

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Análise da Duração da Estação Chuvosa e da Ocorrência de Veranicos no
Cerrado**

Marcos Virgilio Ramos Porto
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

MARCOS VIRGILIO RAMOS PORTO

Análise da Duração da Estação Chuvosa e da Ocorrência de Veranicos no Cerrado

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

Orientador: Lineu Neiva Rodrigues

Coorientadora: Gabrielle Ferreira Pires

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

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

T

P853a
2024
Porto, Marcos Virgílio Ramos, 1997-
Análises da duração da estação chuvosa e da ocorrência de
veranicos no Cerrado / Marcos Virgílio Ramos Porto. – Viçosa,
MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (83 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Lineu Neiva Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.754>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Agricultura de sequeiro - Avaliação de riscos.
2. Irrigação agrícola. 3. Agricultura de sequeiro - Planejamento.
4. Chuvas - Frequência de intensidade. I. Rodrigues, Lineu
Neiva, 1968-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 631.586

MARCOS VIRGILIO RAMOS PORTO

Análise da Duração da Estação Chuvosa e da Ocorrência de Veranicos no Cerrado

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

APROVADA: 22 de agosto de 2024.

Assentimento:

Marcos Virgilio Ramos Porto
Autor

Lineu Neiva Rodrigues
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 16/12/2024 às 16:07:46 e pelo orientador em 29/01/2025 às 16:20:54. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **ZACG.D93Y.XW1N** e clique no botão 'Validar documento'.

A Deus e a minha família, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado e me sustentado durante toda a minha caminhada.

Aos meus pais Moacir e Izan, que nunca pouparam esforços para que eu pudesse atingir meus objetivos. À minha irmã Danielle por todo o companheirismo e amizade. Aos meus avós Valdivino e Valdete (in memoriam), meus maiores exemplos de vida. À minha noiva Letícia, por todo amor, companheirismo e amizade, sempre me apoiando ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação. Ao meu orientador Lineu, pelos conhecimentos transmitidos, pelo exemplo de profissionalismo, e pela confiança e apoio durante a orientação. À minha coorientadora Gabrielle, pelo excelente trabalho e dedicação na coorientação da pesquisa.

Aos meus amigos de longa data e aos que tive o prazer de conhecer durante meu tempo em Viçosa. Vocês tornaram esse período mais leve.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

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

“A sabedoria é a coisa principal; adquira, pois, a sabedoria, e com tudo o que
possuís adquira o entendimento”.
(Provérbios 4:7)

RESUMO

PORTO, Marcos Virgilio Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2024. **Análise da Duração da Estação Chuvosa e da Ocorrência de Veranicos no Cerrado**. Orientador: Lineu Neiva Rodrigues. Coorientadora: Gabrielle Ferreira Pires.

Tem-se observado ao longo dos últimos anos que a escassez hídrica está se acentuando, contribuindo para aumentar as disputas pelo uso de recursos hídricos em várias bacias hidrográficas do Cerrado, região de grande importância para a agricultura brasileira. Nesse contexto, são importantes para o planejamento agrícola melhores estimativas da duração da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos nessa região. O objetivo geral dessa dissertação foi avaliar a duração da estação chuvosa e a ocorrência de veranicos no Cerrado, com destaque nas regiões produtoras de soja. As datas de início (IEC) e de fim da estação chuvosa (FEC) foram obtidas pelo método acumulado de anomalias (AA). A duração da estação chuvosa (DEC) foi calculada pela diferença entre FEC e IEC. Análise de cluster foi utilizada para definir regiões homogêneas em termos de início e fim da estação chuvosa. As tendências nas datas de IEC e FEC, e a DEC, foram avaliadas pelos testes de Mann-Kendall e Mann-Kendall Modificado, enquanto a magnitude das tendências foi calculada pelo teste de Inclinação de Theil-Sen. Os eventos de veranicos são períodos com pouca ou nenhuma precipitação durante a estação chuvosa (EC). Os veranicos foram classificados em seis grupos de acordo com sua duração: VA (5 a 6 dias), VB (7 a 8 dias), VC (9 a 10 dias), VD (11 a 12 dias), VE (13 a 14 dias) e VF (15 dias ou mais). A ocorrência dos veranicos foi muito variada. Utilizando a distribuição de probabilidade de Poisson, foi avaliada a probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico em um determinado decêndio. Para o estabelecimento de regiões homogêneas de ocorrência de veranicos foi utilizada análise de cluster. Além disso, as tendências de ocorrência também foram avaliadas pelos testes de Mann-Kendall e Mann-Kendall Modificado, e a magnitude das tendências foi determinada pelo teste não paramétrico de Inclinação de Theil-Sen. As datas de IEC variaram de 1 de agosto a 12 de março, e as de FEC de 4 de outubro a 31 de julho. A estação chuvosa começou mais cedo no sudoeste e noroeste do Cerrado e mais tarde no Nordeste. O FEC ocorreu mais cedo no leste e mais tarde no extremo nordeste, sul e sudoeste do Cerrado. As datas de maior probabilidade de ocorrência de IEC foram entre 26 de agosto e 13 de janeiro, e de FEC entre 2 de fevereiro e 1 de julho. Foram identificadas cinco regiões homogêneas para IEC e seis para FEC. Em muitas regiões do Cerrado, observou-se que o IEC está ocorrendo mais

tarde, o FEC mais cedo, e a duração da estação chuvosa está diminuindo. Veranicos menores são mais frequentes do que os maiores, sendo que as maiores durações já registradas ocorreram principalmente no sudoeste e sul do Cerrado. As maiores proporções de dias com veranicos na estação chuvosa foram detectadas no leste, sul e sudoeste do Cerrado. A probabilidade de ocorrência de veranicos menores é maior, e há uma variação significativa na frequência dos veranicos em todo o Cerrado, com tendência de aumento ao leste e diminuição ao oeste. O Cerrado foi dividido em cinco regiões homogêneas, com os Grupos G3 e G4 apresentando o maior número de ocorrências em um ano.

Palavras-chave: risco agrícola; irrigação; agricultura de sequeiro; planejamento agrícola

ABSTRACT

PORTO, Marcos Virgilio Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2024. **Analysis of the Duration of the Rainy Season and Occurrence of Dry Spells in Cerrado.** Adviser: Lineu Neiva Rodrigues. Co-adviser: Gabrielle Ferreira Pires.

It has been observed over recent years that water scarcity is intensifying, contributing to increased disputes over water resource use across various watersheds in the Cerrado, a region of great importance for Brazilian agriculture. In this context, better estimates of the rainy season's length and dry spells (veranicos) occurrences in this region are essential for agricultural planning. The main objective of this dissertation was to evaluate the duration of the rainy season and the occurrence of dry spells in the Cerrado, with a focus on soybean-producing regions. The dates for the onset (ORS) and end of the rainy season (ERS) were obtained using the anomalous accumulation method (AA). The length of the rainy season (LRS) was calculated as the difference between ERS and ORS. Cluster analysis was used to define homogeneous regions in terms of the onset and end of the rainy season. Trends in ORS and ERS dates, and LRS, were assessed using Mann-Kendall and Modified Mann-Kendall tests, while the magnitude of the trends was calculated using the Theil-Sen Slope estimator. Dry spells are defined as periods with little or no precipitation during the rainy season (RS). The dry spells were classified into six groups according to their duration: VA (5-6 days), VB (7-8 days), VC (9-10 days), VD (11-12 days), VE (13-14 days), and VF (15 days or more). The occurrence of dry spells was highly variable. The probability of at least one dry spell occurring in a given ten-day period was assessed using the Poisson probability distribution. Cluster analysis was also used to establish homogeneous regions for dry spell occurrence. Additionally, trends in dry spell occurrence were evaluated using the Mann-Kendall and Modified Mann-Kendall tests, and the magnitude of these trends was determined by the non-parametric Theil-Sen Slope estimator. ORS dates ranged from August 1 to March 12, and ERS dates from October 4 to July 31. The rainy season started earlier in the southwestern and northwestern parts of the Cerrado and later in the northeast. ERS occurred earlier in the east and later in the extreme northeast, south, and southwest of the Cerrado. The dates with the highest probability of ORS occurrence were between August 26 and January 13, and for FEC, between February 2 and July 1. Five homogeneous regions were identified for ORS and six for ERS. In many regions of the Cerrado, ORS is occurring later, ERS earlier, and the duration of the rainy season is decreasing. Shorter dry spells are more

frequent than longer ones, with the longest durations mainly occurring in the southwest and south of the Cerrado. The highest proportions of dry spell days during the rainy season were detected in the east, south, and southwest of the Cerrado. The probability of shorter dry spells is higher, and there is significant variation in dry spell frequency across the Cerrado, with an increasing trend in the east and a decreasing trend in the west. The Cerrado was divided into five homogeneous regions, with Groups G3 and G4 showing the highest number of occurrences in a year.

Keywords: agricultural risk; irrigation; rainfed agriculture; agricultural planning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1.1. Representação do bioma Cerrado no contexto do Brasil e da América do Sul.	23
Figura 2.1.2. Variação de ocorrência das datas de início, datas de fim e duração da estação chuvosa, para o período de 1961 a 2022, no Cerrado. *Valores de duração abaixo de 60 dias foram desconsiderados	27
Figura 2.1.3. Frequência de ocorrência das datas de início (A) e de fim (B) da estação chuvosa para o período de 1961 a 2022, no Cerrado e sua média (vermelho), moda (azul) e mediana (verde).	28
Figura 2.1.4. Datas de início da estação chuvosa considerando sua ocorrência em cada pixel: (A) primeiro quartil (Q1); (B) segundo quartil (Q2); (C) terceiro quartil (Q3).	29
Figura 2.1.5. Datas de fim da estação chuvosa FEC no Cerrado: (A) primeiro quartil (Q1); (B) segundo quartil (Q2); (C) terceiro quartil (Q3).	30
Figura 2.1.6. Distribuição espacial das amplitudes, em cada pixel, das datas de (A) IEC e de (B) FEC.	31
Figura 2.1.7. Análise espacial da duração da estação chuvosa no Cerrado, sendo: (A) segundo quartil e (B) a amplitude avaliada em cada pixel.	33
Figura 2.1.8. Região do Cerrado, com destaque para a distribuição espacial das áreas de cultivo de soja em 2022 (áreas em cor marrom), e probabilidade de ocorrência, em cada pixel, das datas de início (IEC), de fim (FEC) e duração da estação chuvosa (DEC), Figuras A, B e C, respectivamente. Na Figura C, foram traçadas linhas para indicar a variação da DEC nos sentidos sudoeste-nordeste (rosa) e oeste-leste (preto), representados na Figura D.	35
Figura 2.1.9. Regiões homogêneas em relação ao início (A) e fim (B) da estação chuvosa.	37
Figura 2.1.10. Tendências nas datas de início (A), de fim (B) e da duração (C) da estação chuvosa no Cerrado, com destaque para as áreas de plantio de soja em 2022.	39
Figura 2.2.1. Representação do bioma Cerrado no contexto do Brasil e da América do Sul.	50
Figura 2.2.2. Precipitação média anual no Cerrado (1961–2022).	54
Figura 2.2.3. Precipitação média mensal considerando todo o bioma do Cerrado para o período de 1961 –2022.	55

Figura 2.2.4. Porcentagem de ocorrências de veranicos no Cerrado em função da sua duração e sua média (vermelho), moda (azul) e mediana (verde).	57
Figura 2.2.5. Distribuição espacial dos maiores valores de veranico, em dias (A), e relação média de dias com veranicos por dias de estação chuvosa (B).	58
Figura 2.2.6. Frequência de ocorrência de veranicos das classes VA (5 a 6 dias) (A), VB (7 a 8 dias) (B), VC (9 a 10 dias) (C), VD (11 a 12 dias) (D), VE (13 a 14 dias) (E) e VF (≥ 15 dias) (F) no Cerrado e suas áreas plantadas com soja (azul).	60
Figura 2.2.7. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo decêndio.	66
Figura 2.2.8. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo primeiro decêndio.	66
Figura 2.2.9. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo segundo decêndio.	67
Figura 2.2.10. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo terceiro decêndio.	68
Figura 2.2.11. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo sexto decêndio.	69
Figura 2.2.12. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo sétimo decêndio.	69
Figura 2.2.13. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo oitavo decêndio.	70
Figura 2.2.14. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo nono decêndio.	71
Figura 2.2.15. Tendências no número de ocorrências de veranicos no Cerrado, com destaque para as áreas de plantio de soja.	72
Figura 2.2.16. Tendências no número de ocorrências de veranicos no Cerrado, com destaque para as áreas de plantio de soja, para as classes VA e VB (A); VC e VD (B); e VE e VF (C).	72
Figura 2.2.17. Regiões homogêneas em relação à ocorrência de veranicos (A) e variação do número de ocorrências de veranicos em um ano (B).	74

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

DEC. Durações das Estações Chuvosas

DS. Dias Secos

EC. *Estação Chuvosa*

F1. Região homogênea 1 em relação ao fim.

F2. Região homogênea 2 em relação ao fim.

F3. Região homogênea 3 em relação ao fim.

F4. Região homogênea 4 em relação ao fim.

F5. Região homogênea 5 em relação ao fim.

F6. Região homogênea 6 em relação ao fim.

FEC. *Fim da Estação Chuvosa*

G1. Região homogênea 1 em relação a ocorrências de veranicos.

G2. Região homogênea 2 em relação a ocorrências de veranicos.

G3. Região homogênea 3 em relação a ocorrências de veranicos.

G4. Região homogênea 4 em relação a ocorrências de veranicos.

G5. Região homogênea 5 em relação a ocorrências de veranicos.

I1. Região homogênea 1 em relação ao início

I2. Região homogênea 2 em relação ao início

I3. Região homogênea 3 em relação ao início

I4. Região homogênea 4 em relação ao início.

I5. Região homogênea 5 em relação ao início.

IEC. *início da Estação Chuvosa*

km. Quilômetros.

$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Metro cúbico por segundo

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária

mm. Milímetros.

mm dia^{-1} . *Milímetros por dia*

PIB. Produto Interno Bruto

PNRH. Plano Nacional de Recursos Hídricos.

SPEI. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

SPI. Standardized Precipitation Index.

TSS. *Inclinação de Theil-Sen*

VA. *Veranicos com duração de 5 e 6 dias*, Veranicos com duração de 5 e 6 dias

VB. *Veranicos com duração de 7 e 8 dias*, Veranicos com duração de 7 e 8 dias

VC. *Veranicos com duração de 9 e 10 dias*, Veranicos com duração de 9 e 10 dias

VD. *Veranicos com duração de 11 e 12 dias*, Veranicos com duração de 11 e 12 dias

VE. *Veranicos com duração de 13 e 14 dias*, Veranicos com duração de 13 e 14 dias

VF. *Veranicos com duração igual ou superior a 15 dias*, Veranicos com duração
igual ou superior a 15 dias

LISTA DE SÍMBOLOS

% *Porcentagem.*

°C *Graus Celsius.*

AA *Acumulado de Anomalias.*

e *Número de Euler.*

k *Número de sucessos.*

$p(k)$ *Probabilidade de Poisson.*

R(n) *precipitação diária.*

R_{ref} *Menor quantidade de água demandada pela cultura durante suas fases fenológicas iniciais.*

λ *Número médio de sucessos dentro do intervalo.*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1.	Referências.....	17
2.	ARTIGOS CIENTÍFICOS.....	20
2.1.	Artigo 1 - Estimativa do início e do fim da estação chuvosa no Cerrado brasileiro	20
2.1.1.	Introdução.....	20
2.1.2.	Material e métodos	22
2.1.3.	Resultados e discussão	26
2.1.4.	Conclusão.....	40
2.1.5.	Referências.....	41
2.2.	Artigo 2 – Ocorrência de veranicos no Cerrado e seus impactos nas áreas plantadas com soja.	47
2.2.1.	Introdução.....	47
2.2.2.	Material e métodos	50
2.2.3.	Resultados e discussão	54
2.2.4.	Conclusão.....	76
2.2.5.	Referências.....	77
3.	CONCLUSÕES GERAIS	82

1. INTRODUÇÃO GERAL

Com cerca de 255 mil m³ s⁻¹ disponíveis, em fontes superficiais, e 13 mil m³ s⁻¹ em reservatórios subterrâneos, o Brasil se destaca como um dos países com maior disponibilidade de recursos hídricos. No entanto, a distribuição desse recurso é desigual, com aproximadamente 80% do volume superficial localizado na bacia Amazônica (ANA, 2024).

O país também é um dos maiores produtores de alimentos, sendo fundamental para a segurança alimentar mundial. O agronegócio é o maior usuário de recursos hídricos, sendo a irrigação a atividade com maior demanda, correspondendo a cerca de 50,5% da captação outorgada do país. Apesar desse valor inicialmente implicar em preocupação, vale destacar que o volume total outorgado corresponde a apenas 1.027 m³ s⁻¹ do volume disponível do recurso hídrico nacional em 2022 (ANA, 2024).

O agronegócio desempenha um papel crucial na economia do Brasil, tendo representado, em 2023, 23,8% do Produto Interno Bruto nacional (PIB) (CEPEA, 2024). Sua relevância transcende fronteiras, com exportações para mais de 150 países registradas em 2021, desempenhando assim um papel fundamental na garantia da segurança alimentar global (BRASIL, 2021).

Esse desempenho da agricultura brasileira é devido em grande parte ao desenvolvimento desse setor no Cerrado, demonstrando a importância do bioma para a economia do País (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). Nas últimas quatro décadas, a expansão das culturas temporárias no Cerrado foi a principal responsável pelo aumento do valor da produção agrícola do país, destacando-se a soja como o produto líder nesse cenário (SANTANA et. al, 2020).

Embora seja o setor com a maior captação de água, a maioria das propriedades agrícolas no Brasil opera em regime de sequeiro (ANA, 2021). Essa condição torna a agricultura nacional vulnerável às variações e alterações no regime de chuvas. Isso pode ser percebido na safra de 2023/2024, quando houve uma redução de 8,7% na produtividade nacional, devido as alterações causadas pelo El Niño (CONAB, 2024).

Segundo Molla et al. (2021), o estresse hídrico é o principal fator limitante para a produção em condições de sequeiro. Para o planejamento e a gestão de risco agrícola, é fundamental ter melhores estimativas das datas de início e de fim da estação chuvosa (EC).

Essas datas, entretanto, variam espacial e temporalmente (FONSECA; PIRES; BRUMATTI, 2022; FAYE et al., 2024). Além disso, estudos recentes indicam atraso no início e diminuição na duração da estação chuvosa em algumas regiões do Brasil central, com perspectiva de intensificação no futuro (LEITE-FILHO; PONTES; COSTA, 2019; ZHANG et al., 2021; FONSECA; PIRES; BRUMATTI, 2022). Essa alteração nas datas de início e de fim da estação chuvosa pode implicar no atraso do plantio de culturas de sequeiro, podendo inviabilizar a segunda safra na região (PIRES et al., 2016).

Além disso, a estabilidade da estação chuvosa é fundamental para o sucesso da cultura. No Cerrado, a distribuição irregular de chuvas e os veranicos agem como restrições climáticas para a produção agrícola da região, prejudicando as culturas de sequeiro e diminuindo as reservas hídricas para as culturas irrigadas (BORGHI et al., 2013; SILVA et al., 2015). Os eventos de veranicos são períodos com pouca ou nenhuma precipitação durante a estação chuvosa (EC), constituindo um sério problema a produção, conforme a sua duração aumenta (MAGALHÃES et al., 2019). O prejuízo decorrente de veranicos à produção de soja pode ser evidenciado em diversas regiões, principalmente quando o evento ocorre durante o período de emergência ou nos estádios fenológicos de floração e de formação da planta causando a seca verde, ou seja, a frustação parcial ou total da safra (SILVA; RAO, 2002).

A dissertação em questão foi estruturada na forma de artigos e teve como objetivo geral avaliar a estação chuvosa e a ocorrência de veranicos no Cerrado. O primeiro artigo tem por objetivo estimar a duração da estação chuvosa para a região do Cerrado. Já no segundo foi analisada a ocorrência de veranicos e suas características em todo o bioma do Cerrado, com foco nas áreas plantadas com soja em 2022.

1.1. Referências

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada.** Brasília, DF: ANA, 2. Ed., p. 130, 2021. ISBN: 978-65-88101-10-0

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023: Informe anual.** Brasília, DF: ANA, p. 118, 2024.

BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2020. 308 p. ISBN: ISBN 978-85-7035-951-3.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; SOUSA, V. V.; MARTINS, P. O.; MATEUS, G. P.; COSTA, C. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 51, p. 130–139, 2013. ISSN: 11610301. DOI: 10.1016/j.eja.2013.08.006. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S116103011300107X>.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Painéis de indicadores estatísticos**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2021. Disponível em: < <http://indicadores.agricultura.gov.br/index.html>>. Acesso: 15 jan 2023.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Fecha 2023 com Queda de 2,99%**. p. 20, 2024.

CONAB -COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 11, safra 2022/23, n. 10 décimo levantamento, julho 2024.

FONSECA, H. P.; PIRES, G. F.; BRUMATTI, L. M. Spatial and Temporal Evolution of Sowing and the Onset of the Rainy Season in a Region of Large Agricultural Expansion in Brazil. **Agronomy**, [S. l.], v. 12, n. 7, 2022. ISSN: 20734395. DOI: 10.3390/agronomy12071679.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (Paola Arias et al., Org.). Geneva, Switzerland. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

LEITE-FILHO, A. T.; PONTES, V. Y. de S.; COSTA, M. H.. Effects of Deforestation on the Onset of the Rainy Season and the Duration of Dry Spells in Southern Amazonia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, [S. l.], v. 124, n. 10, p. 5268–5281, 2019. ISSN: 21698996. DOI: 10.1029/2018JD029537.

MAGALHÃES, A. J. da S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. Da; NUNES, F. T.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S. Dos; SOMBRA, S. S. Veranicos no Brasil: Observações e Modelagens (CMIP5). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 597–626, 2019. ISSN: 0102-7786. DOI: 10.1590/0102-7786344072.

MOLLA, T.; TESFAYE, K.; MEKBIB, F.; TANA, T.; TADDESSE, T. Supplementary irrigation for managing the impact of terminal dry spells on the productivity of rainfed rice (*Oryza sativa* L.) in Fogera Plain, Ethiopia. **Heliyon**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. e06703,

2021. ISSN: 24058440. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06703. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06703>.

PIRES, G. F.; ABRAHÃO, G. M.; BRUMATTI, L. M.; OLIVEIRA, Leydimere J. C.; COSTA, M. H.; LIDDICOAT, S.; KATO, E.; LADLE, R. J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 228–229, p. 286–298, 2016. ISSN: 01681923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.07.005.

SANTANA, C. A. M.; CAMPOS, S. K.; MARRA, R.; ARAGÃO, A. A. Cerrado: Pilar da agricultura brasileira. **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**, [S. l.], v. 1, p. 39–58, 2020. ISBN: 978-85-7035-951-3. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1121866>.

SILVA, F. de A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 440–446, 2002. DOI: 10.1590/s1415-43662002000300010.

ZHANG, M.; ABRAHAO, G.; COHN, A.; CAMPOLO, J.; THOMPSON, S. A MODIS-based scalable remote sensing method to estimate sowing and harvest dates of soybean crops in Mato Grosso, Brazil. **Heliyon**, [S. l.], v. 7, n. 7, p. e07436, 2021. ISSN: 24058440. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07436. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07436>.

2. ARTIGOS CIENTÍFICOS

2.1. Artigo 1 - Estimativa do início e do fim da estação chuvosa no Cerrado brasileiro

Resumo

Estimativas mais corretas das datas de início e de fim da estação chuvosa são importantes para o planejamento agrícola e para o plantio e manejo da cultura. Este trabalho tem como objetivos estimar as datas de início (IEC), de fim (FEC) e a duração da estação chuvosa (DEC) para a região do Cerrado. As datas de IEC e FEC foram obtidas por meio do método acumulado de anomalias (AA). A duração da estação chuvosa (DEC) é a diferença entre FEC e IEC. Como as datas de IEC e de FEC apresentaram grande variabilidade entre os anos avaliados, foi utilizada a distribuição de probabilidade de Poisson para estimar as datas de maior probabilidade de ocorrência e análise de cluster para estabelecer regiões homogêneas para essas datas. As tendências nas datas de IEC e de FEC foram avaliadas pelos testes de Mann-Kendall e Mann-Kendall Modificado, e a magnitude das tendências pelo teste não paramétrico de Inclinação de Theil-Sen. As datas de IEC e de FEC variaram de 1 de agosto a 12 de março e de 4 de outubro a 31 de julho, respectivamente. A estação chuvosa com início mais antecipado foi observada na região sudoeste e noroeste do Cerrado e mais tardio, no nordeste; já o FEC ocorre mais antecipadamente na região leste e mais tardiamente no extremo nordeste, sul e sudoeste do Cerrado. As datas com maior probabilidade de ocorrência de IEC e de FEC variaram de 26 de agosto a 13 de janeiro e de 2 de fevereiro a 1 de julho, respectivamente. Foram identificadas 5 regiões homogêneas para a data de IEC e 6 para a data de FEC. Foram observadas tendências em algumas regiões do Cerrado. Para a maior parte dessas regiões, observou-se que o IEC está ocorrendo mais tarde, o FEC mais cedo e, conseqüentemente, a duração da estação chuvosa está diminuindo.

