

Sete Lagoas, MG / Julho, 2025

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL



Situação atual e perspectivas para o sorgo granífero cultivado na segunda safra no Brasil: adaptação e resiliência de sistemas de produção



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN1518-4277 / e-ISSN 0000-0000

Documentos 283

Julho, 2025

Situação atual e perspectivas para o sorgo granífero
cultivado na segunda safra no Brasil: adaptação
e resiliência de sistemas de produção

Antônio Marcos Coelho

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2025

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG - 424, Km 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê Local de Publicações

Presidente

Lauro Jose Moreira Guimaraes

Secretário-executivo

Antônio Carlos de Oliveira

Membros

Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica

Matoso Campanha, Roberto dos Santos

Trindade e Maria Cristina Dias Paes

Edição executiva

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa

Antônio Marcos Coelho

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Coelho, Antônio Marcos.

Situação atual e perspectivas para o sorgo granífero cultivado na segunda safra no Brasil: adaptação e resiliência de sistemas de produção / Antônio Marcos Coelho. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2025.

PDF (29 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 283).

1. *Sorghum bicolor*. 2. Produção. 3. Safrinha. 4. Produtividade. I. Título. IV. Série.

CDD (21. ed.) 633.174

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

©2025 Embrapa

Autor

Antônio Marcos Coelho

Engenheiro-agrônomo, PhD em Qualidade de Solos, Nutrição de Plantas e Agricultura de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Apresentação

O Brasil se configura como uma das grandes potências agropecuárias, e talvez o único país capaz de atender a demanda alimentar do mundo, produzindo de forma sustentável. No entanto, diante da restrição de áreas legalmente disponíveis para expansão agropecuária e da pressão mundial para impedir novos desmatamentos, mesmo que legais, para suprir essa demanda de produção de alimentos, não existe outro caminho senão por meio do investimento em sistemas de produção sustentáveis, resilientes e equilibrados, culturas mais versáteis e estratégias de desenvolvimento territorial. Essas ações ajudam a vencer os desafios cada vez mais limitantes e restritivos para o desempenho produtivo dos sistemas agroalimentares.

O sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tem sido uma cultura de grande importância na composição dos sistemas de produção, principalmente em regiões com desafios edafoclimáticos, sendo que atualmente o Brasil já se configura como o terceiro maior produtor mundial, com potencial e perspectivas positivas para se tornar o maior produtor mundial. Com características

complementares, as atuais culturas alimentares produzidas no Brasil apresentam diferenciais estratégicos para superar os desafios atuais da agropecuária, principalmente a restrição hídrica.

Levando em consideração os desafios e as oportunidades do cultivo de sorgo granífero, este trabalho apresenta uma análise do histórico de cultivo nas diferentes regiões do Brasil, tendo como foco a área cultivada, a produção e a produtividade. O estudo da dinâmica dessas variáveis ao longo do tempo é importante para definir ações de pesquisa, de desenvolvimento e de transferência de conhecimento e tecnologia nas regiões produtoras de sorgo granífero. O conhecimento das informações apresentadas poderá auxiliar na tomada de decisão de órgãos governamentais e na criação e implementação de políticas públicas, a fim de obter acréscimos de produtividades em regiões com potencial de produção. Nesse contexto, são também apresentados e discutidos os fatores tecnológicos passíveis de serem manejados que tornam possível a construção de sistemas de produção de sorgo granífero sustentáveis e resilientes.

Frederico Ozanan Machado Durães
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Introdução _____	6
O cenário internacional _____	6
Sorgo granífero no Brasil: área plantada, produção e produtividade _____	7
Fatores tecnológicos que afetam o potencial produtivo _____	12
Disponibilidade hídrica e armazenamento de água no solo _____	13
Efeito do déficit hídrico e épocas de semeadura _____	14
Sistema Antecipe _____	17
Plantabilidade: precisão na semeadura _____	17
Manejo da fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sistema _____	19
Bioinoculantes: microrganismos ativadores de fósforo (P) e fixadores de nitrogênio (N) _____	21
Consórcio sorgo granífero e gramíneas forrageiras: sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) _____	23
Considerações finais _____	26
Referências _____	27

Introdução

Apesar do potencial da agricultura irrigada, a maior parte das terras agrícolas do mundo é alimentada pela chuva e assim permanecerá num futuro próximo (Boyer, 1982). Essa afirmação é confirmada por dados estatísticos recentes publicados pela FAO (2022), que afirma que da área agrícola total cultivada mundialmente, em 2020, 1,45 bilhão de hectares foram irrigados, sendo 50% destinados aos cereais, 348 milhões de hectares (24%). No Brasil, do total de 84 milhões de hectares cultivados, em 2020, 8,2 milhões de hectares foram irrigados (10%), sendo 28% destinados aos cereais.

A crescente demanda por alimentos e a limitada área de expansão agrícola tornam a verticalização e a estabilidade da produção uma necessidade global. Nesse sentido, reduzir a diferença entre a produtividade máxima possível e aquela obtida pelos agricultores, também conhecida como *yield gap*, torna-se essencial, com impactos econômicos e sociais. Essa diferença de produtividade é realidade nos diversos contextos agrícolas e, apesar de estar relacionada principalmente a aspectos climáticos, sua mitigação em agricultura de sequeiro depende fortemente das práticas de manejo, uma vez que são esses os fatores controláveis.

Os ecossistemas agrícolas de sequeiro, normalmente compostos de consorciação, rotação e sucessão de culturas, com diferentes níveis tecnológicos de manejo e conservação da água e do solo (correção e construção da fertilidade), das diferenças em exigências nutricionais e do manejo das diferentes culturas, rivalizam com as áreas irrigadas na produção agrícola. Assim, o sucesso nesse empreendimento depende da nossa capacidade em conhecer e compreender o ambiente edafoclimático, explorando ao mesmo tempo a gama de adaptabilidade de base genética nas espécies agrícolas.

Dentro desse contexto, a escolha das culturas que irão compor os sistemas de produção agrícola assume papel importante para a sustentabilidade da produção, pois são consideradas as diferenças nas exigências e na adaptação das espécies às diferentes condições edafoclimáticas, associadas à competitividade entre elas do ponto de vista agrônomico, econômico e social. É nesse aspecto que se posiciona o sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], um cereal muito usado principalmente como ração animal nos Estados Unidos, na Austrália e no Brasil. Além disso, é também utilizado em produtos alimentícios e na produção de etanol (Diawara et al., 2024). O sorgo é um alimento básico em muitas

áreas semiáridas e tropicais do mundo, sendo que mais de 300 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento consomem esse cereal como principal fonte de energia. Assim, ele desempenha um papel duplo na vida dos agricultores, proporcionando rendimento e garantindo a segurança alimentar (Dicko et al., 2006).

Levando-se em consideração os desafios e as oportunidades do cultivo de sorgo granífero, este trabalho tem por objetivo analisar o histórico desse cultivo nas diferentes regiões do Brasil, tendo como foco a área cultivada, a produção e a produtividade. O conhecimento das informações obtidas auxiliará na tomada de decisão de órgãos governamentais, na criação e na implementação de políticas públicas, a fim de obter acréscimos de produtividades em regiões com potencial de produção. Nesse contexto, são também apresentados e discutidos os fatores tecnológicos passíveis de serem manejados que tornam possível a construção de sistemas de produção de sorgo granífero sustentáveis e resilientes.

Os resultados apresentados nesta publicação podem contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU), ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável, mais especificamente, Meta 2.4 – Sistemas Sustentáveis de Produção de Alimentos, e estão alinhados ao Portfólio Prosur – Sistemas de Produção Sustentáveis e Resilientes, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

O cenário internacional

O sorgo granífero é considerado atualmente o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, arroz, trigo e da cevada. Neste contexto e de acordo com levantamentos realizados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture (USDA) (Estados Unidos, 2024), na safra 2022/23, a distribuição da produção global de grãos entre os cereais, de um total 2.754,90 milhões de toneladas, foi: milho 1.228,10 (44,58%); trigo 787,59 (28,59%); arroz 520,00 (18,87%); cevada 142,21 (5,16%) e sorgo 58,22 (2,11%), respectivamente, em milhões de toneladas e percentual. Com relação à área plantada, de um total de 678,46 milhões de hectares, a participação das culturas, respectivamente, em milhões de hectares e percentual, foi: milho 203,25 (29,95%); trigo 222,72 (32,83%); arroz 165,67 (24,42%); cevada

46,66 (6,88); sorgo 40,16 (5,92%) (USDA, 2024). A Tabela 1 apresenta a relao dos principais países produtores de sorgo na safra 2022/2023, que representam 76,36% da produo mundial total de grãos desse cereal. No período considerado, o Brasil se

destaca como o terceiro maior produtor de gros de sorgo, embora com menor área plantada em relao aos Estados Unidos e  Nigéria. Esses indicativos demonstram o crescimento e a importância que a cultura do sorgo granífero tem assumido no Brasil.

Tabela 1. Principais países produtores de sorgo granífero na safra 2022/2023.

