteriormente, a data de semeadura para cada pilha de pixels da série temporal. Neste estudo, também foram identificadas as datas de início de estação chuvosa por meio do método *Anomalous Accumulation* com dados de precipitação do produto CHIRPS. Por fim, foram calculadas as divergências interanuais existentes entre as datas de semeadura para sistemas de sequeiro e irrigação e o início da estação chuvosa a cada ano. Os resultados indicaram que a semeadura sob os sistemas de sequeiro e irrigação (primeira safra) é feita em média entre 26 de outubro e 15 de novembro, período condizente com o início das chuvas na região, que ocorrem em média entre 17 e 27 de outubro. Também foram observados anos anômalos, em que a semeadura de sequeiro foi realizada na primeira quinzena de dezembro, em decorrência de atrasos no início da estação chuvosa. Tais atrasos podem estar relacionados à conjunção de dois fatores: forte El Niño e o posicionamento da ZCIT ao norte de sua posição climatológica. Contudo, o mesmo não foi observado para a semeadura sob o sistema de irrigação, que ocorreu até 25 dias antes do início da estação chuvosa. Esse fato pode evidenciar certa autonomia dos produtores irrigantes em relação ao período das chuvas. Apesar de contraintuitivos, os resultados deste estudo também indicam que a semeadura no Oeste da Bahia é realizada no sentido leste-oeste, de encontro à estação chuvosa. Tal fato está relacionado ao perfil de plantio nas diferentes porções da região, pois na porção leste são plantadas culturas não oleaginosas, que estão fora das normativas da ADAB para o controle da ferrugem asiática e podem ser semeadas antes da data estipulada para o final do vazão sanitário.

Conclui-se que a data de início da estação chuvosa exerce influência sobre a data de semeadura na agricultura de sequeiro e irrigação, em especial em anos de El Niño, em que as chuvas ocorrem após a segunda quinzena de dezembro.

Palavras-chave: MODIS. Anomalous Accumulation. Semeadura. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

FONSECA, Humberto Paiva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2021. **Planting dates and beginning of the rainy season in Western Bahia in the period from 2001 to 2019.** Adviser: Gabrielle Ferreira Pires.

The economic importance of agribusiness for the Brazilian Gross domestic product is undisputed, due in large part to the large-scale expansion, technification and mechanization of regions such as Western Bahia. To this end, studies are needed to assist high-yield agricultural management, especially in understanding how changes in the start date of the rainy season affect the sowing schedule, for crops under irrigation and rainfed systems. This study sought to evaluate the relationship between planting dates and the beginning of the rainy season for irrigated and rainfed agriculture in Western Bahia. For this, phenological curves were constructed from dense Normalized Difference Vegetation Index time series, from the years 2001 to 2019, using the MCD43A4 images from the MODIS sensor on board the Terra and Aqua satellites. From the phenological curves, the green-up dates and, subsequently, the sowing date were identified for each stack of pixels in the time series. In this study, the start dates of the rainy season were also identified using the Anomalous Accumulation method with precipitation data from the CHIRPS product. Finally, the interannual divergences between the sowing dates for rainfed and irrigation systems and the beginning of the rainy season were calculated each year. The results indicated that sowing under rainfed and irrigation systems is carried out on average between October 26 and November 15, a period consistent with the beginning of the rains in the region, which occur on average between October 17 and 27. Anomalous years were also observed, in which rainfed sowing was carried out in the first half of December, due to delays in the beginning of the rainy season. Such delays may be related to the conjunction of two factors: strong El Niño and the positioning of the ITCZ to the north of its climatological position. However, the same was not observed for sowing under the irrigation system, which occurred up to 25 days before the beginning of the rainy season. This fact may show a certain autonomy of irrigating producers in relation to the rainy season. Although counterintuitive, the results of this study also indicate that sowing in the West of Bahia is carried out in an east-west direction, against the rainy season. This fact is related to the planting profile in the different portions of the region, since in the eastern portion non-oil crops are planted, which are outside the ADAB regulations for the control of Asian rust and can be sown before the stipulated date for the end of the void. Restroom. It is concluded that the rainy season start

date influences the sowing date in rainfed and irrigation agriculture, especially in El Niño years, when the rains occur after the second half of December.

Keywords: MODIS. Anomalous Accumulation. Sowing. Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização e uso e ocupação da terra para a região Oeste da Bahia – 2019	17
Figura 2 – Segmentação de área de sequeiro e de irrigação (sistema de pivô central) para a região Oeste da Bahia	19
Figura 3 – Método de obtenção de pixels puros	21
Figura 4 – Interpoladores testados.....	22
Figura 5 – Representação esquemática para a obtenção da data de <i>green-up</i>	23
Figura 6. Exemplo da informação da data de emergência a partir do limiar dinâmico, com um corte (PD) de 20%, 50% e 60%.....	24
Figura 7 – Exemplo da informação da data de emergência e senescência extraída pela primeira derivada da série temporal de NDVI.	25
Figura 8 – Exemplo da informação da data de emergência extraída pela função logística da série temporal de NDVI.....	26
Figura 9 – Datas do início da estação chuvosa para a região Oeste da Bahia	31
Figura 10 – Avaliação de acurácia das curvas fenológicas derivadas do NDVI MODIS-MCD43A4. A – média do Coeficiente de correlação de Pearson dos pixels; B – média do desvio médio quadrático dos pixels; C – média do coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe dos pixels.	32
Figura 11 – Média da série histórica (2001-2019) para o Coeficiente de correlação de Pearson (A, B, C, D e E), e seu respectivo desvio padrão (F, G, H, I e J); eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (K, L, M, N e O), e seu respectivo desvio padrão (P, Q, R, S e T) para os modelos de interpolação testados.....	34
Figura 12 – Porcentagem da região Oeste da Bahia de acordo com o Coeficiente de correlação de Pearson para o somatório das condições de cultivo de sequeiro e irrigado	35
Figura 13 – Porcentagem da região Oeste da Bahia de acordo com coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe para o somatório das condições de cultivo de sequeiro e irrigado	36
Figura 14 – Coeficiente de Determinação entre os métodos de extração da data de semeadura. Método do limiar relativo (TRS2 = limiar de 20%); TRS5 = limiar de 50%); Método da derivada (DES); Gu <i>et al.</i> (2009); Zhang <i>et al.</i> (2002).	37
Figura 15. Validação cruzada entre a data de plantio obtida a partir do índice NDVI e a observada em campo.	38
Figura 16 – Data de semeadura das áreas sequeiro para a região Oeste da Bahia dos anos de 2001 a 2019	39

Figura 17 – Data de semeadura das áreas irrigadas (primeira safra) para a região Oeste da Bahia dos anos de 2001 a 2019.....	40
Figura 18 – Data de semeadura das áreas irrigadas (segunda safra) para a região Oeste da Bahia dos anos de 2002 a 2020.....	41
Figura 19 – Distribuição percentual da Probabilidade da data de semeadura (%) por área da região Oeste da Bahia. Linhas tracejadas em vermelho e roxo representam a mediana a média respectivamente	42
Figura 20 – Distribuição espacial da diferença entre a data de plantio do cultivo de sequeiro e a data do início da estação chuvosa.....	44
Figura 21 – Distribuição espacial da diferença entre a data de plantio do cultivo irrigado primeira safra e a data do início da estação chuvosa.....	45
Figura 22 – Distribuição percentual da Probabilidade <i>Doyseseadura</i> – <i>Doyoneset</i> por área da região Oeste da Bahia. Linhas tracejadas em vermelho e roxo representam a mediana e a média, respectivamente	46
Figura 23 – Relação da média da precipitação e do <i>Anomalous Accumulation</i> para a região Oeste da Bahia no ano de 2007. Linha em azul representa a média do início da estação chuvosa....	48
Figura 24 – Relação da média da precipitação e do <i>Anomalous Accumulation</i> para a região Oeste da Bahia nos anos de 2012 e 2015. Linha em azul representa a média do início da estação chuvosa.....	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	Anomalous Accumulation
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NBAR	Reflectância ajustada a nadir
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NSE	Coefficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe
R	Correlação de Pearson
RMSE	Desvio médio quadrático
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis.
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	16
2.1.	Objetivos específicos	16
3.	METODOLOGIA	16
3.1.	Área de estudo	16
3.2.	Processo de segmentação.....	17
3.3.	Processamento dos dados de sensoriamento remoto de culturas agrícolas	20
3.4.	Obtenção da data de <i>green-up</i>	22
3.4.1.	Limiar relativo (TRS)	23
3.4.2.	Método da derivada (DES)	24
3.4.3.	Método de Gu <i>et al.</i> (2009).....	25
3.4.4.	Método de Zhang <i>et al.</i> (2002)	26
3.5.	Data de plantio a partir da emergência das culturas (<i>green-up</i>)	27
3.6.	Análise do início da estação das chuvas	28
3.7.	Relação entre o início da estação chuvosa e a data de semeadura.....	28
4.	RESULTADOS	30
4.1.	Datas do início da estação chuvosa	30
4.2.	Acurácia das curvas fenológicas de NDVI e seleção do interpolador e do método de extração da data de <i>green-up</i>	32
4.4.	Datas de semeadura de sequeiro e irrigação primeira e segunda safra.....	38
5.	DISCUSSÃO	46
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7.	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

É incontroversa a importância econômica do agronegócio brasileiro. Nos anos de 2019/2020, a participação desse segmento no Produto Interno Bruto (PIB) foi de aproximadamente 22%, com perspectivas de aumento de 1% em 2021 (CEPEA, 2020). No mesmo período, a exportação de soja (grãos e farelo) obteve um crescimento médio de 20% em relação a 2018/2019. Outros produtos também apresentaram valores positivos ao balanço exportador do Brasil, em que se destacam o algodão e o milho (CEPEA, 2020).

O aumento expressivo da taxa de exportação do agronegócio brasileiro deve-se, em grande parte, à expansão, tecnificação e mecanização em larga escala, sobretudo em áreas de cerrado. Destaca-se a região do MATOPIBA, formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (BRAGANÇA, 2018). O MATOPIBA configura-se como uma das mais recentes fronteiras agrícolas do país, com destaque para o oeste do estado da Bahia, o qual, segundo Dionizio *et al.* (2019), apresenta recordes nacionais na produção de suas três principais culturas (algodão, milho e soja), atingindo 7,4 milhões de toneladas na safra 2016/2017.

O Oeste da Bahia, é atualmente, a região que apresenta o ritmo mais acelerado de crescimento no setor agrícola brasileiro, não só de produção, como também de área cultivada e produtividade de suas três principais culturas. A exemplo, a produtividade do milho que alcançou 9 ton. ha⁻¹ na safra 2018/2019, com produtividade potencial esperada para os próximos anos de 10,8 ton. ha⁻¹, sobretudo, em decorrência do investimento em alta tecnologia e irrigação. Além do milho, é importante destacar a produtividade da soja, carro-chefe da região, com 3,36 ton. ha⁻¹ e do algodão com 4,5 ton. ha⁻¹, ambos na safra 2018/2019 (AIBA, 2020; AIBA, 2019).

A região Oeste da Bahia ainda se destaca por sua colocação no mercado internacional, com elevados índices de exportação, em que cerca de 40% do algodão produzido, equivalente a 600 mil toneladas, é exportado para países asiáticos (China, Indonésia, Bangladesh e Vietnã), enquanto 60% da produção de soja, o que equivale a 3,18 milhões de toneladas, é exportada para a China e Holanda (AIBA, 2020; AIBA, 2019).

Os elevados índices de produção e exportação da região Oeste da Bahia são, em parte, decorrentes do emprego do sistema de dupla safra, que permite ao produtor a semeadura de uma segunda cultura após o plantio da soja, como milho e algodão (ABRAHÃO E COSTA, 2018; ARVOR *et al.*, 2012).

Contudo, sistemas de dupla safra implementados em áreas de sequeiro dependem de um elevado índice de precipitação anual, com uma longa estação chuvosa e que apresente baixa

variabilidade em seu início, de forma a acomodar dois ciclos de cultivo (ARVOR *et al.*, 2014; PIRES *et al.*, 2016; ABRAHÃO E COSTA, 2018). Para aproveitar ao máximo a estação das chuvas, os agricultores tendem a plantar a soja logo no início da estação chuvosa, especialmente sob o sistema de sequeiro. Entretanto, regiões que adotam sistemas de irrigação, como o oeste da Bahia, possuem maior flexibilidade na data de plantio das culturas.

Embora a prática da dupla safra possa levar a um rendimento subótimo da soja, os lucros da segunda safra e a possibilidade de lucros mais altos na colheita anterior tornam a dupla lavoura uma opção atraente (FLASKERUD E JOHNSON, 2000; ABRAHÃO E COSTA, 2018). Por essa razão, conhecer o período da estação chuvosa torna-se essencial para uma gestão agrícola de alto rendimento, pois alterações no início da estação chuvosa podem exercer influência no calendário de plantio.

Para auxiliar a gestão agrícola de alto rendimento, a identificação da data de plantio das culturas é de extrema relevância. Como observado por Pires *et al.*, (2016) e Abrahão e Costa (2018), Brumatti *et al.* (2020) a data de plantio exerce forte influência na produtividade das culturas, em função do início do período chuvoso, além de determinar o sucesso do sistema de dupla safra. Porém, bancos de dados com séries históricas de datas de plantio são escassos ou inexistentes para o Brasil, o que dificulta a avaliação dos efeitos de potenciais atrasos do início da estação chuvosa no calendário agrícola regional.

Estudos como os de Gao *et al.*, (2015), Zeng *et al.*, (2018) e Nascimento *et al.*, (2019) utilizaram metodologias que permitiram identificar os diferentes estádios fenológicos e, conseqüentemente, a data de plantio das culturas por meio de séries temporais densas de índices vegetativos obtidos através de imagens orbitais. Contudo, as imagens de satélite apresentam limitações quanto a seu uso na agricultura, sobretudo em decorrência da escala temporal que, frequentemente, impede o monitoramento das mudanças dos estádios fenológicos e da escala espacial, dificultando o monitoramento sem interferência de sinal de fontes externas.

Desse modo, a avaliação da relação entre as datas de plantio e o início da estação chuvosa possui grande importância para a agricultura de alta produtividade, visto que essa apresenta alta dependência do início da estação das chuvas.

2. OBJETIVOS

O presente estudo busca avaliar a relação entre datas de plantio das culturas e início da estação chuvosa em agricultura irrigada e de sequeiro no oeste da Bahia durante o período de 2001 a 2019.

2.1. Objetivos específicos

- (i) Identificar pixels com presença de culturas irrigadas e cultivadas em regime de sequeiro no Oeste da Bahia;
- (ii) Extrair a curva fenológica (baseada no NDVI) das culturas presentes no Oeste da Bahia;
- (iii) Identificar a data de *green-up* e de plantio das culturas a partir das curvas fenológicas;
- (iv) Comparar a data de semeadura de plantios de sequeiro e irrigado, bem como sua relação com a data de início da estação chuvosa.

3. METODOLOGIA

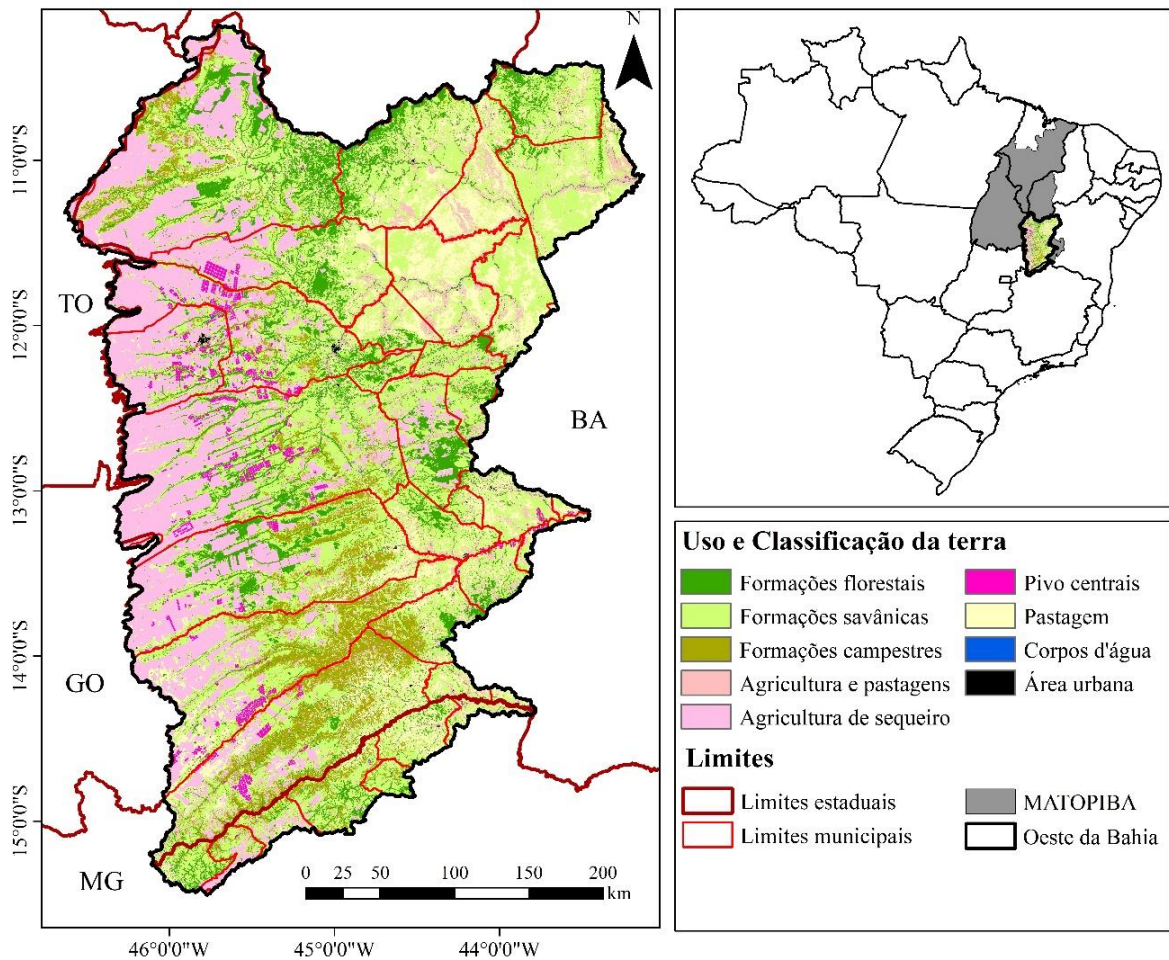
3.1. Área de estudo

A região Oeste da Bahia consiste principalmente de agricultura em larga escala e orientada para o mercado internacional. A região pertence à mais recente fronteira agrícola do Cerrado, denominada MATOPIBA, formada pela união dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, caracterizada por uma rápida expansão seguida da tecnificação e intensificação que resulta em altos rendimentos de culturas como algodão, arroz, café, feijão, mandioca e soja (POUSA *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2019; IBGE, 2021).