Palavras-Chave: Planejamento agrícola; irrigação; agricultura de sequeiro.

2.1.1. Introdução

O Brasil desempenha um papel importante na produção mundial de alimentos, se destacando como produtor e exportador de várias commodities agrícolas. Em 2021,

exportou produtos agrícolas para mais de 150 países, sendo crucial na segurança alimentar global (BRASIL, 2021).

O Cerrado, com 70% dos seus 204 milhões de hectares com potencial para desenvolvimento da agricultura, é a principal fronteira agrícola do país, respondendo por cerca de 45% da área agrícola nacional, com destaque para a bovinocultura, produção de soja, cana-de-açúcar, milho e algodão (FRANCISCO; KAPPES, 2012; BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). Nesse contexto se destaca a soja, que possui metade da sua área cultivada (safra 2021/22) no bioma Cerrado (MAPBIOMAS, 2023). Além disso, é a lavoura que mais deve expandir nos próximos anos (BRASIL, 2023).

Por ser uma cultura plantada tipicamente em condições de sequeiro, a produção de soja é altamente dependente do regime das chuvas. Assim, as incertezas na quantidade e distribuição das precipitações impactam diretamente na produção dessa cultura. No Cerrado, estudos relacionados às projeções climáticas indicam prolongamento da estação seca e redução na disponibilidade hídrica (PIRES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017) o que pode comprometer ainda mais a produção dessa cultura na região.

Definir de forma mais precisa as datas de início (IEC) e de fim (FEC) da estação chuvosa (EC) é importante para o sucesso da produção agrícola. O desafio que se apresenta é que essas datas são variáveis no tempo e no espaço. Assim, definir essas datas com base na probabilidade de ocorrência é importante para o planejamento agrícola, contribuindo para o sucesso do plantio de culturas de sequeiro e para estimativas mais precisas da irrigação nas culturas irrigadas. Além disso, essa informação pode auxiliar o produtor no planejamento do seu ano agrícola. O atraso do início do ano chuvoso, implica no atraso no plantio da soja de sequeiro e pode, dependendo da situação, inviabilizar, por exemplo, a segunda safra de milho.

A definição dessas datas, entretanto, vai depender da sua aplicação e da área de conhecimento (ARVOR et al., 2014). Neste estudo, foi adotada a definição agrônômica, que considera que o IEC e o FEC não podem ser seguidos e precedidos, respectivamente, por períodos longos de seca.

Diversos estudos na literatura buscaram avaliar a duração da estação chuvosa de modo mais acurado (MARENGO et al., 2001; ODEKUNLE, 2005; LIEBMANN et al., 2007; ARVOR et al., 2014; FERIJAL et al., 2022). As estimativas do IEC e do FEC podem, por exemplo, ser feitas com base no comportamento apenas da precipitação (SIVAKUMAR, 1992; MARENGO et al., 2001; LIEBMANN; MARENGO, 2001; VEIGA;

MARENGO; RAO, 2002; LIEBMANN et al. 2007, LIEBMANN; MECHOSO, 2011; FERIJAL et al., 2022), ou da radiação de ondas longas emitida (KOUSKY 1988; HOREL et al. 1989; GARCIA et al., 2015), sendo esse último pouco usual comparado ao primeiro.

CAMBERLIN e DIOP (2003) categorizaram os métodos de estimativa do IEC e do FEC em métodos baseados apenas na precipitação e aqueles que combinam dados de precipitação com as condições atmosféricas. Este último método utiliza múltiplas variáveis para obter informações combinadas (GAN et al., 2004), para gerar um índice (DA SILVA; DE CARVALHO, 2007) ou para calcular uma variável derivada (RAIA; CAVALCANTI, 2008). No entanto, devido à maior disponibilidade de dados de precipitação, o primeiro método tem sido mais utilizado (ARVOR et al., 2014; DEBORTOLI et al., 2015; ABRAHÃO; COSTA, 2018; SPARACINO; ARGIBAY; ESPINDOLA, 2021; FONSECA; PIRES; BRUMATTI, 2022; FERIJAL et al., 2022; FAYE et al., 2024).

Para o Cerrado, Alves et al. (2021) utilizaram a metodologia de Liebmann et al. (2007) para calcular o IEC e FEC na bacia hidrográfica do Médio São Francisco; Santos e Garcia (2016), aplicaram as metodologias de Liebmann et al. (2007) e Garcia e Kayano (2009; 2013) no estado de Minas Gerais. Debortoli et al. (2015) e Arvor et al. (2014) adaptaram a metodologia de Liebmann et al. (2007) para a Zona de Transição entre os biomas da Amazônia e do Cerrado e o estado do Mato Grosso, respectivamente.

Embora seja importante para o planejamento agrícola definir de forma mais acurada as datas de início e de fim da estação chuvosa, não foi identificado na literatura consultada, trabalhos que estime a EC para todo o Cerrado, considerando a distribuição espacial e temporal das datas de IEC e FEC. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo calcular as datas de início, de fim e a duração da estação chuvosa para a região do Cerrado.

2.1.2. Material e métodos

2.1.2.1. Área de estudo

O bioma Cerrado abrange cerca de 24% do território brasileiro (RODRIGUES et al., 2023) (Figura 2.1.1). Em 2022, a área destinada ao cultivo de soja nesse bioma totalizava cerca 20 milhões de hectares, representando aproximadamente 10% de sua

extensão (MAPBIOMAS, 2023). Essa região é reconhecida como a de maior produção agrícola no Brasil (Pereira et al., 2018), sendo a soja um dos principais cultivos nesse contexto (AGROSATÉLITE, 2022).

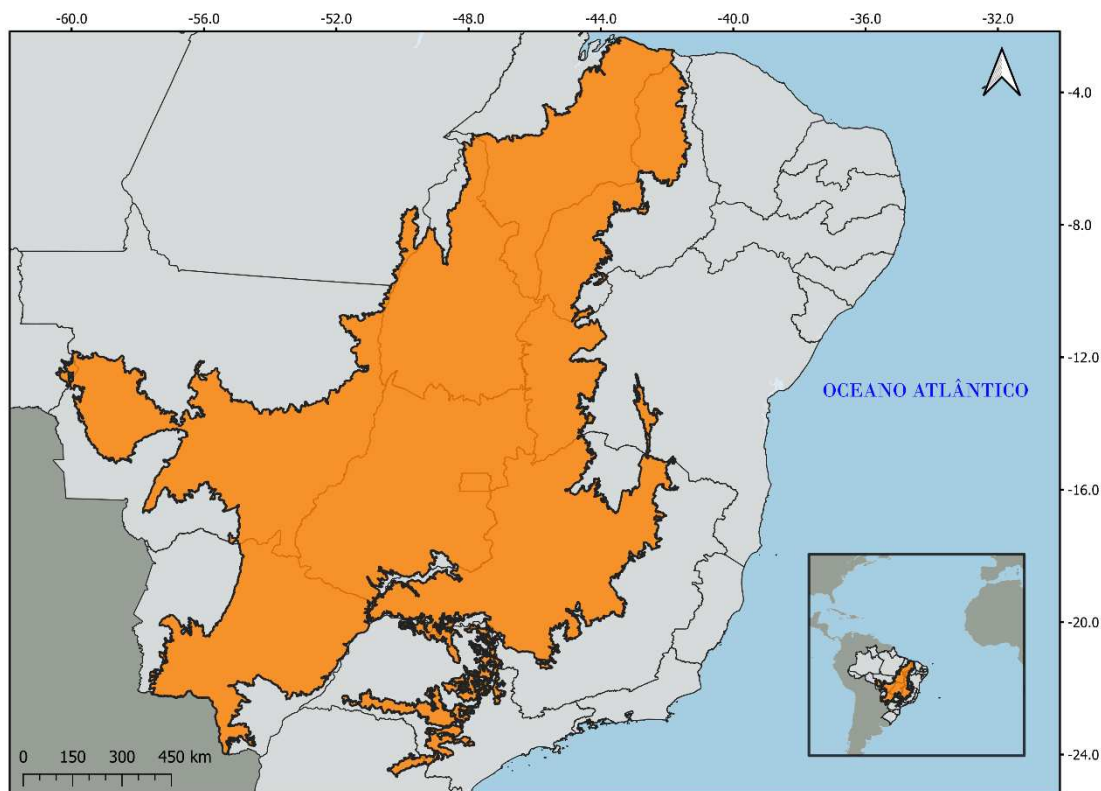


Figura 2.1.1. Representação do bioma Cerrado no contexto do Brasil e da América do Sul.

De acordo com Sano et al. (2019), os compartimentos geomorfológicos podem ser resumidos em platôs, principalmente a porção centro-sul, e depressões, mais concentradas na região noroeste. Apesar de apresentar um solo bem diversificado, há maior predominância dos latossolos e neossolos, ocupando 43% e 22% do território, respectivamente (SANTANA; RODRIGUES, 2023). Os solos do Cerrado se caracterizam por apresentarem baixa fertilidade natural, necessitando de correções para viabilizar a produção.

Quanto ao clima, o bioma apresenta predominância do tropical de savana e inverno seco (Aw), conforme a classificação de Köppen (1936). Essa se caracteriza por apresentar temperatura média acima de 18°C em todos os meses do ano e precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. De acordo com Althoff et al. (2023), a precipitação média anual no Cerrado é de 1.415 mm, com mínima anual de 479 mm, concentrada principalmente ao leste do bioma, e máxima anual de 2.512 mm, principalmente na porção oeste do bioma e litorânea no estado do Maranhão.

2.1.2.2. Base de dados

A base de dados contendo as séries temporais de precipitações, referente ao período de 01/01/1961 a 31/12/2022, com resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 25 km x 25 km), foi obtida de Xavier et al. (2022) (<https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>). A base de dados, formada por uma grade regular composta por 16.660 pixels distribuídos espacialmente na região, possui 377 milhões de dados diários de precipitação.

A distribuição espacial da área plantada com soja no Cerrado, para o ano de 2022, foi obtida por meio da base de dados cartográficos do MapBiomas Coleção 8.0, do projeto de mapas e dados anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2023).

2.1.2.3. Estimativa do início, fim e duração da estação chuvosa

O início e fim da estação chuvosa foram estimados por meio do método acumulado de anomalias (AA) (LIEBMANN et al., 2007), modificado por Arvor et al. (2014), Equação 1. Este método foi escolhido por ter como base critérios agronômicos e partir da premissa que a cultura não pode ser exposta a períodos prolongados de seca (FONSECA; PIRES; BRUMATTI, 2022).

$$AA(t) = \sum_{n=1}^t (R(n) - R_{ref}) \quad (1)$$

em que $R(n)$ é a precipitação diária (mm dia^{-1}) e R_{ref} é a menor quantidade de água demandada pela cultura durante suas fases fenológicas iniciais.

Para aplicação desse método, é fundamental que a série temporal de precipitação utilizada englobe todo o período da EC. Neste sentido, a estratégia adotada foi de utilizar uma série de dados que tivesse o seu início e fim em um mês seco do ano, de tal forma que a probabilidade da EC já ter se iniciado fosse baixa e a probabilidade ter finalizado fosse alta.

Desta forma, adotou-se o dia 01 de agosto como dia de início da série e o dia 31 de julho, como o fim. Essas datas estão em meses que apresentam as menores médias mensais de precipitação em todo o Cerrado, portanto, baixa probabilidade de fazer parte da EC. Essas mesmas datas foram utilizadas por Arvor et al. (2014), Debortoli et al. (2015) e Pires et al. (2016) para definir o IEC e o FEC em regiões do Cerrado.

Neste trabalho, foi utilizado um valor de R_{ref} igual a $2,5 \text{ mm dia}^{-1}$ (PIRES et al. 2016; ABRAHÃO; COSTA, 2018; FONSECA; PIRES; BRUMATTI, 2022). O IEC é definido como sendo a data correspondente ao menor valor de AA e o FEC quando esse valor for máximo.

2.1.2.4. Avaliação da variabilidade espacial das datas de início e de fim da estação chuvosa

Para avaliação da variabilidade espacial das datas de IEC e FEC foi feita, inicialmente, uma análise estatística considerando toda a série de dados de IEC e de FEC, isto é, a série de dados foi analisada em conjunto, sem se preocupar com a sua variabilidade espacial. Para isto, foi feita análise da distribuição de frequência, averiguando a assimetria, a curtose e os três quartis das séries.

2.1.2.5. Avaliação da variabilidade temporal das datas de início e de fim da estação chuvosa

Para avaliação da variabilidade temporal da IEC e da FEC no Cerrado, foram analisadas as séries temporais de precipitação (~21.913 dias) em cada um dos 16.660 pixels que compõe a área do Cerrado. Definidas as datas de IEC e FEC, foram calculadas as durações das estações chuvosas (DEC) em todo o período de análise para cada um dos pixels.

Posteriormente, foi analisada a variabilidade temporal do IEC e do FEC, verificando a distribuição espacial dos valores correspondente ao primeiro, segundo e terceiro quartil das séries em cada pixel. No entanto, para a DEC, analisou-se apenas no segundo quartil.

Também foi realizada a análise de amplitude para essas três variáveis. Essa análise consiste em calcular a diferença entre o maior e o menor valor das séries, o que possibilita a identificação de áreas que necessitem de maior atenção devido a maior variabilidade do IEC e FEC.

2.1.2.6. Datas com maior probabilidade de ocorrência do início e do fim da estação chuvosa

Como as datas de IEC e FEC variam temporalmente (de ano para ano), foi necessário definir um período que fosse o mais provável de ocorrência de IEC e FEC. Devido a essa variabilidade, optou-se por trabalhar em decêndios, isto é, avaliar em qual decêndio é mais provável a ocorrência das datas de IEC e de FEC. Para isso, a

base de dados foi dividida em 37 decêndios e foi utilizada a distribuição de probabilidade Poisson (Sellers, 2023).

Após determinar o decêndio de maior probabilidade de ocorrência de IEC e FEC, em cada área (pixel de 25 km × 25 km), utilizou-se a data média do decêndio para representar o IEC e FEC para o pixel. Com base nas datas de IEC e FEC, calculou-se a duração da estação chuvosa em cada pixel.

2.1.2.7. Identificação de regiões homogêneas

Com o intuito de identificar regiões homogêneas em termos de IEC e FEC, foi realizada análise de *cluster* utilizando o algoritmo de agrupamento *K-Means* (MACQUEEN, 1967), que consiste em dividir um conjunto de dados em grupos (*clusters*) distintos baseados em características similares. Para definir o *k* (número ideal de *clusters*), foi realizado o método do "ponto de cotovelo" (THORNDIKE, 1953).

Posteriormente, a distribuição de probabilidade de Poisson também foi utilizada para estimar as datas mais prováveis de IEC e FEC em cada uma das regiões homogêneas identificadas.

2.1.2.8. Análise de tendências para IEC e FEC

Para analisar as tendências de adianto ou de atraso do IEC e do FEC, foi aplicado o teste de Mann-Kendall (KENDALL, 1975; MANN, 1945). Para verificar a independência da série temporal e a aleatoriedade dos dados, foram utilizados os testes de autocorrelação serial (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016) e de sequência o *Run Test* (THOM, 1966). No caso em que a série não obedeceu às condições de independência e aleatoriedade, foi aplicado o teste de Mann-Kendall Modificado (HAMED; RAO, 1998).

Para estimar a magnitude da tendência foi utilizado o teste não paramétrico de inclinação de Theil-Sen, que pressupõe uma tendência linear nos dados de séries temporais e dados não correlacionados (THEIL, 1950; SEN, 1968).

2.1.3. Resultados e discussão

2.1.3.1. Datas de início e de fim da estação chuvosa

Na Figura 2.1.2 apresenta-se a variação das datas de IEC e de FEC, além dos valores de DEC, considerando toda a região do Cerrado. Observou-se que as datas

de ocorrência de IEC variaram de 01 de agosto a 12 de março, isto é, uma diferença de 224 dias entre o IEC, de ocorrência mais cedo, para o mais tardio. As datas de ocorrência de FEC variaram de 04 de outubro a 31 de julho, isto é, uma diferença de 301 dias entre o FEC de ocorrência mais cedo para o mais tardio. Esse resultado indica como é grande a variabilidade das datas de IEC e FEC no Cerrado.

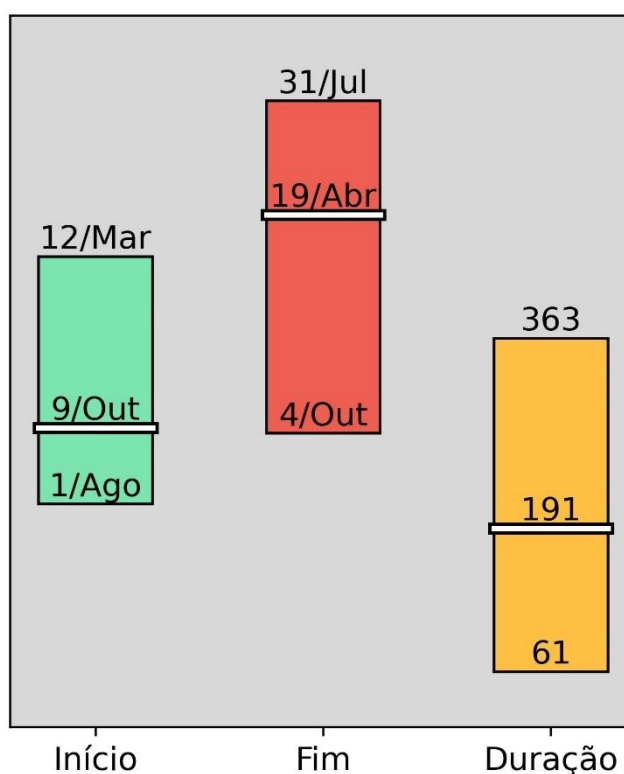


Figura 2.1.2. Variação de ocorrência das datas de início, datas de fim e duração da estação chuvosa, para o período de 1961 a 2022, no Cerrado. *Valores de duração abaixo de 60 dias foram desconsiderados

Essa variabilidade influencia na DEC, que varia de 61 a 363 dias. As datas medianas correspondem a 9 de outubro para IEC e 19 de abril para FEC, enquanto a duração mediana é de 191 dias. Isso indica uma assimetria nos dados, que pode ser observada na Figura 2.1.3.

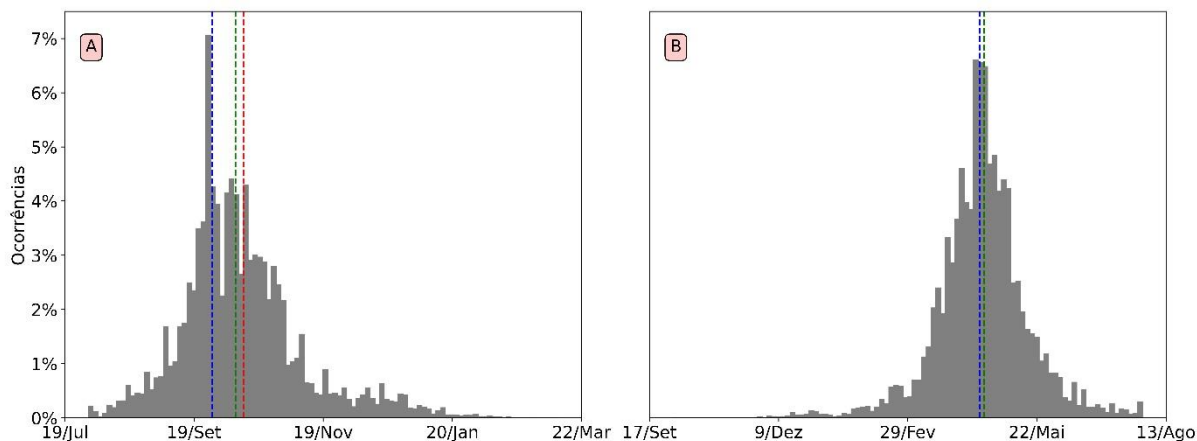


Figura 2.1.3. Frequência de ocorrência das datas de início (A) e de fim (B) da estação chuvosa para o período de 1961 a 2022, no Cerrado e sua média (vermelho), moda (azul) e mediana (verde).

O conjunto de datas de IEC, Figura 2.1.3A, apresentam um coeficiente de curtose de Fisher de 1,6, indicando uma distribuição leptocúrtica, isso é, uma maior concentração dos dados em torno da média. Essa distribuição é assimétrica à direita, apresentando o coeficiente de assimetria de Fisher igual a 0,9, apontando uma tendência dos valores se concentrarem do lado esquerdo em relação à média, indicando a ocorrência de um menor número de datas de IEC mais tardias. A média, moda e mediana (segundo quartil) correspondem as datas de 12 de outubro, 28 de setembro e 9 de outubro, respectivamente, confirmando o resultado dos coeficientes de curtose e assimetria. O primeiro e o terceiro quartil ocorrem em 25 de setembro e 26 de outubro, indicando que 50% dos dados ocorrem entre essas datas.

Para o FEC, foi constatado que as datas também possuem uma distribuição leptocúrtica, porém o coeficiente de curtose foi de 2,5, indicando que as datas de término são mais próximas da média que as do IEC, Figura 2.1.3B. Essa distribuição apresenta uma assimetria desprezível, com coeficiente de assimetria de Fisher igual a -0,2. Isso pode ser confirmado pelos valores da média, mediana e moda, sendo 19 de abril para os dois primeiros e 16 de abril para o último. Os valores do primeiro e terceiro quartil indicam que a variação para 50% das datas ocorre entre 4 de abril e 4 de maio.

Foram utilizadas as datas de 01 de agosto e 31 de julho como limite inferior e superior de cada período analisado no AA (Equação 1). No entanto, observou-se que, em algumas poucas regiões nos estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Maranhão e Mato Grosso, algumas datas de IEC e FEC ocorreram fora desse período.

Além disso, para alguns anos da série de dados, mesmo alterando as datas de início e fim da série, não foi possível identificar com certeza o IEC e o FEC. Isto foi evidenciado, por exemplo, nos anos de 1964, 1998 e 2002. Esses casos, entretanto, ocorreram em menos de 1% dos dados analisados.

2.1.3.2. Distribuição espacial das datas de início e de fim da estação chuvosa

A distribuição espacial das datas de IEC, correspondentes aos quartis em cada pixel, é apresentada na Figura 2.1.4.

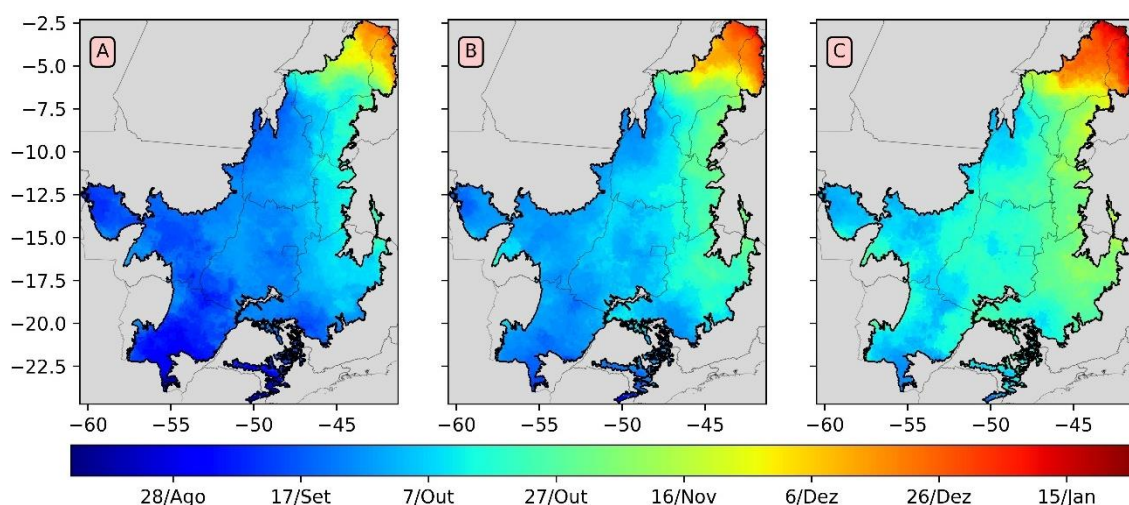


Figura 2.1.4. Datas de início da estação chuvosa considerando sua ocorrência em cada pixel: (A) primeiro quartil (Q1); (B) segundo quartil (Q2); (C) terceiro quartil (Q3).

