

[www.cbagro2023.com.br](http://www.cbagro2023.com.br)

03 a 06 de Outubro de 2023 | Natal - RN



**CBAGRO 2023**

**XXII Congresso Brasileiro  
de Agrometeorologia**

**VI ECLIM | X RLA**

**ANAIS 2023**

**A Agrometeorologia e a Agropecuária: Adaptação às Mudanças Climáticas**

Promoção



Realização



Patrocínio



Apoio



# ISBN E DADOS DE PUBLICAÇÃO

**ANAIS DO XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**

03 a 06 de outubro de 2023 | Natal - RN

## **Edição Técnica**

Prof. Dr. Bergson Guedes Bezerra; Prof. Dr. David Mendes

*Todos os resumos neste livro foram reproduzidos de cópias fornecidas pelos autores e o conteúdo dos textos é de exclusiva responsabilidade dos mesmos. A organização do referente evento não se responsabiliza por consequências decorrentes do uso de quaisquer dados, afirmações e/ou opiniões inexatas ou que conduzam a erros publicados neste livro de trabalhos. É de inteira responsabilidade dos autores o registro dos trabalhos nos conselhos de ética, de pesquisa ou SisGen.*

### **Copyright © 2023 – Todos os direitos reservados**

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida, arquivada ou transmitida, em qualquer forma ou por qualquer meio, sem permissão escrita da comissão organizadora do evento e da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia.



## ***Quebra de produtividade Do arroz de terras altas em goiás: abordagem usando dados funcionais.***

**Silvando Carlos da Silva <sup>1</sup>; David Henriques da Matta <sup>2</sup>; Luís Fernando Stone <sup>1</sup>; Felipe Waks andrade <sup>2</sup>; Ludmilla Ferreira Justino <sup>2</sup>; Adriano Pereira de Castro <sup>1</sup>; Mábio Chrisley Lacerda <sup>1</sup>; Alexandre Bryan Heinemann <sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pesquisador. Rodovia GO-462, Km 12, Fazenda Capivara, Zona Rural Caixa Postal: 179 CEP: 75375-000 - Santo Antônio de Goiás - GO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária(EMBRAPA); <sup>2</sup>Docente, Discente, Bolsista. Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia - Prédio da Reitoria. CEP 74690-900 Goiânia - Goiás - Brasil.. Universidade Federal de Goiás

### **RESUMO**

Alguns produtores de Goiás, visando o maior aproveitamento de suas terras, estão interessados em produzir duas safras no mesmo ano agrícola, por exemplo, semeando soja em outubro e arroz em janeiro ou fevereiro. Assim, é importante determinar os níveis de risco climático que a cultura do arroz de terras altas está exposta, quando semeada nesses meses. Para tanto, objetivou-se elaborar um calendário de semeadura, para o arroz de terras altas considerando três níveis de quebra de produtividade (10, 20 e 30%) e suas respectivas probabilidades de ocorrência. Utilizando o modelo de simulação ORYZAv3, foram simulados dados de produtividade para 22 municípios de Goiás, considerando os dados meteorológicos diários históricos de 1980 a 2011. Foram calculados níveis de quebra de produtividade, considerando datas de semeadura em intervalos de 10 dias, a partir de 5 de janeiro até o fim de maio, por meio de uma análise de dados funcionais (ADF), e foram determinadas as datas limites para níveis de quebra de 10, 20 e 30%, com suas respectivas probabilidades de ocorrência. À medida que a semeadura do arroz de terras altas é atrasada em relação ao início de janeiro, a produtividade decresce, contudo com diferentes intensidades entre os municípios. Dependendo do município considerado, a semeadura em 30 de janeiro já acarreta risco de a quebra da produtividade ser maior que 30% e, a partir de 10 de fevereiro, mais da metade dos municípios apresentam esse risco. Isto é decorrente da redução da precipitação a partir de abril, da fase reprodutiva da cultura ocorrer no período de menor radiação fotossinteticamente ativa e, também, para a maioria dos municípios, da redução da temperatura em abril e maio. O período de menor probabilidade de perda de produtividade ( $\leq 10\%$ ) varia de 1 a 27 de janeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Risco climático; Modelo de simulação; Calendário de semeadura;;

### **INTRODUÇÃO**

O Estado de Goiás, situado na região Centro-Oeste do país, no Planalto Central brasileiro, ocupa uma área de 340087 km<sup>2</sup>. O clima é majoritariamente tropical de savana (Aw), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. A média anual da temperatura do ar é de 23,4 °C, e tende a subir na região noroeste, com valores entre 26 e 27 °C, e a diminuir nas regiões sudoeste, leste, sudeste e norte, com valores entre 19 e 22 °C. A temperatura mais alta ocorre em outubro, 25,3 °C, e as temperaturas mais baixas, por sua vez, são registradas nos meses de junho e julho, 20,8 °C (Cardoso et al., 2014).