A região é marcada pelo uso intensivo e extensivo do solo em sua porção oeste (Figura 1), sobretudo de agricultura de sequeiro, com rápido e recente crescimento da agricultura irrigada. A área destinada à agricultura de sequeiro no ano de 2019 foi de aproximadamente 10.000.000 hectares, enquanto o uso sob sistema de irrigação foi de 190.000 hectares (PIMENTA *et al.* 2021).

O Oeste da Bahia se destaca perante as demais regiões do MATOPIBA, apresentando franca expansão da área irrigada, que cresceu de 9 pivôs em 1985 para 1550 pivôs centrais em 2016 (ANA, 2017; POUSA *et al.*, 2019). A região apresenta precipitação de longo prazo de 1.600 mm.ano⁻¹. Segundo Pousa *et al.* (2019), a precipitação na região varia tipicamente de 0–10 mm.mês⁻¹ nos meses mais secos (junho, julho e agosto) a cerca de 150–200 mm.mês⁻¹ nos meses mais chuvosos (dezembro e janeiro).

Figura 1 – Localização e uso e ocupação da terra para a região Oeste da Bahia – 2019



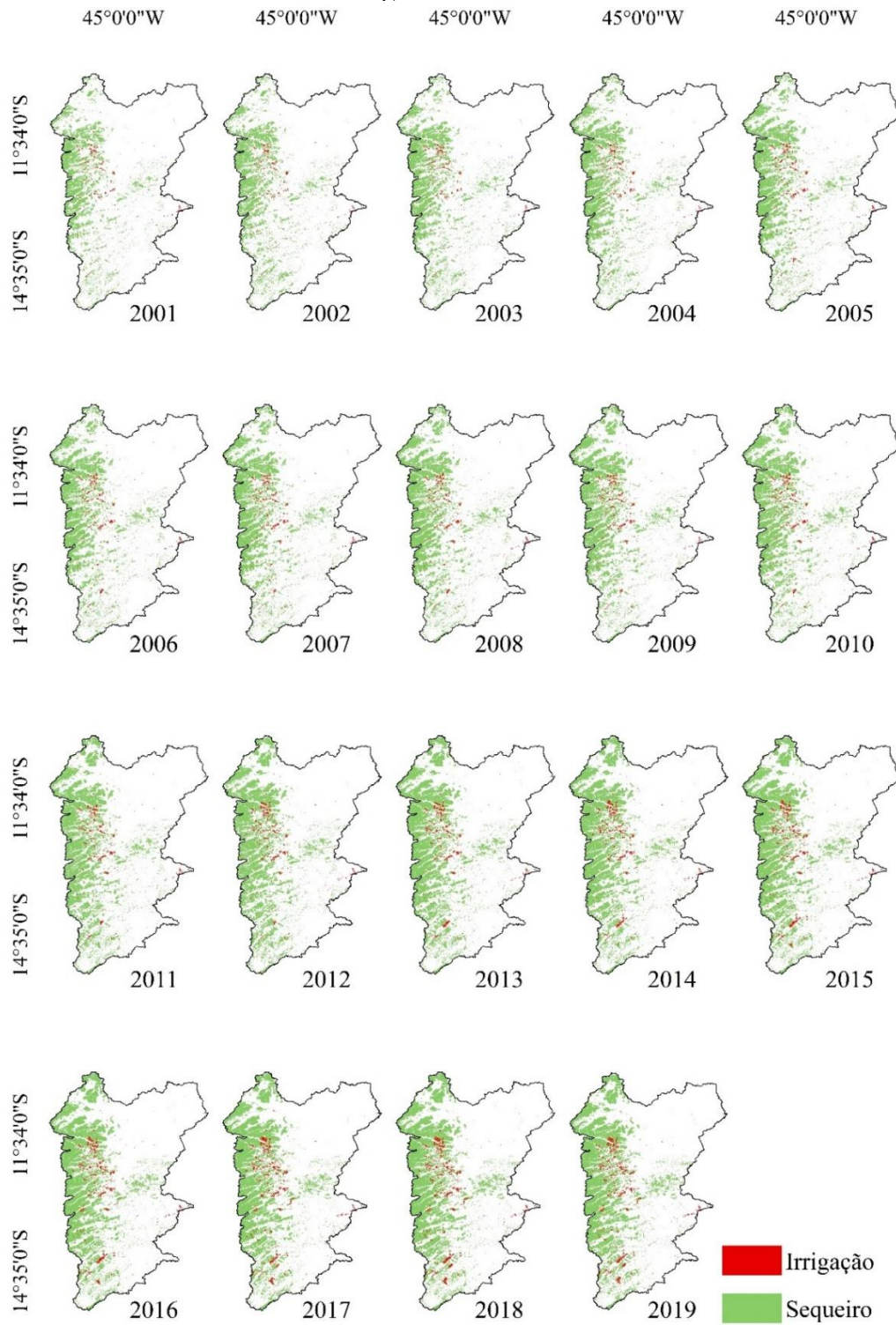
Fonte: O autor

3.2. Processo de segmentação

Foi executado o processo de diferenciação das áreas de cultivo de sequeiro e irrigado (Figura 2). Para isso, foram utilizados dados de uso e cobertura da terra presentes no portal OBAHIA (Inteligência Territorial e Hídrica para o Oeste da Bahia - <http://obahia.dea.ufv.br/>) para os anos de 2001 a 2019. Os dados do portal OBAHIA são oriundos da coleção de imagens de sensoriamento remoto das missões Landsat 5, 7 e 8 em que foi realizada uma redução por

meio do cálculo de mediana dos pixels na pilha, correspondentes ao período de 1 de abril a 1 de setembro de cada ano, para obtenção de uma imagem representativa aproximada do período seco do Cerrado. A classificação das imagens foi feita utilizando o classificador *Random Forest* e apresentou um alto coeficiente de determinação ($r^2 = 0,9$) entre a classificação e os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), MapBiomas e TerraClass (PIMENTA *et al.*, 2021).

Figura 2 – Segmentação de área de sequeiro e de irrigação (sistema de pivô central) para a região Oeste da Bahia



Fonte: O autor

3.3. Processamento dos dados de sensoriamento remoto de culturas agrícolas

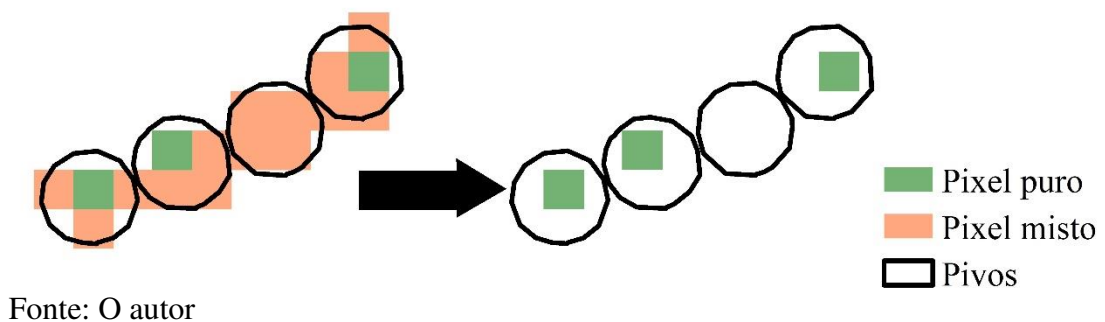
Na agricultura, não é satisfatório o uso de imagens com resolução espacial que não se adeque às configurações de cultivo, sob risco de gerar grandes fontes de incerteza espectral dos alvos em solo. Também não é satisfatório o uso de imagens com resolução temporal moderada (superior a 5 dias), devido ao caráter dinâmico dos estádios fenológicos de diferentes cultivos, sobretudo de culturas sazonais. Devido a esses fatos, só foi possível realizar este estudo graças à atualização dos produtos MODIS para sua versão mais recente, a coleção V006, que permite a aquisição de cenas transformadas para aquisição a nível diário (WANG *et al.*, 2018).

Foram utilizadas imagens MCD43A4 presentes no acervo V006 derivadas do sensor MODIS embarcado nos satélites Terra e Aqua. A escolha desse produto MODIS deve-se à sua estabilidade de longo prazo, com as correções necessárias para sua utilização em series temporais, e ampla utilização para o resgate fenológico das culturas (ZHONG *et al.*, 2016; GAO *et al.*, 2017).

O MCD43A4 apresenta resolução espacial de 500 metros, 7 bandas espectrais dos comprimentos de onda do visível ao infravermelho próximo e cenas com reflectância ajustada a nadir (NBAR) por meio do *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF) a nível diário, centradas ao meio-dia solar local e geradas da reamostragem de curto prazo (8 e 16 dias) por um algoritmo baseado na inversão de modelos de transferência radiativa presente no acervo V006 (ZHONG *et al.*, 2016; LUCH *et al.*, 2000; SCHAAF e WANG., 2015). Os dados foram adquiridos do segundo semestre do ano 2000 até o final do ano 2019, totalizando aproximadamente 7.300 imagens.

Após a aquisição das imagens MDC43A4, foram selecionados os pixels puros que, segundo Hsieh *et al.* (2001), podem ser definidos como aqueles que contêm apenas uma classe de cobertura do solo, sem a interferência externa de outros sinais espectrais, como solo exposto e vegetações diversas (Figura 3). Também foram utilizados os dados de qualidade do MODIS (QA) do produto MCD43A2, de forma a excluir os pixels com ruído oriundo da interferência de nebulosidade que alteram os valores do NDVI.

Figura 3 – Método de obtenção de pixels puros



Após a aplicação dos métodos para o controle de qualidade expostos acima, foi gerado o índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Equação 1) para obtenção das curvas fenológicas das culturas.

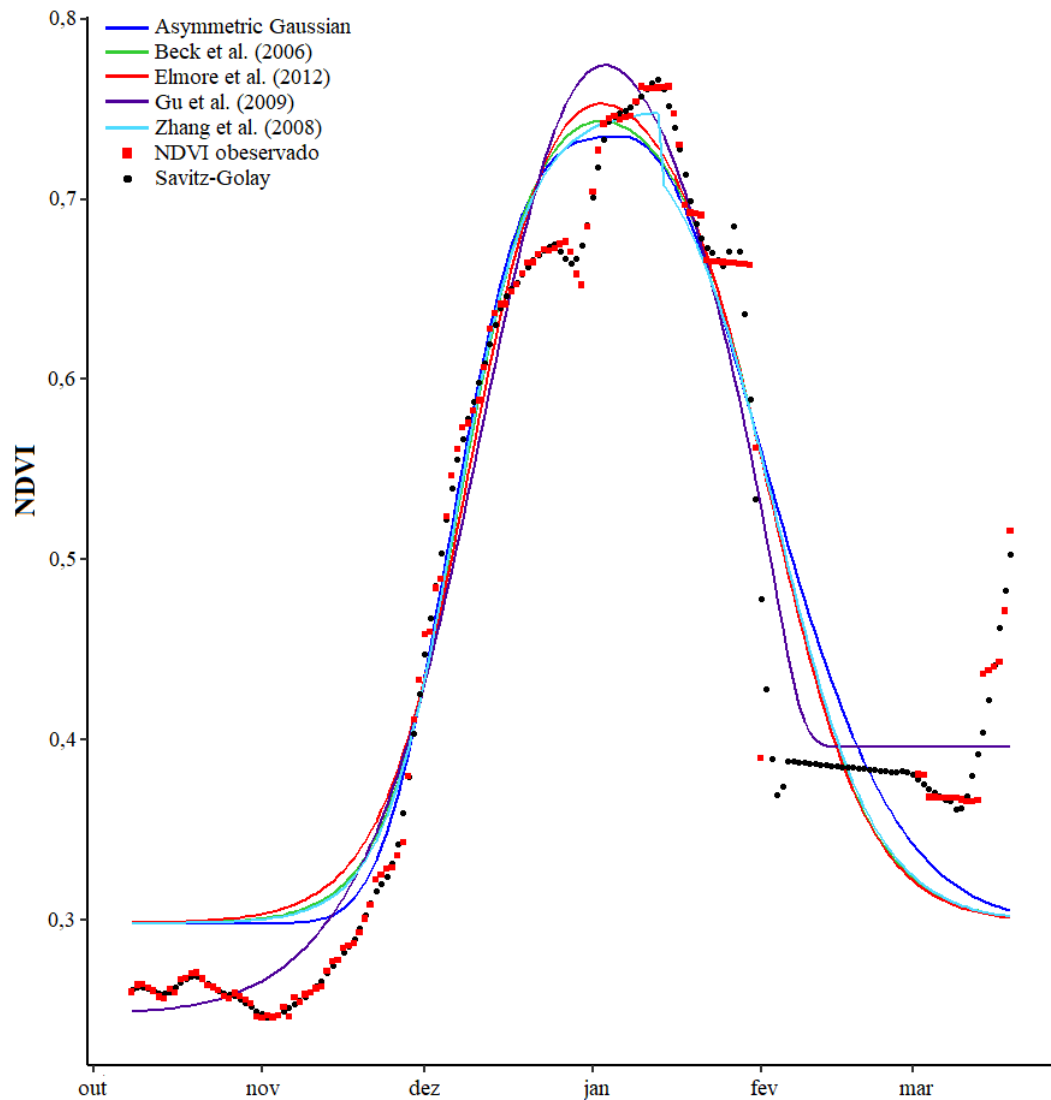
$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: NIR = banda do infravermelho próximo, RED = banda do vermelho.

O NDVI foi proposto por Rouse *et al.* (1973) e apresenta alta correlação com a biomassa verde das plantas (RODIGHERI *et al.*, 2020), sendo adequado para o monitoramento do crescimento vegetativo e mudanças nos estádios fenológicos (ESQUERDO *et al.*, 2011).

Após o cálculo do NDVI das culturas, foi utilizado o filtro *Savitzky-Golay*, uma forma eficiente de reduzir as contaminações na série temporal NDVI causadas por nuvens, variabilidade atmosférica, particulados em suspensão e mudanças de manejo de cultivo (CHEN *et al.*, 2004).

Para interpolação dos dados de NDVI da série temporal foram testados os seguintes métodos: *Asymmetric Gaussian*, Beck *et al.* (2006), Elmore *et al.* (2012), Gu *et al.* (2009) e Zhang *et al.* (2018) conforme apresentado na Figura 4. Foi selecionado o interpolador com o maior número de pixels dentro da região Oeste da Bahia para todos os anos que atendesse às condições apresentadas: correlação de Pearson ($R \geq 0,95$); desvio médio quadrático ($\text{RMSE} \leq 0,5$); Coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe ($\text{NSE} \geq 0,85$).

Figura 4 – Interpoladores testados.