As datas de IEC, no Q1, variaram de 12 de agosto a 31 de dezembro (Figura 2.1.4A), enquanto no Q2, variaram de 29 de agosto a 16 de janeiro (Figura 2.1.4B), e no Q3 de 17 de setembro a 27 de janeiro (Figura 2.1.4C). Nota-se, em todos os quartis, que a EC tende a se iniciar mais cedo a oeste e sudoeste do Cerrado e à medida que se caminha para a região Nordeste, transição com o semiárido, vai se iniciando mais tarde. No Mato Grosso, o comportamento observado se assemelha ao encontrado por Arvor et al. (2014), com a EC iniciando mais cedo no noroeste, na divisa com a Amazônia, e mais tarde sudoeste e sudeste desse estado. Os resultados no oeste da Bahia também foram condizentes com Fonseca, Pires e Brumatti (2022), com inícios mais cedo ao oeste dessa região e mais tardios ao leste. Do mesmo modo, os valores no sul do Piauí, na bacia do rio São Francisco (médio) e na Mesorregião Triângulo Mineiro/ Paranaíba (Alto) foram compatíveis com os encontrados por Sparacino,

Argibay e Espindola (2021), Alves et al. (2021) e Roldão et. al (2015), respectivamente.

As datas de FEC, correspondentes ao Q1, Q2 e Q3, variaram, respectivamente, de 28 de dezembro a 28 de junho, de 30 de janeiro a 12 de junho e de 11 de março a 23 de julho. Nota-se que FEC apresenta comportamento diferente da IEC. No Q1 (Figura 2.1.5A), observa-se uma maior concentração de datas com termos mais cedo no sudoeste da Bahia e norte de Minas Gerais.

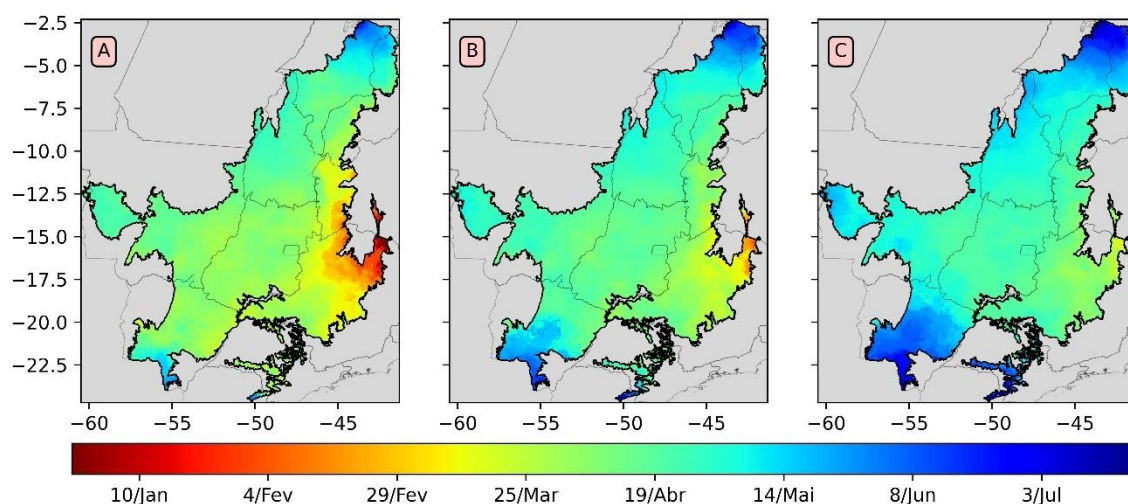


Figura 2.1.5. Datas de fim da estação chuvosa FEC no Cerrado: (A) primeiro quartil (Q1); (B) segundo quartil (Q2); (C) terceiro quartil (Q3).

Vale destacar que nessa região, há uma frequência elevada de ocorrência de IEC tardio. Essa combinação, IEC tardio com FEC mais cedo, implica na redução da duração da estação chuvosa, podendo dificultar a agricultura de sequeiro na região.

O fim da estação chuvosa tende a ocorrer mais cedo na região leste, especialmente nos estados da Bahia e Minas gerais. O sul e sudoeste do Cerrado (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná), apresentam comportamento parecido com o extremo nordeste (Maranhão e Piauí), ou seja, FEC mais tardio. No sudoeste e sul, regiões caracterizadas pela alta frequência de datas de IEC mais cedo, apresentou para o FEC datas mais tardias no Q3 (Figura 2.1.5C), indicando que a região pode ter maior duração da EC. No extremo nordeste, é percebido que as datas de término também ocorrem de modo mais tardio, apresentando o comportamento de deslocamento da EC, quando comparado ao resto do bioma. Nas demais regiões do bioma há maior homogeneidade dessas datas, principalmente quanto ao Q3. No entanto, pode-se notar que duração da EC tendem a ser menor a leste e maior a

oeste. Arvor et al. (2014) identificaram padrão semelhante no estado do Mato Grosso, assim como por Sparacino, Argibay e Espindola (2021) para o sul do Piauí e Alves et al. (2021) na bacia do rio São Francisco (médio).

As datas de IEC e FEC apresentaram grandes variabilidades ao longo dos 61 anos estudados, evidenciando variações significativas em um mesmo pixel ao longo do tempo. É interessante avaliar, para um mesmo pixel, qual foi a maior variação, ou seja, maior amplitude em relação ao IEC e FEC. A Figura 2.1.6 mostra a distribuição espacial das maiores amplitudes de IEC e FEC observadas em cada pixel que constitui o Cerrado.

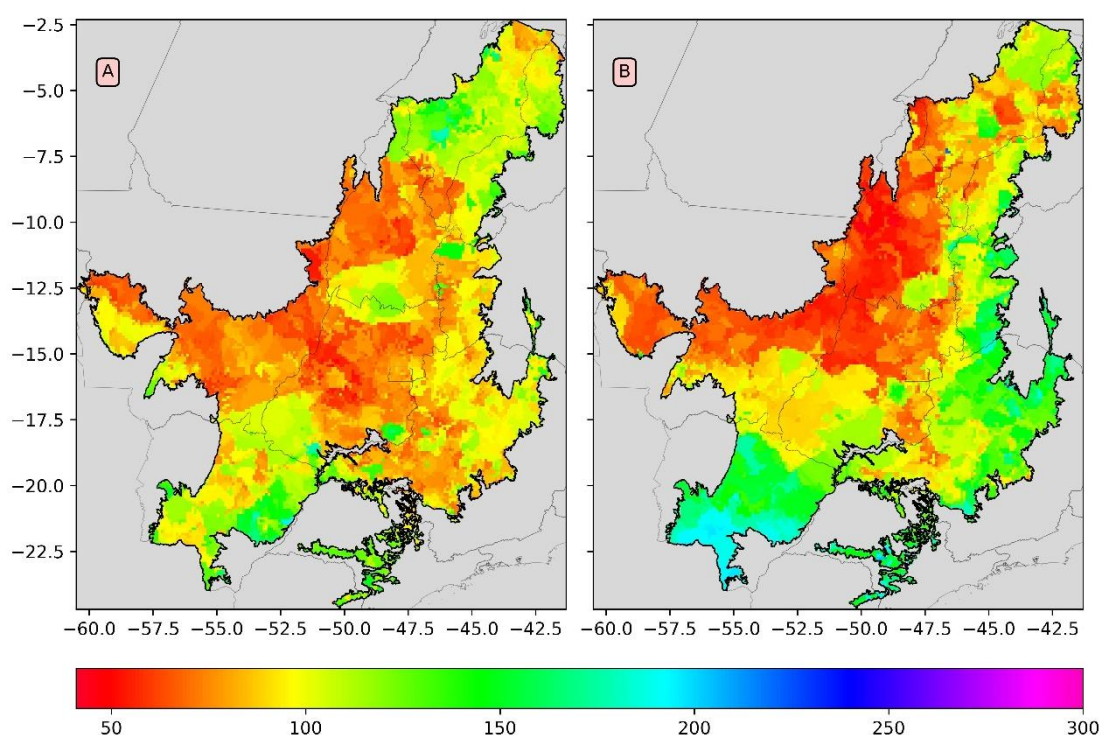


Figura 2.1.6. Distribuição espacial das amplitudes, em cada pixel, das datas de (A) IEC e de (B) FEC.

Para o IEC, a menor amplitude identificada foi de 50 dias, observada na região central do estado de Goiás, como, por exemplo, nos municípios de Jataí e Cristalina. Este resultado indica uma menor variabilidade quanto ao início da estação chuvosa. As maiores amplitudes ultrapassaram 190 dias, e foram observadas ao sul do estado de Goiás e ao leste do Mato Grosso do Sul, indicando maior variabilidade na data de IEC. Cerca de 33% das áreas apresentaram amplitudes inferiores a 79 dias. Essas áreas estão localizadas, na sua maioria, nos estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. Esses valores foram condizentes com resultados encontrados por Arvor et al.

(2014), para o Mato Grosso. Entretanto, a amplitude mais frequente variou de 80 a 108 dias, abrangendo 47% da área do Cerrado e distribuída por todos os estados. As amplitudes acima desses valores correspondem a 20% das áreas. Esses valores maiores estão distribuídos, principalmente no sul e sudoeste (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná) e nordeste do bioma (Maranhão e Piauí).

Quanto às datas de FEC, as menores amplitudes foram observadas no estado do Tocantins, com 41 dias e a maior em Minas Gerais, com 228 dias. Majoritariamente as regiões centro-norte e centro-oeste, 18% da área do Cerrado, apresentaram as menores amplitudes para FEC, não superando 66 dias, Figura 2.1.6B. Esse resultado foi também observado por Arvor et al. (2014), para o estado do Mato Grosso, onde a maior parte das áreas de Cerrado apresentaram valores menores que 75 dias. A faixa de amplitude predominante foi de 70 a 118 dias, abrangendo cerca de 56% da área total. Amplitudes superiores a 118 dias foram observadas no leste do bioma, principalmente nos estados da Bahia e de Minas Gerais, e no sul e sudoeste, abrangendo praticamente toda a área de Cerrado do Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná. Amplitudes acima de 197 são extremamente raras, não chegando a 1% do Cerrado.

2.1.3.3. Distribuição espacial da duração da estação chuvosa

A Figura 2.1.7 mostra a variabilidade espacial da DEC no Cerrado, definida como a diferença entre a data de IEC e a data de FEC. Observa-se um padrão de redução dessa variável no sentido oeste-leste, conforme ilustrado na Figura 2.1.7A.

As durações no segundo quartil variam de 180 a 205 dias, para aproximadamente 47% do Cerrado, área essa que cobre todos os estados no Cerrado, com exceção do Pará, Rondônia e Paraná.

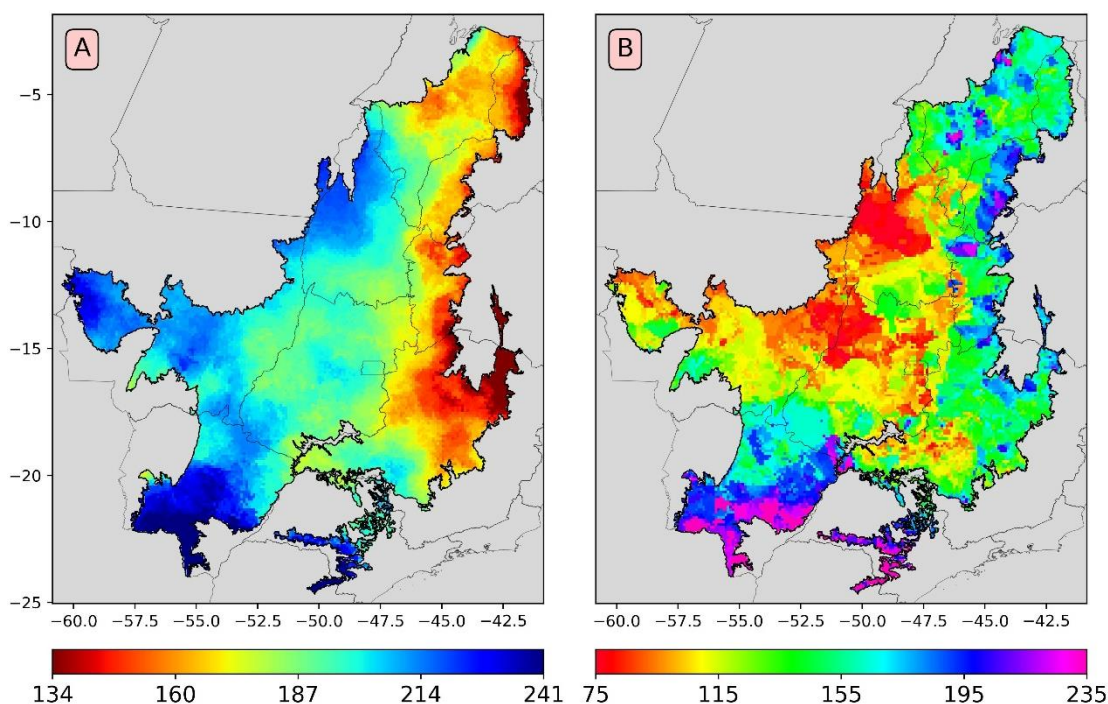


Figura 2.1.7. Análise espacial da duração da estação chuvosa no Cerrado, sendo: (A) segundo quartil e (B) a amplitude avaliada em cada pixel.

Na região próxima ao semiárido, principalmente no sudoeste da Bahia, norte de Minas Gerais e centro-norte do Piauí, estão as áreas mais críticas, com DEC inferior a 150 dias, no segundo quartil. Pode-se observar que a ocorrência tardia do IEC, nos estados do Maranhão e nas demais áreas do Piauí, é, de certa forma, compensada pelo término tardio da FEC, nesses estados. Mesmo assim, observa-se nessa região que a duração da EC não ultrapassou 170 dias, no Q2, para a maioria das áreas. Isso pode ser corroborado por Sparacino, Argibay e Espindola (2021), que identificaram valor semelhante no sul do Piauí. Segundo Dos Reis et al. (2020), o MATOPIBA, região que engloba parte dos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia, tem a menor média anual de precipitação acumulada (970 mm). Isso, somado à ocorrência de menor DEC, pode comprometer a agricultura de sequeiro da região.

Os maiores valores de Q2 podem ultrapassar os 220 dias, sendo percebidos principalmente em regiões do Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, além de áreas no Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e Pará. No Mato Grosso, os dados se assemelharam aos obtidos Arvor et al. (2014), com durações maiores ao norte do estado e menores ao sul.

A grande variabilidade dos valores de amplitude de IEC e FEC, refletem na amplitude da DEC. Esses valores variaram de 63 dias a 307 dias em todo o Cerrado. A faixa de amplitude mais comum corresponde a 100 a 155 dias, ocorrendo em aproximadamente 50% da área do Cerrado, com áreas em todos os estados, exceto o Paraná, como visto na Figura 2.1.7B.

Amplitudes iguais ou menores a 87 dias estão distribuídas em aproximadamente 7% das áreas do Cerrado, especificamente nos estados Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Pará e Minas Gerais, além do Distrito Federal. Essas são as regiões com menores amplitudes detectadas, indicando uma DEC mais estável.

As áreas com amplitudes de DEC acima de 200 ocorrem principalmente nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo, no entanto, há ocorrências em regiões de Goiás, Minas Gerais, Bahia, Piauí e Maranhão. Essa alta variabilidade de DEC, pode dificultar o planejamento agrícola além de aumentar o risco de um plantio de dupla safra sem a utilização de irrigação.

2.1.3.4. Probabilidade do início, do fim e da duração da estação chuvosa

A estimativa das datas mais prováveis de ocorrência do IEC e do FEC é fundamental para o planejamento agrícola. Essas datas são apresentadas na Figura 2.1.8. A probabilidade associada, em cada pixel, aos decêndios mais prováveis de ocorrência em ambas as variáveis é baixa, variando de 9,6% a 21,2%, para IEC, e de 6,8% a 9,1%, para FEC. Esses baixos valores de probabilidade de ocorrência de IEC e de FEC indicam grande variabilidade e dificuldade em se definir essas datas. Nota-se que a variabilidade de FEC é maior que de IEC, indicando maior incerteza em se identificar o término da estação chuvosa.

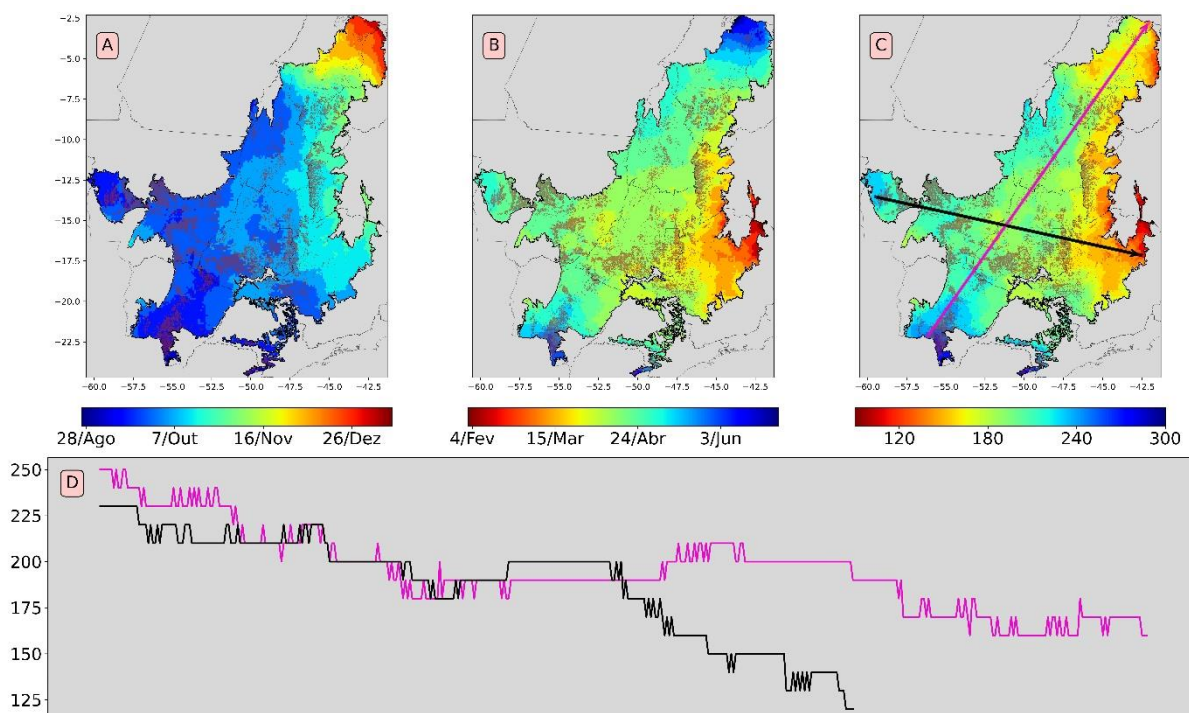


Figura 2.1.8. Região do Cerrado, com destaque para a distribuição espacial das áreas de cultivo de soja em 2022 (áreas em cor marrom), e probabilidade de ocorrência, em cada pixel, das datas de início (IEC), de fim (FEC) e duração da estação chuvosa (DEC), Figuras A, B e C, respectivamente. Na Figura C, foram traçadas linhas para indicar a variação da DEC nos sentidos sudoeste-nordeste (rosa) e oeste-leste (preto), representados na Figura D.

Na Figura 2.1.8, pode-se observar que o IEC se inicia mais cedo ao sudoeste e noroeste do Cerrado, e mais tarde, ao nordeste, variando de 26 de agosto a 13 de janeiro. Cerca de 11% das áreas no cerrado apresentaram a EC com início variando de 26 de agosto a 22 de setembro. Essas áreas abrangem todo os estados do Paraná e de Rondônia, a maior parte dos estados do Mato Grosso do Sul, do Pará e do Mato Grosso e a região sudoeste de São Paulo. Cerca de 15,9% da área plantada com soja no Cerrado está nessa região. Na Figura 2.1.8, as áreas de cultivo de soja no Cerrado em 2022 estão destacadas em marrom. Observa-se que a soja é cultivada em quase todo o bioma, exceto nas regiões do norte de Minas Gerais e sudoeste da Bahia.

As áreas plantadas com a cultura da soja apresentaram as maiores variações nas datas de ocorrência de IEC, variando de 26 de agosto a 22 de setembro, com probabilidade variando de 16,1% a 21,2%. Cerca de 70% da região do Cerrado apresentou datas de IEC variando de 23 de setembro a 20 de outubro, com a probabilidade de ocorrência variando de 13,2% a 16,1%. Essa região concentra cerca

de 76,3% das áreas plantadas de soja do bioma. Além disso, percebe-se que as áreas localizadas mais a leste do Cerrado tendem a apresentar datas de IEC mais tardias.

O sudoeste da Bahia e o norte de Minas Gerais são as primeiras regiões a finalizar a EC. A data de FEC nessas regiões ocorre entre 2 e 24 de fevereiro (Figura 2.1.8B), com probabilidade de FEC ocorrer nessas datas, variando de 8,5% a 9,1%. As áreas localizadas mais a sudeste e nordeste apresentam ocorrências de FEC mais tardias, com as datas variando entre 17 de maio e 1 de julho, com probabilidade variando de 6,8% a 7,3%. No entanto, para a maior parte do Cerrado (85%), as datas de FEC mais prováveis ocorrem entre 18 de março e 2 de maio. A probabilidade de ocorrência de FEC nessas datas variam de 7,3% a 8,1%.

No Cerrado, a DEC varia desde durações mais longas, no extremo sudoeste e sul (Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo), com até 300 dias, até durações mais curtas, observadas no norte de Minas Gerais e sudoeste da Bahia, com pelo menos 90 dias, Figura 2.1.8C. As durações mais curtas estão concentradas majoritariamente nos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e Minas Gerais, não ultrapassando os 173 dias. Há uma tendência das DEC possuírem menor comprimento na direção oeste-leste, como visto na Figura 2.1.8D. Para a maior parte do bioma (69%) esses valores oscilam entre 174 e 236 dias. DEC acima de 216 dias só são registradas no Paraná, ao sul de São Paulo e de Mato Grosso do Sul.

2.1.3.5. Regiões homogêneas em relação ao início e fim da estação chuvosa

É inviável fazer um planejamento agrícola para o Cerrado na escala de pixels. Assim, a região do Cerrado foi dividida em cinco grupos homogêneos para o IEC e em seis grupos para o FEC (Figura 2.1.9).

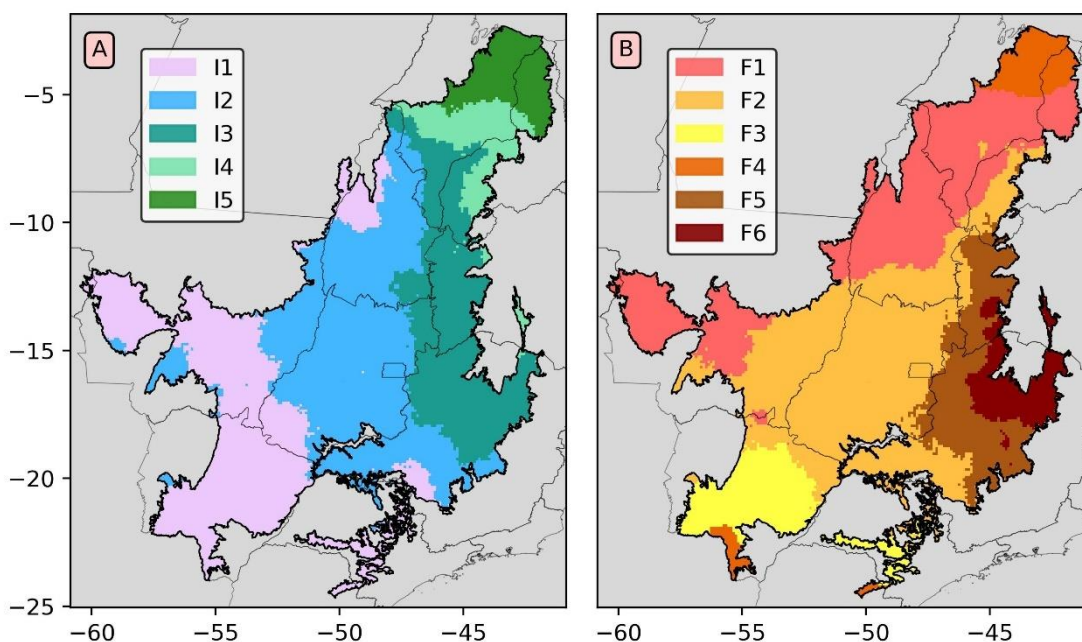


Figura 2.1.9. Regiões homogêneas em relação ao início (A) e fim (B) da estação chuvosa.