A precipitação anual média é de 1500 mm, com volumes mais elevados, entre 1800 e 2200 mm, nas regiões norte, centro-nordeste e sudoeste, e menos elevados, 1000 a 1200 mm, na região nordeste e em algumas áreas da região central. A tipologia climática tropical se faz presente na maior parte do estado, apresentando invernos secos e verões chuvosos. Basicamente, há duas estações bem definidas: a chuvosa, que vai de outubro a abril, e a seca, que vai de maio a setembro, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso e o de julho o mais seco (Cardoso et al., 2014).

A agricultura é uma atividade econômica de elevado risco, por ser fortemente influenciada por fatores relacionados ao clima, que afeta tanto os processos fisiológicos da planta, como a incidência de insetos-pragas e doenças e as atividades no campo. Portanto, a análise dos riscos climáticos associados à atividade agrícola é fundamental para aumentar a eficiência produtiva, reduzir perdas e

garantir a sustentabilidade na produção de alimentos. Além disso, a compreensão da resposta da produtividade das culturas em função da variabilidade climática é essencial para o aperfeiçoamento dos modelos de simulação (Zhong et al., 2022).

O arroz de terras altas apresenta tolerância limitada ao estresse hídrico em comparação com outras culturas em razão de que os seus ancestrais eram semiaquáticos e ainda não estão totalmente adaptados aos sistemas aeróbicos. Assim, o estresse hídrico reduz a produtividade do arroz de terras altas, mesmo em regiões com baixo risco de estiagem, pois é comum a ocorrência de veranicos, quando as chuvas não conseguem suprir a demanda da cultura (Guimarães et al., 2018).

A temperatura do ar e a radiação solar também impactam na produtividade do arroz de terras altas. Temperaturas superiores a 35 °C e inferiores a 15-19 °C, dependendo da tolerância da cultivar, podem causar esterilidade das espiguetas. Por sua vez, a baixa incidência de radiação solar na fase reprodutiva reduz o número de grãos por panícula e, na maturação, reduz o enchimento e a massa ideal dos grãos (Steinmetz et al., 2013; Heinemann et al., 2021a).

A época de semeadura é uma das práticas de manejo que desempenha papel de destaque na redução do risco climático pelo fato de aumentar as chances de que as fases críticas da planta não coincidam com os elementos climáticos adversos (Heinemann et al., 2021a). Pela característica da distribuição pluvial no período chuvoso, é recomendado, de maneira geral, quando não for utilizada a irrigação suplementar, que a semeadura do arroz de terras altas em Goiás seja efetuada no período de outubro a dezembro, conforme o zoneamento agroclimático feito para o estado (Silva et al., 1995). Porém, alguns produtores, visando o maior aproveitamento de suas terras, estão interessados em produzir duas safras no mesmo ano agrícola, por exemplo, semeando soja em outubro e arroz em janeiro ou fevereiro. Para isto, é necessário identificar as localidades que apresentem condições climáticas favoráveis que permitam a semeadura do arroz de terras altas após o período mencionado. Assim, é importante determinar os níveis de risco climático que a cultura do arroz de terras altas está exposta, quando semeada nos meses de janeiro e fevereiro, no estado de Goiás.

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo foi elaborar um calendário de semeadura, para o arroz de terras altas considerando três níveis de quebra de produtividade (10, 20 e 30%) e suas respectivas probabilidades de ocorrência.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo engloba 22 municípios do Estado de Goiás, conforme ilustrado na Figura 1. Dados simulados de produtividade do arroz de terras altas foram gerados pelo modelo de simulação ORYZAv3 (<https://sites.google.com/a/irri.org/oryza2000/about-oryza-version-3>) para os 22 municípios. ORYZAv3 é um modelo ecofisiológico desenvolvido para aplicação em pesquisa agrícola e uma descrição geral de sua estrutura pode ser encontrada em Li et al. (2017). O modelo de cultivo simula o crescimento e a produtividade do arroz de terras altas, conforme afetado pelo estresse hídrico e deficiência de nitrogênio associada. No Brasil, tem sido usado continuamente para identificar melhores opções de manejo da cultura do arroz (Stone; Heinemann, 2012; Heinemann et al., 2022), avaliar os efeitos das mudanças climáticas (Ramirez-Villegas et al., 2018), o impacto do El Niño Oscilação Sul na safra (Heinemann et al., 2021b), o impacto da seca (Heinemann et al., 2019) e o desempenho de genótipos em ecossistemas contrastantes (Santos et al., 2017), auxiliar na disseminação de tecnologia (Heinemann et al., 2012; Yuan et al., 2021; Menezes et al., 2022) e no melhoramento de arroz para ambientes-alvo (Heinemann et al., 2015; Ramirez-Villegas; Heinemann, 2015), otimizar datas de plantio no Estado do Tocantins (Heinemann et al., 2021a) e, para o arroz tropical irrigado, no Zoneamento Agrícola de Risco Climático Brasileiro (Brasil, 2020).