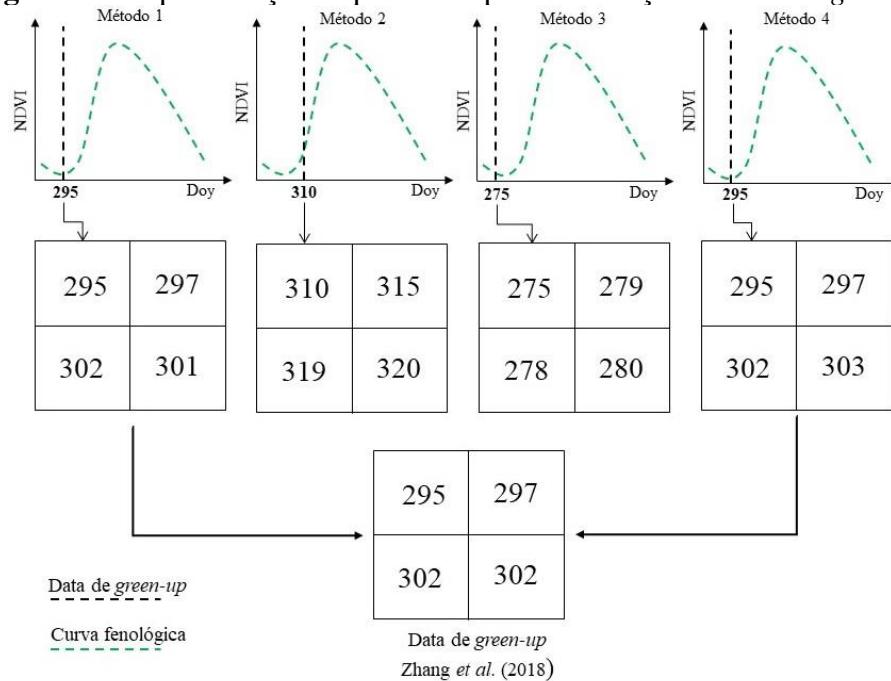
Fonte: O autor

3.4. Obtenção da data de *green-up*

Neste estudo, foi utilizada uma metodologia robusta e abrangente para as diferentes culturas e tipos de manejo presentes na região Oeste da Bahia. Esta metodologia tem caráter dinâmico e apresenta alta correspondência com a realidade de campo que é alcançada quando mais de um método aponta para o mesmo padrão da data de *green-up* (primeiro momento detectável de verdor das plantas após a emergência) (Zhang *et al.*, 2018; Diao, 2020). Assim como apresentado em Zhang *et al.* (2018), foi feita a combinação do interpolador selecionado e diferentes métodos para obtenção da data de emergência a partir do *green-up*. Dessa forma, foram testados os seguintes métodos para a obtenção da data de *green-up*: Método do limiar relativo (TRS); Método da derivada (DES); Gu *et al.* (2009); Zhang *et al.* (2002). Os métodos

que não apontaram para um mesmo fenômeno foram desconsiderados. Além de apontar para uma data padrão de *green-up* comum entre os métodos, ainda é possível identificar mais de uma solução para cada pilha de pixels da região. Uma representação esquemática para a obtenção da data de *green-up* pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Representação esquemática para a obtenção da data de *green-up*



Fonte: O autor

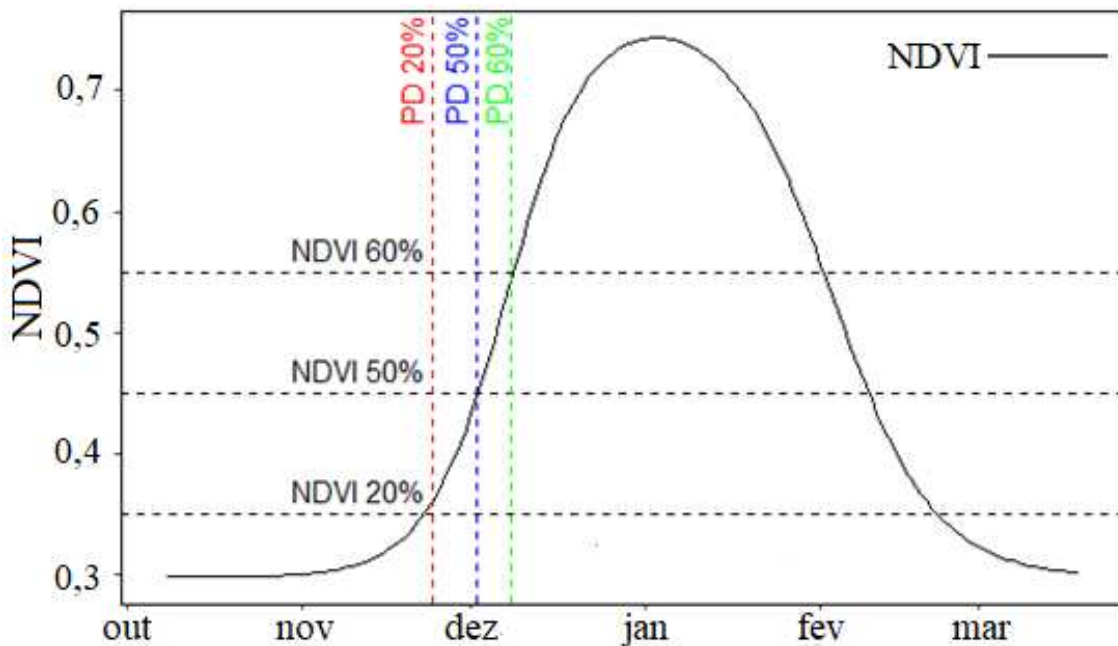
3.4.1. Limiar relativo (TRS)

O método do limiar (TRS) foi desenvolvido por White *et al.* (1997) e busca identificar o momento inicial em que ocorre a mudança de fenofases durante o desenvolvimento das culturas. O TRS é um método de extração de fenofases que utiliza valores arbitrários definidos pelo usuário, podendo ser absolutos (por exemplo: NDVI sendo 0,25 como observado no estudo de Santos *et al.*, 2020 para identificar a data de semeadura das culturas), ou valores relativos (por exemplo: quando uma porcentagem da amplitude da curva fenológica de NDVI é alcançada). Segundo Diao *et al.* (2020) o método de TRS absoluto é adequado para porções geográficas limitadas, em que há o conhecimento das culturas cultivadas em campo, pois diferentes culturas podem apresentar diferentes limiares de NDVI; bem como, uma mesma cultura pode apresentar diferentes limiares de NDVI quando semeada em diferentes localidades. Tais fatos ocorrem devido as diferenças físicas e químicas da vegetação.

Diferentemente do método absoluto, o TRS relativo pode ser utilizado para extensões geográficas maiores e abrangendo um maior número de culturas. Isso ocorre, pois, o TRS relativo não utiliza valores pré-fixados de NDVI, e sim um valor percentual da curva fenológica derivada do índice NDVI. Em virtude das características da região Oeste da Bahia (abrangendo uma vasta extensão territorial e com diversas culturas), neste estudo foi implementado o TRS relativo.

O método TRS relativo apresenta alta complexidade de implementação devido ao caráter subjetivo e arbitrário para a definição dos limiares. Em virtude desse fato, foram testados os limiares relativos de 20%, 50% e 60% da amplitude da curva fenológica de NDVI para identificar o momento em que ocorre o *green-up* (Figura 6) (Zhang *et al.*, 2018).

Figura 6. Exemplo da informação da data de emergência a partir do limiar dinâmico, com um corte (PD) de 20%, 50% e 60%.



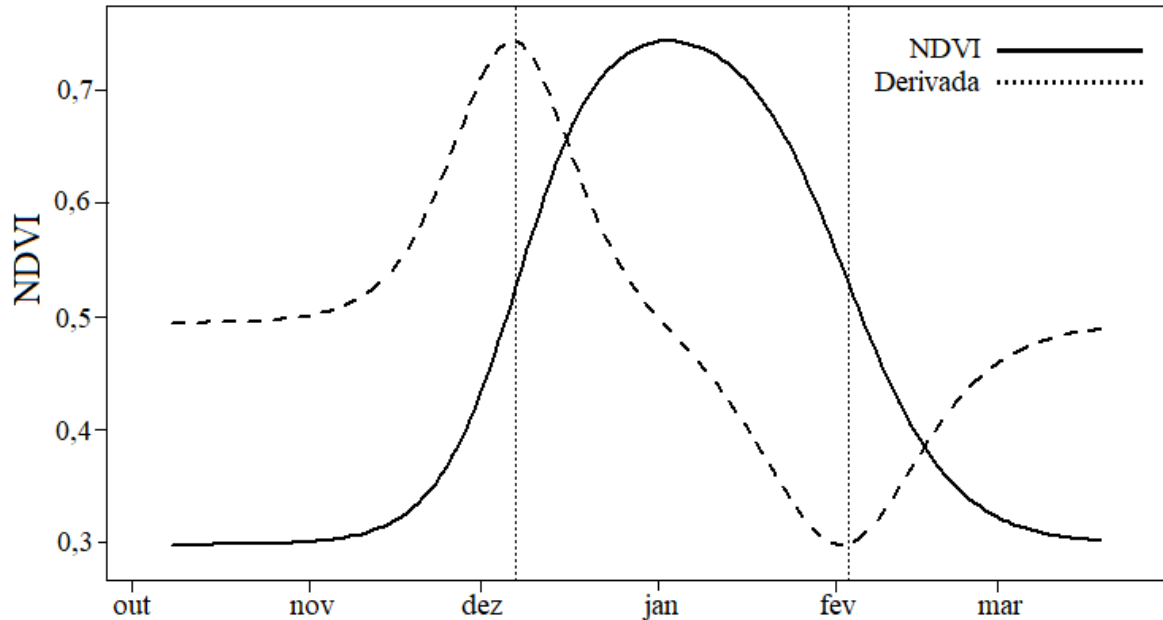
Fonte: O autor

3.4.2. Método da derivada (DES)

A derivada dos dados das séries temporais de índices vegetativos auxilia na identificação de mudanças de estádios fenológicos (TAN *et al.*, 2011). O método da derivada (DES) pode ser caracterizado de acordo com os extremos (mínimos e máximos) locais da primeira derivada da curva fenológica de NDVI, auxiliando na identificação da data correspondente ao *green-up* (emergência) e *gray-down* (senescência) (Dia *et al.*, 2020). Segundo Zhang *et al.* (2018) a data

de *green-up* da cultura é adquirida no método de resgate fenológico quando a primeira derivada atinge seu maior pico (Figura 6).

Figura 7 – Exemplo da informação da data de emergência e senescência extraída pela primeira derivada da série temporal de NDVI.



Fonte: O autor

3.4.3. Método de Gu *et al.* (2009)

O modelo desenvolvido por Gu *et al.* (2009) busca ser generalista e abrangente, de forma a captar a mudança nos estádios fenológicos de diversos grupos de plantas. Para esse modelo, deve ser considerado que o ciclo sazonal da fotossíntese pode ser descrito a partir da variação fotossintética do dossel das plantas. Para este estudo, deve-se assumir as seguintes premissas:

- i. A taxa fotossintética bruta no nível do dossel é máxima quando as condições ambientais (fotoperíodo, umidade, temperatura) não são limitantes.
- ii. O NDVI será considerado como um bom indicador da taxa fotossintética do dossel das plantas (GAMON *et al.* 1995).

Dessa forma, os autores não preveem uma data de recuperação de *green-up*, mas uma data de transição de fases, da sementeira para a fase de crescimento e estabilização que se assemelha ao *green-up*. A taxa de transição das culturas foi calculada a partir da Equação 2:

$$UD = t_u = t_{PRD} - A \frac{t_{PRD}}{K_{PRR}} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: A taxa máxima fotossintética do dossel é denominada é denotada por K_{PRR} ; o dia em que essa taxa máxima ocorre é denotado por T_{PRD} ; a linha limite de NDVI é denotada por A; a transição da fase de plantio para a fase de crescimento é denotada por t_u ; o dia do ano em que ocorre a transição da semeadura para a fase de crescimento é denotado *green-up*.

3.4.4. Método de Zhang *et al.* (2002)

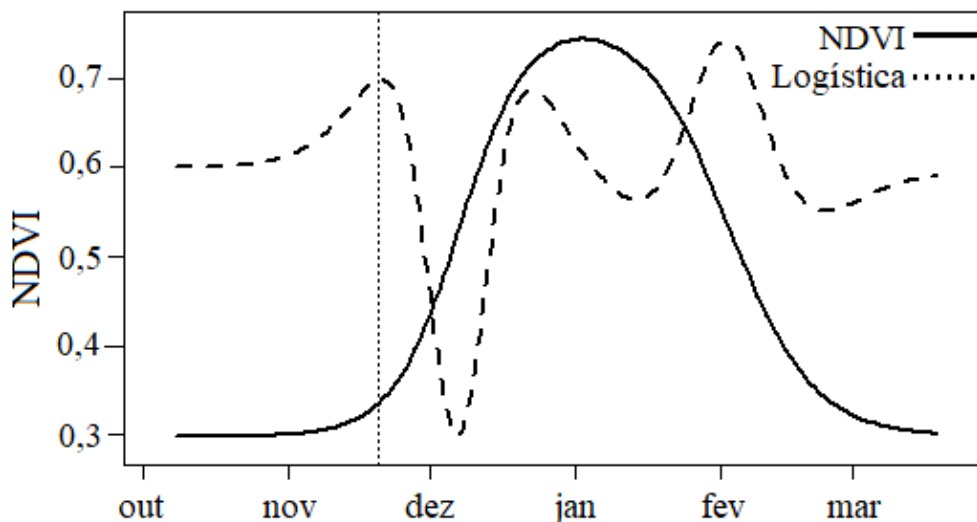
O método de Zhang *et al.* (2002) utiliza a taxa de variação de funções logísticas para descrever as mudanças de estádios fenológicos da vegetação. As datas de transição correspondem aos momentos em que a taxa de mudança da curvatura nos dados de NDVI atinge os mínimos ou máximos locais. Essas datas indicam quando o ciclo muda de um estágio aproximadamente linear para outro. O modelo logístico da curvatura (K) do NDVI pode ser calculado por meio da Equação 3 para qualquer data do ano (t).

$$K = - \frac{b^2 cz(1-z)(1+z)^3}{[(1+z)^4 + (bcz)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: z é o ângulo (em radianos) da tangente unitária vetor no momento; b são os parâmetros de ajuste da curva de NDVI; c é o valor máximo de NDVI.

As mudanças que ocorrem na função logística de resgate da fenologia (Figura 8) permitem obter dados da condição da vegetação bem como extrair as datas de *green-up*, máximo vigor vegetativo e senescência das plantas. Neste método de interpolação a data de *green-up* é obtida quanto a função logística apresenta o primeiro máximo local.

Figura 8 – Exemplo da informação da data de emergência extraída pela função



Fonte: O autor

3.5. Data de plantio a partir da emergência das culturas (*green-up*)

Para a identificação da data de semeadura (DOY_{sow}), foi utilizada uma versão modificada do método de cálculo de dias biológicos em função dos Graus-dia presente em Soltani e Sinclair (2012) (Equação 4). Deve-se considerar que do período correspondente a DOY_{sow} até a data em que ocorre o *green-up* é necessário o acúmulo de unidades de temperatura (DTU), conforme as exigências térmicas. Neste estudo, foi assumido que a data do *green-up* é equivalente a data de emergência das culturas.

$$DOY_{SOW} = DOY_{green-up} - \frac{CTU^{sow-gup}}{\sum_{DOY=1}^k DTU} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: CTU é a temperatura necessária para a transição da semeadura à data de ocorrência de *green-up* e, para este estudo, foi assumido o acúmulo de temperatura de 70 °C. K é o dia do ano em que a temperatura necessária para a transição da semeadura à data de *green-up* é atingida. DTU são unidades de temperatura diárias (°C/dia) e podem ser adquiridas por meio da equação 5.

$$DTU = (TP1D - TBD) \times tempfun \quad \text{Equação 5}$$

Em que: TP1D é a temperatura ideal mais baixa para o desenvolvimento das culturas e nesse estudo foi assumida a temperatura de 21°C. TBD é a temperatura basal da cultura (°C), sendo a temperatura assumida de 10°C. *Tempfun* é a resposta de desenvolvimento relativo das culturas à temperatura, e é expresso pela Equação 6.

$$\begin{aligned} Tempfun &= 0 \text{ se } TMP \leq TBD \\ &= (TMP - TBD) / (TP1D - TBD) \text{ se } TBD < TMP < TP1D \\ &= 1 \text{ se } TP1D \leq TMP \leq TP2D \\ &= (TCD - TMP) / (TCD - TP2D) \text{ se } TP2D < TMP < TCD \end{aligned} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: TMP é a média da temperatura do ar (°C) que foi adquirida a partir da média da combinação de quatro observações diárias (noturnas, diurnas) do produto MOD11A1 (MODIS-Terra) com passagem equatorial as 10h30min e 22h30min e do produto MYD11A1 (MODIS-Aqua) com passagem equatorial de 1h30min e 13h30min. TP2D é a temperatura ótima superior

para desenvolvimento das culturas (°C); TCD é a Temperatura máxima em que a planta se desenvolve.

3.6. Análise do início da estação das chuvas

Segundo Abrahão e Costa (2018), para sistemas de sequeiro no Brasil, a janela de plantio depende da estação das chuvas. Portanto, foi realizada uma análise do início da estação chuvosa para a região Oeste da Bahia. O método adotado é o *Anomalous Accumulation* (AA) (Equação 5) abordado por Liebmann *et al.* (2007) e modificado por Arvor *et al.* (2014) para definição da estação chuvosa. O presente método é baseado em critérios agronômicos e parte da premissa de que, para a obtenção de bons níveis de produtividade, as plantas não podem ser submetidas a longos períodos secos após o início da estação chuvosa. O início e o fim da estação chuvosa são definidos como os valores mínimo e máximo, respectivamente, na série AA.

$$AA(t) = \sum_{n=1}^t [R(n) - R_{ref}] \quad \text{Equação 5}$$

R_{ref} representa a necessidade mínima de água das plantas em seus estádios fenológicos iniciais (mm. dia⁻¹). Neste estudo foi assumido o valor de 2,5 mm. dia⁻¹. $R(n)$ é a precipitação ao nível diário.

Foram utilizados dados de precipitação do produto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), com alta resolução temporal (a nível diário) e espacial (5 km), baseado em diferentes fontes de dados (PAREDES-TREJO *et al.*, 2017; FUNK *et al.*, 2014). O conjunto de dados CHIRPS foi adquirido do segundo semestre do ano 2000 até o final do ano 2020.

3.7. Relação entre o início da estação chuvosa e a data de semeadura

Este estudo buscou avaliar se existem divergências entre as datas de semeadura para os cultivos sob os sistemas de sequeiro e irrigação no Oeste da Bahia para os anos de 2001 a 2019. Também foi avaliada a influência do início da estação das chuvas para os dois sistemas de cultivo, que foi calculada por meio da equação 6 para cada pixel da região.

$$AC = DoY_{sow} - DoY_{onset} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: AC são as anomalias observadas entre a data do início da estação chuvosa e a semeadura, Doy_{sow} é o dia do ano em que o pixel foi semeado e Doy_{onset} é o dia do ano em que as chuvas iniciam.