Países	rea plantada (1.000 ha)	Produo de grãos (1.000 t)	Participao na produo (%)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Estados Unidos	2.480	8.070	13,87	3.260
Nigéria	5.700	6.400	11	1.120
Brasil	1.540	4.760	8,18	3.090
Índia	4.100	4.400	7,56	1.070
México	1.230	4.280	7,36	3.480
Etiópia	1.480	4.010	6,89	2.710
Sudão	5.990	3.060	5,26	510
China	630	3.000	5,16	4.760
Argentina	600	2.500	4,3	4.170
Austrália	600	2.200	3,78	3.670
Outros	5.580	15.500	26,64	1.020
Total	40.160	58.180	100	1.450

Fonte: Estados Unidos (2024).

Sorgo granífero no Brasil: rea plantada, produo e produtividade

Nos últimos anos, o sorgo granífero tem-se constituído em uma excelente opo para compor os sistemas de produo de grãos, sendo cultivado como safra principal na região Nordeste e como segunda safra (safrinha) nas regiões Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Sudeste (Minas Gerais e São Paulo), Sul (Paraná) e ainda, em

menor escala, nas regiões Nordeste (oeste da Bahia) e Norte (Tocantins e Paraná), em sucessão  cultura da soja (Conab, 2024). Nessas condioes, a intensificao do cultivo do sorgo granífero vem acontecendo em razão das frequentes instabilidades climáticas da segunda safra com a cultura do milho, do aumento da incidência da cigarrinha-do-milho (Figura 1) (Coelho, 2023), da crescente demanda por cereais (milho e sorgo) para a produo de etanol e da necessidade da implementao da segunda safra em regiões com maiores desafios edafoclimáticos, para melhorar a sustentabilidade do sistema de produo e atender o aumento da demanda de alimentos.



Fotos: Antonio Marcos Coelho

Figura 1. Cultura do milho safrinha sob estresse hídrico e com sintomas de enfezamento causado por fitoplasma (*Maize bushy stunt-MBS*), transmitido pela cigarrinha *Dalbulus maidis*.

O estudo da dinâmica da área cultivada, da produção e da produtividade é importante para definir ações de pesquisa, desenvolvimento e de transferência de conhecimento e tecnologia nas regiões produtoras de sorgo. De acordo com Artuzo et al. (2019), o desenvolvimento de tecnologias e a geração de conhecimentos poderão exigir estudos específicos. Por exemplo, os agricultores pertencentes a regiões com condições edafoclimáticas favoráveis para a produção podem demandar pesquisas e conhecimentos destinados a potencializar a produtividade, enquanto os agricultores pertencentes a ambientes desfavoráveis podem demandar pesquisas e conhecimentos que visem manter uma estabilidade produtiva. Assim, é fundamental conhecer o contexto da produção de sorgo granífero nas diferentes regiões.

Os dados anuais das variáveis área plantada, produção e produtividade do sorgo granífero, cultivado na segunda safra, no período de 2001 a 2023, foram obtidos na série histórica divulgada pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024). Consideraram-se nas análises os dados anuais referentes às regiões Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e Sul (Paraná), que, no período considerado, responderam, em média, por 82% da área plantada e 89% da produção de sorgo granífero no Brasil.

Para se obter uma estimativa das mudanças dessas variáveis ao longo do período analisado, análise de regressão linear ($Y = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x$) foi aplicada aos dados do Brasil e das principais regiões, no período de 2001 a 2023. Os resultados dos parâmetros dessas análises estão sumarizados na Tabela 2. Os valores do coeficiente de variação (CV) são indicativos do grau de estabilidade apresentado pelas variáveis: quanto menor o valor mais estável é a variável (Tabela 2). A representação gráfica dessas variáveis, considerando os dados observados e estimados ao longo do período considerado, é mostrada nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Quando se considera o Brasil, as análises de regressão indicaram que a cultura do sorgo granífero apresentou ganhos significativos ($P \leq 0,05$) na área plantada (15,10 mil ha ano⁻¹), na produção (78,98 mil t ano⁻¹) e na produtividade (49,71 kg ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 2, Figura 2). Comparando-se esses resultados com aqueles obtidos por Coelho et al. (2002), de análises similares de dados de série histórica para o período anterior de 1973 a 2002, cujos dados indicaram aumentos de área plantada de 10,58 mil ha ano⁻¹, produção de 17,50 mil t ano⁻¹ e produtividade

de 11,27 kg ha⁻¹ ano⁻¹, verificam-se avanços significativos no cultivo de sorgo granífero no Brasil.

Nos Estados Unidos, a partir de uma análise de 60 anos (1930-1990) de dados de rendimento de sorgo granífero, Eghball e Power (1995) relataram um aumento de rendimento de 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Vários fatores genéticos e agrônomicos contribuíram para esse aumento de rendimento. De acordo com Duvick (1999), citado por Assefa e Staggenborg (2010), de 35 a 40% do ganho total de rendimento em sorgo granífero são assumidos como sendo devidos ao melhoramento genético. Mudanças em práticas culturais, como adubação nitrogenada, irrigação, manejo do solo e da cultura, foram assumidas como sendo responsáveis por 60 a 65% do ganho de produtividade. É importante também mencionar que, à medida que o produtor adquire maior experiência no manejo da cultura, o melhor gerenciamento dos fatores de produção contribui significativamente para os ganhos de produtividades observadas com a cultura do sorgo granífero no Brasil.

Nas análises da série histórica das variáveis área plantada, produção e produtividade das principais regiões brasileira (Centro-Oeste, Sudeste e Sul), onde o sorgo granífero vem sendo cultivado em segunda safra (safrinha), acentuadas diferenças na distribuição dessas variáveis são observadas (Figuras 3, 4 e 5).

Em termos de área plantada, a região Centro-Oeste, embora com maior extensão em área cultivada, apresentou ao longo do período, acentuada variação nos dados observados (Figura 3A) e uma estimativa não significativa ($P \geq 0,05$) de aumento de área cultivada (468 ha ano⁻¹) no período analisado (Tabela 2). Entretanto, apresentou aumento significativo ($P \leq 0,05$) na produção, da ordem de 29,03 mil t ano⁻¹ (Tabela 2, Figura 4A), ocasionada pelo aumento na produtividade. Por outro lado, a participação dessa região na área plantada e na produção, em relação ao total do Brasil, apresentou ao longo do período redução significativa ($P \leq 0,05$), da ordem de -0,94% ano⁻¹ e -0,75% ano⁻¹, respectivamente (Tabela 2, Figuras 3B e 4B).

A região Sudeste, com a segunda maior área cultivada com sorgo granífero na segunda safra, apresentou aumento significativo ($P \leq 0,05$) na área plantada, com incremento da ordem de 7,192 mil ha ano⁻¹ (Tabela 2, Figura 3A), e também na produção, com aumento da ordem de 34,57 mil t ano⁻¹, no período considerado (Tabela 2, Figura 4A). Esses resultados contribuíram significativamente ($P \leq 0,05$) para aumentar a participação da região na área cultivada (0,40% ano⁻¹) e na produção (0,67% ano⁻¹), em

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros da regressão linear e estatísticas associadas (valor t, valor p, coeficiente de determinação e coeficiente de variação) para as variáveis área plantada, produção, produtividade, participação na área plantada e na produção de sorgo granífero segunda safra, de 2001 a 2023, no Brasil e principais regiões.

Região	Intercepto ($\hat{\alpha}$)	Coeficiente angular (β)	Valor t (β)	Valor p	R ²	CV (%)
Área plantada (1.000 ha)						
Centro-Oeste	421,51	0,468	0,14	0,887	0	24,23
Sudeste	104,69	7,192	4,31	0,0003	0,47	27,76
Sul	39,17	-1,48	-6,25	0,0001	0,65	35,39
Brasil	604,28	15,1	2,89	0,0088	0,28	21,18
Produção (1.000 t)						
Centro-Oeste	800,48	29,03	2,59	0,0172	0,24	31,06
Sudeste	144,01	34,57	5,8	0,0001	0,61	33,92
Sul	87,31	-2,85	-3,48	0,0023	0,36	49
Brasil	1045,32	78,98	4,15	0,0005	0,45	30,38
Produtividade (kg ha⁻¹)						
Centro-Oeste	1916,83	63,54	4,71	0,0001	0,51	16,03
Sudeste	1917,98	74,59	5,13	0,0001	0,56	16,43
Sul	2084	36,65	2,65	0,0148	0,25	17,4
Brasil	1875,4	49,71	5,17	0,0001	0,56	12,37
Participação na área plantada em relação ao total no Brasil (%)						
Centro-Oeste	66,15	-0,94	-5,92	0,0001	0,62	9,26
Sudeste	19,25	0,4	3,62	0,0016	0,38	14,73
Sul	6,36	-0,28	-5,98	0,0001	0,63	50
Participação na produção em relação ao total no Brasil (%)						
Centro-Oeste	67,51	-0,75	-4,27	0,0003	0,46	9,52
Sudeste	19,16	0,67	4,97	0,0001	0,54	15,82
Sul	7,8	-0,36	-4,34	0,0003	0,47	79,25