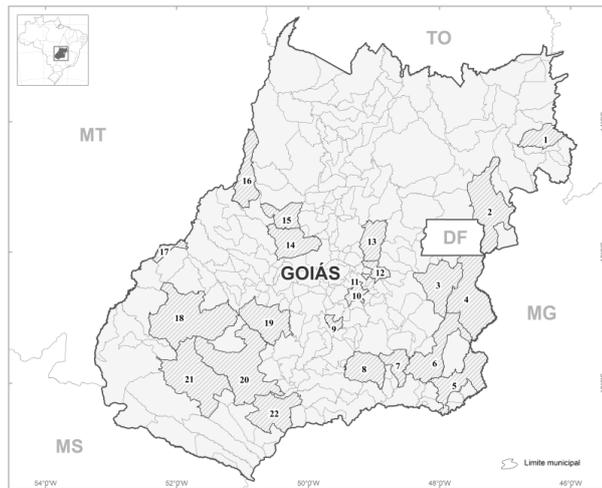
Os dados meteorológicos diários históricos (precipitação, temperaturas máximas e mínimas e radiação solar global), de 1980 a 2011, utilizado no modelo para os 22 municípios (Figura 1) foram obtidos no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia: <http://www.inmet.gov.br>). Como cultivar de referência utilizou-se a BRS Primavera, de ciclo precoce (em torno de 100 dias). Dados de parametrização e validação do modelo ORYZAv3 para essa cultivar estão descritos em Heinemann et al. (2015).

As datas de semeadura foram definidas em intervalos de 10 dias, a partir de 5 de janeiro até o fim de maio. Todas as simulações foram definidas para condições de sequeiro, sem restrições bióticas e sem limitações de nitrogênio.

Os níveis de quebra de produtividade foram calculados por meio de uma análise de dados funcionais (ADF), utilizando como dados de entrada a produtividade simulada em função das datas de semeadura, distribuída nos municípios de Goiás (Figura 1). A ADF é uma ferramenta poderosa para examinar dados cuja estrutura intrínseca é de caráter funcional. Nesta análise, foram estimados grupos de funções considerando o conjunto de dados de produtividade simulada por município investigado, o que permitiu avaliar a distribuição estatística dessas funções. A curva média ajustada para a produtividade simulada por município e suas respectivas bandas de confiança foram estimadas considerando um processo de suavização baseado na combinação linear de bases funcionais (Wand, 2023).

Os níveis de quebra de produtividade foram obtidos considerando-se como valor de referência de produtividade (VRP, Quadro 1) o maior valor de produtividade simulada obtido na curva média ajustada para cada município. Dessa maneira, preservou-se as diferenças no potencial de produção para cada um dos 22 municípios. Para calcular as datas de semeadura na qual ocorreram as quebras de produtividade menores ou igual a 10, 20 e 30%, subtraiu-se do VRP os níveis de quebra (10%, 20% e 30%) e, por meio da curva média ajustada pela ADF, obteve-se as datas limites para os respectivos níveis de quebra de produtividade. As frequências observadas da quebra de produtividade nos respectivos dias (último dia possível de se obter quebras na produtividade de 10%, 20% e 30%) foram obtidas utilizando-se a distribuição (acima ou abaixo da curva ajustada) dos dados de produtividade simulados nesses respectivos dias. Como os dados simulados de produtividade foram gerados a cada 10 dias, para as datas que estão entre esses pontos, utilizou-se a distribuição dos dados simulados de produtividade mais próximo ao dia simulado.

Nesse estudo, as análises estatísticas foram realizadas no programa R, versão 4.1.2 (R Core Team, 2023).



**Figura 1:** Distribuição geográfica dos municípios considerados neste estudo. A identificação (ID) dos municípios está no Quadro 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