Valores próximos a zero indicam que não houve divergência entre as datas de semeadura e o início da estação chuvosa; valores negativos indicam que a semeadura foi realizada antes do início da estação chuvosa; valores positivos indicam que a semeadura foi realizada após o início da estação chuvosa.

Também foi avaliada as divergências entre as datas de semeadura sob sistema de sequeiro e irrigação, que foi calculado por meio da equação 7.

$$SI = Doy_{Sequeiro} - Doy_{Irigado} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: SI são as anomalias observadas entre a data de semeadura e irrigado; $Doy_{Sequeiro}$ é o dia do ano em que a semeadura de sequeiro é realizada e $Doy_{Irigado}$ é o dia do ano em que a semeadura sob sistema irrigado é realizada

3.8. Validação cruzada

As datas de semeadura obtidas a partir das curvas fenológicas derivadas do índice NDVI foram validadas por meio dos dados obtidos em campo entre os anos de 2017 e 2019. Ao todo foram utilizadas 59 áreas de cultivo monitoradas (pivôs centrais), com diferentes culturas (soja, feijão e algodão) plantadas em diferentes estações de cultivo (cultivo de inverno, primeira e segunda safra). Os dados de campo foram adquiridos de uma plataforma de gerenciamento de irrigação (software Valley Scheduling, usado pela plataforma Irriger Connect). Vale ressaltar que os dados utilizados pra a validação desse estudo foram os mesmos utilizados por Santos *et al.* (2020).

4. RESULTADOS

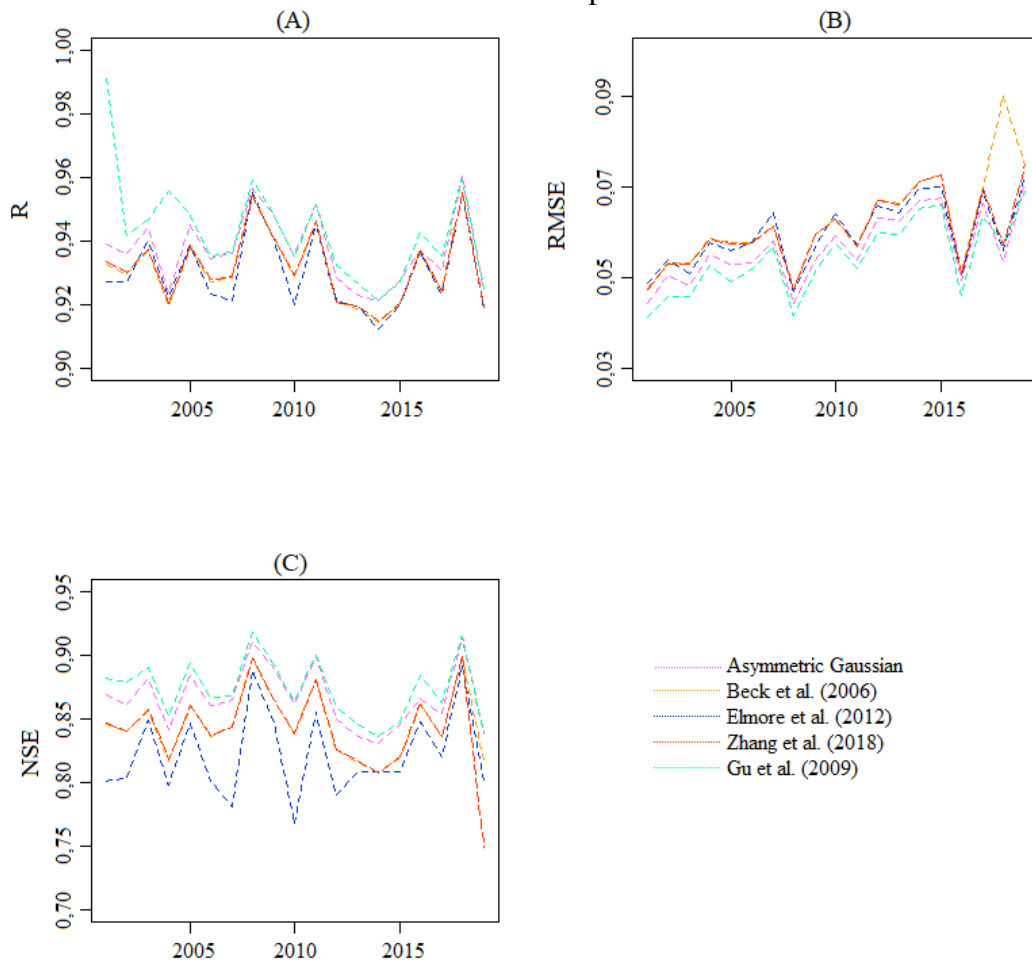
4.1. Datas do início da estação chuvosa

A estação chuvosa na região Oeste da Bahia tende a iniciar em sua porção oeste, formando um gradiente oeste-leste (Figura 8). É observado que as chuvas se iniciam em média nas datas de 17 a 27 de outubro na porção oeste, enquanto no centro e a leste as chuvas se iniciam nas datas de 27 de outubro a 06 de novembro (Figura 8-T). Nota-se que, nos anos de 2001, 2006, 2009 e 2011 (Figura 8-A, F, I, K), as chuvas se iniciaram vinte dias antes que a média da região (Figura 8-T). Por outro lado, nos anos de 2004, 2007, 2012, 2015 (Figura-G, O), é observado um atraso de até trinta dias em relação à média histórica da região.

4.2. Acurácia das curvas fenológicas de NDVI e seleção do interpolador e do método de extração da data de *green-up*

Por meio dos testes de acurácia dos interpoladores da série temporal de NDVI é possível observar que o método desenvolvido por Gu *et al.* (2009) apresentou o maior coeficiente de correlação de Pearson para todos os anos ($0,943 \pm 0,016$) (Figura 8-A); menor desvio médio quadrático ($0,054 \pm 0,008$) (Figura 9 – B) e maior eficiência do modelo Nash-Sutcliffe ($0,873 \pm 0,024$) (Figura 9 – C). Os anos com pior aderência dos interpoladores foram 2004 e 2014, o que pode ser explicado pela maior nebulosidade nesses anos, que gera oscilações na curva fenológica do NDVI, com exceção do método de Gu *et al.* (2009).

Figura 10 – Avaliação de acurácia das curvas fenológicas derivadas do NDVI MODIS-MCD43A4. A – média do Coeficiente de correlação de Pearson dos pixels; B – média do desvio médio quadrático dos pixels; C – média do coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe dos pixels.



Fonte: O autor

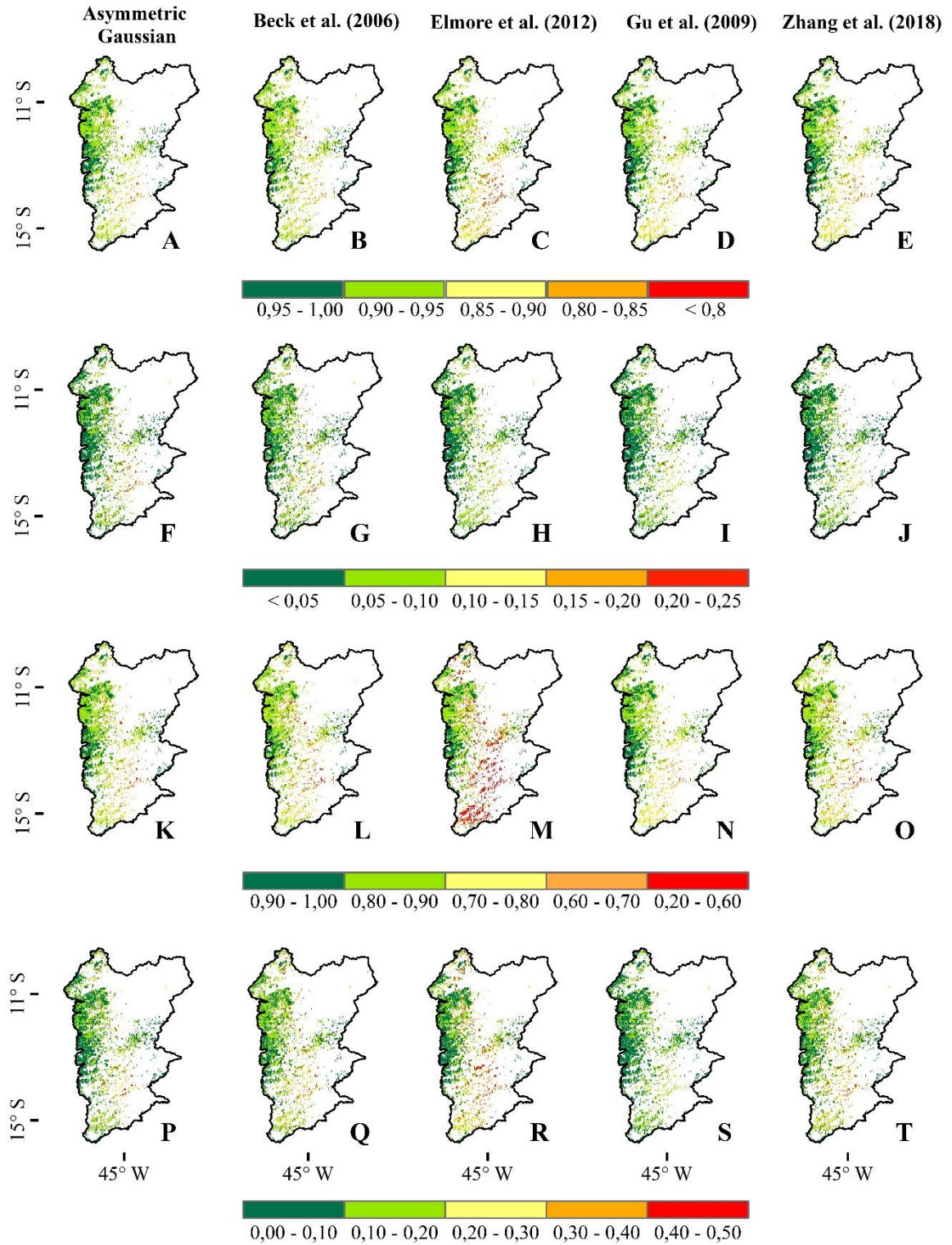
Espacialmente foi observado que o sul da região Oeste da Bahia apresentou a menor média (2001-2019) para o coeficiente de correlação de Pearson, variando de 0,85 a 0,90, com desvio padrão de 0,05 a 0,15 para todos os métodos de interpolação testados (Figura 11-A, B, C, D e E). A mesma condição foi observada para coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe, em que, a porção sul da região apresentou variação de 0,6 a 0,8, à exceção do interpolador proposto por Elmore *et al.* (2012).

O modelo de interpolação proposto por Elmore *et al.* (2012) apresentou a menor eficiência do modelo Nash-Sutcliffe para a porção sul da região, variando de 0,20 a 0,60 (Figura 10-M), variação equivalente a 17% da área total da região (Figura 12), destoando dos demais modelos testados (Figura 11-K, L, N, O) e indicando um baixo ajustamento da curva fenológica simulada. Tal resultado pode estar relacionado ao fato de que os autores estudaram uma região de fragmentação florestal com altitude elevada do médio Atlântico dos Estados Unidos; oposto à região deste estudo, de culturas sazonais e baixas altitudes.

Por outro lado, o extremo oeste da região apresentou maior coeficiente de correlação de Pearson ($R: \geq 0,90$; desvio padrão: 0,10) e maior eficiência do modelo Nash-Sutcliffe ($NSE: \geq 0,8$; desvio padrão: $\leq 0,2$), indicando um melhor ajustamento da curva fenológica simulada aos dados de NDVI observados. Possivelmente, a diferença observada entre as porções sul e extremo oeste podem ser explicadas pelo maior adensamento do plantio, que possibilita menor variação diária do índice NDVI.

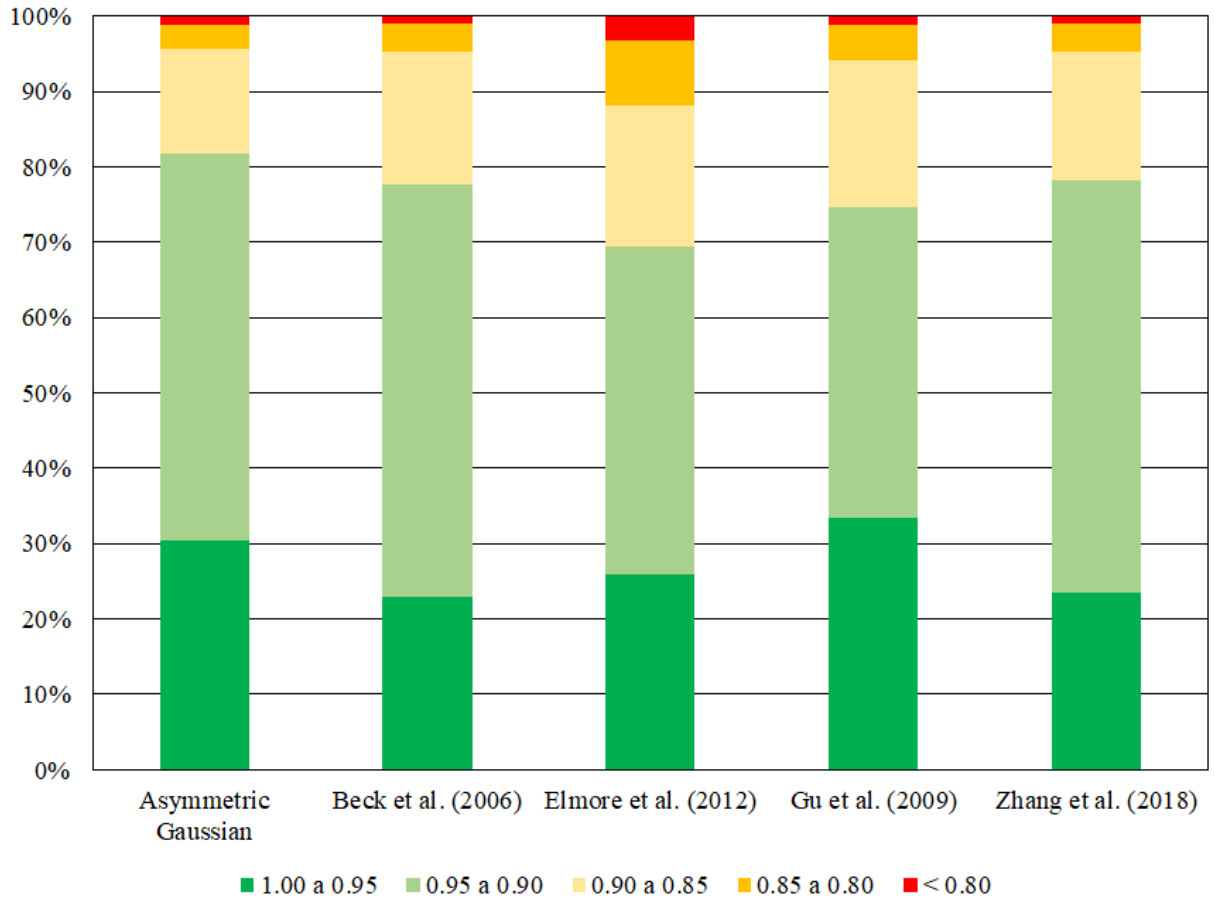
No geral, os métodos de interpolação *Asymmetric Gaussian* e Gu *et al.* (2009) foram aqueles com maior ajuste aos dados de NDVI observados, sendo que aproximadamente 30% da área da região teve curvas fenológicas com R superior a 0,95 e NSE superior a 0,90 para ambos os métodos (Figura 11 e 12). Também não foram observadas diferenças espaciais significativas entre ambos os métodos (Figura 10). Apesar disso, a variação da média da série história do método de Gu *et al.* (2009) mostrou-se superior àquela observada no *Asymmetric Gaussian* (Figura 10). Possivelmente, o método de Gu *et al.* (2009) foi superior aos demais testados por ser generalista para diferentes tipos de cobertura vegetal (florestas perenes e decíduas, plantações e pastagens) além de ser eficiente em ciclos de estações tanto quentes quanto frios. Outro fator importante e que corrobora melhores resultados deste método foi a observação de que vegetações que se desenvolvem em estações quentes possuem curvas fenológicas com um rápido desenvolvimento no início da estação de crescimento, o que se adequa ao tipo de plantio da região oeste da Bahia, de crescimento vegetativo rápido.

Figura 11 – Média da série histórica (2001-2019) para o Coeficiente de correlação de Pearson (A, B, C, D e E), e seu respectivo desvio padrão (F, G, H, I e J); eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (K, L, M, N e O), e seu respectivo desvio padrão (P, Q, R, S e T) para os modelos de interpolação testados.