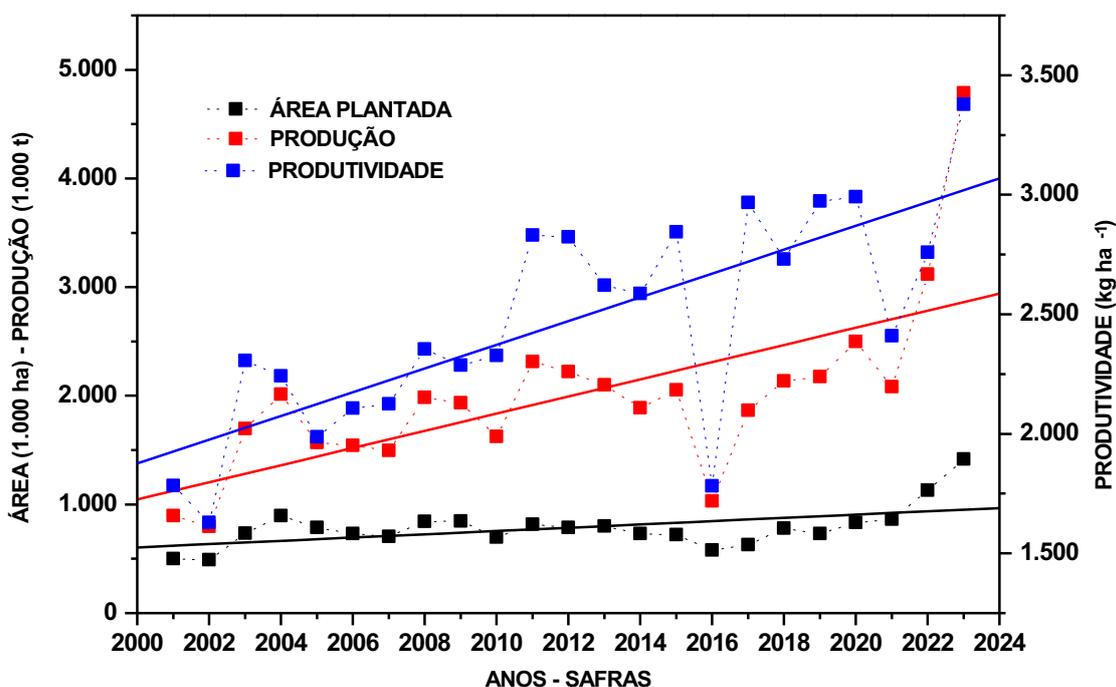


Figura 2. Dados observados e estimados da área plantada, produção e produtividade do sorgo granífero, cultivado na segunda safra no Brasil, no período de 2001 a 2023.

Fonte: Adaptado de Conab (2024).

relação à área total cultivada e à produção total de sorgo granífero no Brasil (Tabela 2, Figuras 3B e 4B).

A região Sul, com a menor área cultivada, apresentou ao longo do período analisado reduções significativas ($P \leq 0,05$) na área plantada, da ordem $-1,48$ mil ha ano⁻¹, e de $-2,85$ mil t ano⁻¹ na produção (Tabela 2, Figuras 3A e 4A). Consequentemente, houve reduções significativas ($P \leq 0,05$) da participação na área cultivada ($-0,28\%$ ano⁻¹) e na produção ($-0,36\%$ ano⁻¹)

em relação aos totais do Brasil (Tabela 2, Figuras 3B e 4B).

Os dados apresentados e analisados indicam grandes alterações na distribuição da área plantada e produção, entre as principais regiões e entre os anos. Essas alterações podem ser creditadas a fenômenos climáticos que ocorrem ou a situações conjunturais que estimulam ou desestimulam a produção e que devem ser estudados de forma específica e com maior profundidade.

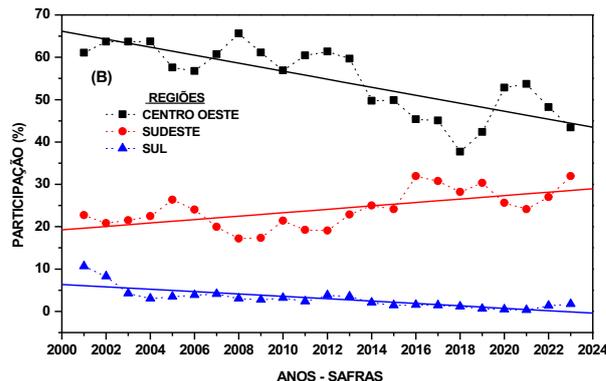
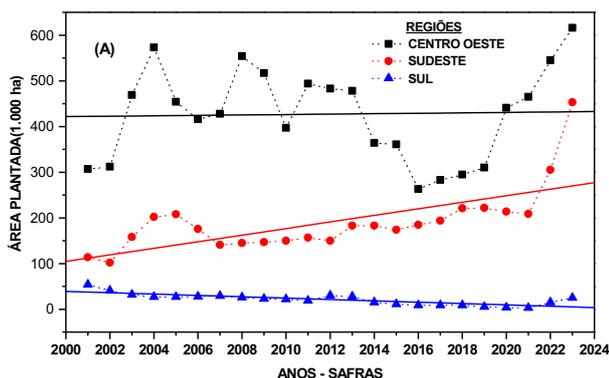


Figura 3. Dados observados e estimados da área plantada (A) e respectiva participação das regiões (B) de sorgo granífero cultivado na segunda safra no período de 2001 a 2023.

Fonte: Adaptado de Conab (2024).

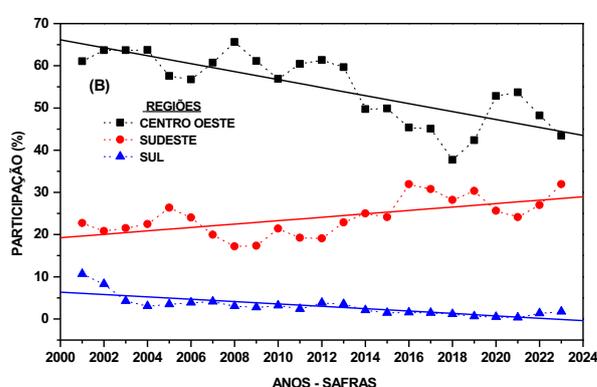
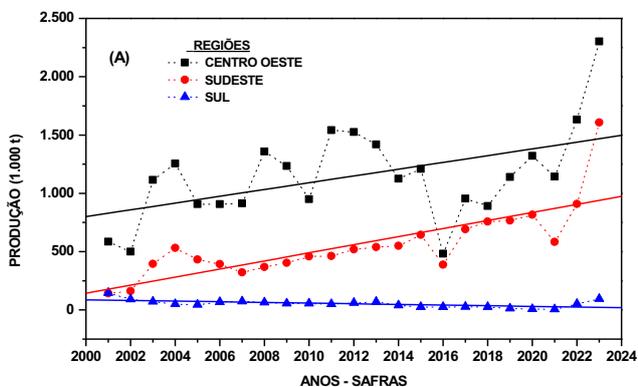


Figura 4. Dados observados e estimados da produção (A) e respectiva participação das regiões (B) de sorgo granífero cultivado na segunda safra no período de 2001 a 2023.

Fonte: Adaptado de Conab (2024).

Dados observados da série histórica ao longo do período (de 2001 a 2023) das produtividades de sorgo granífero nas principais regiões brasileira apresentaram acentuada heterogeneidade e variabilidade (Figura 5). Essa variabilidade temporal pode ser considerada um dos fatores que limitam o incremento da produtividade média ao longo do tempo de uma dada região. Entretanto, análises de regressão indicaram que as produtividades de sorgo granífero têm aumentado significativamente ($P \leq 0,05$) nas regiões consideradas (Tabela 2). A região

Sudeste apresentou o maior aumento, com o valor de $74,59$ kg ha⁻¹ ano⁻¹, seguida pela região Centro-Oeste ($63,54$ kg ha⁻¹ ano⁻¹) e do Sul ($36,65$ kg ha⁻¹ ano⁻¹) (Tabela 2, Figura 5). Na média geral do Brasil, o ganho em produtividade foi da ordem de $49,71$ kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 2). Essas diferenças de produtividade regionais dos sistemas de produção de sorgo indicam que a adoção de tecnologias e práticas que possibilitem incrementos produtivos pode elevar a produtividade em muitas regiões, ampliando ainda mais a capacidade de produção de grãos no Brasil.

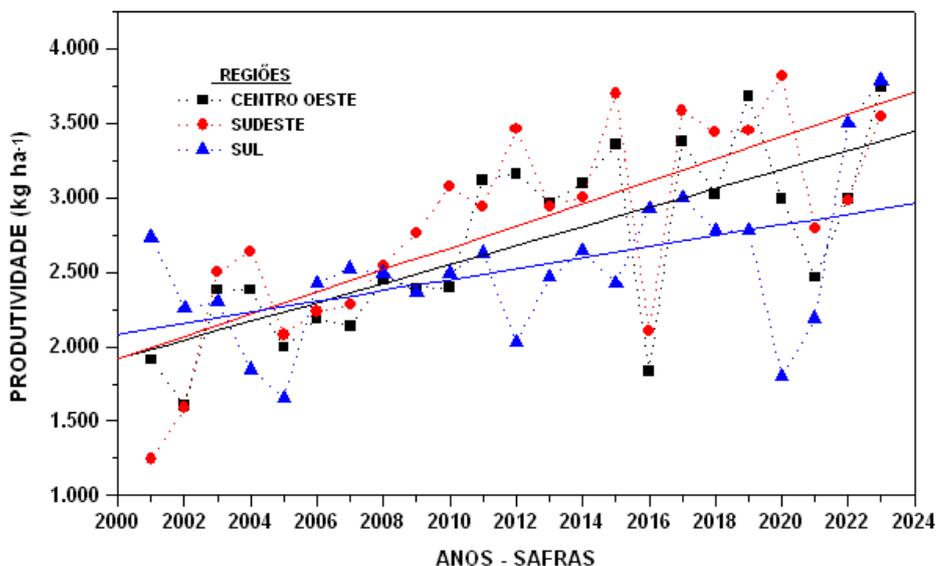


Figura 5. Produtividades observadas e estimadas do sorgo granífero cultivado na segunda safra nas principais regiões do Brasil no período de 2001 a 2023.