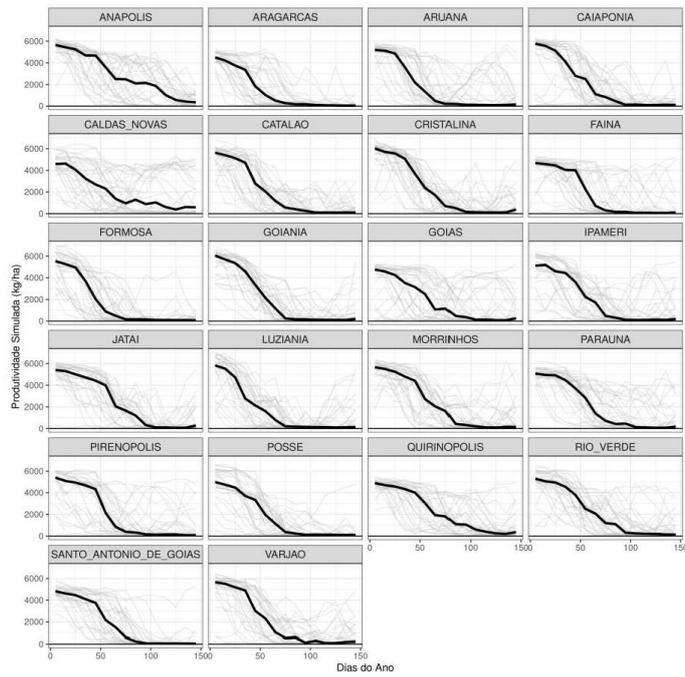
A curva mediana baseada na produtividade simulada pelo modelo ORYZAv3 está ilustrada pela Figura 2. Já a curva ajustada pela análise ADF e suas respectivas bandas de confiança estão ilustradas pela Figura 3. À medida que a semeadura do arroz de terras altas é atrasada em relação ao início de janeiro, a produtividade decresce, contudo com diferentes intensidades entre os municípios (Figuras 2 e 3). Dependendo do município considerado, a semeadura em 30 de janeiro já acarreta risco de a quebra da produtividade ser maior que 30% e, a partir de 10 de fevereiro, mais da metade das localidades apresentam esse risco (Figura 4). O período de menor probabilidade de quebra de produtividade ( $\leq 10\%$ ) variou de 1 a 27 de janeiro. Esse resultado é corroborado por Silva et al. (2003), que utilizando simulação do balanço hídrico, associada a técnicas de geoprocessamento, constataram que, na região Centro-Oeste, o risco de perda de produtividade do arroz de terras altas se acentua quanto mais tarde for realizada a semeadura na estação chuvosa, independente do solo, uma vez que a quantidade de chuvas tende a diminuir a partir do mês de abril, como observado na Figura 5. Esses autores concluíram que, na região Centro-Oeste, para semeaduras realizadas após 20 de janeiro, o risco climático é mais acentuado, exceto para o Estado de Mato Grosso, o qual apresenta áreas com condição de baixo risco climático para semeaduras realizadas até 10 de fevereiro.

**Quadro 1:** Identificação dos municípios (ID), valor de referência da produtividade (VRP), dia juliano no qual ocorre a quebra de produtividade 10%, 20% e 30% e suas respectivas frequências estimadas (%).

ID	Municípios	Produtividade	Quebra 10%	Quebra 20%	Quebra 30%	Frequência estimada (%)*		
		Referência (VRP)				10%	20%	30%
		kg ha <sup>-1</sup>	Dias Julianos					
1	Posse	4810	21	30	36	70	70	59
2	Formosa	5303	15	23	30	72	72	69
3	Luziânia	5068	18	24	29	70	70	63
4	Cristalina	5577	26	34	40	73	73	70
5	Catalão	5215	20	30	37	69	67	61
6	Ipameri	4647	24	33	40	77	67	63
7	Caldas Novas	4571	16	26	36	67	63	56
8	Morrinhos	5386	25	35	42	66	66	67
9	Varjão	5089	20	30	38	75	69	58
10	Goiânia	5518	23	32	38	69	69	67
11	Santo Antônio de Goiás	4773	20	31	41	72	73	69
12	Anápolis	5616	18	29	40	77	72	64
13	Pirenópolis	4780	18	34	45	69	69	69
14	Goiás	3897	20	32	44	69	63	58
15	Faina	4343	27	37	44	75	64	64

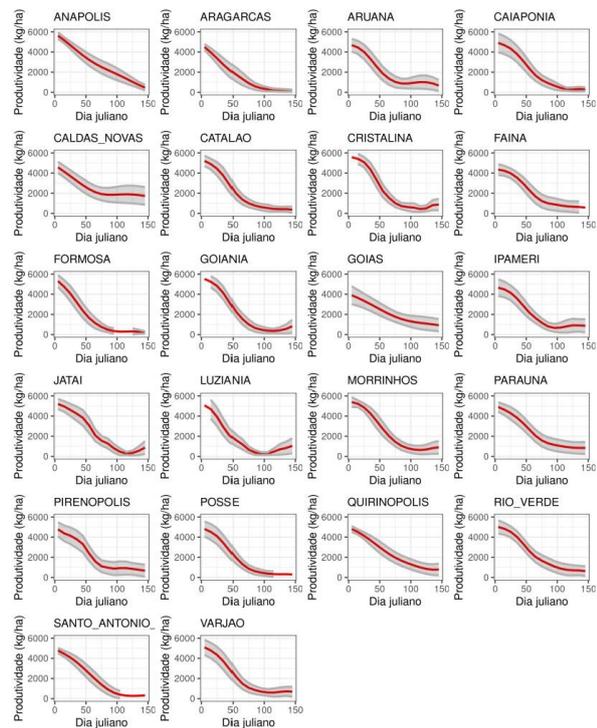
16	Aruanã	4677	21	29	36	78	70	56
17	Aragarças	4492	14	22	29	73	73	61
18	Caiapônia	4898	24	33	41	77	69	55
19	Paraúna	4897	22	34	43	80	73	70
20	Rio Verde	5015	26	36	43	72	63	63
21	Jataí	5194	23	38	48	67	66	63
22	Quirinópolis	4809	20	32	42	81	75	67