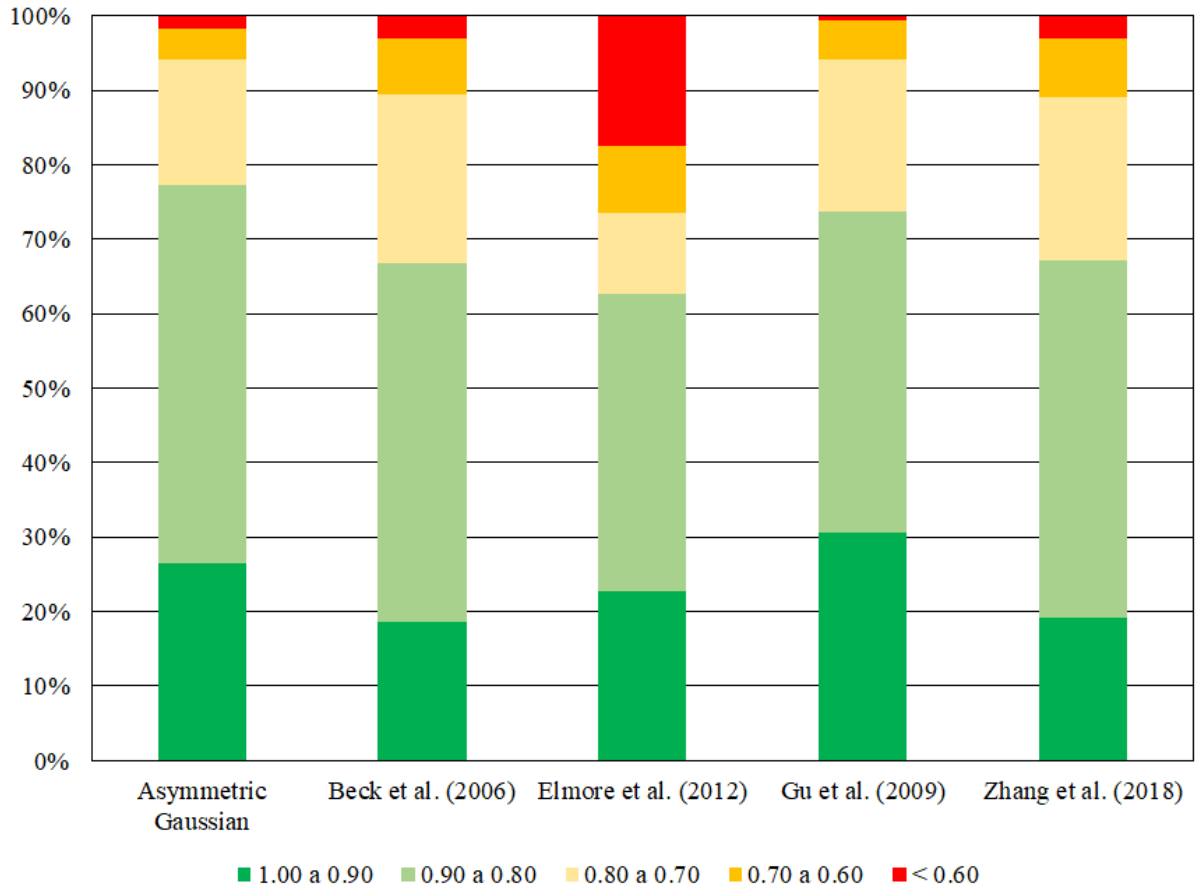
Fonte: O autor

Figura 12 – Porcentagem da região Oeste da Bahia de acordo com o Coeficiente de correlação de Pearson para o somatório das condições de cultivo de sequeiro e irrigado



Fonte: O autor

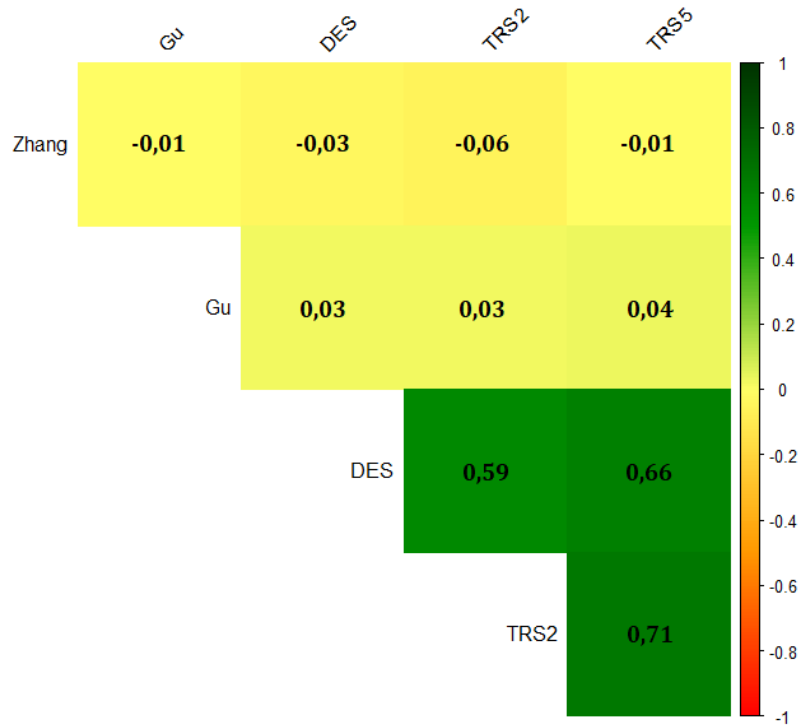
Figura 13 – Porcentagem da região Oeste da Bahia de acordo com coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe para o somatório das condições de cultivo de sequeiro e irrigado



Fonte: O autor

Após a seleção do interpolador de Gu *et al.* (2009) foram testadas as melhores combinações entre esse interpolador e os métodos de identificação da data do *green-up* e posteriormente da data de semeadura. Assim como exposto por Zhang *et al.* (2018), foi adotada a data de semeadura quando mais de um método apresenta-se uma alta correlação entre as datas de semeadura. A combinação do interpolador de Gu *et al.* (2009) com os métodos de identificação da data de semeadura a partir do método dos limiares (de 20% e 50%) e o método das derivadas foram os que obtiveram o maior coeficiente de determinação ($\cong 0,7$), o que evidencia fenômeno correlato para a data de semeadura do Oeste da Bahia (Figura 14). Logo, esse fenômeno foi assumido como o mais próximo da realidade.

Figura 14 – Coeficiente de Determinação entre os métodos de extração da data de semeadura. Método do limiar relativo (TRS2 = limiar de 20%); TRS5 = limiar de 50%); Método da derivada (DES); Gu *et al.* (2009); Zhang *et al.* (2002).

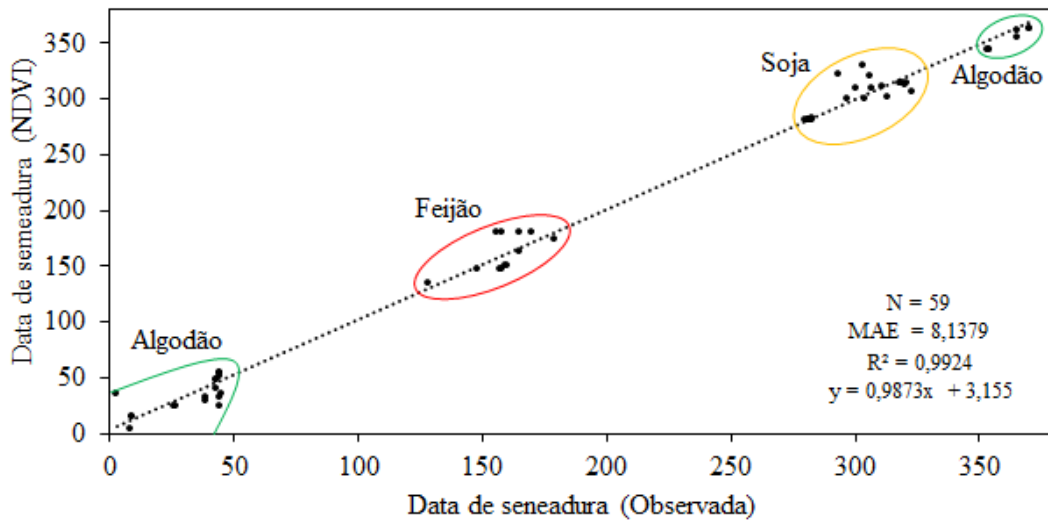


Fonte: O autor

4.3. Validação cruzada com dados observados em campo

A precisão das datas de semeaduras obtidas a partir das curvas fenológicas de NDVI foram comparadas com os dados de semeadura obtidos *in situ*. Foi observado alto valor para o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$) e um erro médio de aproximadamente 3 dias (Figura 19), confirmando a robustez do método aplicado. Confirmando a Robustez do método aplicado.

Figura 15. Validação cruzada entre a data de plantio obtida a partir do índice NDVI e a observada em campo.



Fonte: O autor

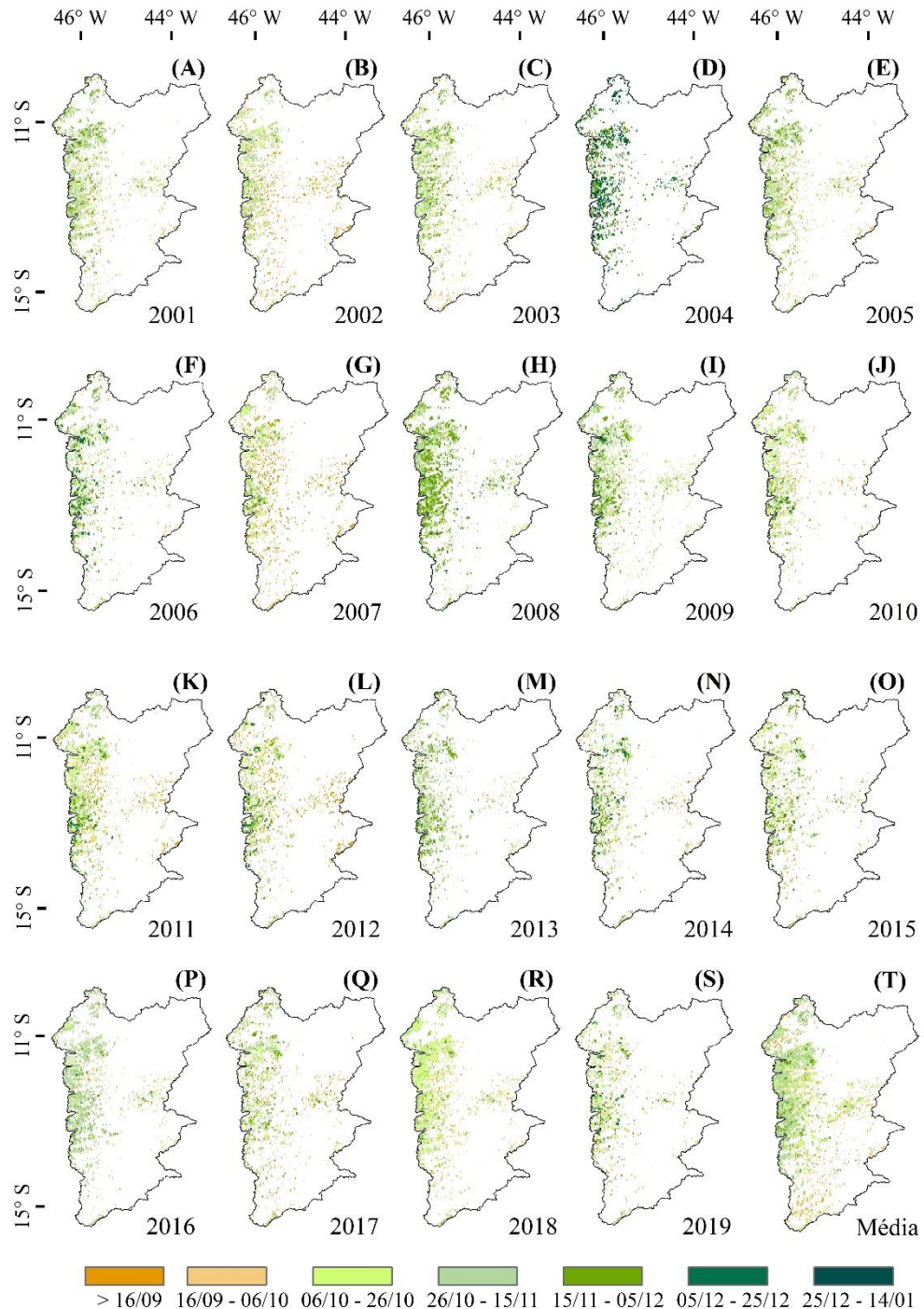
4.4. Datas de seneadura de sequeiro e irrigação primeira e segunda safra

A data de seneadura dos pixels não irrigados variou de 26 de outubro a 15 de novembro (Figura 15-T), sendo que a média histórica da região ocorreu no dia 29 de outubro com mediana em 1 de novembro (Figura 18), com exceção dos anos 2004 e 2007 (Figura 14-D e G). Para o ano 2004 (Figura 15-D) mais de 50% do total da área (Figura 18) foi seneada entre os dias 5 de dezembro e 14 de janeiro, o que totaliza 40 a 60 dias de diferença em relação à média histórica da região.

Por outro lado, no ano de 2007 (Figura 15-G), foi observado adiantamento na data de seneadura nas porções centrais e leste de 30 a 40 dias, tendo sido seneadas entre os dias 16 setembro e 6 de outubro. Apesar desse fato, 50% da região foi seneada entre 7 de outubro e 27 de outubro (Figura 18).

Nota-se ainda uma tendência na distribuição espacial da data de seneadura na região Oeste da Bahia, em que longitudes próximas a 44°W foram seneadas aproximadamente 15 dias antes que sua porção mais a oeste (Figura 15-T).

Figura 16 – Data de semeadura das áreas sequeiro para a região Oeste da Bahia dos anos de 2001 a 2019

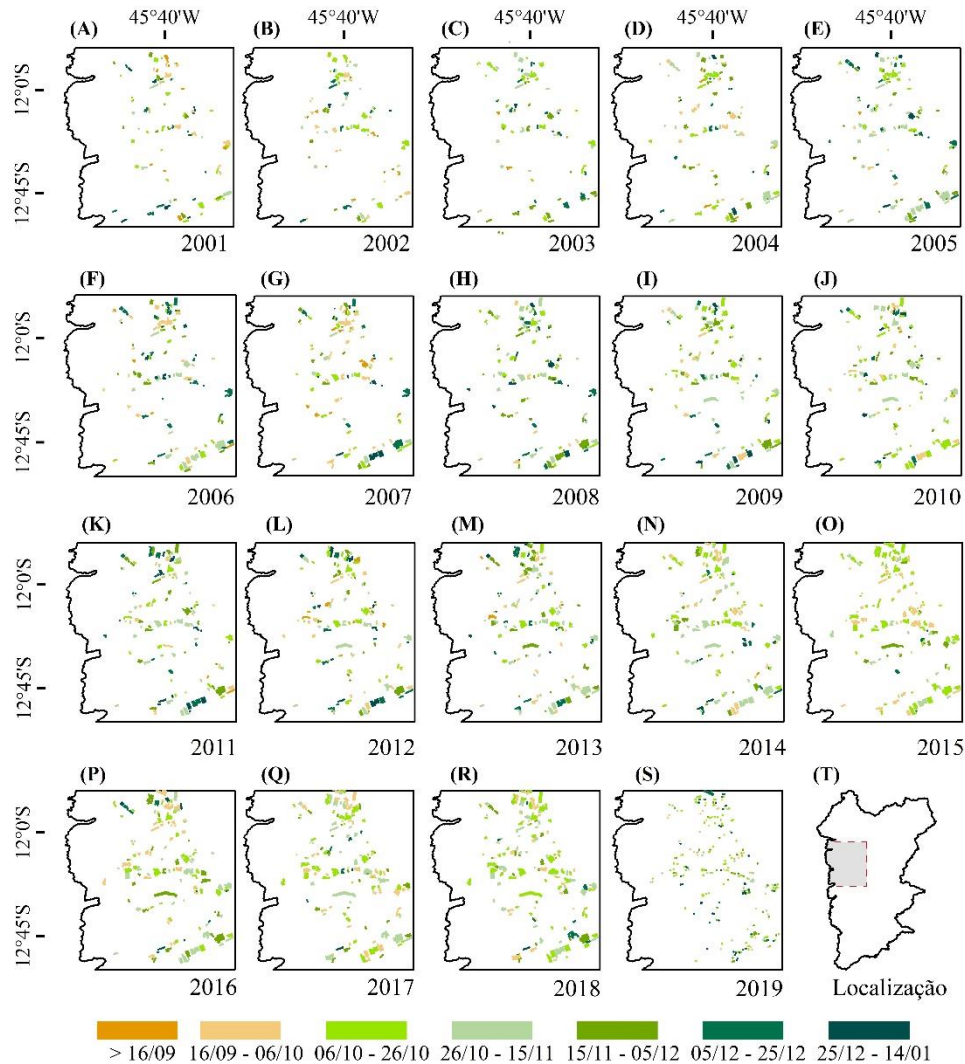


Fonte: O autor

As datas de semeadura para os pivôs centrais (primeira safra) da região Oeste da Bahia variaram em média de 26 de outubro a 15 de novembro (Figura 16), com média em 3 de novembro e mediana em 29 de outubro (Figura 18). O ano de 2019 apresentou menor densidade de pixels com qualidade adequada para o estudo que os demais anos, provavelmente por um excesso de nebulosidade, particulados em suspensão ou problemas *in situ* que afetaram as

curvas fenológicas das culturas. Nota-se ainda que a semeadura para os pivôs centrais (primeira safra) é mais homogênea, o que difere da distribuição observada para o plantio de sequeiro.