Para as datas de IEC, Figura 2.1.9A, o grupo I2 abrangeu a maior proporção de área, englobando quase todo o estado de Goiás e Tocantins, além de parte de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Maranhão, representando aproximadamente 36% do Cerrado. As datas mais prováveis de ocorrência estão centradas no 7 decêndio, ou seja, aproximadamente entre 30 de setembro e 9 de outubro. Os grupos I1 e I3 foram o segundo e o terceiro maiores em extensão, abrangendo 30% e 21% da região, respectivamente.

Ainda em relação ao IEC, o I1 cobre completamente as áreas de Cerrado no Paraná, Pará e Rondônia, além de quase todo o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, parte do Tocantins e de Minas Gerais, enquanto o I3 representa a maior parte do leste do bioma. A estação chuvosa apresenta maior probabilidade de início em meados de 20 e 29 de setembro para o grupo I1, e entre 10 e 19 de outubro para o grupo I3. As menores áreas correspondem aos grupos I4 e I5, abrangendo aproximadamente 7% e 6% do território, respectivamente. Ambas estão no semiárido Brasileiro e possui maior área nos estados do Maranhão e Piauí. Essas regiões apresentam o início mais tardio em relação aos demais grupos, variando de 30 de outubro a 8 de novembro para o grupo I4, e 9 a 18 de dezembro para o grupo I5.

Para as datas de FEC, Figura 2.1.9B, o grupo F2 foi o mais abrangente, representando 39% do bioma. Sua extensão alcança todos os estados do Cerrado, com exceção ao Pará, Rondônia e Paraná. As datas de término mais prováveis para esse grupo estão no decênio 26, isso é, entre 7 e 16 de abril. O segundo maior grupo foi o F1, abrangendo 28% da área, englobando os estados de Rondônia, Pará, parte do Mato Grosso, Tocantins, Maranhão e Piauí, além de pequenas regiões do Mato Grosso do Sul, com as datas de término mais prováveis ocorrendo entre 17 e 26 de abril. O grupo F5 abrange 12% da área do Cerrado, estando majoritariamente no oeste da Bahia e em Minas Gerais, finalizando sua EC entre 18 e 27 de março. Esse grupo, em conjunto com F2 e F6, são as regiões com menores FEC. O grupo F6 ocorre apenas na região Leste, abrangendo cerca de 6% do bioma, correspondentes a áreas na Bahia e em Minas Gerais. Esse é considerado o grupo mais crítico, com FEC ocorrendo entre 27 de fevereiro e 7 de março. Essa região apresenta as menores DEC, além dos menores índices de precipitação anual, conforme Althoff et al. (2023). Desse modo, é necessário um melhor planejamento das atividades agrícolas nessa região.

Ainda em relação ao FEC, O grupo F3 representa 9% da área do Cerrado, englobando a maior parte do Mato Grosso do Sul e parte de São Paulo. As datas mais prováveis de ocorrência de FEC ocorrem entre 27 de abril e 6 de maio, representando o segundo período com datas de FEC mais tardias. F4 apresenta as datas de término mais tardias, entre 27 de maio e 5 de junho. Esse grupo está dividido em duas áreas distintas e opostas, estando uma localizada no Paraná e em extremo sul do Mato Grosso do Sul, enquanto a outra está situada no norte do Maranhão e Piauí, além de uma pequena região do norte de Tocantins.

As datas médias de IEC, para os grupos I1, I2, I3, I4 e I5 foram 25 de setembro, 5 de outubro, 15 de outubro, 4 de novembro e 14 de dezembro, respectivamente.

As datas médias para FEC para os grupos F1, F2, F3, F4, F5 e F6 foram 22 de abril, 12 de abril, 2 de maio, 1 de junho, 23 de março e 3 de março, respectivamente.

2.1.3.6. Análise de tendência

A análise de tendências possibilita a identificação de mudanças no comportamento de uma variável, possibilitando a elaboração de estratégias e ações de adaptação a essas mudanças.

A Figura 2.1.10 apresenta as áreas com tendências significativas, a um α de 5%, das datas de IEC e de FEC, e da DEC no Cerrado. Em relação ao IEC, Figura 2.1.10A, constatou-se que no Cerrado apenas três pixels apresentaram tendência de diminuição do IEC, ou seja, tendência a antecipar o IEC. Esses estão localizados no Mato Grosso do Sul e em São Paulo. Cerca de 14% da área apresentou tendência de atraso no IEC. Essas áreas ocupam majoritariamente os estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e o Distrito Federal. Os resultados para Bahia, se diferem de Fonseca, Pires e Brumatti (2022), que não detectaram tendência de alteração nessa região. Isso se deve à diferença de período analisado.

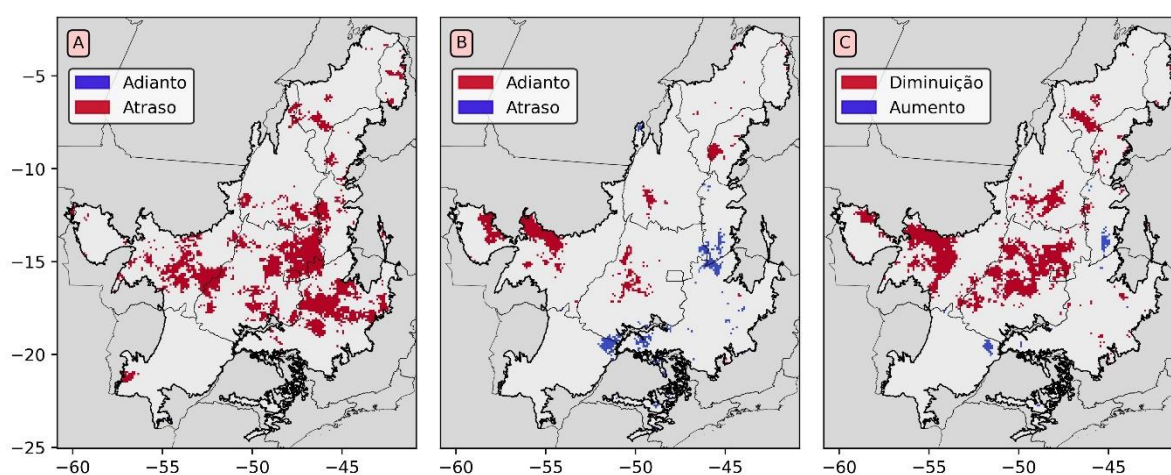


Figura 2.1.10. Tendências nas datas de início (A), de fim (B) e da duração (C) da estação chuvosa no Cerrado.

Apenas 6% das áreas do Cerrado apresentaram tendência para as datas de FEC, sendo 4% tendência de FEC mais cedo (diminuição) e 2% mais tardios (aumento), Figura 2.1.10B. As áreas com diminuição ocorrem principalmente no Mato Grosso, Goiás, Tocantins e Piauí. As áreas com tendência de aumento (FEC mais tardios) estão principalmente no Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Bahia.

Cerca de 12% do bioma apresenta áreas com tendência para a duração da EC, sendo 11% de diminuição e 1% de aumento. As áreas com tendência de diminuição da DEC foram observadas principalmente no Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Tocantins e Maranhão, enquanto, aquelas com tendência de aumento, foram observadas em áreas do oeste da Bahia e nordeste do Mato Grosso do Sul.

As inclinações negativas de Theil-Sen para IEC correspondem a uma antecipação de 12 a 18 dias; já as maiores inclinações com tendência positiva foram

observadas em algumas regiões do Maranhão e Piauí, com atraso variando de 32 a 37 dias.

Para FEC, as maiores inclinações positivas de Theil-Sen ocorreram, principalmente, em São Paulo, com atraso variando de 43 a 51 dias. Quanto às maiores inclinações com tendência negativa, ocorreram no Maranhão, Piauí e Minas Gerais, com adianto do fim variando de 24 a 33 dias.

Quanto à duração, percebe-se que as maiores inclinações positivas estão em São Paulo, com aumentos de 50 a 63 dias. Já para as maiores inclinações negativas ocorrem em Minas Gerais, Sudoeste da Bahia e Piauí, com redução variando de 52 a 65 dias.

2.1.4. Conclusão

Este estudo analisou a variabilidade temporal e espacial das datas de início (IEC) de fim (FEC) e a duração da estação chuvosa (DEC) no bioma Cerrado.

As datas de início da estação chuvosa ocorreram mais cedo nas regiões sul, sudoeste e noroeste do Cerrado, e mais tarde, ao nordeste, variando de 01 de agosto a 12 de março. As datas com maior probabilidade de ocorrência de IEC estão entre 26 de agosto e 13 de janeiro.

As datas de fim da estação chuvosa ocorreram mais cedo ao leste do Cerrado, e mais tarde, nas regiões sul, sudoeste e extremo nordeste, variando de 04 de outubro a 31 de julho. As datas com maior probabilidade de ocorrência de FEC estão entre 02 de fevereiro e 01 de julho.

A duração da estação chuvosa foi maior ao oeste e menor ao leste, variando, na média, de 80 a 306 dias. A DEC com maior probabilidade de ocorrência variou entre 90 e 300 dias.

Aproximadamente 14% do Cerrado apresentou tendência de aumento da data de IEC, com retardo de até 37 dias. Aproximadamente 4% da região do Cerrado apresentou tendência de antecipação da data de fim da estação chuvosa em até 33 dias e 2% de retardo de até 51 dias. A duração da estação chuvosa apresentou tendência de redução em 11% do Cerrado, com redução de até 65 dias, e 1% de aumento, com acréscimo de até 63 dias.

2.1.5. 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**, [S. l.], v. 256–257, n. April 2017, p. 32–45, 2018. ISSN: 01681923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.02.031.

AGROSATÉLITE. **Análise geoespacial da expansão da soja no bioma Cerrado: 2000/01 a 2021/22**. Florianópolis, SC: W5, 2022. 30 p. ISBN: 978-65-991465-5-8.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; BETTIOL, G. M. O Clima do Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2023b. p. 61–89.

ALVES, L. E.R.; GOMES, H. B.; CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. De; GONÇALVES, L. G. G. De; HERDIES, D. L.; SILVA, F.D. dos S. Identificação das Regiões Pluviométricas Homogêneas e Início e Fim da Estação Chuvosa na Bacia do Médio São Francisco (Brasil). **Caminhos de Geografia**, [S. l.], v. 22, n. 80, p. 267–281, 2021. ISSN: 1678-6343. DOI: 10.14393/RCG228055013.

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**, [S. l.], v. 34, n. 8, p. 2622–2633, 2014. ISSN: 10970088. DOI: 10.1002/joc.3863.

BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2020. 308 p. ISBN: ISBN 978-85-7035-951-3.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/2033**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2023. 108 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Painéis de indicadores estatísticos**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2021. Disponível em: < <http://indicadores.agricultura.gov.br/index.html>>. Acesso: 15 jan 2023.

CAMBERLIN, P.; DIOP, M. Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. **Climate Research**, [S. l.], v. 23, p. 159–169, 2003. ISSN: 0936-577X. DOI: 10.3354/cr023159.

DA SILVA, A. E.; DE CARVALHO, L. M. V. Large-scale index for South America Monsoon (LISAM). **Atmospheric Science Letters**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 51–57, 2007. ISSN: 1530-261X. DOI: 10.1002/asl.150.

DEBORTOLI, N. S.; DUBREUIL, V.; FUNATSU, B.; DELAHAYE, F.; DE OLIVEIRA, C. H.; RODRIGUES-FILHO, S.; SAITO, C. H.; FETTER, R. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). **Climatic Change**, [S. l.], v. 132, n. 2, p. 251–264, 2015. ISSN: 15731480. ISBN: 1058401514151. DOI: 10.1007/s10584-015-1415-1.

DOS REIS, L. C.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G.; MUTTI, P. R.; SPYRIDES, M. H. C.; DA SILVA, P. E. Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, [S. l.], v. 177, n. 9, p. 4457–4478, 2020. ISSN: 14209136. DOI: 10.1007/s00024-020-02474-4.

DOS SANTOS, L. F.; GARCIA, S. R. Início e fim da estação chuvosa no estado de Minas Gerais: Comparação de duas metodologias diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 92–104, 2016. ISSN: 19824351. ISBN: 0102778620. DOI: 10.1590/0102-778620150017.

FAYE, D.; KALY, F.; DIENG, A. L.; WANE, D.; FALL, C. M. N.; MIGNOT, J.; GAYE, A. T. Regionalization of the Onset and Offset of the Rainy Season in Senegal Using Kohonen Self-Organizing Maps. **Atmosphere**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 1–22, 2024. ISSN: 20734433. DOI: 10.3390/atmos15030378.

FERIJAL, T.; BATELAAN, O.; SHANAFIELD, M.; ALFAHMI, F. Determination of rainy season onset and cessation based on a flexible driest period. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 148, n. 1–2, p. 91–104, 2022. ISSN: 14344483. ISBN: 0123456789. DOI: 10.1007/s00704-021-03917-1.

FONSECA, H. P.; PIRES, G.F.; BRUMATTI, L. M. Spatial and Temporal Evolution of Sowing and the Onset of the Rainy Season in a Region of Large Agricultural Expansion in Brazil. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 7, 2022.

FRANCISCO, E. A. B.; KAPPES, C. Cerrado brasileiro carece de mais investimentos em práticas sustentáveis. **visão agrícola**, v. 10, p. 55–57, 2012.

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.F. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 47–66, 2004. ISSN: 0894-8755. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2.

GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. P.; KAYANO, M. T. Revised method to detect the onset and demise dates of the rainy season in the South American Monsoon areas. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 126, n. 3–4, p. 481–491, 2015. ISSN: 14344483. DOI: 10.1007/s00704-015-1599-3.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 97, n. 3–4, p. 361–372, 2009. ISSN: 0177-798X. DOI: 10.1007/s00704-008-0080-y. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-008-0080-y>.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M.T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 188–198, 2013. ISSN: 0899-8418. DOI: 10.1002/joc.3417. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3417>.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, v. 204, n. 1–4, p. 182–196, jan. 1998.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the Annual Cycle of Convective Activity over the Tropical Americas. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 2, n. 11, p. 1388–1403, 1989. ISSN: 0894-8755. DOI: 10.1175/1520-0442(1989)002<1388:AIOTAC>2.0.CO;2.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. In: HANDBUCH der klimatologie. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. v. 1, part C., p. 1-44.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 217–231, 1988.

LIEBMANN, B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, L. M. V.; 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**, [S. l.], v. 20, n. 10, p. 2037–2050, 2007. ISSN: 08948755. DOI: 10.1175/JCLI4122.1.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 14, n. 22, p. 4308–4318, 2001. ISSN: 0894-8755. DOI: 10.1175/1520-0442(2001)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2.

LIEBMANN, B.; MECHOSO, C. R. THE SOUTH AMERICAN MONSOON SYSTEM. In: CHANG, Chih-Pei; DING, Yihui; LAU, Ngar-Cheung; JOHNSON, Richard H.; WANG, Bin (org.). **Global Monsoon System: Research And Forecast**. 2. ed., [S. l.]: World Scientific Publishing, 2011. p. 137–157. DOI: 10.1142/9789814343411_0009.

MACQUEEN, J. B. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. In: **Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical**

Statistics and Probability. 1. ed., Berkeley: University of California Press, 1967. p. 281–297.

MANN, H. B. Non-Parametric Test Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MAPBIOMAS. **Mapa de uso e cobertura da terra**. 2023. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/produtos/>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 16, p. 1–18, 2001.

ODEKUNLE, T. O. Determining rainy season onset and retreat over Nigeria from precipitation amount and number of rainy days. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 83, n. 1–4, p. 193–201, 2006. ISSN: 14344483. DOI: 10.1007/s00704-005-0166-8.

OLIVEIRA, P. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], v. 130, n. 1–2, p. 77–90, 2017. ISSN: 14344483. DOI: 10.1007/s00704-016-1865-z.

PEREIRA, O.; FERREIRA, L.; PINTO, F.; BAUMGARTEN, L.. Assessing Pasture Degradation in the Brazilian Cerrado Based on the Analysis of MODIS NDVI Time-Series. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 1761, 2018. ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs10111761.

PIRES, G. F.; ABRAHÃO, G. M.; BRUMATTI, L. M.; OLIVEIRA, Leydimere J. C.; COSTA, M. H.; LIDDICOAT, S.; KATO, E.; LADLE, R. J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 228–229, p. 286–298, 2016. ISSN: 01681923. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.07.005.

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The Life Cycle of the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 21, n. 23, p. 6227–6246, 2008. ISSN: 1520-0442. DOI: 10.1175/2008JCLI2249.1. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/2008JCLI2249.1>.

RODRIGUES, L. N.; ALTHOFF, D.; SANTANA, N. C.; FARIAS, D. B. S. Importância da Agricultura Irrigada para a Sustentabilidade da Produção de Alimentos no Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. **Agricultura Irrigada no Cerrado**: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2023. p. 19–33. ISBN: 978-65-89957-83-6.

ROLDÃO, A. F. Influência do fenômeno veranico na produtividade da soja na mesorregião do Triângulo Mineiro / Alto Paranaíba - MG. **Estudos Geográficos**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 118–138, 2015.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016. ISSN: 19824351. ISBN: 0102778620. DOI: 10.1590/0102-778620150003.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019.

SANTANA, N. C.; RODRIGUES, L. N. O Bioma Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. (org.). **Agricultura Irrigada no Cerrado**: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 35–59.

SELLERS, K. F. **The Conway–Maxwell–Poisson Distribution**. [s.l.] : Cambridge University Press, 2023. 250 p. ISBN: 9781108646437. DOI: 10.1017/9781108646437. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781108646437/type/book>.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, [S. l.], v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. ISSN: 0162-1459. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

SIVAKUMAR, M. V. K. Empirical Analysis of Dry Spells for Agricultural Applications in West Africa. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 532–539, 1992. ISSN: 0894-8755. DOI: 10.1175/1520-0442(1992)005<0532:EAODSF>2.0.CO;2.

SPARACINO, J.; ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Long-term (35 years) rainy and dry season characterization in semiarid northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 377–391, 2021. ISSN: 19824351. DOI: 10.1590/0102-77863630138.

SPARACINO, J.; ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Long-term (35 years) rainy and dry season characterization in semiarid northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 377–391, 2021. ISSN: 19824351. DOI: 10.1590/0102-77863630138.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. **Indagationes Mathematicae**, v.12, p.85-91, 1950.

THOM, H. C. S. **Some of methods of climatological analysis**. World Meteorological Organization: Note 81, 1966.

THORNDIKE, R. L. Who belongs in the family? **Psychometrika**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 267–276, 1953. ISSN: 0033-3123. DOI: 10.1007/BF02289263. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02289263>.

VEIGA, J. A. P.; MARENGO, J. A.; RAO, V. B. A influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 17, p. 181–194, 2002.

XAVIER, A. C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 30 dez. 2022.

2.2. Artigo 2 – Ocorrência de veranicos no Cerrado e seus impactos nas áreas plantadas com soja.

Resumo

Os veranicos constituem um sério problema à produção de soja no Cerrado, frustrando parcial ou totalmente a safra desse produto. O objetivo desse trabalho foi analisar a ocorrência de veranicos e suas características em todo o bioma, focalizando as áreas plantadas com soja em 2022. Os veranicos foram definidos como período de pelo menos 5 dias secos consecutivos. Esses foram classificados em 6 grupos conforme o sua duração: VA (5 e 6 dias), VB (7 e 8 dias), VC (9 e 10 dias), VD (11 e 12 dias), VE (13 e 14 dias) e VF (igual ou superior a 15 dias). A ocorrência desses varia muito, por isso foi realizada análise da distribuição de frequência. Visando saber a probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico em um determinado decêndio, foi utilizada a distribuição de probabilidade de Poisson. As tendências de ocorrência foram avaliadas pelos testes de Mann-Kendall e Mann-Kendall Modificado, e a magnitude das tendências pelo teste não paramétrico de Inclinação de Theil-Sen. A análise de cluster foi utilizada para estabelecer regiões homogêneas de ocorrências de veranico. Os eventos de menor duração são mais frequentes que os maiores. Os veranicos mais longos registrados na região ocorreram no sudoeste e sul, enquanto as maiores proporções de dias em veranico por dias na estação chuvosa foram observadas no leste, sul e sudoeste. Além disso, a probabilidade de ocorrência de veranicos menores é maior, e há uma variação significativa na incidência desses eventos no Cerrado, com tendência de aumento a leste e redução a oeste. O bioma foi dividido em cinco grupos, sendo que os Grupos G3 e G4 apresentaram o maior número de ocorrências anuais.

Palavras-Chave: Seca-verde; dia seco; agricultura de sequeiro.

2.2.1. Introdução

O Brasil desempenha um papel estratégico quanto à segurança alimentar mundial, se destacando como produtor e exportador de várias commodities agrícolas. O setor de agricultura e alimentos é um dos principais pilares econômicos nacionais,

representado 29% do PIB do Brasil, além de empregar 15% dos trabalhadores em 2021 (VALDES, 2022).

A soja se destaca na agricultura brasileira, liderando as exportações agrícolas em 2021 (VALDES, 2022). De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a área plantada com soja aumentará cerca de 27,5% de 2022/2023 a 2032/2033. Um crescimento equivalente a 12 milhões de hectares, destacando-a como a cultura com maior expansão de área no período (BRASIL, 2023).

A região do Cerrado possui 70% dos seus 204 milhões de hectares, com potencial para o desenvolvimento da agricultura (FRANCISCO; KAPPES, 2012), contribuindo com aproximadamente 70% da produção de grãos e carne bovina do Brasil (KLINK, 2014; SILVA et al., 2015; FARIAS; RODRIGUES, 2023). Em relação à cultura da soja, o Cerrado desempenha um papel estratégico. Na safra de 2021/22, possuía aproximadamente metade da área plantada com soja no Brasil, isto é, 20 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 10% de sua área total (AGROSATÉLITE, 2022; MAPBIOMAS, 2023).

A maior parte do cultivo de soja no Brasil é realizada em regime de sequeiro (DA SILVA et al., 2019) e as incertezas na quantidade e distribuição das precipitações impactam diretamente na produção dessa cultura. Logo, a regularidade da estação chuvosa é fundamental para o sucesso desse cultivo, visto que a escassez hídrica durante as fases de crescimento vegetativo e reprodutivo pode reduzir significativamente os rendimentos da cultura (PASSIOURA, 2007; TADROSS et al., 2009).

Veranicos, ou seja, períodos com pouca ou nenhuma precipitação durante a estação chuvosa (EC), constituem um sério problema à produção de soja (MAGALHÃES et al., 2019; SILVA; RAO, 2002). Prejuízos a essa produção, decorrentes da ocorrência desses eventos podem ser evidenciados em diversas regiões. O efeito dos veranicos é mais danoso à cultura quando o evento ocorre durante o período de emergência ou nos estádios fenológicos de floração e de formação da planta, causando a seca verde, ou seja, a frustração parcial ou total da safra (SILVA; RAO, 2002).

Definir de forma mais acurada a ocorrência e a duração de veranicos é importante para o sucesso de culturas plantadas em condições de sequeiro, tais como soja, milho e o feijão. O desafio que se apresenta é que esses eventos são muito variáveis no tempo e no espaço. Assim, definir a ocorrência de veranicos, em

diferentes durações e regiões do Cerrado, com base na sua probabilidade de ocorrência, é importante para o planejamento agrícola, podendo contribuir para o sucesso do plantio de culturas de sequeiro e para estimativas mais precisas da demanda de irrigação.

Os veranicos são períodos de dias secos (DS) consecutivos. No entanto, não há unanimidade na literatura quanto a essa definição, uma vez que os valores de precipitação mínima que caracterizam um dia como seco variam entre 0 e 10 mm dia⁻¹ (ASSAD; CASTRO, 1991; MENEZES et al., 2008; ROCHA et al., 2020; ROCHA et al., 2021; BARTOLINI et al., 2021; NOGUEIRA et al., 2023; MOTAMEDI; GOHARI; HAGHIGHI, 2023). Por outro lado, para a maioria dos autores, para um dia ser considerado seco, a precipitação deve ser igual o menor a 1 mm dia⁻¹ (ASSAD et al., 1993; OLIVEIRA et al. 2021; MATHLOUTHI; LEBDI, 2021; FALL et al., 2021; OLMO et al., 2022; CALDANA et al. 2022).