\* Frequência para os níveis de quebra de produtividade de 10%, 20% e 30% nos respectivos dias julianos.



**Figura 2:** Curva mediana referente à produtividade simulada do arroz de terras altas (linha cheia em negrito) para os dias julianos de 5 a 150 (janeiro a maio) para os 22 municípios. As linhas cinzas representam os resultados da produtividade simulada para cada ano, de 1980 a 2011.

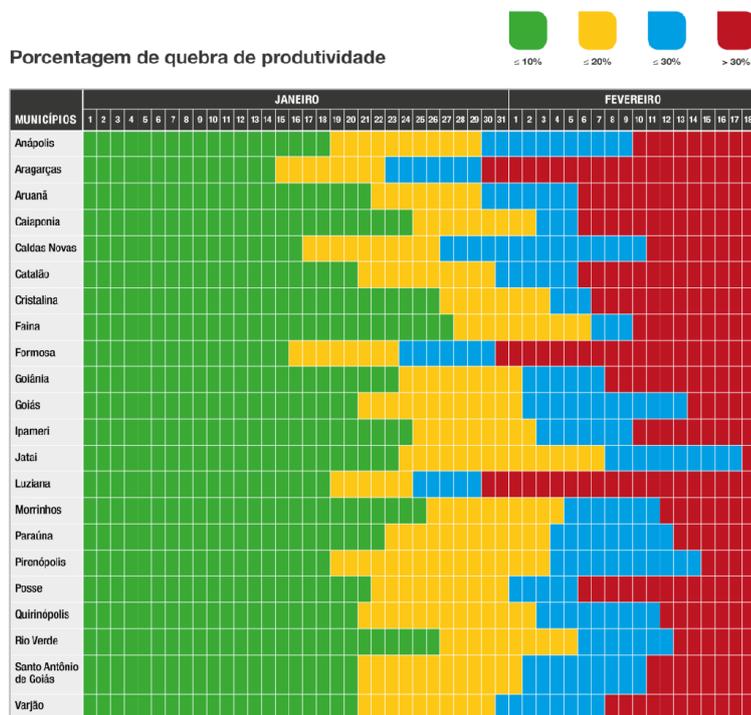
Em Goiás, a precipitação (Figura 5 e 6C) reduz a partir do final de janeiro, com fevereiro geralmente tendo menor precipitação acumulada que janeiro e março. A partir de abril, todos os municípios apresentaram uma drástica redução nos valores de precipitação. Cultivares precoces de arroz de terras altas necessitam em torno de 400 mm de precipitação distribuída durante o ciclo da cultura (Heinemann et al., 2009). Semeaduras a partir do meio de fevereiro (a partir do dia juliano 45) já apresentam uma mediana acumulada menor que esse valor (Figura 6C). Semeaduras tardias nessa época (a partir do meio de fevereiro, Figuras 2, 3 e 4 e 6C) estão sujeitas a ter um estresse hídrico terminal, já que as chuvas escasseiam do final de março a meados de abril (Heinemann et al., 2021b).



**Figura 3:** Curva média ajustada da produtividade simulada (linha vermelha cheia) e seu respectivo intervalo de confiança de 95% (faixa cinza) para os 22 municípios, de acordo com dia juliano da semeadura.

Além disso, estão sujeitas a um aumento do ciclo devido à redução na temperatura, que ocorre principalmente a partir de abril para a maioria dos municípios, conforme ilustrado nas Figura 6A e 7.