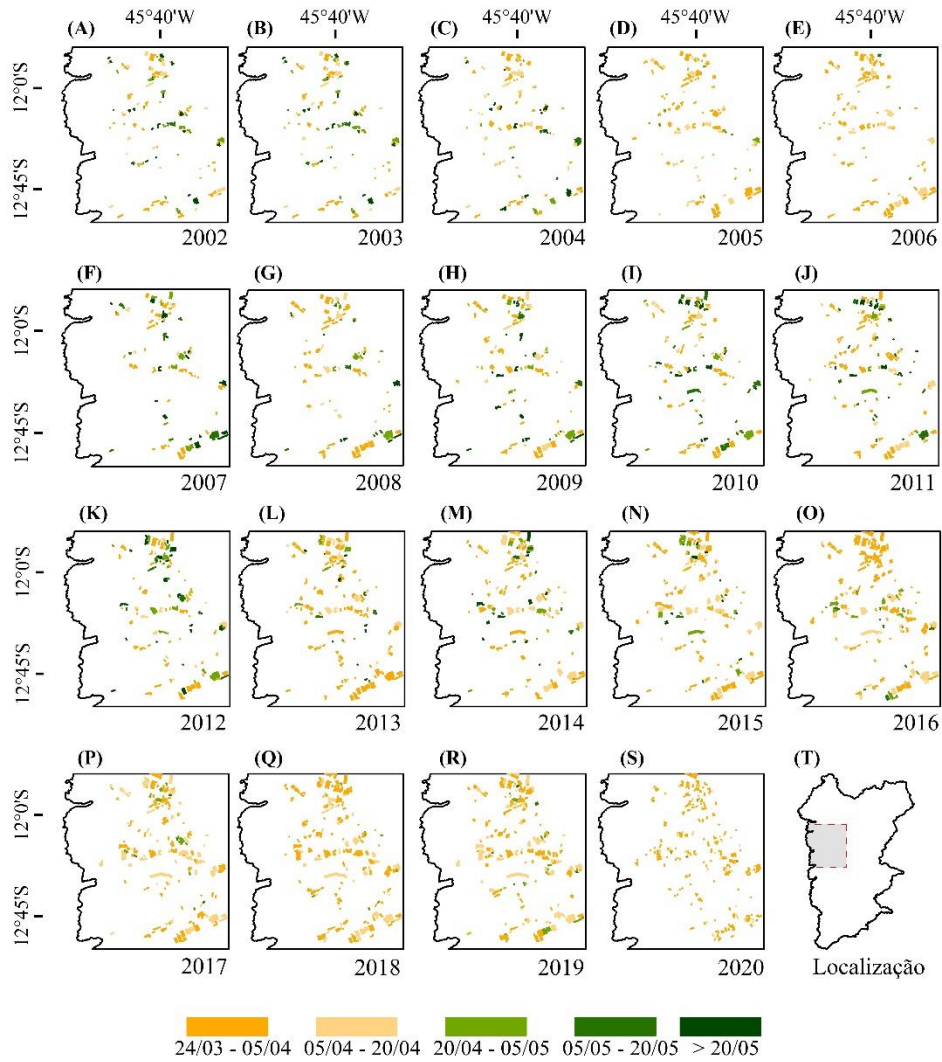
Figura 17 – Data de semeadura das áreas irrigadas (primeira safra) para a região Oeste da Bahia dos anos de 2001 a 2019.



Fonte: O autor

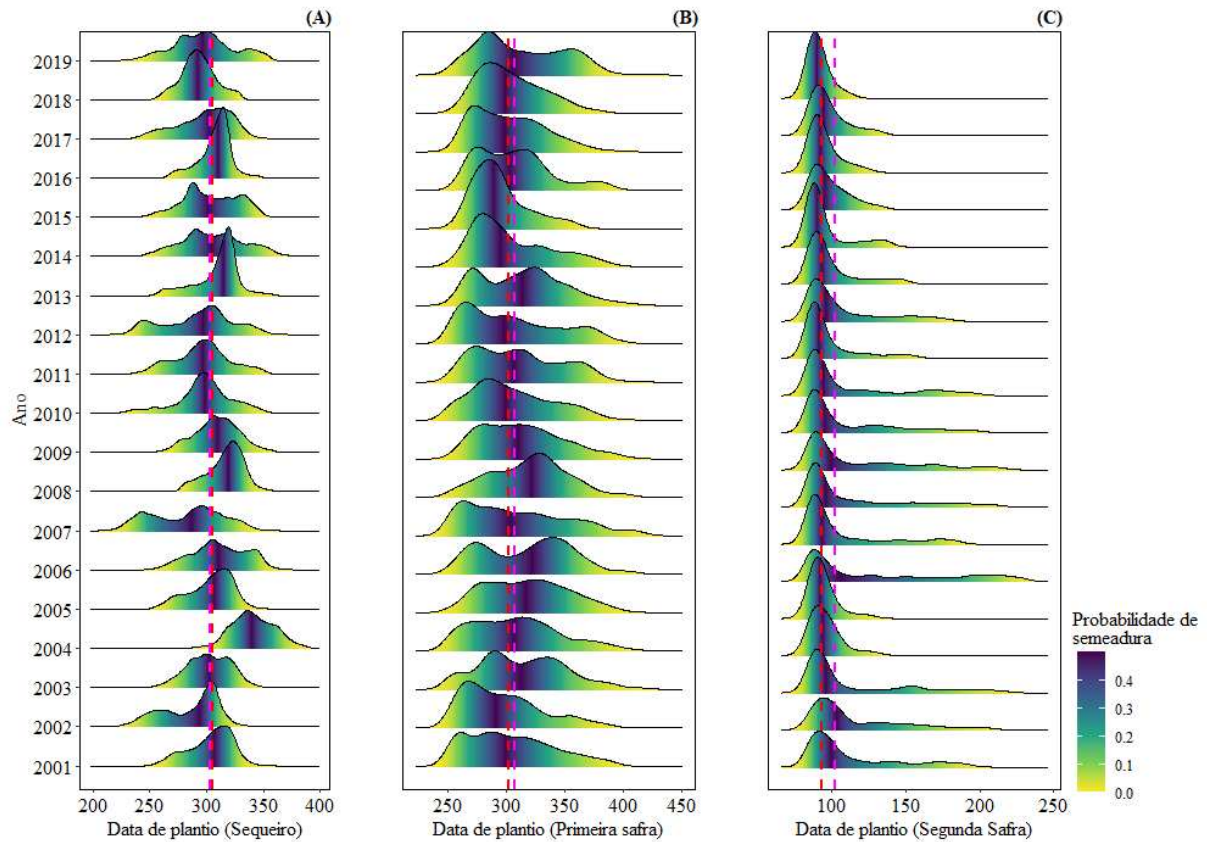
As datas de semeadura para os pivôs centrais (segunda safra) variaram em média de 24 de março a 5 de abril (Figura 17) com média em 3 de abril e mediana em 29 de março (Figura 18). Para os anos de 2001 a 2013 (Figura 17-A a M e Figura 18) alguns pivôs apresentaram data de semeadura superior a 20 de maio. Isso pode ter ocorrido devido a um erro na taxa de recuperação de pico da data de *green-up*, em que não é detectada a semeadura durante a segunda safra para os pivôs.

Figura 18 – Data de semeadura das áreas irrigadas (segunda safra) para a região Oeste da Bahia dos anos de 2002 a 2020.



Fonte: O autor

Figura 19 – Distribuição percentual da Probabilidade da data de semeadura (%) por área da região Oeste da Bahia. Linhas tracejadas em vermelho e roxo representam a mediana a média respectivamente



Fonte: O autor

Relação do início da estação chuvosa com a data de semeadura

É observado que, para a região Oeste da Bahia, há uma distribuição espacial da relação entre a data de semeadura e o início da estação chuvosa. Quando se analisa a região como um todo, verifica-se que a média histórica da data de semeadura de sequeiro ocorreu 4 dias após o início da estação chuvosa, com mediana de 20 dias (Figura 20). Por outro lado, a semeadura sob o sistema irrigado (primeira safra) ocorreu em média 1 dia após o início da estação chuvosa.

Também é observado que nos anos 2001, 2004, 2006, 2009, 2011, 2013 a semeadura de sequeiro ocorreu após 1 mês do início das chuvas (Figura 19-A, D, F, I, K, M). Nesses anos mais de 50% da região foi semeada de 25 a 35 dias após o início da estação chuvosa (Figura 20). Atrasos na semeadura para o sistema de irrigação (primeira safra) também foram observados nesses anos (Figura 22);

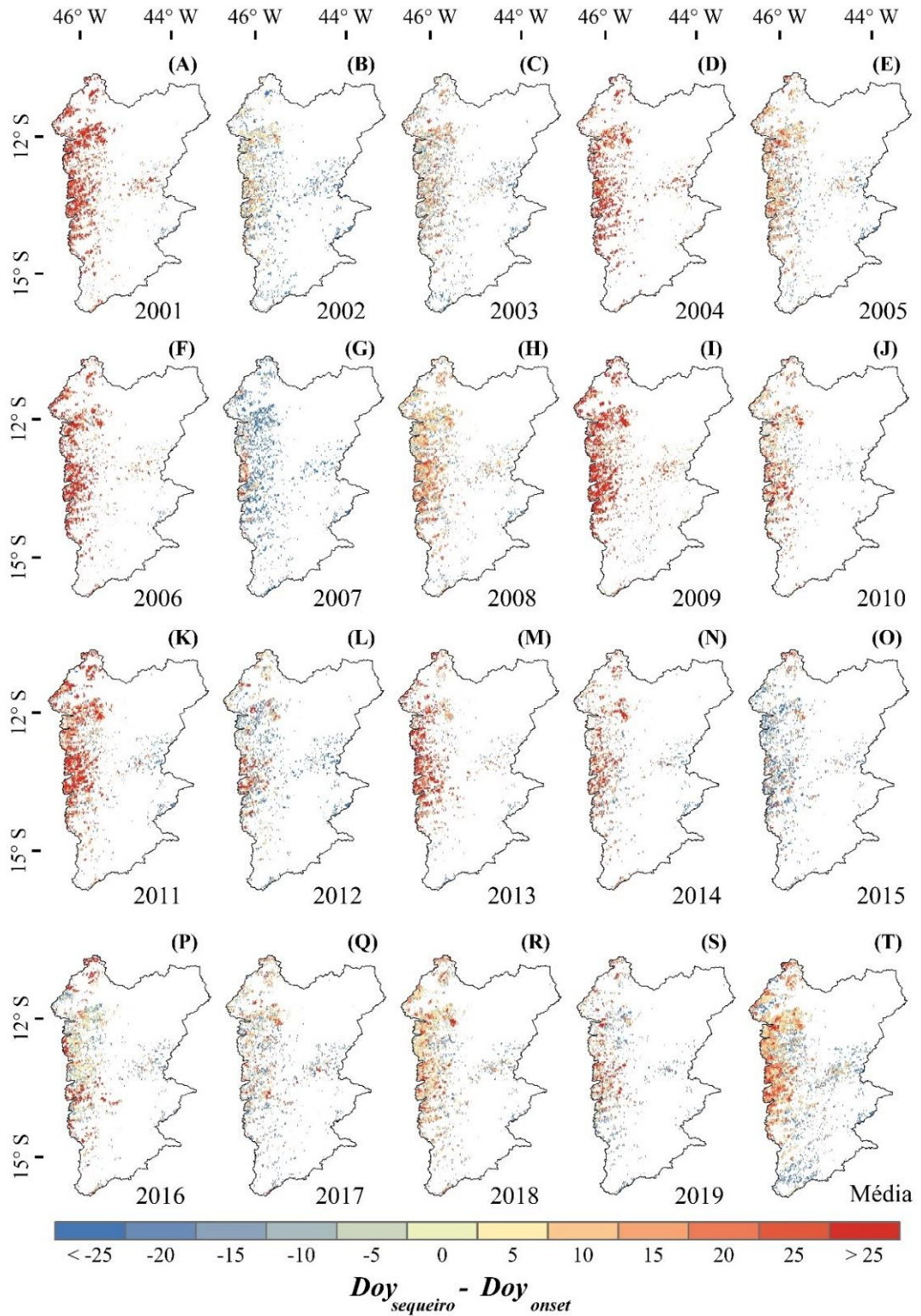
Por outro lado, a data de semeadura tanto sob o sistema de sequeiro quanto sob o sistema de irrigação (primeira safra) para o ano 2007 ocorreu em média 1 mês antes do início da estação

chuvosa, em que mais de 50% da região foi semeada entre 30 a 40 dias antes do início das chuvas. O mesmo fato foi observado para o ano de 2015.

Nota-se ainda que, para os quatro últimos anos da série histórica (2016 a 2019), a data de semeadura para 50% da região ocorreu entre cinco dias antes e cinco dias após o início da estação chuvosa.

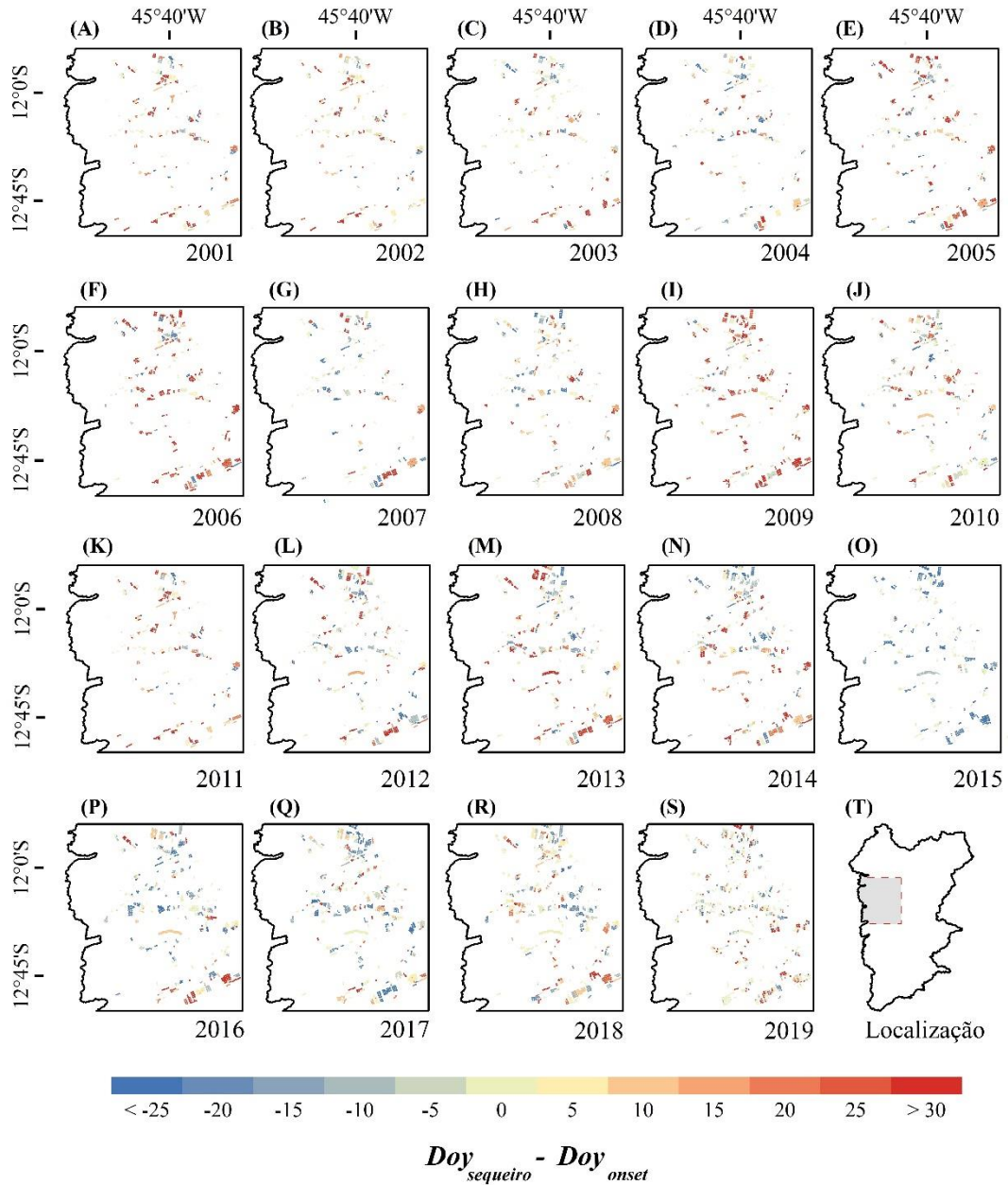
Já para o sistema de irrigação (segunda safra) foi observado que a semeadura ocorreu em média 159 dias após o início da estação chuvosa, com mediana em 152 dias. Também foi observado que atrasos na data de semeadura sob o sistema de irrigação - primeira safra, resultam diretamente em atrasos na semeadura irrigação - segunda safra.

Figura 20 – Distribuição espacial da diferença entre a data de plantio do cultivo de sequeiro e a data do início da estação chuvosa.