Fonte: Adaptado de Conab (2024).

A Figura 6 ilustra a participação das culturas de milho e sorgo semeadas em segunda safra em sucessão à cultura da soja, em relação à área cultivada com essa leguminosa nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, que representaram no período analisado (2001 a 2023) 88,46% da área total de soja cultivada no Brasil (Conab, 2024). Verifica-se que enquanto o milho apresentou um

incremento significativo de área de 1,31% ano⁻¹ em relação à área cultivada com a soja, o percentual de área ocupada pelo sorgo granífero permaneceu praticamente estável, com uma pequena redução de -0,75% ano⁻¹ (Figura 6). Atualmente, o milho cultivado na safrinha ocupa em torno de 40% e o sorgo 3% da área total de soja nas referidas regiões.

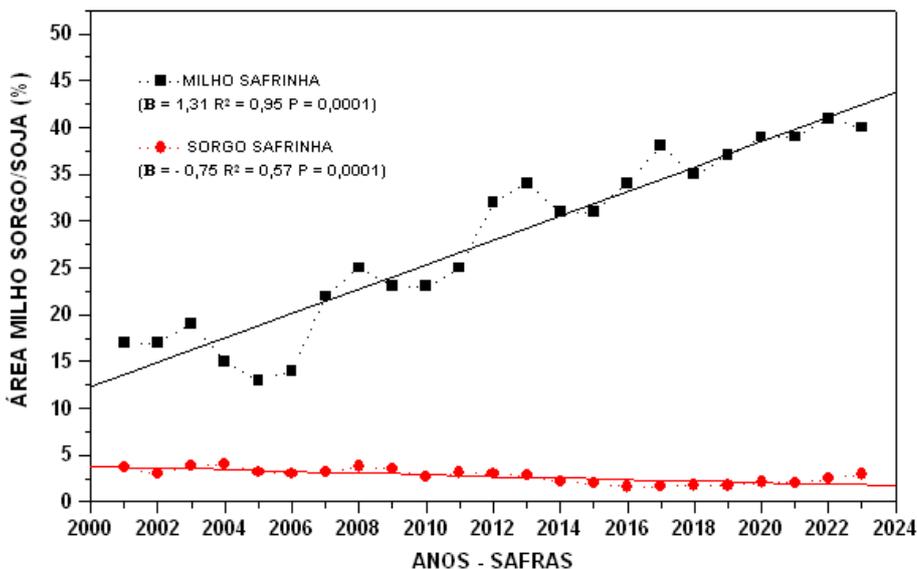


Figura 6. Percentual de ocupação das áreas de milho e sorgo segunda safra em relação à área plantada com a cultura da soja nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, no período de 2001 a 2023.

Fonte: Adaptado de Conab (2024).

Fatores tecnológicos que afetam o potencial produtivo

Vários são os fatores tecnológicos e passíveis de serem manejados visando à construção de sistemas de produção de sorgo granífero mais eficientes e resilientes. Embora exista uma gradação cronológica desses fatores, os quais limitam em maior ou menor grau o potencial produtivo, eles necessariamente podem não ocorrer na mesma magnitude. Entretanto, o conhecimento desses fatores constitui ferramenta importante para o diagnóstico dos possíveis problemas que estão ocorrendo ou poderão ocorrer na construção de sistemas produtivos e sustentáveis de sorgo granífero.

Os rendimentos atingíveis muitas vezes não são alcançados pelos produtores por causa do gerenciamento subótimo de fatores bióticos e abióticos sob seu

controle (Miti et al., 2024). Isso inclui fatores limitantes de rendimento, como o manejo do solo (correção da acidez, adubação, plantio direto, rotação de culturas) e da cultura (híbrido, época de semeadura, espaçamento, densidade e plantabilidade), que restringe a produção líquida primária, e fatores redutores do rendimento, como ervas daninhas, que competem por recursos disponíveis, e as pragas e as doenças, que sequestram parte ou toda a produção líquida primária antes que ela seja colhida. Portanto, há uma lacuna de produtividade entre a produtividade potencial (D_p), a potencial limitada pelo déficit hídrico (D_{p1}), a produtividade atingível (D_{p2}) e a produtividade real obtida pelo produtor (D_{p3}). Somam-se as diferenças em relação à produtividade potencial ($D_p = D_{p1} + D_{p2} + D_{p3}$) (Figura 7), que poderia, em princípio, ser eliminada pela aplicação de estratégias adequadas de manejo. Para a agricultura de sequeiro, o rendimento atingível pode ser estimado entre 60 e 75% do rendimento potencial ou do rendimento potencial limitado pelo déficit hídrico.

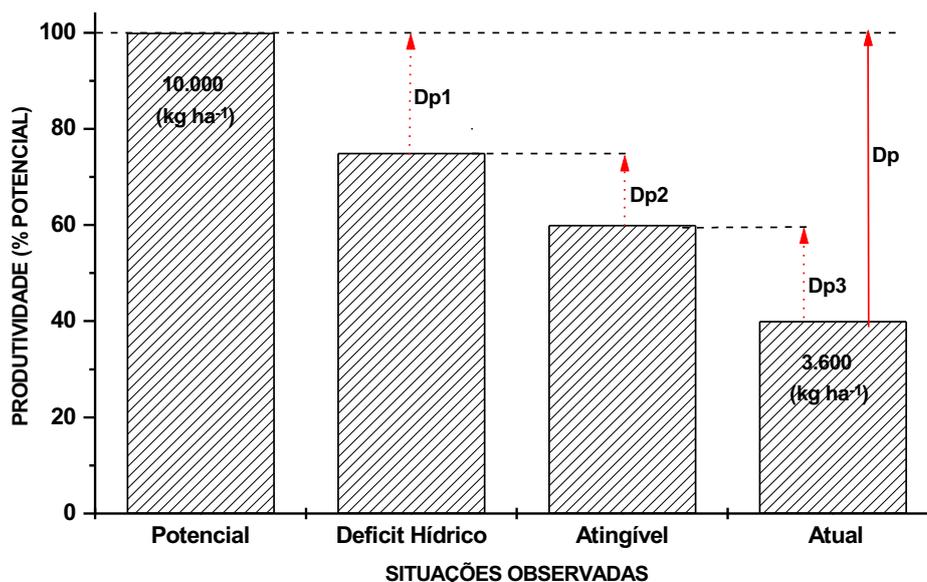


Figura 7. Estimativa das diferenças de produtividades (D_p) para o sorgo granífero, cultivado em segunda safra, sob diferentes situações observadas como referências.

Fonte: Adaptado de Miti et al. (2024).

Os rendimentos observados do sorgo granífero cultivado em condições de sequeiro em segunda safra, no Brasil, são altamente variáveis, variando de 1.000 kg ha⁻¹ até 3.500 kg ha⁻¹ (Figura 2). Podem ainda ocorrer perdas totais, por causa da variação nas condições climáticas, principalmente a quantidade e a distribuição da precipitação, no armazenamento de água no solo e nas práticas de manejo da cultura. Dados os desafios climáticos naturalmente impostos pela época de predomínio do cultivo do sorgo, segunda safra ou safrinha, o uso de estratégias e práticas de manejo adequadas e

que potencializem o melhor desempenho da cultura é preponderante para o sucesso e a expansão da cultura. O correto posicionamento da cultura do sorgo de acordo com a janela de plantio, associado com a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis de produção (cultivares adaptadas, manejo do solo e fertilidade, manejo de plantas daninhas, manejo de pragas e doenças, etc.), certamente irá contribuir para a expansão da produção de grãos no Brasil, com a ampliação do cultivo de safrinha para regiões ainda pouco exploradas nessa época de cultivo e com a melhoria dos índices produtivos e

de rentabilidade para aquelas áreas que ainda persistem no cultivo fora de época de semeadura.

Disponibilidade hídrica e armazenamento de água no solo

Muitos sistemas de produo agrícola evoluíram e tiveram sucesso sem uma compreensão clara da disponibilidade hídrica e seu armazenamento no perfil dos diferentes tipos de solos. O objetivo para a construo de produtividades econmicas e sustentáveis  maximizar a eficiência da água usada para produzir grãos para cada sistema de produo e para cada tipo de solo dentro de cada rea. O refinamento adicional dos sistemas de produo e/ou a determinao das mudanças necessárias nos sistemas para torná-los sustentáveis para o futuro requer: (1) estudar padrões históricos de precipitao; (2) identificar os requisitos de água para cada cultura no sistema; (3) determinar a capacidade de armazenamento de água por profundidade para os principais tipos de solos; (4) identificar profundidades de enraizamento para várias culturas; e (5) combinar culturas e sistemas de cultivo com os suprimentos de umidade disponíveis, associados às necessidades das culturas. O objetivo desta análise  otimizar a umidade disponível para a produo de

grãos. Padrões de precipitao, textura dos solos e sistemas de manejo dos solos interagem e resultam em um suprimento de água disponível quantificável em um local específico.