A literatura também apresenta diversas metodologias visando identificar veranicos em termos de ocorrência e de duração. Caldana et al. (2022) utilizaram decêndios móveis para identificar esses eventos com duração mínima de 10 dias no Paraná. Rocha et al. (2020) propuseram um índice próprio de ocorrência de veranico para o estado do Ceará. Hernandez et al. (2003) e Caetano et al. (2023) levaram em consideração a evapotranspiração na determinação do veranico. Já Hlalele (2020) utilizou os índices Padronizado de Precipitação (SPI) e Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI), para obter diversas informações sobre esses eventos em Lesoto, na África. Assad et al. (1993) analisaram a ocorrência de veranicos no Cerrado considerando durações fixas de 5, 10, 15, 20 e 25 dias. No entanto, a adoção do número de DS ininterruptos é a mais utilizada, assim como a classificação em intervalos de comprimentos (MENEZES et al., 2008; ROCHA et al., 2020; FALL et al., 2021; MATHLOUTHI; LEBDI, 2021; OLIVEIRA et al., 2021; NOGUEIRA et al., 2023).

Assad et al. (1993) avaliaram a ocorrência de veranicos no Cerrado em sua totalidade. No entanto, as estimativas desse estudo precisam ser atualizadas, considerando o refinamento da variação espacial. Estudos mais recentes como Roldão e Assunção (2011), Roldão (2015), Silva et al. (2021) e Caldana et al. (2022) também investigaram os veranicos no bioma, todavia em regiões específicas.

Assim, este estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de veranicos e suas características em todo o bioma do Cerrado, focando nas áreas plantadas com soja em 2022.

2.2.2. Material e métodos

2.2.2.1. Área de Estudo

O bioma Cerrado cobre aproximadamente 24% do território do Brasil (RODRIGUES et al., 2023), contemplando totalmente o Distrito Federal e parcialmente os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Pará, Piauí, São Paulo e Rondônia, conforme apresentado na Figura 2.2.1. Esse apresenta elevada contribuição para disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas do Parnaíba (81,6%) e São Francisco (74,8%). Além dessas, contribui para as regiões hidrográficas do Tocantins-Araguaia (55,2%), Paraguai (51,6%), Paraná (41,7%), Atlântico Nordeste Ocidental (23,3%), Atlântico Leste (12,0%) e da Amazônica (2,3%).

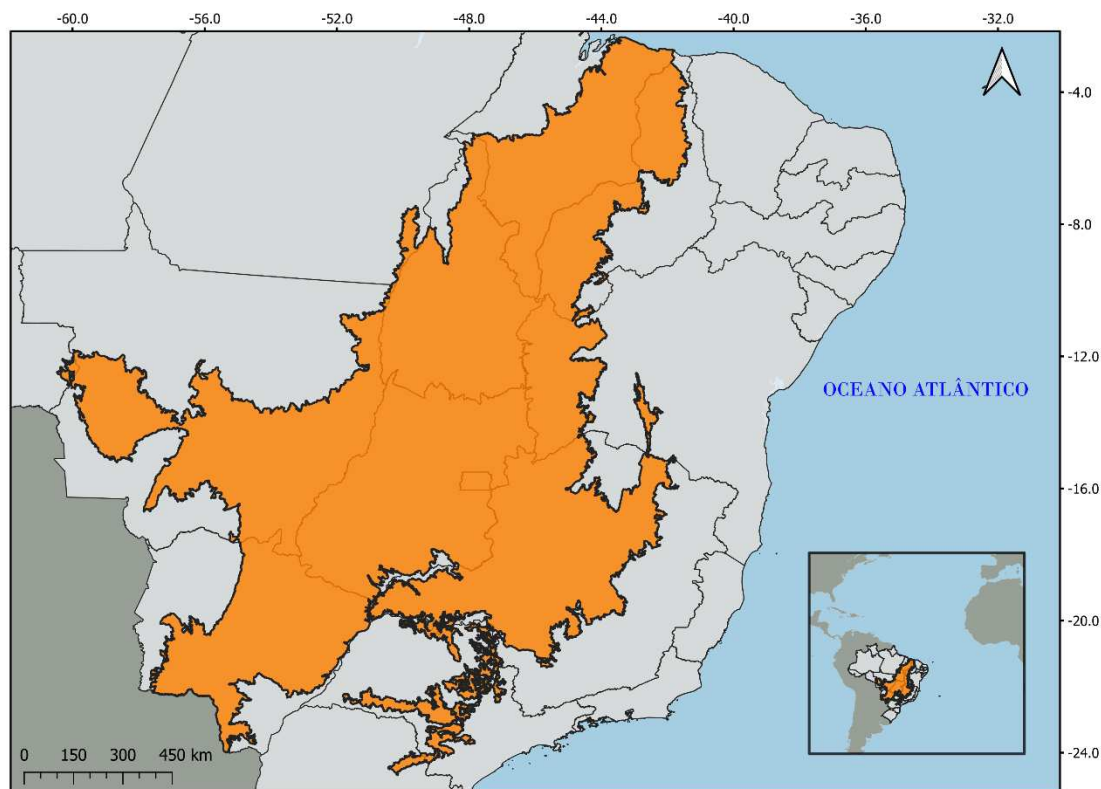


Figura 2.2.1. Representação do bioma Cerrado no contexto do Brasil e da América do Sul.

Os compartimentos geomorfológicos do Cerrado podem ser classificados em platôs, predominantes na região centro-sul, e depressões, mais frequentes na área noroeste (Sano et al., 2019). Quanto ao solo, apesar da grande diversidade no Cerrado, os latossolos e neossolos são os mais prevalentes, abrangendo 43% e 22% do território, respectivamente (Santana; Rodrigues, 2023). Esses tipos de solo são

conhecidos por sua baixa fertilidade natural, necessitando de correções para viabilizar a produção agrícola.

O bioma Cerrado, quanto ao clima, é predominantemente classificado como tropical de savana com inverno seco (Aw), segundo a classificação de Köppen (1936). Este tipo climático é caracterizado por temperaturas médias que permanecem acima de 18°C durante todos os meses do ano e uma precipitação inferior a 60 mm no mês mais seco.

2.2.2.2. Base de dados

A base de dados utilizada neste trabalho foi obtida de Xavier et al. (2022) (<https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>). A série histórica de dados de precipitação possui resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 25 km x 25 km) e abrange o período de 01/01/1961 a 31/12/2022. A base para o Cerrado possui 377 milhões de dados diários de precipitação, sendo formada por uma grade regular de 16.660 pixels, distribuídos espacialmente na região.

A distribuição espacial da área plantada com soja no Cerrado, no ano de 2022, foi obtida da base de dados cartográficos do MapBiomas, Coleção 8.0 (MAPBIOMAS, 2023). A delimitação das sub-bacias hidrográficas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), no nível 1, foi obtida do catálogo de metadados da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) (ANA, 2024). A localização dos pivôs centrais localizados no Cerrado foi obtida do trabalho realizado por Sano et al. (2024). É importante destacar que as porcentagens referentes às áreas de soja mencionadas neste estudo se referem aos pixels que contêm essa cultura.

Além disso, foram utilizados para a análise, os dados de início e término da estação chuvosa apresentados no artigo do item 2.1. Esses dados foram obtidos para cada um dos 61 anos individualmente em cada um dos 16.660 pixels que cobrem o Cerrado.

2.2.2.3. Avaliação da variabilidade dos veranicos climatológicos

Para avaliar ocorrência de veranicos, foi contabilizada a ocorrência de dias secos consecutivos. Um dia é considerado seco, quando o valor precipitado for menor ou igual a 1 mm dia⁻¹ (ASSAD et al., 1993; OLMO et al., 2022). Essa definição foi adotada, pois, durante a estação chuvosa, a região do Cerrado apresenta elevadas taxas médias de evaporação (8 a 9 mm dia⁻¹) e evapotranspiração potencial (4 a 5

mm dia⁻¹), o que dificulta que uma precipitação inferior a 1 mm dia⁻¹ seja efetivamente absorvida pelas culturas (ASSAD et al., 1993). Desse modo, quando ocorrem 5 dias secos consecutivos ou mais, é caracterizado um evento de veranico (DANIEL et al., 2023; NOGUEIRA et al., 2023).

Para avaliação da variabilidade espacial dos eventos de veranicos, foi feita, inicialmente, uma análise estatística considerando toda a série de dados, sem se preocupar com a sua variabilidade espacial. Para isto, foi feita análise da distribuição de frequência, averiguando a assimetria e a curtose.

Posteriormente, os eventos de veranico foram analisados em cada um dos 16.660 pixels, distribuídos espacialmente no Cerrado, avaliando-se as durações máximas registradas em cada um deles e a razão entre o número de dias de veranico pelo número de dias dentro da estação chuvosa durante os 61 anos de estudo.

2.2.2.4. Avaliação da variabilidade temporal dos veranicos

Em cada pixel, os eventos de veranico foram categorizados em seis classes de acordo com sua duração: VA para veranicos com duração de 5 e 6 dias, VB para aqueles com duração de 7 e 8 dias, VC para veranicos com duração de 9 e 10 dias, VD com duração de 11 e 12 dias, VE aqueles que possuem duração de 13 e 14 dias e VF para os veranicos com duração igual ou superior a 15 dias. Para cada uma dessas classes foi verificada a sua frequência de ocorrência entre os eventos de veranico.

Também foram analisadas a frequência de ocorrência decendial desses eventos, identificando as regiões mais críticas em cada mês e as classes de veranicos mais comuns de ocorrer. Nos casos que o veranico ocorreu entre dois decêndios, foi computado para o decêndio de início do evento em questão (ASSAD et al., 1993; MATHLOUTHI; LEBDI, 2021).

2.2.2.5. Número de ocorrências de veranicos com maior probabilidade

A identificação da probabilidade de ocorrência de veranico em um determinado decêndio é importante na definição de áreas críticas de plantio. Para isso, foi utilizada a distribuição de probabilidade de Poisson para identificar esses valores (SELLERS, 2023), Equação 1.

$$p(k) = \frac{\lambda^k * e^{-\lambda}}{k!} \quad (1)$$

em que λ representa o número médio de sucessos dentro do intervalo de 61 períodos; e k o número de sucessos, isto é, o número de veranicos em um ano ou um decêndio.

2.2.2.6. Análise de tendência

Para analisar as tendências, foi aplicado o teste de Mann-Kendall às séries históricas de cada pixel (KENDALL, 1975; MANN, 1945). Esse é um método não paramétrico, aplicado quando os dados amostrais ocorrem de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, ou seja, uma série aleatória simples (SIEGEL, 1975).

De acordo com Neeti e Eastman (2011), é necessário que os dados sejam independentes e aleatórios para utilizar esse método. Contudo, dados climáticos apresentam frequentemente autocorrelação nas suas séries temporais. Diversos estudos apontam que a detecção de autocorrelação positiva pode aumentar o número de falsos positivos (KULKARNI; VON STORCH, 1995; YUE; WANG, 2004). Sendo assim, para verificar a independência da série temporal e a aleatoriedade dos dados, foi aplicado o teste de autocorrelação serial e o teste de sequência (*Run Test*), respectivamente.

Nos casos em que a série não obedeceu às condições de independência e aleatoriedade, foi aplicado o teste de Mann-Kendall Modificado (HAMED; RAO, 1998).

Para determinar a magnitude da tendência foi utilizado o teste não paramétrico Inclinação de Theil-Sen (*TSS*), que pressupõe uma tendência linear nos dados de séries temporais e dados não correlacionados (THEIL 1950; SEN 1968). Este método é robusto em relação a dados ausentes e valores atípicos na série de dados.

2.2.2.7. Identificação de regiões homogêneas

Para a identificação das regiões homogêneas utilizou-se o método *K-means* (MACQUEEN, 1967). Esse método consiste em agrupar os elementos de um conjunto de dados analisado em k grupos homogêneos (*Clusters*) dos elementos de um conjunto de dados analisado de forma a garantir que os elementos de cada um desses apresentem características similares, enquanto os elementos de diferentes grupos sejam distintos.

2.2.3. Resultados e discussão

2.2.3.1. Análise da precipitação

A precipitação média anual não é uniforme em todo Cerrado (Figura 2.2.2). Isso ocorre devido à grande extensão de área que o bioma ocupa, sendo influenciado por diferentes fatores climáticos (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020). Esses valores variam de 708,4 até 2011,2 mm ano⁻¹, com média de 1409,4 mm ano⁻¹. Apesar de apresentar valores um pouco diferentes dos obtidos por Althoff et al. (2023), sua distribuição espacial é semelhante, apresentando menores valores mais ao leste e maiores mais ao oeste. Essa diferença se deu pela diferença do banco de dados utilizados.

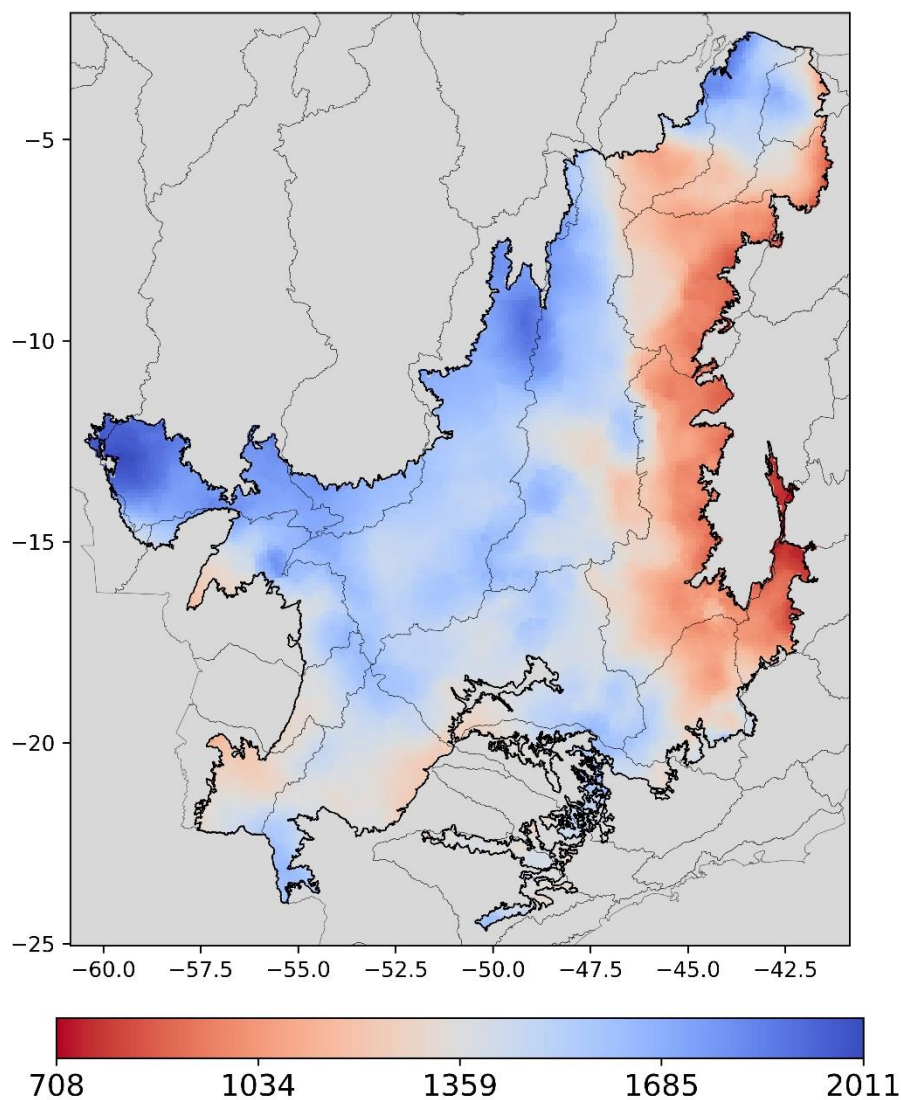


Figura 2.2.2. Precipitação média anual no Cerrado (1961–2022).

Na Figura 2.2.3 apresenta-se a média mensal de precipitação de todo o Cerrado. Nota-se uma distribuição típica de regiões tropicais, com menor quantidade no inverno e maior no verão.

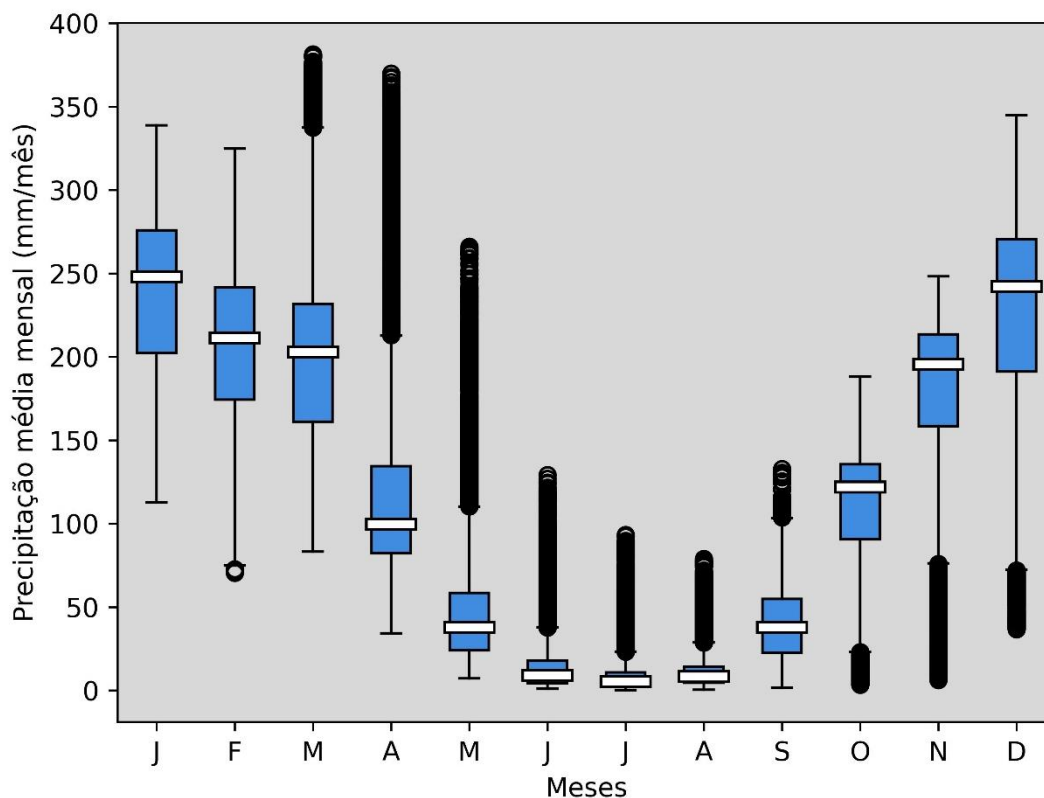


Figura 2.2.3. Precipitação média mensal considerando todo o bioma do Cerrado para o período de 1961 –2022.

Em janeiro, os valores de precipitação variaram de 112,7 a 338,8 mm mês⁻¹, com uma média de 240,3 mm mês⁻¹. Os menores valores médios de precipitação foram observados nas regiões sudoeste, leste e nordeste, enquanto os maiores ocorreram ao oeste, centro, norte e parte do sudeste.

Já para o mês de fevereiro, os valores variam de 70,5 a 324,9 mm mês⁻¹, com uma média de 208,8 mm mês⁻¹. Os menores observados concentraram-se principalmente nas regiões sudeste, leste, sudoeste e extremo sul, enquanto os maiores foram observados ao oeste, centro, norte e parte do nordeste.

Para março, os valores variaram de 83,2 a 381,2 mm mês⁻¹, com uma média de 202,3 mm mês⁻¹. Os menores valores concentraram-se principalmente nas regiões sudeste, leste, sudoeste e sul, enquanto os maiores foram observados nas regiões oeste, norte e nordeste.

No mês de abril, os valores variaram de 34,3 a 369,7 mm mês⁻¹, com uma média de 116,3 mm mês⁻¹. Os menores valores concentraram-se principalmente nas regiões sudeste, leste, e sul, enquanto os maiores foram observados no oeste, norte e nordeste.

Em maio, os valores variaram de 7,2 a 266,0 mm mês⁻¹, com uma média de 48,0 mm mês⁻¹. Os menores valores ocorreram principalmente nas regiões leste e centro, enquanto os maiores no sudoeste, sul, nordeste e parte do oeste e norte.

Para junho, os valores variaram de 1,0 a 129,1 mm mês⁻¹, com uma média de 16,3 mm mês⁻¹. Os menores valores foram observados principalmente nas regiões leste, parte do norte e do centro, enquanto os maiores são observados no sudoeste, sul e nordeste.

Em julho, os valores variaram de 0,2 a 93,3 mm mês⁻¹, com uma média de 9,7 mm mês⁻¹. Os menores valores concentraram-se principalmente nas regiões leste, parte do norte e do centro, enquanto os maiores foram observados no sudoeste, sul e nordeste.

No mês de agosto, os valores variaram de 0,5 a 78,9 mm mês⁻¹, com uma média de 11,8 mm mês⁻¹. Os menores valores foram observados principalmente nas regiões leste, parte do norte e do nordeste, enquanto os maiores no sudoeste, sul e oeste.

Já em setembro, os valores variaram de 1,6 a 132,8 mm mês⁻¹, com uma média de 39,9 mm mês⁻¹. Os menores valores foram observados nas regiões leste e nordeste, enquanto os maiores nas regiões sudoeste, sul e oeste.

Em outubro, os valores variaram de 3,5 a 188,2 mm mês⁻¹, com uma média de 111,3 mm mês⁻¹. Os menores valores concentraram-se principalmente nas regiões leste e nordeste, enquanto os maiores foram observados no oeste, centro, norte e partes do sudoeste e sul.

Para novembro, os valores variaram de 6,3 a 248,3 mm mês⁻¹, com uma média de 178,5 mm mês⁻¹. Os menores valores concentraram-se principalmente nas regiões nordeste, sul e partes do sudoeste e leste, enquanto os maiores nas regiões no centro, norte e partes do oeste e sudeste.

Em dezembro, os valores variaram de 36,8 a 344,8 mm mês⁻¹, com uma média de 226,5 mm mês⁻¹. Os menores valores ocorreram principalmente nas regiões nordeste, sudoeste e partes do sul e leste, enquanto os maiores foram observados no centro, norte e partes do oeste e sudeste.

2.2.3.2. Análise da ocorrência de veranicos

Na Figura 2.2.4 apresenta-se a distribuição do número de ocorrências de veranicos em função da sua duração. A figura foi construída com duração de veranicos variando de 5 a 51 dias.

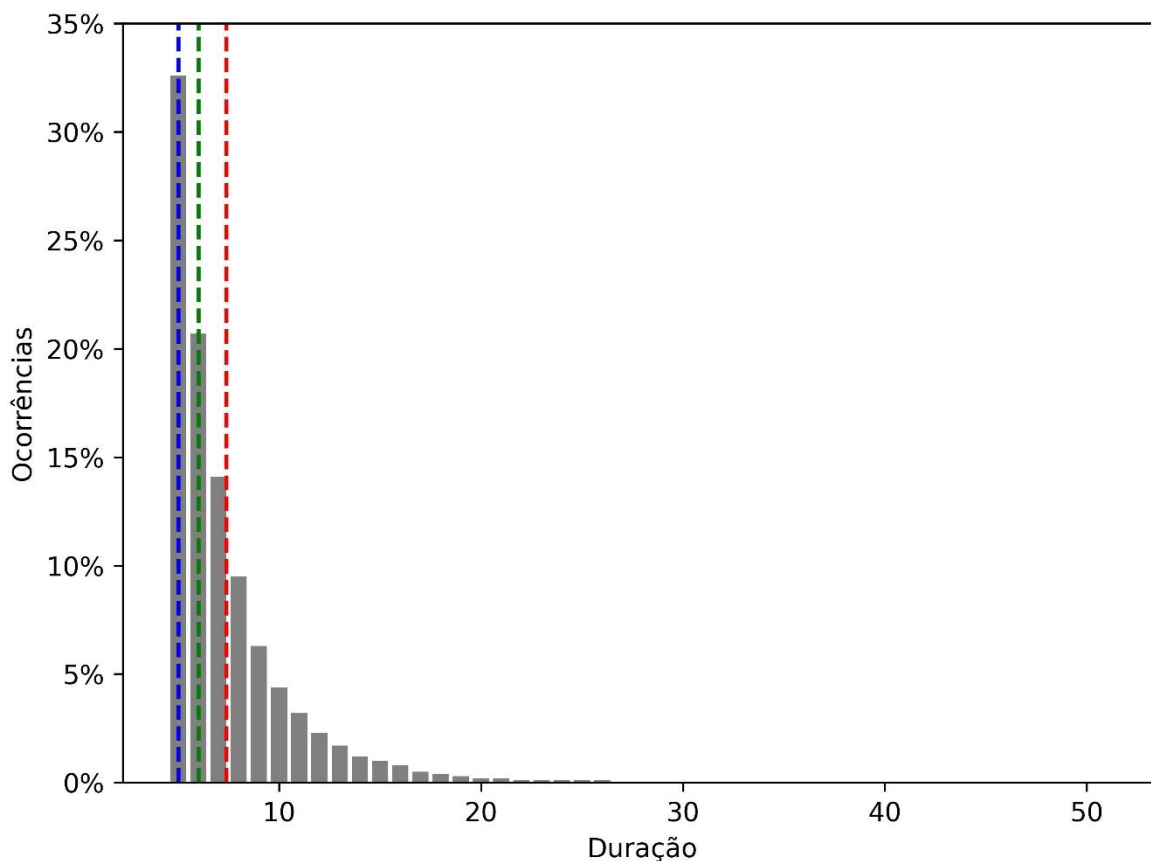


Figura 2.2.4. Porcentagem de ocorrências de veranicos no Cerrado em função da sua duração e sua média (vermelho), moda (azul) e mediana (verde).