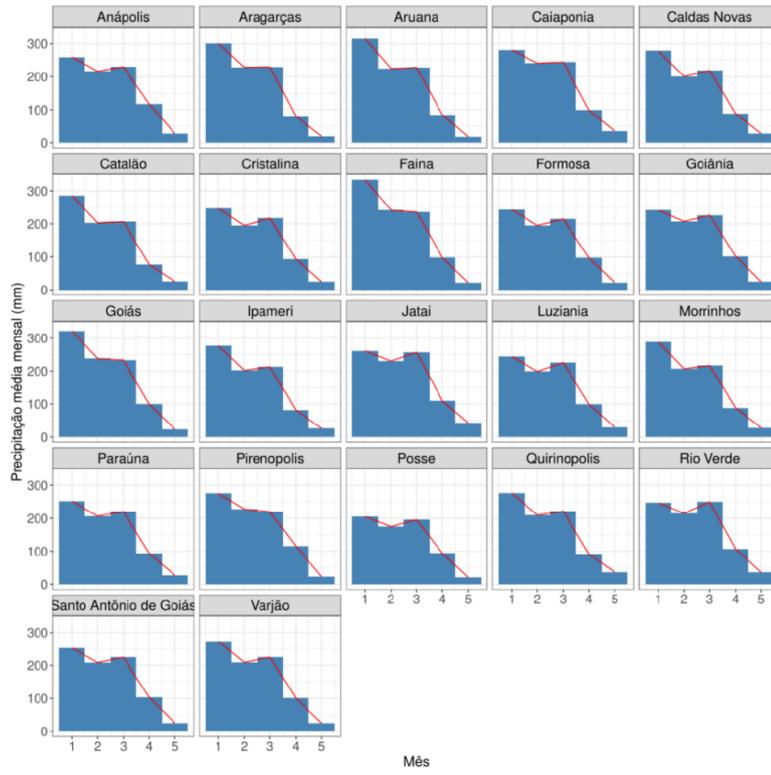
À medida que a semeadura é retardada de janeiro até metade de abril (dia juliano 105) (Figura 6A), o ciclo da cultura aumenta continuamente devido a decréscimos nas temperaturas máximas e mínimas (Figura 7). A ocorrência de baixas temperaturas do ar durante as fases críticas da planta, principalmente o florescimento, pode causar decréscimos acentuados na produtividade das lavouras devido à esterilidade, conforme ilustrado na Figura 6B. Semeaduras após fevereiro apresentam 50% de chance de perda de produtividade devido a esterilidade ocasionada pelo frio. As fases de pré-floração ou, mais especificamente a microsporogênese, e a floração, são consideradas as mais sensíveis às baixas temperaturas (Steinmetz et al., 2003). Além disso, o aumento do ciclo da cultura, expõe a lavoura aos fatores bióticos e abióticos.



**Figura 4:** Calendário de semeadura para o arroz de terras altas, de acordo com a quebra de produtividade, em função dos municípios estudados. A cor verde representa quebra de produtividade < ou igual a 10%, a cor amarela < ou igual a 20%, a cor azul < ou igual a 30% e a vermelha maior que 30%.

A radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) decresce à medida que a semeadura é retardada de janeiro até metade de março (dia juliano 75) (Figura 6D). Assim, para semeaduras a partir de fevereiro, a diferenciação da panícula vai ocorrer no período de menor RFA. Steinmetz et al. (2013) observaram que, no estágio da diferenciação da panícula ao início do florescimento, a produtividade de grãos de arroz aumenta com o incremento da radiação solar global. Da mesma forma, Santos et al. (2017) constataram aumento na produtividade do arroz com o incremento da radiação fotossinteticamente ativa no período de 10 dias antes a 25 dias após o florescimento. Heinemann et al. (2009) relataram que após o florescimento, a radiação solar está positivamente correlacionada com o número de espiguetas férteis.

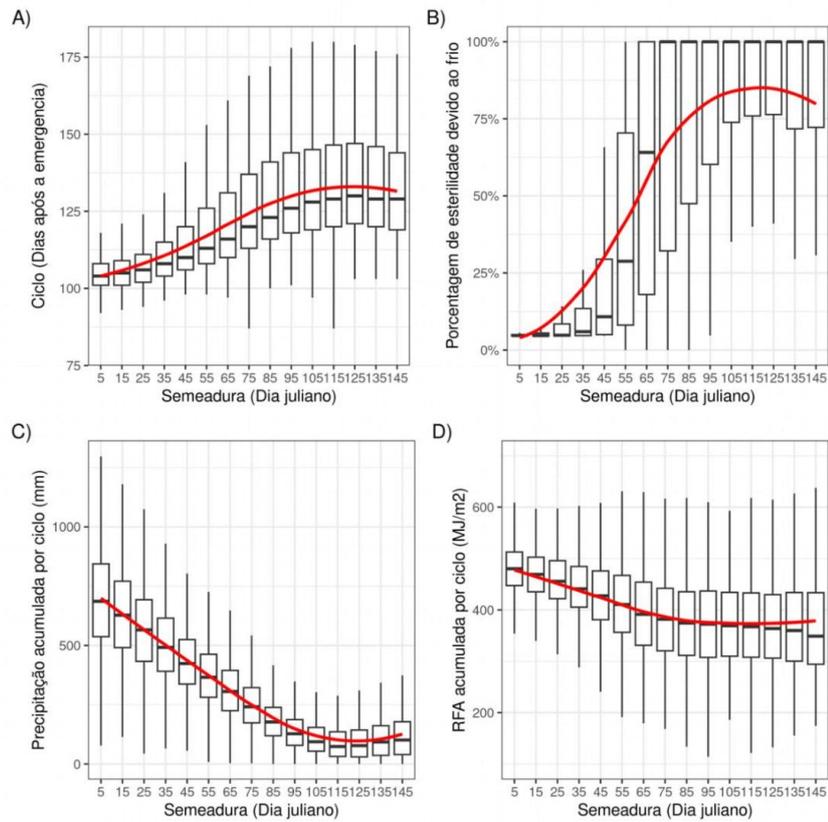
As frequências estimadas para os dias julianos de semeadura para a obtenção de níveis de quebras de produtividade iguais a 10, 20 e 30% é mostrado no Quadro 1. Observou-se que os valores das frequências de ocorrência diminuem conforme aumenta o nível de quebra de produtividade.