Resultados de pesquisas realizadas por Alley e Roygard (2001) são exemplos dos efeitos da disponibilidade de água nos perfis de solos com diferentes capacidades de armazenamento de água disponível e seus efeitos nas produtividades de gros de milho em anos com (1999) e sem déficit hídrico (2000), cujos resultados são apresentados na Figura 8. As produtividades de gros de milho obtidas em cada tipo de solo para as duas condies mostram claramente a influência crítica da capacidade de armazenamento de água disponível do solo. Na safra 1999, com acentuado déficit hídrico, os rendimentos de gros de milho obtidos nos solos B e C, com menores capacidades de armazenamento de água no perfil (120 cm), apresentaram, em relao  safra 2000, sem ocorrência de déficit hídrico, acentuadas redues nas produtividades de gros, da ordem de 80% (9.854 kg ha⁻¹) e 77% (7.073 kg ha⁻¹), respectivamente. No solo A, com maior capacidade de armazenamento de água disponível no perfil (120 cm), a reduo na produtividade de gros na safra 1999 com acentuado déficit hídrico foi menor, atingindo 45% (6.402 kg ha⁻¹) (Figura 8).

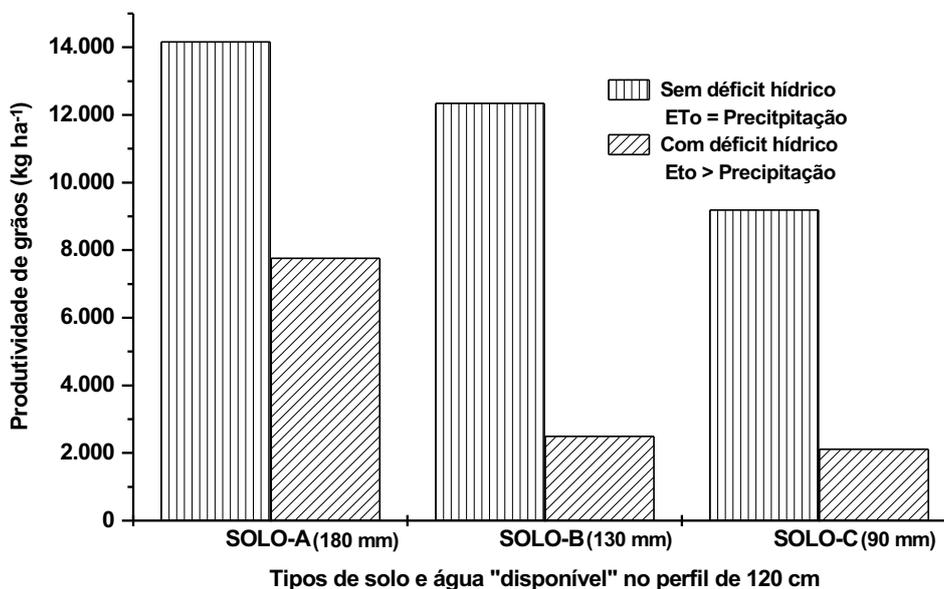


Figura 8. Produtividades de gros de milho em solos com diferentes capacidades de armazenamento de água "disponível" em anos com e sem déficit hídrico.

Fonte: Adaptado de Alley e Roygard (2001).

De acordo com Alley e Roygard (2001), os dados de precipitação e evapotranspiração potencial (ET_p) para o ano de 1999, com acentuado déficit hídrico, mostraram que a precipitação acumulada excedeu a evapotranspiração potencial (ET_p) acumulada até meados do mês de junho. Já posteriormente, até meados do mês de setembro, a ET_p superou a precipitação, ocorrendo assim acentuado veranico no período. As diferenças na ET_p potencial e na precipitação durante os meses de julho, agosto e setembro tiveram de ser compensadas com a água “disponível” armazenada no perfil do solo (120 cm). No ano de 2000, sem a ocorrência de déficit hídrico, a precipitação acumulada foi próxima da ET_p potencial acumulada de maio até meados de setembro e, portanto, a capacidade de armazenamento de água “disponível” no perfil dos solos não foi tão crítica.

Para o sorgo granífero cultivado na segunda safra no Brasil, boas produtividades têm sido obtidas com limitada disponibilidade hídrica. Em um Latossolo Vermelho, textura arenosa, Freitas et al. (2009) obtiveram produtividade de sorgo granífero de 7.942 kg ha⁻¹, com precipitação de 254 mm durante o ciclo da cultura. Em outro experimento conduzido em Latossolo Vermelho Amarelo, textura muito argilosa, Resende et al. (2022) obtiveram produtividade de sorgo granífero de 9.200 kg ha⁻¹, com precipitação de 279 mm no período entre a semeadura e a maturidade fisiológica. Em ambos os experimentos, as reservas de água “disponível” no solo arenoso e muito argiloso provavelmente foram suficientes para completar a necessidade hídrica do sorgo granífero, que é de cerca de 400 mm (Albuquerque; Andrade, 2015).

De acordo com Lopes et al. (2010), solos com teores de argila de 36 a 60% (textura média a argilosa) apresentam água disponível de 11,8 mm 10 cm⁻¹ da camada de solo (141 mm na camada de 120 cm) e solos com teores de argila menores que 15% (textura arenosa) apresentam água disponível de 6,9 mm 10 cm⁻¹ da camada de solo (82 mm na camada de 120 cm). Esses valores são próximos aos dos solos B e C (Figura 8) utilizados nos experimentos relatados por Alley e Roygard (2001).

Efeito do déficit hídrico e épocas de semeadura

Para compreender os efeitos do déficit hídrico na cultura de sorgo, é essencial a investigação

dos efeitos simultâneos nas relações hídricas solo/planta. O’Toole e Bland (1987) relataram diferenças genotípicas significativas para a plasticidade do desenvolvimento em sistemas radiculares, ou seja, extensão do sistema radicular em camadas úmidas do subsolo em resposta ao déficit hídrico de várias culturas agrícolas. Nesse sentido, o sorgo parece ter maior capacidade de captação de água das camadas mais profundas, e o milho, das camadas superiores do perfil do solo. Singh e Singh (1995) verificaram diferenças na extração de água pelas plantas de milho e sorgo entre as camadas superficial (0 – 45 cm) e o subsolo (45 – 135 cm), diferenças essas que aumentaram com a diminuição da frequência de irrigação. Em condições de acentuado estresse hídrico, o milho absorveu ligeiramente mais água da superfície do solo (0 – 45 cm) do que o sorgo, enquanto o inverso foi verdadeiro para o subsolo (45 – 135 cm). Isso sugere claramente que, em condições de déficit hídrico, o milho teve a maior absorção de água da camada superficial do solo e o sorgo do subsolo (Singh; Singh, 1995). Entretanto, a habilidade das plantas em explorar o ambiente edáfico depende da repartição de raízes no perfil do solo, que, por sua vez, está atrelada às condições físicas e químicas, sendo a distribuição das raízes um ponto crucial para uma boa produtividade.

Os estádios de crescimento e desenvolvimento do sorgo granífero são sensíveis a fatores ambientais, como estresse por frio, calor e seca, dependendo do estágio de crescimento em que ocorrem. Portanto, o sorgo deve ser adequadamente manejado para tolerar o efeito desses estresses durante os estágios críticos de crescimento. As práticas de manejo incluem a seleção de híbridos apropriados, população de plantas, espaçamento entre fileiras e datas de semeadura. A produtividade do sorgo granífero é afetada pelas condições climáticas no plantio e durante a polinização. O gerenciamento da data de plantio e a seleção do grupo de maturidade híbrido podem ajudar a evitar estresses ambientais severos durante esses estádios sensíveis.

Em experimento visando avaliar os efeitos de déficits hídricos na cultura do sorgo granífero, Khalili et al. (2008) verificaram que a sensibilidade do sorgo ao estresse hídrico varia entre os diferentes estádios fenológicos de desenvolvimento da cultura (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade de gros e biomassa (colmos e folhas) em funo de estresse hídrico aplicado em diferentes fases de desenvolvimento da cultura do sorgo granífero.

Regime de irrigao	Estdios fenológicos de desenvolvimento do sorgo: estresse hídrico aplicado após o estdio de 6 a 8 folhas.				Produtividade e de grãos / (biomassa) ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)
	7–8 folhas	10–12 folhas	Incio do florescimento	Formao dos grãos	
IR1- plena ⁽¹⁾	Irrigao em intervalos de uma semana (total de 18 irrigações).				6.896 (14.570)
IR2 ⁽³⁾	Estresse moderado na fase vegetativa e na formao dos grãos (total de 10 irrigações).				2.265 (10.850)
IR3 ⁽³⁾	Estresse moderado na fase vegetativa e severo na formao dos grãos (total de 9 irrigações).				504 (9.100)
IR4 ⁽³⁾	Estresse severo na fase vegetativa e moderado na formao dos grãos (total de 9 irrigações).				4.088 (10.020)
IR5 ⁽³⁾	Estresse severo na fase vegetativa e na formao dos grãos (total de 8 irrigações).				1.567 (9.450)

⁽¹⁾ Tratamento com irrigao plena em intervalo semanal durante o ciclo da cultura.