Observa-se na Figura 2.2.4 que a distribuição apresenta uma assimetria à direita com o coeficiente de assimetria de Fisher igual a 2,8, indicando uma tendência dos valores se concentrarem do lado esquerdo em relação à média. Quanto a curtose, apresenta o coeficiente de Fisher de 12,8, indicando uma distribuição leptocúrtica, ou seja, os dados encontram-se mais concentrados em torno da média, indicando uma menor variabilidade. Como era esperado, os veranicos com durações menores são mais frequentes. Isso também foi percebido por Roldão (2015) e Nogueira et al. (2023), para o Alto Paranaíba em Minas Geral e o estado do Ceará, respectivamente.

Na Figura 2.2.5 apresenta-se os veranicos com as maiores durações, observados em toda série histórica, em cada um dos 16.660 pixels que compõe a região do Cerrado, Figura 2.2.5A, e a relação entre o número total de dias com

veranicos pelo número total de dias na estação chuvosa observada em um determinado pixel, Figura 2.2.5B.

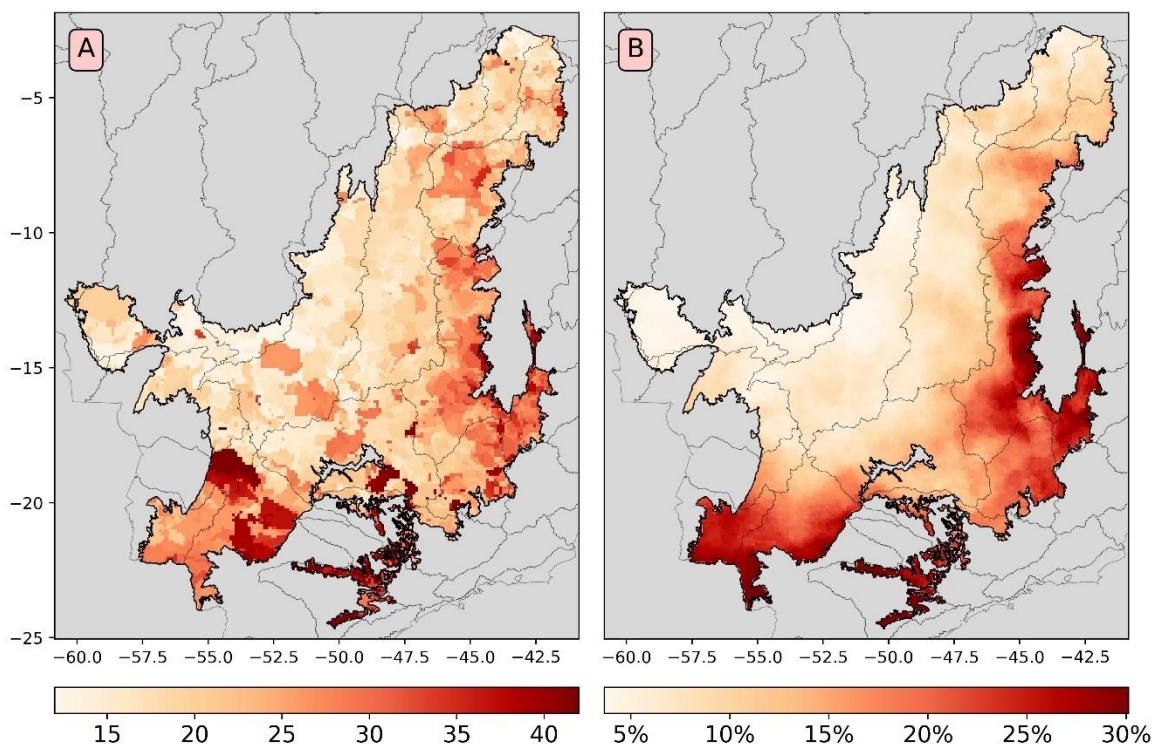


Figura 2.2.5. Distribuição espacial dos maiores valores de veranico, em dias (A), e relação média de dias com veranicos por dias de estação chuvosa (B).

Ao analisar a Figura 2.2.5A observou-se que cerca de 3% das regiões do Cerrado apresentaram veranicos acima de 40 dias, sendo que aproximadamente 32% dessas eram áreas plantadas com soja em 2022. A maior parte dessas estão localizadas nas bacias hidrográficas do rio Paranapanema, Paranaíba, Paraguai (02) e Grande, localizadas no sul e sudoeste do Cerrado, nos estados de Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Sul de Minas Gerais. Uma possível explicação, é o fato dessas regiões também apresentarem maiores durações da estação chuvosa, conforme foi observado no artigo 2.1.

Em cerca de 52% do Cerrado, foram observados veranicos com durações máximas variando de 15 a 22 dias, com ocorrência em todas as bacias, exceto nas bacias do rio Paranapanema, rio Tietê, rio Doce e rio de Contas. Desse total, aproximadamente 35% são áreas plantadas com soja, correspondendo a 18% de todo o Cerrado e a 58% da área plantada com o grão no bioma. Os veranicos entre 10 e 14 dias, ocorreram em 11% do Cerrado, representando as menores durações máximas. Desses, cerca de 41% são áreas de soja, isso equivale a 14% de todas as

áreas de soja em 2022. Ocorreram nos estados do Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, norte do Piauí e sudoeste de Minas Gerais.

As regiões onde mais de 20% dos dias da estação chuvosa são dias de veranicos, estão localizadas principalmente nas regiões leste, sul e sudoeste do Cerrado, nas bacias dos rios Tietê, São Francisco (médio e alto), Parnaíba (médio e alto), Paranapanema, Paranaíba, Paraná, Paraguai (01 e 02), Jequitinhonha, Grande, Doce e de Contas. Essas áreas representam aproximadamente 20% do Cerrado, sendo que em 16% delas eram áreas plantadas com soja em 2022, constituindo cerca de 10% de toda a áreas plantada com soja no Cerrado.

As bacias, com grande produção de soja, com mais veranicos foram as bacias dos rios Aquidauana, sub-bacia do rio Paraguai (01); as bacias dos rios Pardo e Paraná (01), sub-bacias do rio Paraná; além das bacias dos rios Grande (01) e Paracatu, sub-bacias do rio São Francisco (médio). Os altos valores da relação média de dias com veranicos por dias de estação chuvosa observados nas áreas mais ao leste do Cerrado, indicam maior insegurança para produção da soja de sequeiro, visto que também possuem menor duração da estação chuvosa, como apresentado no artigo 2.1.

Para a maior parte do Cerrado (62%), essa relação não é muito alta, variando entre 2 e 13%, ocorrendo em todas as bacias exceto as bacias dos rios Paraguai, Paranapanema, Tietê, São Francisco (alto), Jequitinhonha, Doce e de Contas. Desse total, cerca de 38% são área de soja, correspondendo a 75% da área plantada com soja em 2022.

2.2.3.3. Classes mais frequentes de veranicos

A Figura 2.2.6 apresenta a frequência de ocorrência de veranicos classificados por duração. Observa-se, na Figura 2.2.6A, que os veranicos com duração de 5 ou 6 dias, classificados como VA, como era de se esperar, ocorrem, de maneira geral, com alta frequência em todo o Cerrado. A frequência dessa classe varia de 28 a 80% dos casos no bioma. Cerca de 3,6% das áreas do Cerrado possuem frequência de VA igual ou superior a 70%, ocorrendo no centro, centro-oeste e nordeste do bioma, principalmente nas bacias do rio Tapajós e do rio Araguaia. Aproximadamente 5% das áreas plantadas com soja no bioma em 2022 estão nessas regiões.

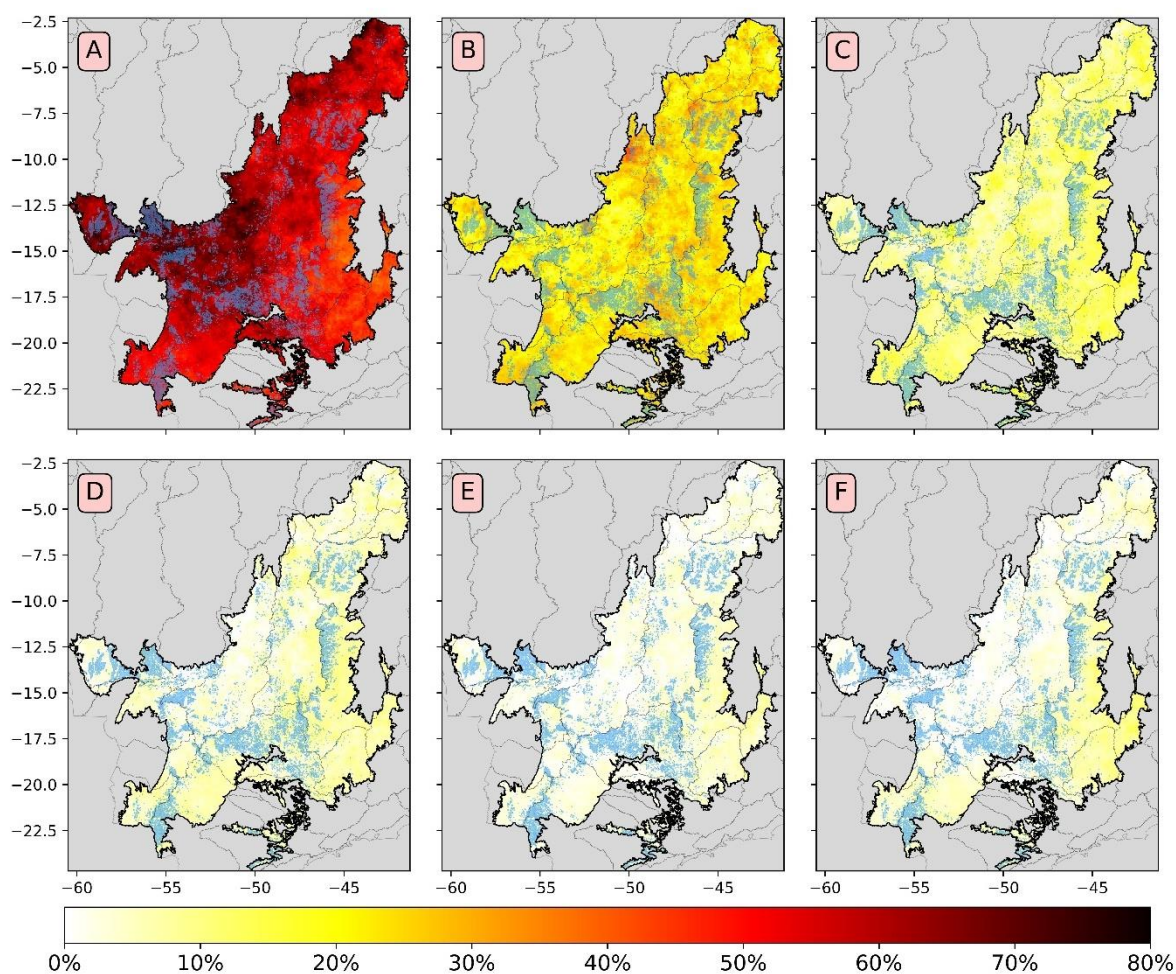


Figura 2.2.6. Frequência de ocorrência de veranicos das classes VA (5 a 6 dias) (A), VB (7 a 8 dias) (B), VC (9 a 10 dias) (C), VD (11 a 12 dias) (D), VE (13 a 14 dias) (E) e VF (≥ 15 dias) (F) no Cerrado e suas áreas plantadas com soja (azul).

Para a maior parte do bioma (80,5%), a frequência de VA oscila entre 46,2 e 67%, porém com baixas concentrações do leste, sudeste e oeste. Dessa área, 34,2% foi destinada ao plantio de soja, sendo 6,5% soja irrigada e 27,7% em sequeiro, correspondendo a 84,6% de toda a área plantada com o grão no bioma. Veranicos dessa classe, com frequência entre 28 e 40%, não são muito representativos, correspondendo a cerca de 1,6% do cerrado e quase não há registro de soja nessas regiões. Estão localizadas majoritariamente nas bacias do rio São Francisco (Alto e médio), do rio Jequitinhonha e do rio de Contas.

A faixa de frequência de VB é menor, quando comparada com a de VA, com valores variando de 8 a 45%. No entanto, 93% do bioma apresenta frequência de VB variando entre 15,6 e 28,7%, abrangendo cerca de 91% de toda a área de soja plantada nesse período (Figura 2.2.6B). As frequências acima desses valores

representam apenas 5,1% do bioma, estando distribuídos principalmente no centro, norte, leste e nordeste, porém com baixas concentrações. As menores que 15% estão concentrada principalmente no lado oeste, principalmente nas bacias do rio Tapajós, do rio Araguaia e do rio Xingu. Essas correspondem a apenas 1,8% do Cerrado e também estão pouco agrupadas.

Para a classe VC, a faixa de frequência também reduz expressivamente em comparação a VB, variando de 1 a 21% (Figura 2.2.6C). Os valores acima de 13% estão distribuídos em aproximadamente 14,5% do bioma, no entanto, há poucas ocorrências no lado oeste, especialmente nas bacias do rio Tapajós e no Norte rio Paraguai. As frequências mais comuns variam entre 5,3 e 13%, ocorrendo em cerca de 81,7% do Cerrado e com ocorrências em todas as bacias hidrográficas.

Não há registros da classe VD em cerca de 2,1% do Cerrado. Em 2022, aproximadamente 3% das áreas plantadas com soja no Cerrado estavam nessas regiões. As maiores frequências para essa classe variam entre 10 e 14%, ocorrendo ao leste e nordeste do bioma, principalmente nas bacias do rio Tocantins (alto), do rio São Francisco (médio) e no rio Jequitinhonha. Essas cobrem aproximadamente 1% do Cerrado e quase não há registros de áreas plantadas com soja para o período em questão. Para a maior parte do Cerrado (91%) a frequência para VD não passa de 8% (Figura 2.2.6D).

A classe VE apresenta a menor faixa de frequência, variando de 0 a 10%. No entanto, para 97,3% do Cerrado a frequência não passa de 6%, abrangendo praticamente toda a área plantada com soja em 2022 (Figura 2.2.6E). Há um aumento nas áreas com registros nulo no oeste, centro, norte e nordeste do bioma, correspondendo a 7,5% do Cerrado e 7,3% das áreas plantadas com soja nesse período. As frequências iguais ou superiores a 6% ocorrem majoritariamente ao leste do bioma, nos estados da Bahia e Minas Gerais, especificamente nas Bacias do rio São Francisco (Médio), do rio Jequitinhonha e do rio de Contas, ocupando cerca de 2,7% do bioma e ocorrendo em menos de 1% das áreas de soja plantadas nesse período.

Observou-se um aumento na faixa da classe VF, variando de 0 a 21%, todavia para 95,1% do cerrado esse valor não ultrapassa 8% (Figura 2.2.6F). Esse aumento na faixa de frequência ocorre devido essa classe englobar mais durações de veranicos do que VE. Esses valores mais altos estão nas regiões mais ao leste, indicando mais ocorrências de veranicos iguais ou maiores que 15 dias. Os valores menores ou iguais

a 8% cobrem praticamente toda a área plantada com soja em 2022. Há aumento na porcentagem de áreas com registros nulo (10,7%), também no oeste, centro, norte e nordeste do bioma. Isso indica que nessa região há baixa probabilidade de ocorrências de veranicos acima de 13 dias.

2.2.3.4. Decêndios com maiores frequências de ocorrência de veranicos

A ocorrência de veranicos é muito variável temporalmente e espacialmente. Assim, para facilitar a compreensão da sua variabilidade no Cerrado, foi feita uma avaliação considerando os decêndios mais comuns de ocorrerem veranicos no bioma. Isto é, foi feita uma análise considerando a variabilidade espacial de ocorrência dos veranicos nos decêndios. Essa informação é importante, por exemplo, para se definir a melhor data de plantio em culturas de sequeiro nas diversas regiões do Cerrado.

A ocorrência dos veranicos da classe VA, considerando os decêndios, foi muito variada na região. Em 49,5% do Cerrado, os decêndios com maior frequência de veranicos variaram do sétimo ao décimo primeiro (30 de setembro a 18 de novembro), além do décimo sétimo (8 a 17 de janeiro). Essa área está distribuída em todo o bioma, porém com concentração menor, no leste, nordeste, sudeste, centro e oeste. As frequências de ocorrência de veranicos VA nesses decêndios variaram de 5,1% a 21,1%, com o número de eventos já registrados entre 3 e 23. No entanto, os valores mais comuns situam-se entre 6 e 12 ocorrências. As áreas de soja representavam 35,2% dessas regiões, sendo 5,6% soja irrigada e 29,6% em regime de sequeiro, o que equivale a 53,5% da soja plantada no Cerrado em 2022. Os menores valores de frequência foram observados no sul e sudoeste, indicando que nessas regiões a ocorrência de veranicos é bem distribuída entre vários decêndios distintos.

Para VB, os decêndios com maiores frequências também variaram muito em todo o Cerrado. Em 50,4% do bioma, os decêndios com maior frequência de veranicos variaram do oitavo ao décimo terceiro decêndio (10 de outubro a 8 de dezembro), com exceção do décimo segundo (19 a 28 de novembro). Essa área está distribuída em todo o bioma, porém com concentração menor no leste, nordeste e sudeste. As frequências de ocorrência de veranicos VB, nesses decêndios, variaram de 5,2 a 36,4%, com o número de eventos já registrados entre 1 e 16. No entanto, os valores mais comuns situam-se entre 3 e 8 ocorrências. As áreas de soja representavam 32,2% dessas regiões, sendo 5,1% soja irrigada e 27,1% em regime de sequeiro, o que equivale a 49,9% da soja plantada no Cerrado em 2022. Os menores valores de

frequências ocorrem, principalmente, nas frequências ao sul, sudoeste, sudeste e leste, variando de 5,2% a 15%. Isso indica, que a ocorrência de VB nessas regiões é mais diluída entre os decêndios.

Assim como as duas classes anteriores, para VC, os decêndios mais frequentes também variaram muito em todo o Cerrado. Em 70,7% do Cerrado, os decêndios com maior frequência de veranicos variaram do sétimo ao décimo primeiro decêndio (30 de setembro a 18 de novembro). Essa área está distribuída em todo o bioma, porém com maior concentração no sul, centro, oeste e norte. As áreas de soja compõem 35,1% dessas regiões, sendo 6,4% soja irrigada e 28,7% em regime de sequeiro, o que equivale a 45,9% da soja plantada no Cerrado em 2022. As frequências de ocorrência de veranicos VC, nesses decêndios, variaram de 5,2 a 100%, com o número de eventos já registrados entre 1 e 12. No entanto, os valores mais comuns estão entre 2 e 5 ocorrências. Os valores acima de 50% estão concentrados no centro-oeste do bioma, no entanto são pouco representativos. As frequências mais elevadas indicam poucos veranicos dessa classe nessas regiões, o que pode ser atribuído ao baixo valor total de ocorrências. Portanto, embora a frequência relativa seja alta, isso não reflete um número significativo de eventos. Esses valores, no entanto, diferem dos apresentados por Assad et al. (1993), que identificaram as maiores frequências de veranicos de 10 dias ocorrendo em janeiro em todo o Cerrado. Essa divergência pode ser atribuída à metodologia adotada e à resolução temporal dos dados utilizados. Mesmo assim, nas regiões leste, sudeste e nordeste, os decêndios com maiores frequências de veranicos também correspondem a janeiro (do décimo sexto ao décimo nono decêndio), áreas que, no período analisado por Assad et al. (1993), contavam com um maior número de estações pluviométricas.

Quanto a VD, os decêndios com maiores frequências também variaram muito em todo o Cerrado. Em cerca de 42,1% do bioma, os decêndios com maior frequência de veranicos variaram do sétimo ao nono decêndio (30 de setembro a 18 de novembro), além do quinto (10 a 19 de setembro), décimo primeiro (9 a 18 de novembro) e vigésimo quarto (18 a 27 de março). As frequências de ocorrência de veranicos VD, nesses decêndios, variaram de 6,7 a 100%, com o número de eventos já registrados entre 1 e 7. No entanto, os valores mais comuns variam entre 1 e 3 ocorrências. Essa área está distribuída em todo o bioma, porém com pouca concentração no sudeste, nordeste, sudoeste e oeste. As áreas de soja compõem 34% dessas regiões, sendo 7,1% soja irrigada e 27% em regime de sequeiro, o que

equivale a 44% da soja plantada no Cerrado em 2022. É percebido que houve ausência de veranicos dessa classe principalmente no oeste e norte. Nessas regiões também é possível perceber frequências de 100%, indicando poucos registros desses eventos.

Em VE, os decêndios com maiores frequências de ocorrências de veranico também variaram muito em todo o Cerrado. Em cerca de 43,6% do bioma, os decêndios com maior frequência de veranicos variaram do quinto ao nono (10 de setembro a 29 de outubro), além do décimo sétimo (8 a 17 de janeiro) e vigésimo quarto (18 a 27 de março). As frequências de ocorrência de VE, nesses decêndios, variaram de 6,3 a 100%, com o número de eventos já registrados entre 1 e 6. No entanto, os valores mais comuns situam-se entre 1 e 3 ocorrências. As áreas de soja compõem 35,6% dessas regiões, sendo 8,5% soja irrigada e 27,1% em regime de sequeiro, o que equivale a 47,7% da soja plantada no Cerrado em 2022. É percebido que houve aumento nas áreas sem ocorrência e nas áreas com frequência igual 100% principalmente no oeste, norte, centro e nordeste, indicando poucos registros desses eventos nessa região. Essas juntas, ocupam cerca de 21,1% do Cerrado.

Para VF, os decêndios mais frequentes também variaram muito em todo o Cerrado. Em aproximadamente 48,2% do Cerrado, os decêndios com maior frequência de veranicos são: o sexto e o sétimo (20 de setembro a 9 de outubro); o décimo sexto e o décimo sétimo (29 de dezembro a 17 de janeiro); e do vigésimo sexto ao vigésimo oitavo (7 de abril a 6 de maio). As frequências de ocorrência de veranicos VF, nesses decêndios, variaram de 7,1 a 100%, com o número de eventos já registrados entre 1 e 10. No entanto, os valores mais comuns variam entre 1 e 4 ocorrências. As áreas de soja compõem 50,2% dessas regiões, sendo 6,3% soja irrigada e 27,7% em regime de sequeiro, o que equivale a 50,2% da soja plantada no Cerrado em 2022. É percebido que, novamente, houve aumento nas áreas sem ocorrência e com frequência igual a 100% principalmente no oeste, norte, centro e nordeste. Essas juntas, ocupam cerca de 28,7% do Cerrado. Assim como observado em VC, também foram identificadas divergências em relação aos dados de Assad et al. (1993). No entanto, o padrão de maiores frequências de veranicos em janeiro nas regiões leste, nordeste e sudeste também foi constatado para essa classe.