**Figura 5:** Distribuição da precipitação para os meses de janeiro a maio (1 a 5) para os 22 municípios considerados neste estudo. A linha vermelha representa a densidade estimada via "kernel" da precipitação para os meses de janeiro a maio.

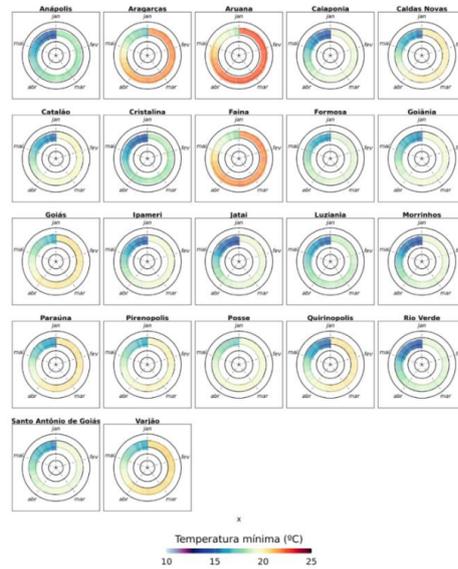
## CONCLUSÃO

À medida que a semeadura do arroz de terras altas é atrasada em relação ao início de janeiro, a produtividade decresce, contudo, com diferentes intensidades entre os municípios. Dependendo do município considerado, a semeadura em 30 de janeiro já acarreta risco de a quebra da produtividade ser maior que 30% e, a partir de 10 de fevereiro, mais da metade dos municípios apresentam esse risco. Isto é decorrente da redução da precipitação a partir de abril, da fase reprodutiva da cultura ocorrer no período de menor radiação fotossinteticamente ativa e, também, para a maioria dos municípios, da redução da temperatura em abril e maio. O período de menor probabilidade de perda de produtividade ( $\leq 10\%$ ) varia de 1 a 27 de janeiro.



**Figura 6:** A) Comprimento do ciclo do arroz de terras altas (dias), B) impacto da esterilidade devido ao frio (%), C) precipitação acumulada por ciclo (mm) e D) radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

acumulada de acordo com a data de semeadura em dias julianos analisando conjuntamente os 22 municípios considerados neste estudo (Figura 1 e Quadro 1). A linha vermelha indica a tendência.



**Figura 7:** Variação da temperatura mínima para os meses de janeiro a maio, para os 22 municípios utilizados neste estudo. Em negrito o nome dos municípios.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 375, de 8 de dezembro de 2020. Aprovar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de arroz irrigado tropical no Estado de Goiás. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 9 dez. 2020. Seção 1, p. 124-126. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-375-de-8-de-dezembro-de-2020-293195666>>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- CARDOSO, M. D.; MARCUZZO, F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, Boa Vista, RR, v. 8, n. 16, p. 40-55, jan./mar. 2014. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/1384/1480>>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Morphological and physiological traits of upland rice cultivars affected by water deficit. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 6, p. 3058-3068, set./out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n6001010>. Disponível em: <[https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/1010/pdf\\_517](https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/1010/pdf_517)>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- Heinemann, A. B.; Barrios-Perez, C.; Ramirez-Villegas, J.; Arango-Londoño, D.; Bonilla-Findji, O.; Medeiros, J. C.; Jarvis, A. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 12, p. 3625-3638, June 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv126>. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jxb/article/66/12/3625/525680>>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- Heinemann, A. B.; Costa-Neto, G.; Fritsche-Neto, R.; Matta, D. H. da; Fernandes, I. K. Enviromic prediction is useful to define the limits of climate adaptation: A case study of common bean in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 286, 108628, Oct. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108628>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842902200199X>>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- Heinemann, A. B.; Ramirez-Villegas, J.; Rebolledo, M. C.; Costa Neto, G. M. F.; Castro, A. P. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 231, p. 57-67, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.009>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429018306324>>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. Arroz. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 63-79. Disponível em: <[https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/agrometeorologia\\_dos\\_cultivos.pdf](https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da; SANTOS, A. B. dos. Risco climático e período de semeadura para o arroz irrigado no Tocantins. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, TO, v. 7, n. e021001, 2021a. Edição especial. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i2.5262>. Disponível em: <<https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/5262/2545>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; SILVA, A. P. G. A.; MATTA, D. H. da; DIAZ, M. E. P. The impact of El Niño Southern Oscillation on cropping season rainfall variability across Central Brazil. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 41, n. S1, p. E283-E304, Jan. 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6684>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.6684>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