⁽²⁾ Valores entre parênteses referem-se  produo de biomassa.

⁽³⁾ Tratamentos nos quais as irrigações foram aplicadas somente quando o potencial de água no solo atingia -15 bar (ponto de murcha).

Fonte: Adaptado de Khalili et al. (2008)

Embora o estresse hídrico aplicado em qualquer estdio de desenvolvimento da cultura reduza o potencial produtivo do sorgo quando comparado ao tratamento controle com irrigao plena, ocorreram diferenças acentuadas nas produtividades de gros. Por exemplo, ao se aplicar uma irrigao regular no sorgo da semeadura até o estdio de estabelecimento das plantas (de seis a oito folhas) e, em seguida, irrigações limitadas nos estdios de início do florescimento (5 a 10%) e grãos leitoso, o sorgo apresentou uma produtividade potencial de 70% (4.088 kg ha⁻¹) em relao ao tratamento controle, com irrigao plena (6.896 kg ha⁻¹), sendo o número de irrigações reduzido de 18 para 9 vezes, com uma grande economia de água e alta eficiência no uso desse insumo

(Tabela 3). Esses resultados mostram que, com um severo estresse hídrico na fase vegetativa, e posterior fornecimento dos requisitos mínimos de água nos estágios de crescimento regenerativo (início do florescimento e grãos leitoso), a eficiência do consumo de água da planta será melhorada e um rendimento razoável de grãos pode ser obtido (Tabela 3).

Os resultados obtidos por Khalili et al. (2008), reportados acima, poderiam em parte explicar as variações nas produtividades de sorgo granífero semeado em diferentes épocas em semeaduras na segunda safra, como aqueles obtidos por Zandonadi (2015). Nesse experimento, o autor avaliou o desempenho de híbridos de sorgo granífero, semeados em diferentes épocas (Tabela 4).

Tabela 4. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de nove híbridos de sorgo granífero em função de quatro épocas de semeadura.

Híbridos	Ciclo	Épocas de semeadura			
		Fevereiro (26/2/2013)	Março (15/3/2013)	Março (28/3/2013)	Abril (8/4/2013)
1G100	Precoce	4.487bB	3.823aB	5.586aA	6.023aA
1G220	Precoce	5.024bA	3.561aB	4.485bA	4.951aA
EXP001	Precoce	4.094bB	4.286aB	5.339aA	5.345aA
BUSTER	Precoce	6.186aA	3.893aB	3.178cB	3.449bB
50A10	Precoce	4.897bA	3.915aA	4.413bA	4.051bA
1G244	Tardio	4.458bA	2.902aB	4.574bA	4.850aA
1G282	Tardio	5.076bA	4.256aA	5.029aA	5.247aA
50A50	Tardio	4.632bA	3.249aB	5.606aA	5.087aA
50A70	Tardio	4.238bA	3.622aA	4.450bA	3.874bA
Médias		4.788	3.723	4.740	4.764

Letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem pelo teste de Scott Knott a 0,05 de significância.

Fonte: Adaptado de Zandonadi (2015).

Embora uma significativa interação entre épocas de semeadura e híbridos tenha sido verificada, indicando diferenças nas produtividades entre os híbridos nas diferentes épocas de semeadura (Tabela 4), de modo geral, a maioria dos híbridos apresentou menores produtividades de grãos na segunda época de semeadura (15 de março de 2013) quando comparada às outras épocas. Ao associar esses resultados com a intensidade e a distribuição da precipitação (Figura 9) ocorrida no período de estabelecimento e desenvolvimento das plantas de sorgo, verifica-se que, para a semeadura realizada na segunda época (17 dias após a primeira semeadura (DAPS), ocorreu um veranico de 30 dias, entre

o sétimo e nono decênio, coincidindo justamente com as fases de florescimento e início de formação de grãos (Figura 9). Entretanto, para as duas últimas épocas de semeadura, terceira e quarta (30 e 41 DAPS), o veranico ocorreu durante a fase vegetativa, e nas fases de florescimento e formação de grãos ocorreram precipitações em quantidade e distribuição suficientes para garantir produtividades maiores ou iguais às obtidas nas duas primeiras épocas (0 DAPS e 17 DAPS) (Tabela 4, Figura 9). Esses resultados confirmam a grande capacidade regenerativa do sorgo em respostas à ocorrência de chuvas durante a fase reprodutiva, embora possa ter sofrido estresse hídrico na fase vegetativa.

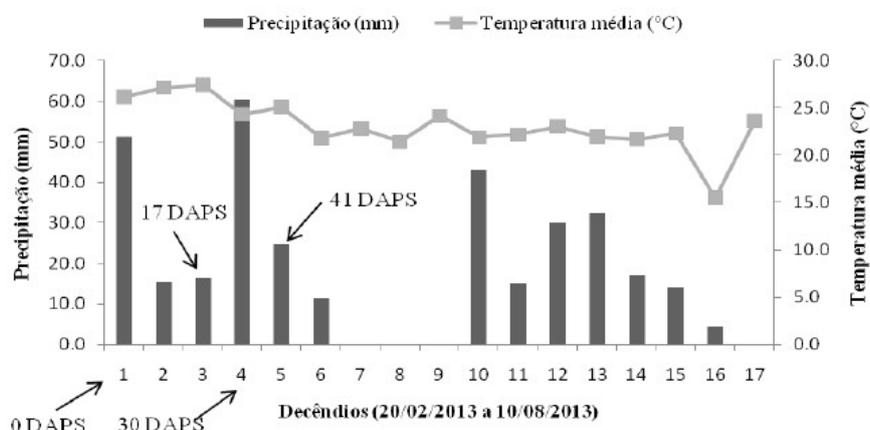


Figura 9. Variação de temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação acumulada (mm) por decênio, de fevereiro a agosto de 2013, em Votuporanga, SP. Épocas em dias após a primeira semeadura (DAPS) e respectivas datas: 0 DAPS, 26 de fevereiro; 17 DAPS, 15 de março; 30 DAPS, 30 de março; 41 DAPS, 8 de abril.

Fonte: Zandonadi (2015).

É importante mencionar que nesse contexto de redução dos riscos climáticos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) fornecem o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para diversas culturas, entre elas o sorgo granífero (Guimarães et al., 2020), propiciando aos produtores condições para a escolha correta das épocas de semeadura nas diferentes regiões, evitando, principalmente, condições climáticas desfavoráveis.

Sistema Antecipe

Novas estratégias de cultivos vêm sendo pesquisadas e desenvolvidas buscando ampliar ainda mais o potencial produtivo e minimizar os impactos dos riscos eminentes da atividade, principalmente no que se refere às restrições hídricas nas diversas regiões do Brasil, limitando o avanço da safrinha. O Sistema Antecipe, cultivo intercalar antecipado, foi desenvolvido pela Embrapa e por parceiros, com o objetivo de atender demandas do setor produtivo para o aumento da produtividade e a redução de riscos. É um sistema inédito de produção de grãos, em que é possível semear mecanicamente outra cultura (sorgo, milho, forrageira, etc.) nas entrelinhas da soja, antes da colheita da leguminosa. Para viabilizar esse sistema, foram dedicados mais de dez anos de pesquisa e desenvolvimento, permitindo que o produtor saiba como e quando ocorre o momento certo de utilizar a tecnologia (Karam et al., 2020). Essa tecnologia visa aumentar a produção de grãos e/ou espécies forrageiras para múltiplo uso na safrinha e reduzir os riscos de perdas de produtividade em função das condições climáticas adversas das semeaduras tardias ou fora da época recomendada pelo Zarc.

Almeida et al. (2022) avaliaram o cultivo intercalar antecipado de sorgo granífero nas entrelinhas da soja, no município de Rio Verde, GO, semeado no dia 19 de março de 2022, comparado ao sistema tradicional (sorgo após a colheita da soja), semeado em 11 de abril de 2022. Considerando as duas épocas de semeadura, durante o período de desenvolvimento do sorgo, o total de precipitação acumulada foi de 94 mm. Deste total, 61,5 mm (65%) foram acumulados no sorgo antecipado (Sistema Antecipe), em decorrência dos 23 dias de antecipação. A produtividade do sistema Antecipe foi de 3.180 kg ha⁻¹ (53 sacas ha⁻¹), sendo 139% superior ao sorgo semeado após a colheita da soja com produtividade de grãos de 900 kg ha⁻¹ (15 sacas ha⁻¹). Os resultados demonstraram que a antecipação da semeadura do sorgo em 23 dias proporcionou condições mais favoráveis para as plantas no sistema Antecipe, proporcionando uma produtividade de 1,65 saca ha⁻¹ a mais para cada dia de antecipação.