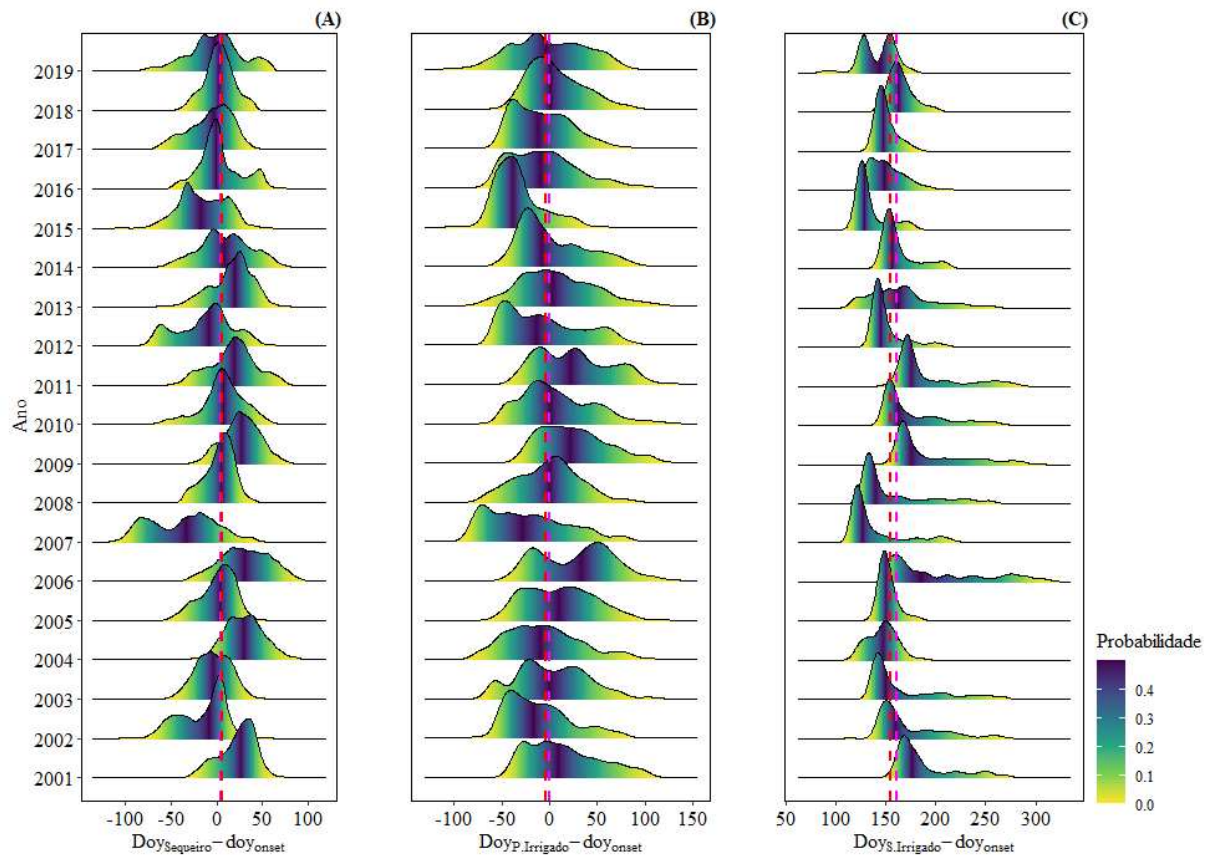
Fonte: O autor

Figura 21 – Distribuição espacial da diferença entre a data de plantio do cultivo irrigado primeira safra e a data do início da estação chuvosa.



Fonte: O autor

Figura 22 – Distribuição percentual da Probabilidade $Doys_{semeadura} - Doys_{onset}$ por área da região Oeste da Bahia. Linhas tracejadas em vermelho e roxo representam a mediana e a média, respectivamente



Fonte: O autor

5. DISCUSSÃO

Estudos para a região Oeste da Bahia buscaram identificar a data de semeadura com melhor desempenho vegetativo e produtivo. Cruz *et al.* (2018) relataram que, preferencialmente, a semeadura deve ocorrer na primeira quinzena do mês de novembro e complementaram no estudo que atrasos na época de semeadura (após a primeira quinzena do mês de dezembro) promovem uma redução no ciclo de maturação da soja e, conseqüentemente, redução na produtividade. Reis *et al.* (2020) apresentaram três condições climáticas (cenário normal, cenário úmido, cenário seco) para a semeadura da soja em municípios do Oeste da Bahia em que, no cenário normal e úmido, a semeadura é realizada nas datas de 1 de outubro a 1 de novembro; por outro lado, os mesmos autores identificaram que, em cenários secos, a semeadura ocorre de 1 a 21 de dezembro, havendo perdas significativas na produtividade.

Resultados semelhantes foram observados neste estudo, com a semeadura sendo realizada em média entre 26 de outubro e 15 de novembro para o cultivo de sequeiro. Também foram observados atrasos na data de semeadura em períodos secos, com destaque para 2004, que apresentou um período de seca prolongado e consequente atraso no início da estação chuvosa, com impactos diretos na data de semeadura de sequeiro, variando em média de 5 de dezembro a 14 de janeiro.

O atraso da semeadura em 2004 pode ter ocorrido devido à forte oscilação positiva na temperatura do oceano pacífico, que provocou um evento El Niño e consequente diminuição da precipitação em toda região nordeste (NOAA, 2021). Fenômeno similar foi observado em estudos como os de Araujo *et al.* (2019) e Reis *et al.* (2020), os quais relataram que fortes eventos de El Niño forçaram os produtores da região do MATOPIBA a adiar a data de semeadura, em especial da soja.

Associado ao El Niño que ocorreu em 2004, também foi observado um deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte de sua posição climatológica no período de 21 de setembro a 5 de outubro (CPTEC, 2004). Fato esse, que segundo Cunha *et al.* (2018) ocasiona em drástica queda nos índices pluviométricos. Ambos os eventos (El Niño e deslocamento da ZCIT para o norte) podem ter contribuído significativamente para a diminuição das chuvas e consequente atraso do plantio da região Oeste da Bahia.

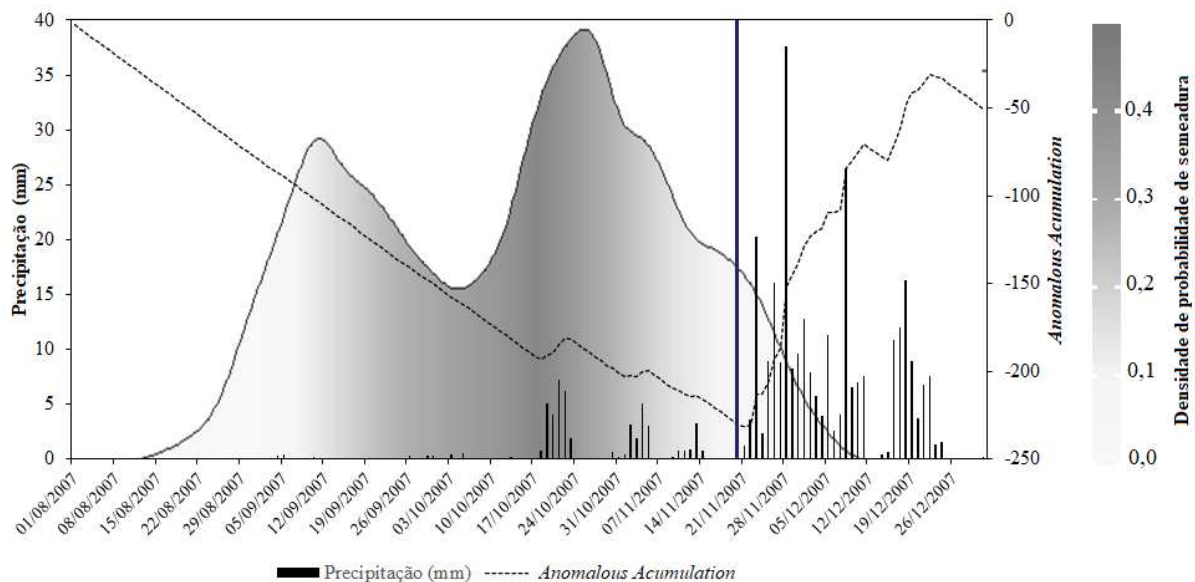
Por outro lado, apesar das evidências da influência dos eventos de larga escala na data de semeadura de sequeiro para o ano de 2004, o mesmo não foi observado para a semeadura sob o sistema de irrigação (primeira safra), que ocorreu até 25 dias antes do início da estação chuvosa. Tal fato pode evidenciar certa autonomia dos produtores irrigantes da região em relação ao início da estação chuvosa. Contudo, deve-se ressaltar que os produtores irrigantes do Oeste da Bahia poderão perder essa autonomia em relação ao início das chuvas, devido a uma conjunção de fatores, como os apontados por Pousa *et al.* (2019): uso pouco eficiente da irrigação; diminuição das vazões mínimas dos rios da região; conflitos pelo uso da água e encurtamento do período chuvoso, em especial durante períodos de secas extremas.

Atrasos na estação chuvosa, como o ocorrido em 2004, poderão se tornar frequentes no futuro. Byrne *et al.* (2018) demonstraram que, em possíveis cenários de mudanças climáticas, a ZCIT se deslocará ao norte de sua posição climatológica. Esse deslocamento da ZCIT poderá ocasionar secas mais frequentes e prolongadas no nordeste brasileiro, o que pode afetar significativamente a semeadura.

Para o ano de 2007, foi observado que a semeadura de sequeiro ocorreu na segunda quinzena do mês de outubro, anterior a média histórica para o Oeste da Bahia (2001-2019). A

exceção da porção extremo oeste que manteve a semeadura próxima à data da média histórica da região. Também foi observado que o início da estação chuvosa ocorreu na segunda quinzena do mês de novembro, aproximadamente trinta dias após a semeadura da região. Esse fato pode ter ocorrido devido a uma lâmina de precipitação acumulada de 47,3 mm entre os dias 17 de outubro e 21 de novembro de 2007 (Figura 22), que possivelmente levou os produtores a semear a região antes do início da estação chuvosa definido pelo método de *Anomalous Accumulation*.

Figura 23 – Relação da média da precipitação e do *Anomalous Accumulation* para a região Oeste da Bahia no ano de 2007. Linha em azul representa a média do início da estação chuvosa.



Fonte: O autor

O atraso do início da estação chuvosa no ano de 2007, pode estar relacionado à atuação, intensidade e posição dos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), pois o seu centro se posicionou na porção continental da região nordeste, inibindo de forma semipermanente a formação de nuvens, em especial na segunda quinzena de outubro (Gan e Kousky, 1986; Chaves e Cavalcanti, 2001; CPTEC, 2007; Morais *et al.*, 2020).

O ano de 2007, assim como outros anos da série histórica, apresentou um gradiente leste-oeste para a data de semeadura, sendo a porção a leste da região semeada até um mês antes que sua porção extremo oeste. Tais condições de semeadura parecem ser contraintuitivas, pois o início da estação chuvosa na região Oeste da Bahia ocorre em um primeiro momento a oeste, seguindo em direção ao leste da região. Esse fato foi confirmado pelo volume de precipitação,

com um aumento gradual em direção ao oeste, como foi observado nos trabalhos de Reis *et al.* (2020b) e Laux *et al.* (2020).

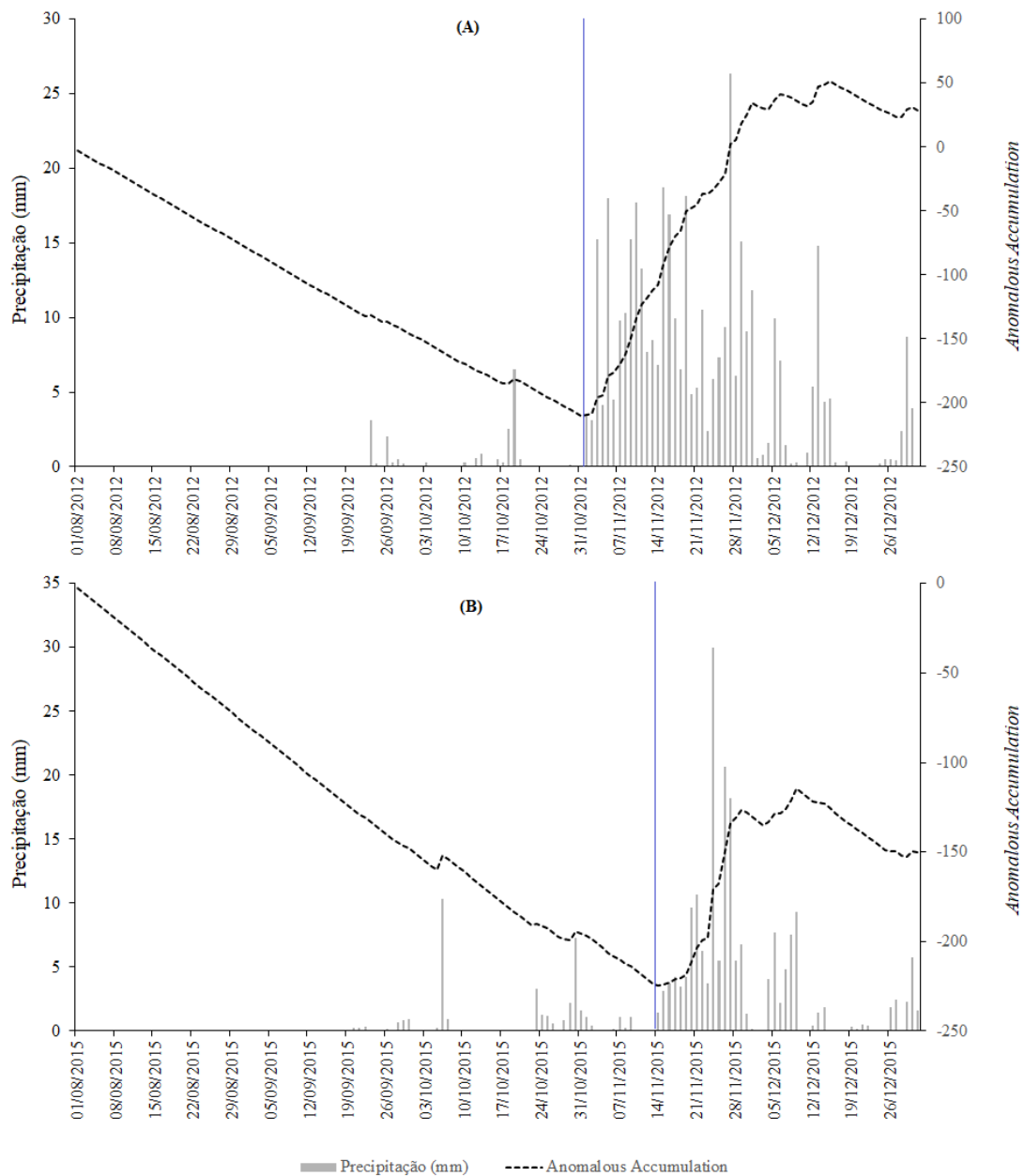
Uma hipótese para a semeadura ocorrer no sentido leste-oeste, de encontro à estação chuvosa, pode estar na conjunção de dois fatores: controle da ferrugem asiática e risco climático. Para a região Oeste da Bahia, observa-se um alto risco climático para a semeadura da soja em sua porção central e a leste (Melo *et al.* 2020). Dessa forma, a área destinada ao plantio de soja, fica quase restrita ao extremo oeste dos municípios de Luís Eduardo Magalhães, São Desidério, Barreiras e Correntina (Melo *et al.* 2020, IBGE, 2021). Observa-se ainda que os demais municípios se focam em culturas não oleaginosas, o que os permite não ser afetados de forma severa pelas normativas do “vazio sanitário da soja”, o que implica na não ocorrência em campo de culturas oleaginosas (ADAB, 2007); Por esse motivo, municípios como: Barra (cana-de-açúcar, feijão e mandioca), Canápolis (cana-de-açúcar, feijão e mandioca), Cristópolis (feijão) e Feira da Mata (feijão e mandioca) (IBGE, 2021), não são restringidos pela data de semeadura para culturas oleaginosas, podendo executar o plantio de forma antecipada.

Para o ano de 2011, foi observado um forte evento de La Niña (NOAA, 2021) e, como consequência, o início da estação chuvosa ocorreu antes de sua média histórica para a região Oeste da Bahia. Esse fato também foi observado para todo o nordeste brasileiro no estudo de Correia-Filho *et al.* (2019). Entretanto, não foi observado um adiantamento da data de semeadura para a região. Isso ocorre devido à portaria número 59 da ADAB, de 29 de janeiro de 2009 (ADAB, 2009), que prevê um projeto de manejo da Ferrugem Asiática da Soja por meio do Vazio Sanitário para todo o estado da Bahia que, nesse ano, proibia a semeadura de qualquer cultura oleaginosa antes de 15 de outubro. Como consequência, mais de 50% da região foi semeada de 25 a 45 dias após o início da estação chuvosa, seja sob sistema de sequeiro ou irrigação. Esse mesmo fato ocorreu para os demais anos de La Niña. Assim como em 2007, foi observado um gradiente na data de semeadura leste-oeste, possivelmente impulsionado pelo plantio de culturas não oleaginosas.

Secas severas na região Nordeste foram observadas entre 2012 e 2015, possivelmente causadas pela conjunção de processos climáticos de larga escala, tais com El Niño e a migração da ZCIT para o norte de sua posição climatológica (Cunha *et al.* 2018; Medeiros *et al.* 2020). Resultados semelhantes foram observados neste estudo em que, para o mesmo período, as chuvas da região Oeste da Bahia se iniciaram após a média histórica da região (2001-2019), com ênfase para os anos 2012 e 2015. Apesar desse fato, em ambos os anos, a semeadura de sequeiro manteve-se nas datas esperadas (26 de outubro a 15 de novembro).

Tal fato pode ter ocorrido pois, apesar da estação chuvosa nesses anos se iniciar após a média histórica da região, é observado que ainda estão dentro dos padrões aceitáveis para a semeadura da soja. Em 2012, as chuvas se iniciaram em média em 31 de outubro e 2015, em 15 de novembro (Figura 23). Apesar das chuvas se iniciarem em um período adequado à semeadura, devido aos baixos índices pluviométricos, no ano de 2015 houve uma redução de 35% da produção de grãos na região (Araújo *et al.* 2019).

Figura 24 – Relação da média da precipitação e do *Anomalous Accumulation* para a região Oeste da Bahia nos anos de 2012 e 2015. Linha em azul representa a média do início da estação chuvosa.