HEINEMANN, A. B.; VAN OORT, P. A. J.; FERNANDES, D. S.; MAIA, A. H. N. Sensitivity of APSIM/ORYZA model due to estimation errors in solar radiation. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 572-582, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000400016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/QPQLtvWMmy7WyfFxZmMvF9y/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

LI, T.; ANGELES, O.; MARCAIDA, M.; MANALO, E.; MANALILI, M. P.; RADANIELSON, A.; MOHANTY, S. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): an improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 237-238, p. 246-256, May 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.025>.

MENEZES, C. T.; CASAROLI, D.; HEINEMANN, A. B.; MOSCHETTI, V. C.; BATTISTI, R. The impact of gridded weather database on soil water availability in rice crop modeling. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 147, p. 1401-1414, Jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03906-4>.

R Core Team: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

Ramirez-Villegas, J.; Heinemann, A. B.; CASTRO, A. P.; BRESEGHELLO, F.; NAVARRO-RACINES, C.; LI, T.; REBOLLEDO, M. C.; challinor, a. j. Breeding implications of drought stress under future climate for upland rice in Brazil. **Global Change Biology**, Oxford, v. 24, n. 5, p. 2035-2050, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14071>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14071>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

SANTOS, M. P. dos; ZANON, A. J.; CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; CASTRO, J. R. de; HEINEMANN, A. B. Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 3, p. 253-264, jul./set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4745955>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Nk9GsntD5pH7TmD4d475k8x/?lang=en>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

SILVA, S. C. da; ASSAD, E. D.; LOBATO, E. J. V.; SANO, E. E.; STEINMETZ, S.; BEZERRA, H. da S.; CUNHA, M. A. C. da; SILVA, F. A. M. da. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 80 p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 43). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/202990>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

SILVA, S. C. da; STONE, L. F.; SANTANA, N. M. P. de. **Arroz de terras altas**: período limite de semeadura para a região Centro-Oeste. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 6 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 57). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/212423>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N. de; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A. G.; FERREIRA, J. S. A. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas do ar, durante o período reprodutivo do arroz irrigado, no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista**

**Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 1, p. 169-179, 2003. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1369.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

STEINMETZ, S.; DEIBLER, A. N.; SILVA, J. B. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 43, n. 2, p. 206-2011, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200003>.

Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/cr/a/DcXhNRsJQjnPnqj7c4xpb4G/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Simulação do manejo do nitrogênio em arroz de terras altas com o modelo ORYZA/APSIM 2000. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 611-617, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000600004>. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BHZNnfn5cX5Vq3H8vHZCrHJ/?lang=pt>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

WAND, M. **KernSmooth**: functions for Kernel Smoothing Supporting Wand & Jones (1995). R package version 2.23-21. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/KernSmooth/index.html>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

YUAN, S.; LINQUIST, B. A.; WILSON, L. T.; CASSMAN, K. G.; STUART, A. M.; PEDE, V.; MIRO, B.; SAITO, K.; AGUSTIANI, N.; ARISTYA, V. E.; KRISNADI, L. Y.; ZANON, A. J.; HEINEMANN, A. B.; CARRACELAS, G.; SUBASH, N.; BRAHMANAND, P. S.; LI, T.; PENG, S.; GRASSINI, P. Sustainable intensification for a larger global rice bowl. **Nature Communications**, London, v. 12, n. 1, 7163, Dec. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27424-z>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8660894/>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ZHONG, R.; ZHU, Y.; WANG, X.; LI, H.; WANG, B.; YOU, F.; RODRÍGUEZ, L. F.; HUANG, J.; TING, K. C.; YING, Y.; LIN, T. Detect and attribute the extreme maize yield losses based on spatio-temporal deep learning. **Fundamental Research**, Beijing, May 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.05.006>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325822002126>>. Acesso em 23 fev. 2023.