Plantabilidade: precisão na semeadura

A plantabilidade com precisão na semeadura abrange os seguintes aspectos: (1) população ideal de plantas; (2) distribuição espacial das plantas, espaçamento entre linhas e dentro das linhas; (3) profundidade ideal de semeadura; (4) época ideal de semeadura; e (5) sistema de manejo do solo, plantio direto, convencional, cobertura do solo, etc. Assim, o principal requisito é fazer as escolhas adequadas para os fatores mencionados. A preparação de um banco de dados com informações locais que estejam disponíveis sobre os aspectos mencionados auxiliará nas tomadas de decisões que otimizem o desempenho da cultura sem custos adicionais de insumos (Figura 10).



Fotos: Antonio Marcos Coelho

Figura 10. Plantabilidade com precisão na semeadura é um fator tecnológico essencial para construção de sistema de produção de sorgo granífero para alta produtividade.

O arranjo ideal de plantas é determinado pelo espaçamento entre fileiras e pela quantidade de plantas nas linhas, capazes de explorar de maneira mais eficiente os recursos naturais e insumos aplicados. Em geral, a redução do espaçamento promove melhor distribuição das plantas no campo, aumentando a interceptação de luz e a eficiência na absorção da água no solo pela cultura. Assim, a viabilidade do aumento da densidade de semeadura vai depender do híbrido, do espaçamento entre linhas e das condições climáticas prevaletentes em uma determinada região.

Para o sorgo granífero cultivado em sucessão à cultura da soja, Menezes (2015) recomenda que, para semeaduras realizadas em meados de fevereiro, a população final deve ser de 200 a 220 mil plantas ha⁻¹. Para semeaduras mais tardias (segunda quinzena de fevereiro em diante), o ideal é

que a população de plantas possa variar entre 180 e 200 mil plantas ha⁻¹. Espaçamentos entrelinhas mais reduzidos, entre 45 e 50 cm, são os mais adequados para o sorgo granífero, sendo também bastante utilizados pela maioria dos produtores de soja do Brasil (Menezes, 2015).

Avaliando diferentes espaçamentos entre linhas (50 e 80 cm) e densidades de semeadura (100, 160 e 220 mil plantas ha⁻¹) para o sorgo granífero, Lopes et al. (2005) verificaram que a produtividade de grãos não foi significativamente afetada pela densidade de plantas (Tabela 5). Entretanto, a produção de grãos por planta foi superior na menor densidade de semeadura (100 mil plantas ha⁻¹), quando comparada à maior densidade (220 mil plantas ha⁻¹), o que pode ter compensado a produtividade de grãos na menor densidade de plantas (Tabela 5).

Tabela 5. Efeitos do espaçamento e da densidade de semeadura na produtividade do sorgo granífero.

Espaçamento entre linhas (cm)	Densidade (mil plantas ha ⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Peso de grãos por panícula (g)
50	100	5.975	59,67
50	160	6.950	43,37
50	220	6.600	30,07
80	100	5.700	56,9
80	160	6.350	39,77
80	220	5.750	26,07
Média		6,221	42,64
Resumo das análises estatísticas: Prob > F⁽¹⁾ das variáveis avaliadas			
Espaçamento (E)		0,0904	0,1352
Densidade (D)		0,1425	0,0001
Interação E x D		0,7637	0,9733
CV (%)		12,51	12,58

⁽¹⁾Se o P-valor > nível de significância, não há diferenças significativas para variáveis entre os tratamentos: nível de significância ≤ 0,05. Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2005).

Resultados similares foram obtidos por Benranger e Facci (2001) em experimentos envolvendo diferentes densidades de semeadura (146, 180, 220 e 300 mil plantas ha⁻¹) sob direntes regimes de disponibilidade hídrica (precipitação + irrigação). Os resultados indicaram que ocorreram importantes processos de compensação entre os diferentes componentes da produtividade do sorgo. Assim, as menores densidades foram compensadas com maior produção de perfilhos,

maior número de grãos por panícula e maior peso dos grãos. O fator densidade de plantas não teve efeito significativo na produtividade de biomassa, nos grãos e no índice de colheita.

De acordo com Montagner et al. (2004), o sorgo possui compensação de rendimento de grãos quando submetido à redução aleatória da população inicial, sendo que o componente do rendimento de grãos mais afetado pela redução aleatória da população inicial é o número de

grãos por panícula. Os autores concluem que, para as reduções aleatórias da população inicial de 190 mil plantas ha⁻¹ para 114 mil plantas ha⁻¹, o sorgo não apresentou decréscimo significativo para o rendimento de grãos que justifique uma ressemeadura.

Os resultados apresentados e discutidos anteriormente indicam que uma alta densidade de plantas não apresenta vantagens produtivas para o sorgo granífero. Com isso, pode-se inferir que, com elevadas populações em condições de limitações hídrica, de temperatura e de radiação luminosa, não há vantagens na cultura do sorgo, por causa da inibição de sua capacidade competitiva por água, luz e nutrientes. Além disso, com menor população de plantas, existe contribuição para maior número de perfilhos e de número e peso de grãos por panícula, por causa da maior radiação incidente por planta. Outro aspecto interessante observado por Montagner et al. (2004) foi que, à medida que avançaram os estádios fenológicos do florescimento para maturação fisiológica, houve um menor decréscimo do índice de área foliar (IAF) nas menores populações, havendo assim uma compensação para essa importante característica da planta de sorgo.

Manejo da fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sistema

Apesar das vantagens de suas características de tolerância a estresses hídricos, um mito que deve ser quebrado é que o sorgo se adapta aos solos degradados e de baixa fertilidade. O que tem sido verificado é que o sorgo responde intensamente a incrementos na melhoria da fertilidade dos solos. Deve-se também buscar o condicionamento do perfil do solo em subsuperfície, principalmente com relação ao fornecimento de cálcio e redução da toxidez de alumínio por meio da calagem e gessagem. Essa estratégia torna o ambiente edáfico favorável a um maior aprofundamento do sistema radicular, amenizando os efeitos detrimenais dos períodos de déficit hídrico sobre a produtividade.

A nutrição das culturas é um componente essencial para a construção de sistemas de produção eficientes e sustentáveis. A disponibilidade

de nutrientes deve corresponder às necessidades das culturas em quantidade, forma e tempo. A oportunidade para intensificação do programa de nutrição gira em torno dos seguintes pontos: (1) nível de fertilidade dos solos, análises físicas e químicas e histórico da área (cultura atual e anterior, produtividade observada, uso de fertilizantes e de corretivos, etc.); (2) necessidades nutricionais de cada cultura no sistema de produção; (3) entender os padrões de absorção de nutrientes de cada cultura; (4) determinar dose e fonte ideais de corretivos e fertilizantes para cada cultura; (5) de acordo com a textura dos solos, associada aos padrões de absorção de nutrientes das culturas, identificar métodos e épocas adequados para aplicação dos nutrientes, visando à máxima eficiência técnica e econômica.

A fertilização de sistemas de cultivo é uma tecnologia inovadora que visa fertilizar o sistema de produção como um todo. Consiste na adubação intensiva de cultivos mais responsivos e no aproveitamento da adubação residual para cultivos menos responsivos (Altmann, 2012), possibilitando assim o aproveitamento das reservas de nutrientes acumuladas nos solos ao longo dos anos. Este conceito é importante para aqueles nutrientes que apresentam efeito residual, como o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), e os micronutrientes zinco (Z), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu).

Nesse contexto, é importante também considerar a absorção total de nutrientes e exportados do campo pelos cultivos. Na Tabela 6, são apresentados dados sobre a demanda e a exportação de nutrientes pelas culturas da soja e do sorgo granífero. Verifica-se que, para cada megagrama (Mg) de grãos produzido, a soja apresenta, para todos os macronutrientes considerados, alta demanda e exportação em relação ao sorgo granífero. Embora a alta demanda de nitrogênio (N) pela soja seja praticamente toda suprida pela fixação biológica, exportação de nos grãos também é elevada (~70%), deixando assim pouco N no sistema. Para o fósforo e o potássio apresentados na Tabela 6, em equivalente aos fertilizantes (P₂O₅ e K₂O), as exportações nos grãos são relativamente altas (67% e 50%), tendo assim menores quantidades cicladas para o sistema. O sorgo granífero apresenta, relativamente, altas taxas de exportação de N (60% a 70%) e P (70% a 80%) e baixa taxa de K (15% a 17%), podendo ser considerado um cicladador desse nutriente.

Tabela 6. Demanda e exportação de nutrientes pelas culturas da soja e do sorgo granífero.

Demanda/Exportação	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Soja¹ – Produtividade: 4,20 Mg ha⁻¹						
Demanda (kg Mg ⁻¹)	85,5	17,9	42,6	16	8,3	8,5
Exportação (kg Mg ⁻¹)	59	12,1	21,4	2,8	2,4	3,9
Sorgo granífero² – Produtividade: 8,07 Mg ha⁻¹						
Demanda (kg Mg ⁻¹)	20,3	6	23,9	2,6	2,9	0,8
Exportação (kg Mg ⁻¹)	14,5	5	3,5	0	1,1	0,5
Sorgo granífero³ – Produtividade: 6,53 Mg ha⁻¹						
Demanda (kg Mg ⁻¹)	28,54	7,01	19,7	5	3,24	2,36
Exportação (kg Mg ⁻¹)	17,92	4,9	3,48	0,16	1,19	0,92

Fatores de conversão: P→P₂O₅ = 2,29; K→K₂O = 1,21

Fonte: Godoy (2021), Resende et al. (2022), Coelho (2023).