2.2.3.5. Probabilidade de ocorrência de veranico em cada decêndio

Para fins de planejamento, é importante também avaliar os decêndios que há maior probabilidade de ocorrência de veranicos. Isto é, em qual decêndio, em uma dada região, tem maior probabilidade de ocorrência de veranico. Para fazer essa análise, o ano foi dividido em 37 decêndios, com o primeiro iniciando dia 1 de agosto e o trigésimo sétimo finalizando dia 31 de julho. Utilizou-se para análise, os meses de novembro, quando normalmente se planta soja na maior parte da região do Cerrado, e janeiro, quando a soja já se encontra em estágio de floração, quando a falta de água pode prejudicar mais fortemente a produção.

É observado que, em todos os decêndios, existe uma probabilidade maior de não ocorrência de veranico. Os valores de probabilidade de que ocorra pelo menos 1 veranico variaram de 0 a 34,3%, para VA, de 0 a 22,6%, para VB, e de 0 a 17,6% para VC. É interessante observar que as áreas com probabilidades de ocorrência de veranicos maiores do que 14% foram baixas, variando sua porcentagem em cada decêndio de 0 a 14,8% em VA, 0 a 1,1% em VB e com valores praticamente irrelevantes em VC.

No décimo decêndio (30 de outubro a 08 de novembro), cerca de 93,8% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 34,3%. Em VB, essa proporção foi de cerca de 89,5%, variando na faixa de 1,6 e 20,2%. Já em VC, aproximadamente 64,9% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 13,5%. As áreas com probabilidade superior a 14% abrangem cerca de 14,4% do Cerrado. Para VA, especialmente nas regiões sul e sudoeste, com registros pouco expressivos em VB e ausência de ocorrências em VC, conforme a Figura 2.2.7A, B e C.

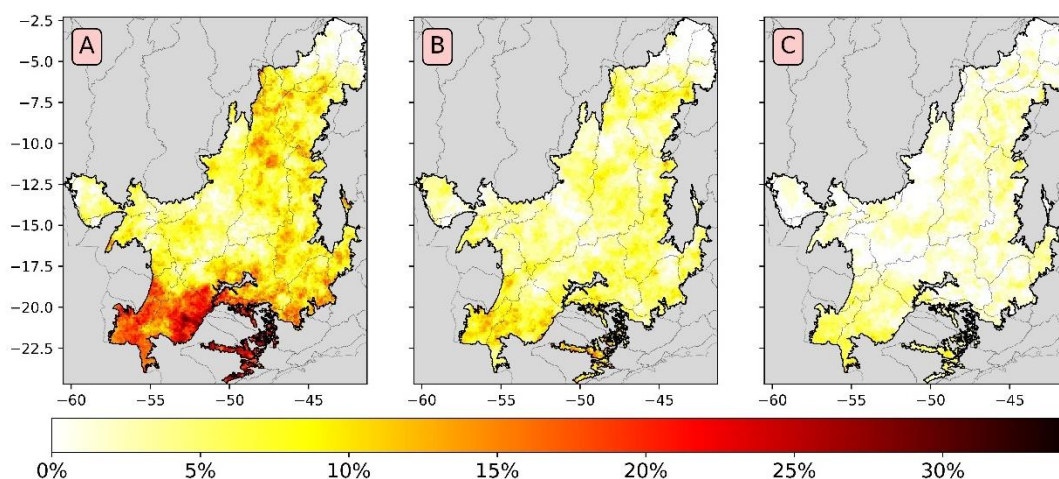


Figura 2.2.7. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo decêndio.

Quanto ao décimo primeiro decêndio (9 a 18 de novembro), cerca de 95,9% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 29,9%. Em VB, essa proporção foi de cerca de 90,6%, variando na faixa de 1,6 e 21,5%. Já em VC, aproximadamente 65,5% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 14,9%, conforme a Figura 2.2.8A, B e C. As áreas com probabilidade superior a 14% abrangem cerca de 13,4% do Cerrado, para VA, especialmente nas regiões sul, sudeste e nordeste, porém com maior dispersão dessas áreas no sul e sudoeste. Quanto VB, há aumento de concentração de valores próximos ou maiores que 14% no sudoeste, sul, e leste, ocupando cerca de 1,1%. Em VC, embora haja ocorrências desses valores, esses são pouco expressivos.

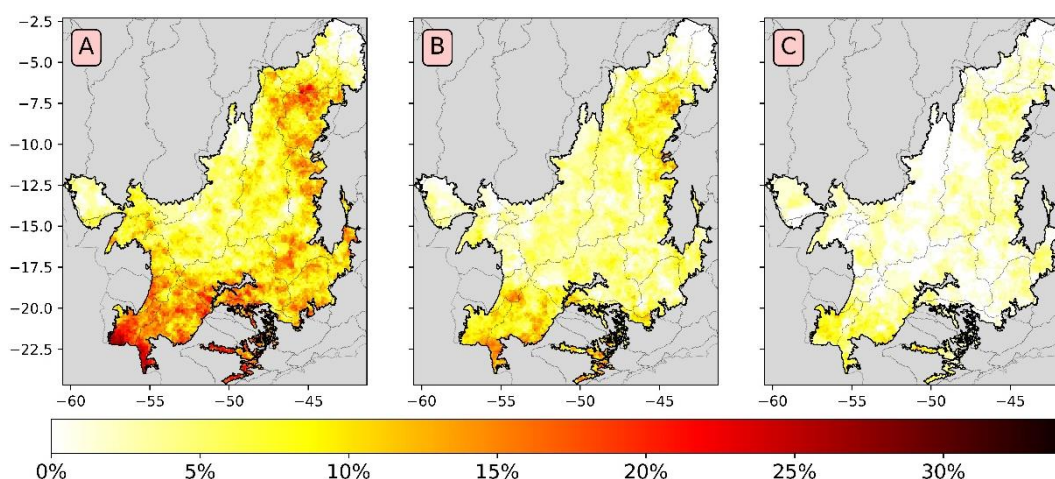


Figura 2.2.8. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo primeiro decêndio.

Quanto ao décimo segundo decêndio (19 a 28 de novembro), há uma redução tanto nas áreas com probabilidade não nulas, quanto na faixa desses valores para todas as classes. Cerca de 96,4% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 28,7%. Os valores nulos aumentam principalmente no norte, centro e oeste para VB e VC. Em VB, essa proporção foi de cerca de 73,9%, variando na faixa de 1,6 e 18,9%. Já em VC, aproximadamente 52,3% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 10,7%, conforme a Figura 2.2.9A, B e C. Apesar dessa redução, há

aumento na concentração das áreas com valores acima de 14% no sul, sudoeste e oeste para a classe VA, ocorrendo em 14,4% do Cerrado. Já para VB e VC, não há porcentagem de área significativa com probabilidades nessas condições.

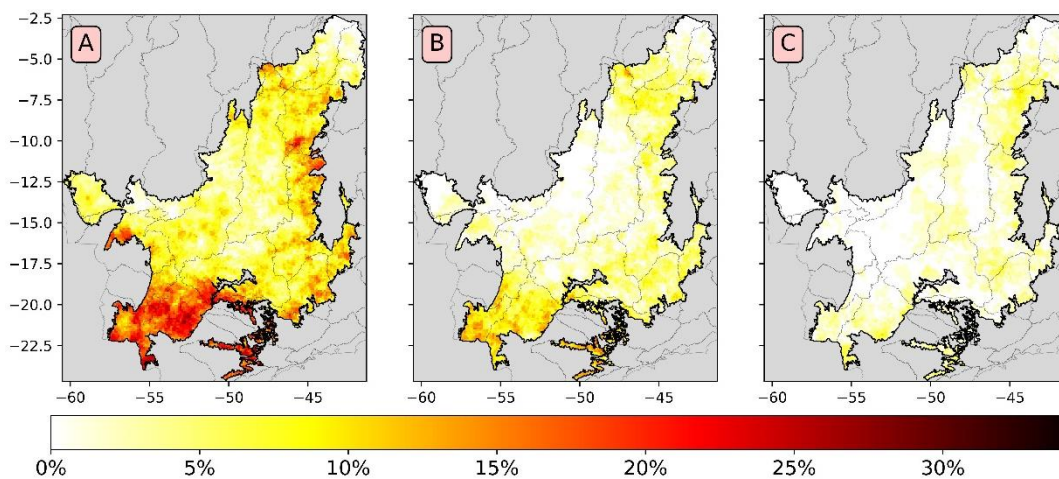


Figura 2.2.9. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo segundo decênio.

No décimo terceiro decênio (29 de novembro a 8 de dezembro), observa-se, um aumento nos valores de probabilidades no nordeste e leste, e uma diminuição nas demais regiões para VA e VB. Já para VC, apesar de haver aumento na faixa de probabilidade, há reduções em todo o bioma, exceto no leste. Cerca de 96,9% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 28,7%. Em VB, essa proporção foi de cerca de 76,5%, variando na faixa de 1,6 e 18,9%. Já em VC, aproximadamente 44,8% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 14,9%, conforme a Figura 2.2.10A, B e C. Quanto às áreas com probabilidade acima de 14%, ocorrem em cerca de 9,7% do Cerrado, para VA, enquanto em VB e VC, apresentam áreas pouco significativas.

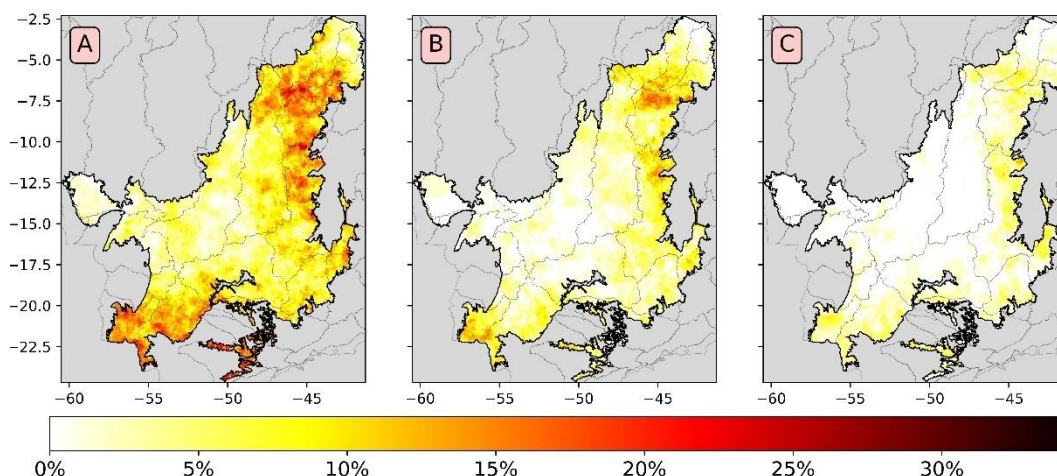


Figura 2.2.10. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo terceiro decêndio.

No décimo sexto decêndio (29 de dezembro a 7 de janeiro), observa-se uma diminuição nas áreas com probabilidade não nula e na faixa de probabilidade para as três classes, exceto para VC, que mantém sua faixa de probabilidade (Figura 2.2.11A, B e C). Cerca de 94,3% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 25,2%. As probabilidades iguais a 0 nessa classe se concentram no oeste, centro e norte. Os valores não nulos de VB e VC ocorrem principalmente no nordeste, leste, sudeste e sudoeste, no entanto há diversas áreas com valores nulos nessa região. Em VB, cerca de 63,2%, variando na faixa de 1,6 e 14,9%. Já em VC, aproximadamente 33,8% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 10,7%. As áreas com probabilidade acima de 14% ocorrem em 7,8% do Cerrado em VA, sendo inexpressível em VB e não ocorrendo em VC.

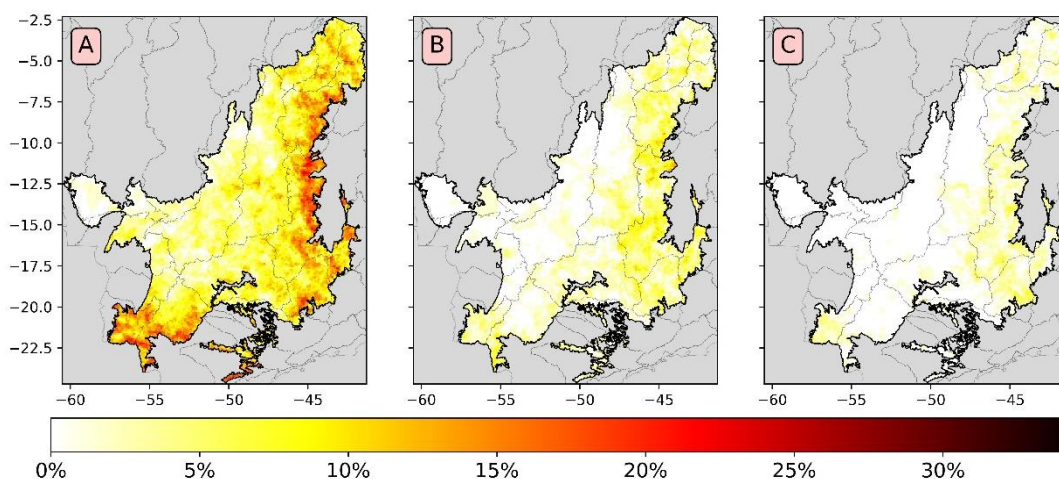


Figura 2.2.11. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo sexto decênio.

No décimo sétimo decênio (8 a 17 de janeiro), há um aumento nas áreas com probabilidade não nula para todas as classes, principalmente no leste e sudeste do bioma. Também a aumento das faixas de probabilidade para VB e VC, no entanto em VA, há redução, conforme a Figura 2.2.12A, B e C. Cerca de 95,5% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 24,0%. Em VB, cerca de 73,9%, variando na faixa de 1,6 a 20,2%. Já em VC, aproximadamente 44,4% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 12,1%. As áreas com probabilidade acima de 14% ocorrem em 8,2% do Cerrado em VA, sendo inexpressível em VB e não ocorrendo em VC. Apesar do aumento de área em VA, há uma distribuição diferente do decênio anterior, com mais ocorrências no centro e leste e menos no sul e sudoeste.

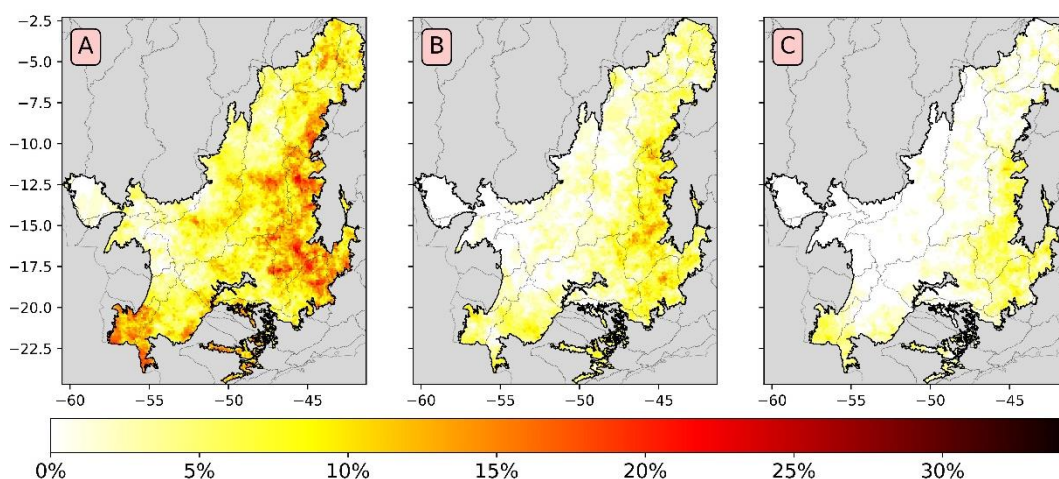


Figura 2.2.12. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo sétimo decênio.

No décimo oitavo decênio (18 a 27 de janeiro), há uma diminuição de áreas com probabilidade não nula para as três classes (Figura 2.2.13A, B e C). Quanto à faixa de probabilidade, há diminuição em VB e mantém constante em VA e VC. Além disso, há uma redução nos valores mais ao leste para as três classes. Cerca de 91,3% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 24,0%. Em VB, cerca de 65,6%, variando na faixa de 1,6 e 16,3%. Já em VC, aproximadamente 42,5% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 12,1%. As áreas com probabilidade

acima de 14% ocorrem em cerca de 4% do Cerrado para VA, enquanto são inexpressíveis em VB e não ocorrem em VC.

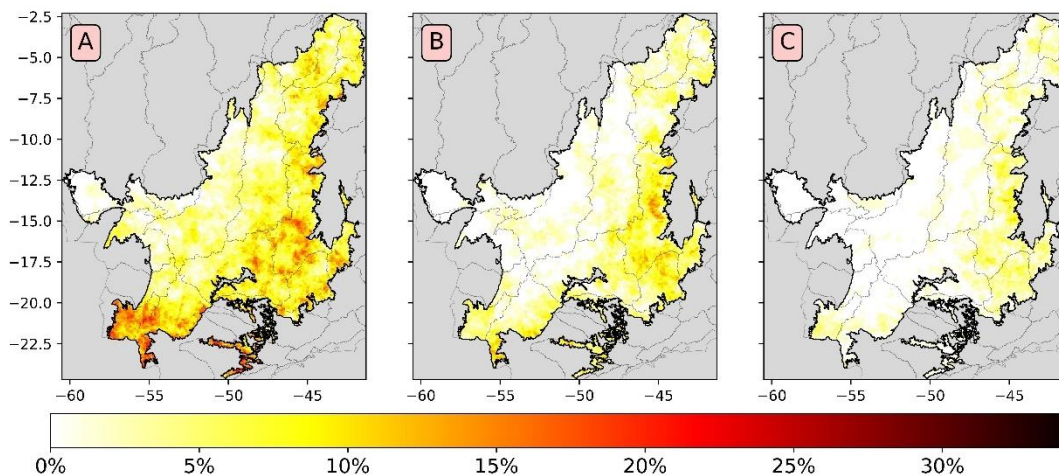


Figura 2.2.13. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo oitavo decêndio.

No décimo nono decêndio (28 de janeiro a 6 de fevereiro), há aumento na área com probabilidade não nula para todas as classes. Quanto à faixa de probabilidade, há aumento em VA, diminuição em VC e se mantém constante em VB. Observa-se um aumento na probabilidade no sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste, em VA e VB, porém em VC não é percebida muita diferença, conforme a Figura 2.2.14A, B e C. Cerca de 93,6% do Cerrado apresenta probabilidades de ocorrência de veranico maior que 0 para VA, com variação de 1,6 a 26,4%. Em VB, cerca de 70,5%, variando na faixa de 1,6 e 16,3%. Já em VC, aproximadamente 43,1% do Cerrado também apresentou probabilidade não nula, com variação de 1,6 a 10,7%. Há aumento nas áreas com probabilidades acima de 14% em VA (8,5%), enquanto em VB a ocorrência é mínima e em VC não há registros.

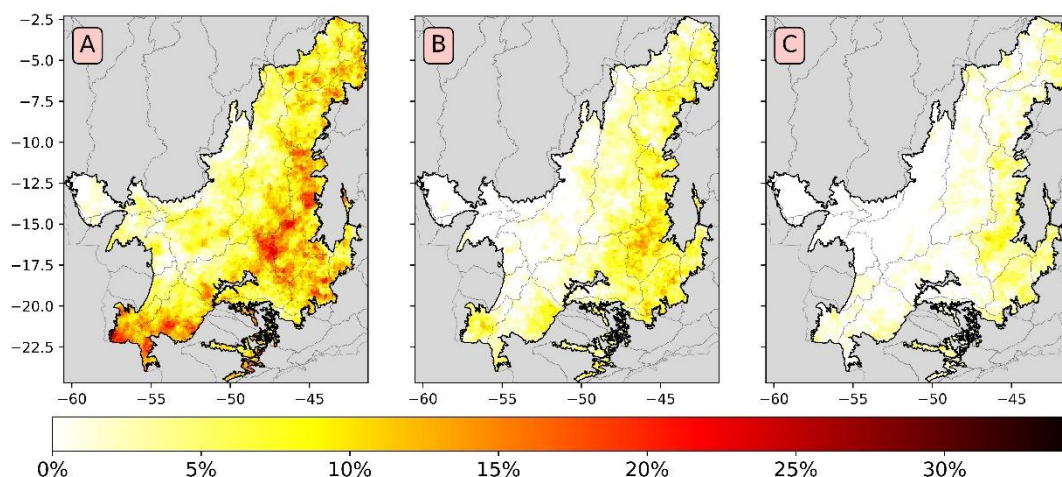


Figura 2.2.14. Probabilidade de ocorrência de pelo menos um veranico das classes VA (A), VB (B) e VC (C) no décimo nono decêndio.

2.2.3.6. Análise de tendência de veranicos

Para fins de planejamento, é importante também entender quais são as tendências nos veranicos na região. Para isto, utilizou-se o número de ocorrências desses eventos em cada ano, sem levar em conta a sua duração.

Na Figura 2.2.15 apresenta-se as áreas com tendências significativa, a um α de 5%, da ocorrência de veranicos no Cerrado.

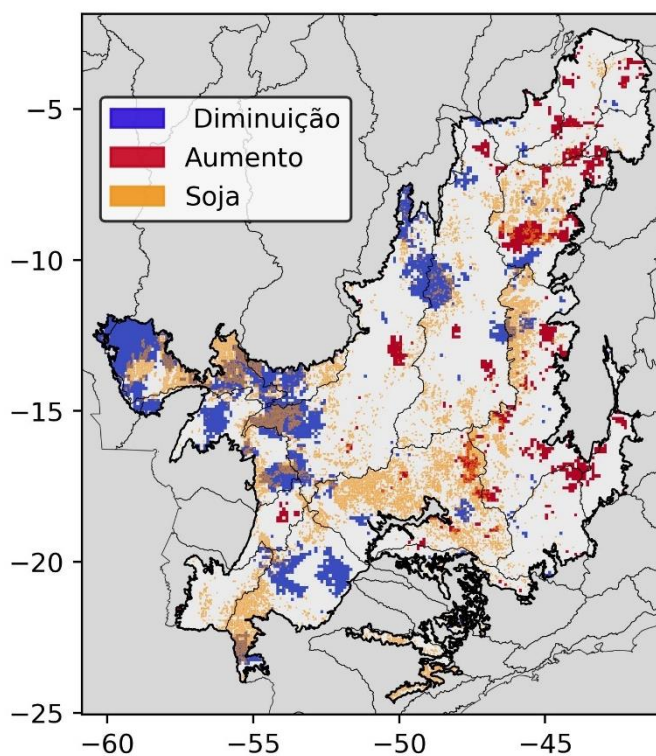


Figura 2.2.15. Tendências no número de ocorrências de veranicos no Cerrado, com destaque para as áreas de plantio de soja.

Observa-se que aproximadamente 12,9% do bioma apresenta tendência de redução no número total de ocorrência de veranicos, com regiões reduzindo até 5 ocorrências em 61 anos. Essas ocorrem em todo o bioma, abrangendo aproximadamente 16% da área plantada com soja durante o ano de 2022, sendo 1,4% irrigada e 14,6% em sequeiro. Há maior concentração no oeste, norte e sudoeste, principalmente nas bacias dos rios Madeira, Tapajós, Paraguai (03) e Xingu.

Foi constatada tendência de aumento para 5,2% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 4,2% da área plantada com soja no bioma, sendo 1,5% irrigada e 2,6% em sequeiro. Para algumas regiões esse aumento pode chegar até 4 ocorrências nos 61 anos de análise. Essas regiões ocorrem em todo o bioma, porém com maior concentração ao nordeste e leste, principalmente nas bacias dos rios Mearim, Itapecuru, Parnaíba (alto), São Francisco (médio) e Jequitinhonha.

Conforme a duração dos veranicos aumenta, mais prejudicial esse evento se torna para as plantas. Devido a isso, as seis classes de veranicos foram agrupadas em três grupos distintos: VA e VB, VC e VD, e VE e VF, e foi realizada a análise de tendência para cada um desses (Figura 2.2.16).