Fonte: O autor

Por outro lado, a semeadura sob o sistema de pivôs centrais, no ano de 2015, ocorreu até vinte dias antes que a semeadura sob o sistema de sequeiro. Possivelmente, esse adiantamento da semeadura por parte dos produtores irrigantes, associado ao atraso da estação chuvosa e baixos índices pluviométricos, ocasionaram os conflitos pela água que foram relatados por Pousa et al. (2019) no ano de 2015, como por exemplo, a suspensão temporária da concessão de outorgas de uso de água. Nesse período, também foi observada diminuição de até 5 metros no nível do lençol freático da bacia hidrográfica do Alto Grande, uma das mais importantes da região Oeste da Bahia (Marques et al., 2020).

Um fator preocupante para o futuro do Oeste da Bahia é o aumento contínuo da área destinada ao sistema de pivôs centrais, sendo que, no ano de 2040, espera-se uma área total maior que 200 mil hectares (ANA, 2021). Tal estimativa endossa os resultados observados em Pousa et al. (2019), os quais afirmam que a retirada de água para a irrigação poderá ocasionar conflitos mais severos.

Para a sucessão da semeadura de soja (Primeira Safra) e milho (Segunda Safra) Júnior e Sentelhas (2019) apresentaram que a soja deve ser semeada preferencialmente entre 11 e 29 de outubro, de forma a se obter o máximo produtivo das duas culturas. Tal fato é condizente com os resultados observados neste estudo, em que a data de semeadura sob o sistema de irrigação para a primeira safra ocorreu da segunda quinzena de outubro até a primeira quinzena de novembro. Também foi observado que a segunda safra é mais homogênea que as demais, ocorrendo em média de 24 de março a 5 de abril. Tal fato também foi observado no estudo de Santos *et al.* (2020).

Por fim, é importante ressaltar as limitações inerentes ao emprego dos métodos utilizados neste estudo e também a validação cruzada dos resultados. Sendo elas:

- A validação cruzada é representativa as áreas cultivadas sob o sistema de pivôs centrais. Não foi possível obter dados de semeadura *in situ* para o cultivo de sequeiro da região. Isso ocorreu por fatores financeiros e técnicos. Soma-se a esse fato que a validação não é representativa a todas as culturas cultivadas na região Oeste da Bahia.
- Os dados de validação são representativos aos anos de 2017 a 2019. Tal fato advém pela inexistência de um banco de dados histórico centralizado de cultivos para o Brasil, como ocorre, por exemplo, nos EUA por meio do *National Agricultural Statistics Service Information (NASS)*.

- Uma parcela dos produtores da região Oeste da Bahia produz culturas perenes, tais como o café que soma uma área plantada superior a 30 mil hectares. O método empregado não prevê a distinção entre culturas; logo é possível que culturas como o café causem um valor superestimado na data de semeadura, ou um erro, nos pixels em que estão inseridas. Neste estudo, esse efeito foi desconsiderado, pois as culturas perenes da região representam menos que 1% do total da área cultivada.
- Outro fator importa do estudo, é que uma parcela dos produtores irrigantes da região, fazem 5 cultivos no período de dois anos. Apesar de ser possível captar os produtores que optam por essa opção de manejo, o método empregado não obteve bons resultados na obtenção da data de semeadura para esse cultivo adicional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi o primeiro a realizar o mapeamento da data de semeadura por meio de séries temporais densas de índices vegetativos de forma a abranger em sua totalidade uma região complexa e de crescimento agrícola constante. Da mesma forma, foram observados poucos estudos que relacionam a data de semeadura com o início da estação chuvosa.

Em geral, o início da estação chuvosa ocorre segundo um gradiente oeste-leste. Apesar de contraintuitivo, a semeadura é feita no sentido leste-oeste, de encontro ao início da estação chuvosa, possivelmente devido a conjunção de fatores como o risco climático para o plantio da soja e as normativas para o Vazio Sanitário.

O início da estação chuvosa exerce influência na data de semeadura sob o sistema de sequeiro e irrigado. Em geral a semeadura sob sistema de sequeiro e irrigação são realizadas entre 26 de outubro e 15 de novembro, até 15 dias após o início da estação chuvosa. Apesar desse fato os produtores irrigantes da região têm maior flexibilidade no momento do plantio, em especial, durante os anos de secas, quando as chuvas começam após a primeira quinzena do mês de novembro. Nesses anos, de secas prolongadas, a semeadura sob sistema de irrigação é realizada até 25 dias antes que o início da estação das chuvas.

Eventos de El Niño e La niña podem interferir no início da estação chuvosa e conseqüentemente na semeadura, como aconteceu com os anos de 2007 e 2011, mas são necessárias análises mais específicas sobre a relação desses eventos, assim permitindo conclusões mais assertivas.

Apesar dos produtores irrigantes terem uma certa autonomia em relação ao plantio antes do início da estação chuvosa, esse fato pode deixar de ocorrer caso mantenha-se a

tendência de intensificação do uso da água, o que possivelmente acarretará em conflitos relacionados a este recurso no futuro.

Por fim, os produtores da região Oeste da Bahia devem se preparar para o futuro, pois para as próximas décadas é esperado um aumento na demanda mundial de alimentos. Além disso, são esperados o atraso e a redução das chuvas para toda região Nordeste do Brasil, sob cenários de mudanças climáticas. Este estudo corrobora com o avanço do conhecimento, pois entender o passado é se preparar para o futuro. Logo, entender como o início da estação das chuvas (e seus condicionantes de larga escala) afetam a semeadura é se preparar para as novas condições que estão por vir nos próximos anos.

7. REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, G. M., COSTA, M. H. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256, p. 32-45, 2018. Doi: 10.1016/j.agrformet.2018.02.031

ADAB. Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia. Portaria Nº 623, de 05 de outubro de 2007. **Procedimentos para o Vazio Sanitário da Soja no Oeste da Bahia**. Bahia. 2007. Disponível: <<http://www.adab.ba.gov.br/arquivos/File/PortariaADABN62305102007.pdf>>

ADAB. Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia. Portaria Nº 59, de 29 de janeiro de 2009. **Procedimentos para o Vazio Sanitário da Soja no Oeste da Bahia**. Bahia. 2009. Disponível: <<http://www.adab.ba.gov.br/arquivos/File/PortariaADABN05929012009.pdf>>

ANA., Agência Nacional de Águas. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2021. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>

ARAÚJO, M. L. S., SANO, E. E., BOLFE, É. L., SANTOS, J. R. N., DOS SANTOS, J. S., & SILVA, F. B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land use policy**, v. 80, p. 57-67, 2019.

ARVOR, D., MEIRELLES, M., DUBREUIL, V., BEGUE, A., & SHIMABUKURO, Y. E. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 702-713, 2012. Doi: 10.1016/j.apgeog.2011.08.007

ARVOR, D., DUBREUIL, V., RONCHAIL, J., SIMÕES, M., FUNATSU, B. M. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 8, p. 2622-2633, 2014. Doi: 10.1002/joc.3863

BECK, P. S., ATZBERGER, C., HØGDA, K. A., JOHANSEN, B., & SKIDMORE, A. K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. **Remote sensing of Environment**, v. 100, n. 3, p. 321-334, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.021>

BRAGANÇA, A. The Economic Consequences of the Agricultural Expansion in MATOPIBA. **Revista Brasileira de Economia**, v. 72, n. 2, p. 161-185, 2018. doi: 10.5935/0034-7140.20180008

BRUMATTI, Livia Maria; PIRES, Gabrielle Ferreira; SANTOS, Ana Beatriz. Challenges to the Adaptation of Double Cropping Agricultural Systems in Brazil under Changes in Climate and Land Cover. **Atmosphere**, v. 11, n. 12, p. 1310, 2020.

BYRNE, M. P., PENDERGRASS, A. G., RAPP, A. D., WODZICKI, K. R. Response of the intertropical convergence zone to climate change: Location, width, and strength. **Current climate change reports**, v. 4, n. 4, p. 355-370, 2018

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do agronegócio Brasileiro**. 2020. Disponível em: < <https://cepea.esalq.usp.br/br> > Acesso em: 03 de março de 2021

CHAVES, R. R., CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 129, n. 10, p. 2614-2626, 2001.

CHEN, Jin *et al.* A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 332-344, 2004.

CPTEC. **CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento de Análise Climática**. São Paulo: SCT/INPE-CPTEC, v. 19, n. 09, 2004. Disponível em: < <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0904/index.html> >. Acesso em: 31 de março de 2021

CPTEC. **CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento de Análise Climática**. São Paulo: SCT/INPE-CPTEC, v. 22, n. 10, 2007. Disponível em: < <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0904/index.html> >. Acesso em: 31 de março de 2021

CORREIA FILHO, W. L. F., OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., BARROS S. D., BODAS T, P. M., TEODORO, P. E., DE GOIS, G. BLANCO C. J. C., SOUZA P. H. A., COSTA M. S., GOMES H. B., SANTOS P. J. Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHELSA product. **Big Earth Data**, v. 3, n. 4, p. 315-337, 2019.

CRUZ, T., PEIXOTO, C., MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 1, p. 33-42, 2010.

Cunha, A. P. M., Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G. G., Brown, M., Garcia, S. R., Brito, S. B., & Carvalho, M. A. Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, v. 19, n. 10, p. e855, 2018.

DIAO, C. Remote sensing phenological monitoring framework to characterize corn and soybean physiological growing stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 248, p. 111960, 2020.

DIONIZIO, E. A., COSTA, M. H. Influence of Land Use and Land Cover on Hydraulic and Physical Soil Properties at the Cerrado Agricultural Frontier. **Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 24, 2019. Doi: 10.3390/agriculture9010024

ELMORE, A. J., GUINN, S. M., MINSLEY, B. J., & RICHARDSON, A. D. Landscape controls on the timing of spring, autumn, and growing season length in mid-Atlantic forests. **Global Change Biology**, v. 18, n. 2, p. 656-674, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02521.x>

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

FLASKERUD, G., JOHNSON, D. **Seasonal Price Patterns for Crops**. 2000. <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/4891/eb61.pdf?sequence=1>

FUNK, C. C., PETERSON, P. J., LANDSFELD, M. F., PEDREROS, D. H., VERDIN, J. P., ROWLAND, J. D., VERDIN, A. P. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. **US Geological Survey Data Series**, v. 832, n. 4, p. 1-12, 2014.

GAMON, J. A., FIELD, C. B., GOULDEN, M. L., GRIFFIN, K. L., HARTLEY, A. E., JOEL, G., PENUELAS, J., VALENTINI, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**, v. 5, n. 1, p. 28-41, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942049>

GAN, MANOEL ALONSO, KOUSKY, VERNON EDGAR. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n. 1, p. 19-28, 1986.

GAO, F., ANDERSON, M. C., ZHANG, X., YANG, Z., ALFIERI, J. G., KUSTAS, W. P., MUELLER, R., JOHNSON, M. D., PRUEGER, J. H. Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 188, p. 9-25, 2017. Doi: 10.1016/j.rse.2016.11.004

GAO, F., HILKER, T., ZHU, X., ANDERSON, M. A., MASEK, J., WANG, P., YANG, Y. Fusing Landsat and MODIS data for vegetation monitoring, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**. v. 3, n. 3, p. 47-60, 2015. Doi: 10.1109/MGRS.2015.2434351

GU, L., POST, W.M., BALDOCCHI, D.D., BLACK, TRUE.A., SUYKER, A.E., VERMA, S.B., VESALA, TRUE., WOFSEY, S.C. Characterizing the seasonal dynamics of plant community photosynthesis across a range of vegetation types. In: **Phenology of ecosystem processes**. Springer, New York, NY, 2009. p. 35-58.

HSIEH, P., LEE, L. C., CHEN, N. Effect of spatial resolution on classification errors of pure and mixed pixels in remote sensing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 12, p. 2657-2663, 2001.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática. **Produção Agrícola Municipal: Tabela 5457** - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. 2021.

JÚNIOR, R. S. N., SENTELHAS, P. C. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p. 140-151, 2019.

LAUX P, BROKER B, MARTINS E, CHAGAS VASCONCELOS JUNIOR F, MORON V, PORTELE T, LORENZ C, PHILIPP A, KUNSTMANN H. A semi-objective circulation pattern classification scheme for the semi-arid Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, 2020. joc.6608. <https://doi.org/10.1002/joc.6608>.

LIEBMANN, B., CAMARGO, S. J., SETH, A., MARENGO, J. A., CARVALHO, L. M., ALLURED, D. FU, R., VERA C. S. Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v. 20, n. 10, p. 2037-2050, 2007.

LUCHT, W., SCHAAF, C. B., STRAHLER, A. H. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 2, p. 977-998, 2000. Doi: 10.1109/36.841980

MARQUES, E. A., JUNIOR, G. C. S., EGER, G. Z., ILAMBWETSI, A. M., RAPHAEL, P., GENEROSO, T. N. OLIVEIRA J. JÚNIOR J. N. Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande

watershed, Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102723, 2020.

MEDEIROS, F. J., DE OLIVEIRA, C. P., E SILVA, C. M. S., & DE ARAÚJO, J. M. Numerical simulation of the circulation and tropical teleconnection mechanisms of a severe drought event (2012–2016) in Northeastern Brazil. **Climate Dynamics**, p. 1-15, 2020.

MELO, A. C. A., NOBRE JÚNIOR, A. D. A., DA SILVA, F. A. M., & DE ABREU, L. M. Climatic risk zoning methodologies for soybean cultivation in the Cerrado Biome. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 26-36, 2020

MOON, M., LI, D., LIAO, W., RIGDEN, A. J., & FRIEDL, M. A. Modification of surface energy balance during springtime: The relative importance of biophysical and meteorological changes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 284, p. 107905, 2020.

MORAIS, M. D. C., GAN, M. A., YOSHIDA, M. C. Features of the upper tropospheric cyclonic vortices of Northeast Brazil in life cycle stages. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E39-E58, 2021.

NASCIMENTO, B. H., FONSECA, L. M. G., SCHWIEDER, M., KÖRTING, T. S., RUFIN, P., SANCHES, I. D. A., HOSTERT, P. Detailed agricultural land classification in the Brazilian cerrado based on phenological information from dense satellite image time series. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 82, p. 101872, 2019. Doi: 10.1016/j.jag.2019.05.005

PAREDES-TREJO, F. J, BARBOSA, H. A, KUMAR, T. V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of arid environments**, v. 139, p. 26-40, 2017. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2016.12.009

PIMENTA, F. M., SPEROTO, A. T., COSTA, M. H, DIONIZIO, E. A. Historical Changes in Land Use and Suitability for Future Agriculture Expansion in Western Bahia, Brazil. **Remote Sensing**, v. 13, p. 1088, 2021.

PIRES, G. F., ABRAHÃO, G. M., BRUMATTI, L. M., OLIVEIRA, L. J., COSTA, M. H., LIDDICOAT, S., LADLE, R. J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and forest meteorology**, v. 228, p. 286-298, 2016. Doi: 10.1016/j.agrformet.2016.07.005

POUSA, R., COSTA, M. H., PIMENTA, F. M., FONTES, V. C., BRITO, V. F. A. D., CASTRO, M. Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/w11050933>

REIS, L., SANTOS E SILVA, C. M., BEZERRA, B., MUTTI, P., SPYRIDES, M. H., SILVA, P. MAGALHÃES T., FERREIRA R., RODRIGUES D. ANDRADE L. Influence of Climate Variability on Soybean Yield in MATOPIBA, Brazil. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1130, 2020.

REIS, L. C., SILVA, C. M. S., BEZERRA, B. G., SPYRIDES, M. H. C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 13, p. 1425-1441. 2020b.

RODIGHERI, G., FONTANA, D. C., SCHAPARINI, L. P., DALMAGO, G. A., & SCHIRMBECK, J. Net Primary Productivity and Dry Matter in Soybean Cultivation Utilizing Datas of Ndvi Multi-Sensors. In: **2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)**. IEEE, 2020. p. 115-120

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., & DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, v. 351, n. 1974, p. 309, 1974

SANTOS, A. B., HEIL M. C., CHARTUNI M., BONINSENHA, I, CASTRO, M. A Remote Sensing Diagnosis of Water Use and Water Stress in a Region with Intense Irrigation Growth in Brazil. **Remote Sensing**, v. 12, p. 3725, 2020.

SCHAAF, C., WANG, Z. MCD43A4 MODIS/Terra+ Aqua BRDF/Albedo Nadir BRDF Adjusted RefDaily L3 Global-500m V006. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**, 2015.

SOLTANI, A., SINCLAIR, T. R. **Modeling Physiology of Crop Development**. Growth and Yield, p. 55-101, 2012.

ZENG, L., WARDLOW, B. D., WANG, R., SHAN, J., TADESSE, T., HAYES, M. J., LI, D. A hybrid approach for detecting corn and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote sensing of environment**, v. 181, p. 237-250, 2016. Doi: 10.1016/j.rse.2016.03.039

ZHANG, Q., KONG, D., SHI, P., SINGH, V. P., & SUN, P. Vegetation phenology on the Qinghai-Tibetan Plateau and its response to climate change (1982–2013). **Agricultural and forest meteorology**, v. 248, p. 408-417, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.026>

ZHANG, X., FRIEDL, M. A., SCHAAF, C. B., STRAHLER, A. H., HODGES, J. C., GAO, F. REED, C., HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote sensing of environment**, v. 84, n. 3, p. 471-475, 2003.

ZHONG, L., HU, L., YU, L., GONG, P., & BIGING, G. S. Automated mapping of soybean and corn using phenology. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 119, p. 151-164, 2016. Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.05.014