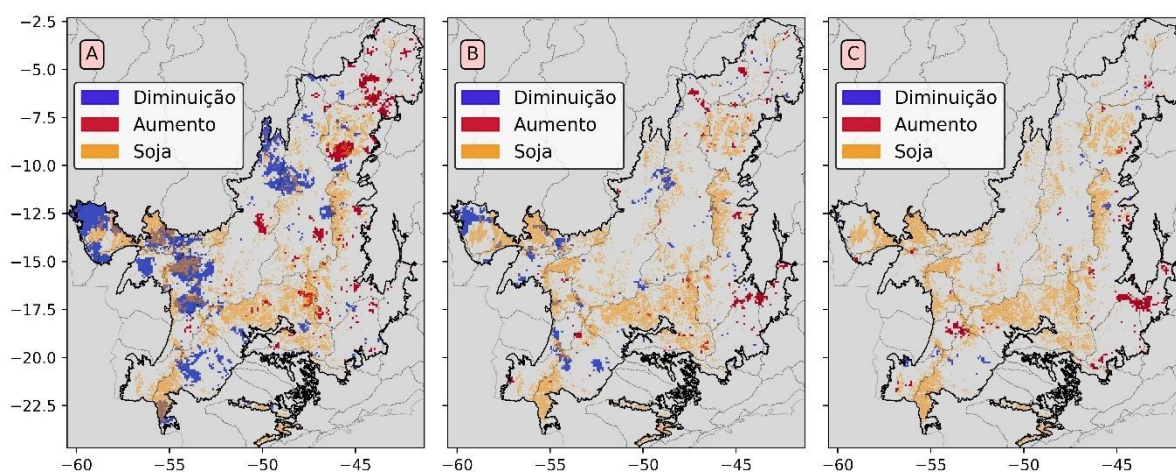


Figura 2.2.16. Tendências no número de ocorrências de veranicos no Cerrado, com destaque para as áreas de plantio de soja, para as classes VA e VB (A); VC e VD (B); e VE e VF(C).

Foi constatada tendência de diminuição dos veranicos VA e VB para 12,1% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 14,8% da área plantada com soja no bioma,

sendo 1% irrigada e 13,8% em regime de sequeiro. Para algumas regiões essa diminuição pode chegar até 5 ocorrências nos 61 anos de análise. Essas regiões ocorrem em todo o bioma, porém com maior concentração ao oeste e norte do Cerrado, principalmente nas bacias dos Madeira, Tapajós, Paraguai (03) e Xingu, conforme a Figura 2.2.16A. Quanto à tendência de aumento, foi percebida em 3,8% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 3,3% da área plantada com soja no bioma, sendo 1% irrigada e 2,3% em regime de sequeiro. Para algumas regiões esse aumento pode chegar até 3 ocorrências nos 61 anos de análise. Essas ocorrem em todo o bioma, porém com maior concentração ao nordeste e centro, principalmente nas bacias dos rios Parnaíba (alto) e Itapecuru. Essas duas classes são as que mais influenciam na tendência do número de ocorrências totais.

Para VC e VD, foi constatada tendência de diminuição dos veranicos para 3,5% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 3,9% da área plantada com soja no bioma, sendo 0,4% irrigada e 3,5% em regime de sequeiro. Essas regiões ocorrem em todo o bioma, porém com maior concentração ao oeste e sudoeste, principalmente nas bacias dos rios Madeira, Tapajós e Paraguai (02 %), conforme a Figura 2.2.16B. Quanto à tendência de aumento, foi percebida em 1,8% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 1,2% da área plantada com soja no bioma, sendo 0,5% irrigada e 0,7% em regime de sequeiro. Para algumas regiões esse aumento pode chegar até 2 ocorrências nos 61 anos de análise. Essas regiões ocorrem majoritariamente ao sudeste, principalmente na bacia do rio Jequitinhonha.

Quanto a VE e VF, foi constatada tendência de diminuição dos veranicos para apenas 0,6% do Cerrado. Ocorrendo principalmente ao leste e sudoeste conforme a Figura 2.2.16C. Quanto à tendência de aumento, foi percebida em 1,7% do Cerrado, abrangendo aproximadamente 0,9% da área plantada com soja no bioma, sendo essa área praticamente de cultivo em sequeiro. Essas regiões ocorrem majoritariamente ao sudeste e sudoeste, principalmente nas bacias dos rios Jequitinhonha e Doce.

Todavia, apesar da detecção de regiões com tendência de redução de veranicos no lado oeste do Cerrado, vale ressaltar que para algumas dessas, há tendência de diminuição no comprimento da estação chuvosa, conforme o artigo 2.1. Isso indica que pode estar havendo maior frequência de veranicos no início e fim desse período, influenciando na detecção dessas datas. Padrão semelhante foi percebido por Nogueira et al. (2023), que detectou maior ocorrência de veranicos no primeiro e último mês da estação chuvosa no estado do Ceará.

2.2.3.7. Regiões homogêneas em relação à ocorrência de veranicos

É inviável realizar um planejamento agrícola para o Cerrado na escala de pixels. Portanto, a região do Cerrado foi dividida em cinco grupos (G) homogêneos em termos de ocorrência de veranicos, conforme apresentado na Figura 2.2.17A. Esses foram definidos levando em consideração o número de ocorrências anuais de cada classe. Os veranicos da classe VA são os que mais influenciam na definição dos grupos, visto que são os que possuem as maiores frequências.

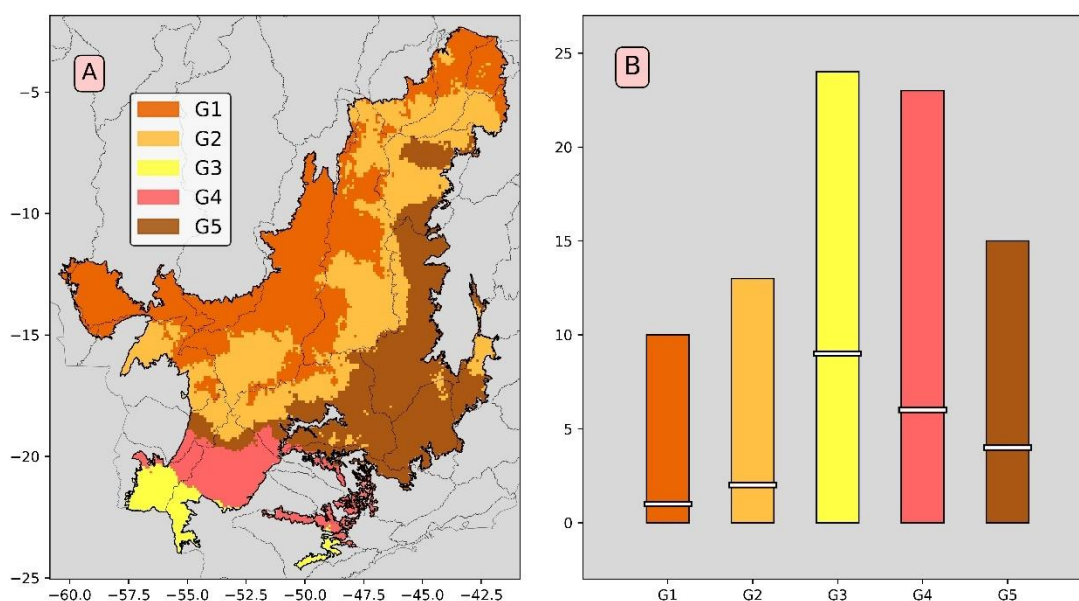


Figura 2.2.17. Regiões homogêneas em relação à ocorrência de veranicos (A) e variação do número de ocorrências de veranicos em um ano (B).

O grupo G1 abrange a maior porcentagem de área (32,2%), ocupando áreas no oeste, norte, extremo nordeste e centro. Essa região abrange cerca de 31,6% das áreas de soja plantadas no Cerrado em 2022, sendo 2,5% irrigada e 29,1% em regime de sequeiro. O número de ocorrências anuais nesse grupo varia de 0 a 10, no entanto, é mais provável (31,7%) que ocorra apenas 1 veranico por ano nessa região. Isso pode ser confirmado pela Figura 2.2.17B, na qual o valor de mediana também é 1. Ao analisarmos o número de ocorrências desses eventos por classe é percebido que há uma probabilidade de 36,8% de ocorrer 1 veranico VA, 68,9% de não ocorrer VB, 85,7% de não ocorrer VC, 94,4% de não ocorrer VD, 97,0% de não ocorrer VE e 97,7% de não ocorrer VF.

O G2 possui a segunda maior área, correspondendo a aproximadamente 30,4% do Cerrado. Esse ocupa principalmente o centro-oeste e nordeste, mas também há áreas ao leste, abrangendo cerca de 30,3% das áreas com soja nesse

período, sendo 4,8% irrigada e 27,2% em regime de sequeiro. O número de ocorrências anuais de veranicos varia de 0 a 13, todavia há maior probabilidade (25,5%) que ocorra 2 eventos por ano. Ao analisarmos o número de ocorrências desses eventos por classe é percebido que há uma probabilidade de 34,1% de ocorrer 1 veranico VA, 55,6% de não ocorrer VB, 78,2% de não ocorrer VC, 88,3% de não ocorrer VD, 93,9% de não ocorrer VE e 93,3% de não ocorrer VF.

G3 corresponde à menor região homogênea, com aproximadamente 3,8% de todo o Bioma, abrangendo 6,5% de toda a área plantada com soja em 2022, sendo 0,9% irrigada e 5,6% em regime de sequeiro. Está localizada ao sudoeste e sul do Cerrado, em parte das bacias dos rios Paraguai (01) e Paranapanema, além da região hidrográfica do rio Paraná. A quantidade de veranicos registrada em um ano varia de 0 a 24 ocorrências, no entanto, é mais provável (13%) que ocorra 8 eventos por ano, sendo esse valor próximo da mediana, que corresponde a 9 eventos por ano. Quanto ao número de ocorrências desses eventos por classe é percebido que há uma probabilidade de 19,3% de ocorrer 4 veranicos VA, 26,8% de ocorrer 2 veranicos VB, 36,7% de ocorrer 1 veranico VC, 60,0% de não ocorrer VD, 77,0% de não ocorrer VE e 66,4% de não ocorrer VF.

O grupo G4 corresponde a aproximadamente 8,0% de todo o Bioma, abrangendo 5,7% de toda a área plantada com soja em 2022, sendo 0,6% irrigada e 5,1% em regime de sequeiro. Está localizada ao sudoeste e sul do Cerrado, em parte das bacias dos rios Paraguai (01 e 02), Paranapanema, Tietê, Grande e Paranaíba, além da região hidrográfica do rio Paraná. A quantidade de veranicos registrada em um ano varia de 0 a 23 ocorrências, no entanto, é mais provável (16,0 %) que ocorra 6 eventos por ano, valor esse igual a mediana. Quanto ao número de ocorrências desses eventos por classe é percebido que há uma probabilidade de 22,3% de ocorrer 3 veranicos VA, 33,9% de ocorrer 1 veranico VB, 49,1% de não ocorrer VC, 68,0% de não ocorrer VD, 83,2% de não ocorrer VE e 74,0% de não ocorrer VF.

G5 abrange cerca de 25,7% do Cerrado, ocupando áreas no leste e sudeste, além de partes do nordeste e sudoeste. Essa região abrange cerca de 24,1% das áreas de soja plantadas no Cerrado em 2022. O número de ocorrências anuais nesse grupo varia de 0 a 15, no entanto, é mais provável (19,5%) que ocorra 3 veranicos por ano nessa região. Esse valor é próximo da mediana, que corresponde a 4 eventos no ano. Ao analisarmos o número de ocorrências desses eventos por classe é percebido que há uma probabilidade de 27,7% de ocorrer 1 veranico VA, 38,3% de não ocorrer

VB, 63,5% de não ocorrer VC, 77,5% de não ocorrer VD, 86,0% de não ocorrer VE e 80,0% de não ocorrer VF.

As maiores quantidade no grupo 4 e 3 se devem pela maior duração da estação chuvosa nessa região, como apresentando no artigo 2.1, implicando em um período maior para a ocorrência de veranicos.

Apesar de já haver registros, veranicos de mais que 10 dias (VD, VE e VF) não são muito comuns, com alta probabilidade de não ocorrer em nenhuma região do Cerrado. Além disso, a probabilidade de não ocorrer veranico do tipo VE é maior que a de VF. Isso ocorre pois VF abrange mais durações de veranicos que VE e como nessas regiões há mais ocorrências de veranicos acima de 14 dias, sua probabilidade aumenta.

2.2.4. Conclusão

Este estudo analisou a variabilidade temporal e espacial dos veranicos no bioma Cerrado, com destaque para as regiões produtoras de soja.

Há uma relação inversa entre a duração do veranico e a frequência de ocorrência, ou seja, os veranicos menores são mais frequentes que os maiores.

Os veranicos mais longos já registrados ocorreram no sudoeste e sul majoritariamente. Quanto a porcentagem de dias da estação chuvosa que estavam em veranico, as maiores proporções foram detectadas no leste, sul e sudoeste.

Os decêndios em que os veranicos foram mais frequentes variaram em todo o Cerrado. Quanto menor a duração do veranico, maior é a dispersão de ocorrência desses eventos entre os decêndios. A partir dos veranicos de 11 e 12 dias, não foram observadas ocorrências de veranico em partes do oeste e do centro. Além disso, os valores de frequências desses decêndios chegam a 100% em algumas partes dessa região, indicando que provavelmente houve poucas ocorrências.

A probabilidade de ocorrer ao menos um veranico em cada decêndio é muito variável. No entanto, o comportamento de quanto menor a duração, maior a frequência, é refletido nesses resultados. As probabilidades de veranicos de 5 e 6 dias são maiores que as de 7 e 8 dias, que por sua vez, são maiores que as de 9 e 10 dias.

Em cerca de 18,1% do Cerrado foi detectada mudança de tendência. Há predominância de aumento de veranicos mais ao leste e diminuição ao oeste. No entanto, nessa última região, há áreas com tendência de atraso no início, adiantamento no término e redução da duração da estação chuvosa, o que indica um

possível aumento de veranicos no início e no fim desse período. Os aumentos de VA e VB ocorrem principalmente ao nordeste, e de VC a VF ao leste do bioma.

O Cerrado foi classificado em 5 grupos em termos de ocorrência de veranicos. Os Grupos G3 e G4 apresentaram os maiores números de ocorrências já registrados em um ano.

2.2.5. Referências

AGROSATÉLITE. **Análise geoespacial da expansão da soja no bioma Cerrado: 2000/01 a 2021/22**. Florianópolis, SC: W5, 2022. 30 p. ISBN: 978-65-991465-5-8.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N. Recursos Hídricos Superficiais no Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. (org.). **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 91–113.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; BETTIOL, G. M. O Clima do Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2023b. p. 61–89.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Catálogo de Metadados da ANA**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>>. Acesso em: 14 fev. 2024.

ANANDHI, A.; HUTCHINSON, S.; HARRINGTON, J.; RAHMANI, V.; KIRKHAM, M. B.; RICE, C. W. Changes in spatial and temporal trends in wet, dry, warm and cold spell length or duration indices in Kansas, USA. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 36, n. 12, p. 4085–4101, 2016. ISSN: 10970088. DOI: 10.1002/joc.4619.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; DE CASTRO, L. H. R.; DA SILVA, F. A. M. **Veranicos na região dos cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 1993. (9) ISSN: 1678-3921.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/2033**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2023. 108 p.

CARVALHO, A. L. De; DE SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de**

Meteorologia, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 173–180, 2013. ISSN: 0102-7786. DOI: 10.1590/S0102-77862013000200006. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862013000200006&lng=pt&tlng=pt.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81–88, 2015.

DA SILVA, E. H. F. M. et al. Soybean irrigation requirements and canopy-atmosphere coupling in Southern Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 218, n. October 2018, p. 1–7, jun. 2019.

DANIEL, S.; MENGISTU, M. G.; OLIVIER, C.; CLULOW, A. D. Analysis of Dry-Spells in the Western Maize-Growing Areas of South Africa. **Water**, [S. l.], v. 15, n. 6, p. 1056, 2023. ISSN: 2073-4441. ISBN: 9781412949897. DOI: 10.3390/w15061056. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/6/1056>.

FARIAS, D. B. dos S.; RODRIGUES, L. N. Agricultura Irrigada no Cerrado. In: RODRIGUES, Lineu Neiva (org.). **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2023. p. 177–200.

FRANCISCO, E. A. B.; KAPPES, C. Cerrado brasileiro carece de mais investimentos em práticas sustentáveis. **visão agrícola**, v. 10, p. 55–57, 2012.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, v. 204, n. 1–4, p. 182–196, jan. 1998.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4. ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

KLINK, C. A. Policy intervention in the Cerrado savannas of Brazil: changes in the land use and effects on conservation. CONSORTE-MCCREA, A. G.; FERRAZ SANTOS, E. **Ecology and conservation of the maned wolf: multidisciplinary perspectives**. Boca Raton: CRC Press, 2014. p. 293-308.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. In: HANDBUCH der klimatologie. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. v. 1, part C., p. 1-44.

KULKARNI, A.; VON STORCH, H. Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann-Kendall test of trend. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 4, p. 82–85, 1995.

MACQUEEN, J. B. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *In: Proceedings of the fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. 1. ed., Berkeley: University of California Press, 1967. p. 281–297.

MAGALHÃES, A. J. da S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. Da; NUNES, F. T.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S. Dos; SOMBRA, S. S. Veranicos no Brasil: Observações e Modelagens (CMIP5). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 597–626, 2019. ISSN: 0102-7786. DOI: 10.1590/0102-7786344072.

MANN, H. B. Non-Parametric Test Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MAPBIOMAS. **Mapa de uso e cobertura da terra**. 2023. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/produtos/>>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MATHLOUTHI, M.; LEBDI, F. Comprehensive study of the wet and dry spells and their extremes in the Mediterranean climate basin Northern Tunisia. **SN Applied Sciences**, [S. l.], v. 3, n. 12, 2021. ISSN: 25233971. ISBN: 0123456789. DOI: 10.1007/s42452-021-04834-8.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; DA COSTA, J. M. N. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 364–371, 2005. ISSN: 1415-4366. DOI: 10.1590/S1415-43662005000300011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000300011&lng=pt&tlng=pt.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista De Geografia Da UEG**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 1–39, 2020.

NEETI, N.; EASTMAN, J. R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 5, p. 599–611, 2011.

NOGUEIRA, D. B.; DA SILVA, A. O.; GIROLDO, A. B.; DA SILVA, A. P. N.; COSTA, B. R. S. Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 209, n. November 2022, p.

104892, 2023. ISSN: 1095922X. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2022.104892. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104892>.

OLIVEIRA, B. C. C. De; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. De; PEREIRA, C. Rodrigues; SOBRAL, B. S.; GOIS, G. De; LYRA, G. B.; MACHADO, E. A.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SOUZA, A. De. Spatiotemporal variation of dry spells in the State of Rio de Janeiro: Geospatialization and multivariate analysis. **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 257, n. March 2020, 2021. ISSN: 01698095. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105612.

OLMO, M. E.; WEBER, T.; TEICHMANN, C.; BETTOLLI, M. L. Compound Events in South America Using the CORDEX-CORE Ensemble: Current Climate Conditions and Future Projections in a Global Warming Scenario. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, [S. l.], v. 127, n. 21, 2022. ISSN: 21698996. DOI: 10.1029/2022JD037708.

PASSIOURA, J. The drought environment: Physical, biological and agricultural perspectives. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 113–117, 2007.

PEREIRA, O.; FERREIRA, L.; PINTO, F.; BAUMGARTEN, L. Assessing Pasture Degradation in the Brazilian Cerrado Based on the Analysis of MODIS NDVI Time-Series. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 1761, 2018. ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs10111761.

RODRIGUES, L. N.; ALTHOFF, D.; SANTANA, N. C.; FARIAS, D. B. S. Importância da Agricultura Irrigada para a Sustentabilidade da Produção de Alimentos no Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. (org.). **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável**. 1. ed., Brasília: Embrapa, 2023. p. 19–33. ISBN: 978-65-89957-83-6.

ROLDÃO, A. F. Influência do fenômeno veranico na produtividade da soja na mesorregião do Triângulo Mineiro / Alto Paranaíba - MG. **Estudos Geográficos**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 118–138, 2015.

SANO, E. E.; MAGALHÃES, I. A. L.; RODRIGUES, L. N.; BOLFE, É. L. Spatio-Temporal Dynamics of Center Pivot Irrigation Systems in the Brazilian Tropical Savanna (1985–2020). **Water**, [S. l.], v. 16, n. 13, p. 1897, 2024. ISSN: 2073-4441. DOI: 10.3390/w16131897. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1897>.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize

Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019.

SANTANA, N. C.; RODRIGUES, L. N. O Bioma Cerrado. In: RODRIGUES, L. N. (org.). **Agricultura Irrigada no Cerrado**: Subsídios para o desenvolvimento Sustentável. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023. p. 35–59.

SELLERS, K. F. **The Conway–Maxwell–Poisson Distribution**. [s.l.] : Cambridge University Press, 2023. 250 p. ISBN: 9781108646437. DOI: 10.1017/9781108646437. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781108646437/type/book>.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, [S. l.], v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. ISSN: 0162-1459. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

SIEGEL, S. **Estatística Não-paramétrica Para as Ciências do Comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

SILVA, A. J.; MONTEIRO, M. S. L.; SILVA, M. V. Contrapontos da consolidação do agronegócio no Cerrado brasileiro. **Sociedade e Território**, v. 27, n. 3, p. 95- 114, 2015.

SILVA, F. de A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 440–446, 2002. DOI: 10.1590/s1415-43662002000300010.

TADROSS, M. et al. Growing-season rainfall and scenarios of future change in southeast Africa: Implications for cultivating maize. **Climate Research**, v. 40, n. 2–3, p. 147–161, 2009.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. **Indagationes Mathematicae**, v.12, p.85-91, 1950.

THOM, H. C. S. **Some of methods of climatological analysis**. World Meteorological Organization: Note 81, 1966

USMAN, M.T.; REASON, C.J.C. Dry spell frequencies and their variability over southern Africa. **Climate Research**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 199–211, 2004. ISSN: 0936-577X. DOI: 10.3354/cr026199. Disponível em: <http://www.int->

res.com/abstracts/cr/v26/n3/p199-211/.

VALDES, C. Brazil's Momentum as a Global Agricultural Supplier Faces Headwinds.

Amber Waves:The Economics of Food, Farming, Natural Resources, and Rural America, [S. l.], 2022. Disponível em: <<https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2022/september/brazil-s-momentum-as-a-global-agricultural-supplier-faces-headwinds/>>. Acesso: 9 mar. 2024.

VON STORCH, H.; NAVARRA, A. **Analysis of Climate Variability**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999.

XAVIER, A. C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022.

YUE, S. et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 9, p. 1807–1829, 2002.

YUE, S.; WANG, C. Y. Water Tower of the Yellow River in a Changing Climate: Toward an integrated assessment. **Water Resources Management**, v. 18, p. 201–218, 2004.

3. CONCLUSÕES GERAIS

O artigo 2.1 analisou a variabilidade temporal e espacial das datas de início e fim, além da duração da estação chuvosa no bioma Cerrado. O início ocorreu mais cedo no sudoeste e noroeste, e mais tarde ao nordeste, variando de 1 de agosto a 12 de março, com maior probabilidade entre 26 de agosto e 13 de janeiro. Já o final foi mais cedo ao leste e mais tarde ao sul, sudoeste e extremo nordeste, variando de 4 de outubro a 31 de julho, com maior probabilidade entre 2 de fevereiro e 1 de julho. A duração da estação chuvosa foi maior no oeste e menor no leste, variando de 80 a 306 dias, com maior probabilidade entre 90 e 300 dias. Cerca de 14% do Cerrado mostrou tendência de retardo no início, 4% antecipação no final, e 11% tendência de redução na duração.

Já o artigo 2.2 analisou a variabilidade temporal e espacial dos veranicos no bioma Cerrado, com foco nas regiões produtoras de soja. As maiores proporções de dias em veranico foram detectadas no leste, sul e sudoeste. A probabilidade de veranicos menores é maior, com os de 5 e 6 dias mais frequentes que 7 e 8 dias, e por sua vez, mais frequentes que 9 e 10 dias. Cerca de 18,1% do Cerrado mostrou tendência de aumento na ocorrência de veranicos ao leste e diminuição ao oeste. Nessa última região, observa-se uma tendência de atraso no início da estação chuvosa, adiantamento do término e redução em sua duração, sugerindo um possível

aumento de veranicos no início e no fim do período chuvoso. Os aumentos dos veranicos dos tipos VA e VB concentram-se principalmente no nordeste, enquanto os veranicos de maior duração (VC a VF) ocorrem mais ao leste do bioma.

A região foi classificada em cinco grupos homogêneos de ocorrência de veranicos, com os Grupos G3 e G4 registrando o maior número de ocorrências em um ano.

Em síntese, a análise da variabilidade temporal e espacial das estações chuvosas e veranicos no Cerrado revela padrões distintos que impactam diretamente a agricultura, especialmente nas regiões produtoras de soja. Observa-se um atraso no início e um adiantamento no término da estação chuvosa em algumas áreas, acompanhado de um aumento na frequência de veranicos, principalmente nas regiões leste e nordeste do bioma. Esses resultados ressaltam a necessidade de estratégias adaptativas e de manejo hídrico para mitigar os efeitos das alterações climáticas sobre o sistema produtivo do Cerrado.