Os resultados apresentados na Tabela 6 possibilitam a obtenção de um balanço de nutrientes (quantidade aplicada menos a exportada nos produtos colhidos), o qual, associado aos resultados das análises químicas do solo, permite a elaboração de um programa de adubação para as culturas (sucessão soja/sorgo granífero) componentes do sistema de produção. Isso possibilita o suprimento de nutrientes de acordo com as demandas das culturas e a manutenção da disponibilidade dos nutrientes do solo em níveis adequados.

Para ilustrar a aplicação do conceito de balanço de nutrientes no sistema de sucessão soja/sorgo granífero, foram utilizados resultados reportados por Resende et al. (2022) de experimento envolvendo a sucessão soja cultivada no verão (2018/2019) e sorgo granífero na safrinha (2019), em Latossolo Vermelho Amarelo, textura muito argilosa, sob plantio direto por vários anos e apresentando alta fertilidade (Tabela 7). No cálculo do balanço, foram considerados as produtividades de grãos obtidas para a soja e o sorgo granífero e os dados de demanda e exportação

de nutrientes nos grãos, apresentados na Tabela 6, e nas quantidades de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas para o sistema (Tabela 7).

Os resultados do balanço de nutrientes apresentados na Tabela 7 indicam, para o N, valor negativo, com altas quantidades sendo removidas do sistema, mesmo quando a ciclagem de N pela soja foi incluída no cálculo, indicando assim a importância da adubação nitrogenada para o sorgo granífero cultivado em sucessão à soja. Para o P, houve um balanço equilibrado entre a quantidade aplicada e exportada nos grãos, enquanto para o K ocorreu um balanço positivo, com adição de 78 kg de K₂O ha⁻¹ para o sistema (Tabela 7). Entretanto, é importante mencionar que nos resultados desse experimento, reportado por Resende et al. (2022), a soja e o sorgo granífero não apresentaram aumentos significativos nas produtividades de grãos, em função da aplicação da adubação de reposição com NPK, em relação ao tratamento controle (sem adubação). Esses resultados são um exemplo típico do conceito de adubação de sistemas de produção mencionado anteriormente.

Tabela 7. Indicadores da fertilidade do solo e balanço de nutrientes no sistema de sucessão soja/sorgo granfero¹.

Indicadores da fertilidade do solo (0 – 20 cm)						
pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	V
gua	g dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----		(%)
6,3	30,5	30,5	170	4,25	1,45	67
Adubao do sistema soja/sorgo granífero						
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Produtividade da soja	Produtividade do sorgo		
----- kg ha ⁻¹ -----			----- Mg ha ⁻¹ -----			
95	96	204	4,6	8,02		
Total de nutrientes aplicados e exportados nos gros da soja e do sorgo granífero						
Nutriente	Aplicado (A)	Soja	Sorgo	Total (B)	Balanço (B – A)	
----- kg ha ⁻¹ -----						
N	95 (122) ²	271	117	388	- 293 (-171) ³	
P ₂ O ₅	96	56	40	96	0	
K ₂ O	204	98	28	126	78	

¹ O número entre parênteses refere-se  quantidade de N ciclado pela soja.

² O número entre parêntese refere-se ao balanço incluindo o N ciclado pela soja para o sistema. Fatores de conversão: P→P₂O₅ = 2,29; K→K₂O = 1,21.

Fonte: Adaptado de Resende et al. (2022).

Bioinoculantes: microrganismos ativadores de fósforo e fixadores de nitrogênio

O nitrogênio e o fósforo são os dois principais nutrientes que afetam muitos processos celulares importantes, como alongamento da raiz, proliferao e mudanças na arquitetura da raiz, desenvolvimento de sementes e maturidade de plantas que crescem em condioes normais e estressantes (Bindraban et al., 2015; Patel; Panchal, 2020), características essas importantes para aumentar a resiliência das plantas de sorgo granífero, cultivadas na safrinha, normalmente sob condioes de estresse abiótico.

Nos últimos anos, novos produtos foram introduzidos no mercado agrícola como alternativa para aumentar a eficácia e a eficiência dos fertilizantes sólidos tradicionais. Isso inclui um grupo de produtos chamados de inoculantes biológicos comerciais, contendo cepas individuais

ou consórcios de microrganismos (bactérias e/ou fungos) conhecidos e que apresentam benefícios potenciais de promoo do crescimento de plantas (*plant growth-promoting microorganisms* - PGPM). Eles são aplicados diretamente ao solo, como revestimento de sementes, ou são aplicados nas folhas.

Esses produtos são formulaoes personalizadas, utilizando-se compreensão atual da funo dos microrganismos para criar bioinoculantes para uma variedade de tipos de solo e sistemas de cultivo. Dentro desse contexto, está includido o grupo de microrganismos com potencial de mobilizao do P nativo e residual do solo e de qualquer fonte insolúvel de P adicionada (fosfato de rocha), aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas (Owen et al., 2015; Rizvi et al., 2021). Outro grupo refere-se às espécies de *Azospirillum*, cujos principais mecanismos incluem a fixao de nitrogênio, a solubilizao de fosfato e a síntese de fitormônios, especialmente

do ácido indol acético (AIA), importante na promoção do crescimento das plantas (Ribeiro et al., 2022).

De acordo com Owen et al. (2015), o sucesso dos bioinoculantes comerciais deve refletir em ganho econômico, por meio de aumentos nos rendimentos ou pelas aplicações reduzidas de fertilizantes minerais, ou por ambos. Eles não devem ser vistos como um substituto para fertilizantes minerais, mas como um componente potencial de uma estratégia integrada de manejo para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes do solo pelas plantas, como o P nativo e residual do solo e o suprimento parcial ou total de N, através da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Nesse contexto, uma das indagações mais frequentemente realizadas por técnicos e consultores refere-se ao quanto é possível reduzir a dose de fertilizante quando os bioinoculantes são introduzidos no programa de adubação como uma estratégia de manejo.

Pode-se dizer que no Brasil existe uma acentuada carência de resultados de pesquisas conduzidas em condições de campo, que avaliam a eficiência da aplicação de bioinoculantes comerciais no desenvolvimento e na produção do sorgo granífero, principalmente quando se considera o cultivo na safrinha, normalmente sob condições de estresse abiótico. Assim, verifica-se a necessidade da realização de experimentos robustos de campo, de longa duração, com um delineamento experimental adequado que possibilite fornecer evidências estatisticamente validadas para apoiar o efeito benéfico direto dos bioinoculantes comerciais.

Em experimento conduzido em condições de campo, no município de Vitória Brasil, SP, com o sorgo granífero cultivado na safrinha (semeadura em 24 de abril de 2013), em sucessão à soja, Nakao et al. (2014) avaliaram a eficiência agrônômica da inoculação de *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6), em diferentes doses e duas épocas de aplicação via pulverização foliar. Os resultados obtidos indicaram que a aplicação foliar da dose de 200 mL ha⁻¹ do inoculante no estágio vegetativo de sete folhas (25 dias após emergência) resultou em produtividade de grãos de 7.215 kg ha⁻¹, sendo que o tratamento controle, sem aplicação do bioinoculante, apresentou produtividade de grãos de 4.028 kg ha⁻¹. É importante mencionar que todos os tratamentos foram adubados com 44 kg de N ha⁻¹, aplicado no sulco de semeadura.

Em outros experimentos, conduzidos em condições de campo, mas com a semeadura do sorgo granífero na época normal para cada país e região, Oliveira (2024) e Khalili et al. (2008) avaliaram a aplicação, via inoculação das sementes, dos bioinoculantes comerciais BiomaPhos (*Bacillus subtilis* – *Priestia megaterium*) e Barvar-2 (*Bacillus lentus* – *Pseudomonas putida*) associados a doses de fósforo. Os resultados parciais desses experimentos estão sumarizados na Tabela 8. Nesses experimentos, com acentuada resposta do sorgo às doses de P, e considerando os potenciais de produtividades obtidos, a aplicação de 50% da dose máxima de P, associada com a aplicação de bioinoculantes, proporcionou produtividades de grãos similares ou maiores do que as obtidas com a dose total de P (Tabela 8).

Uma estratégia interessante para o manejo dos bioinoculantes é a técnica de coinoculação, também chamada de inoculação mista, que consiste na utilização de diferentes microrganismos, que atuam sinergicamente e produzem efeito múltiplo, com vantagens competitivas, superando os resultados produtivos quando utilizados separadamente. A inoculação combinada de microrganismos mobilizadores de P (MMP) e fixadores de N₂ beneficia as plantas melhor do que qualquer grupo de microrganismos usados isoladamente, ao mesmo tempo que reduz substancialmente a aplicação de fertilizantes minerais em condições de campo (Li et al., 2020). O uso de *Bacillus* e *Azospirillum* como novos inoculantes de consórcio microbiano é uma estratégia promissora para aumentar o crescimento das plantas e o rendimento das colheitas, melhorando o aproveitamento de nutrientes em sistemas agrícolas sustentáveis (Ribeiro et al., 2022).

Nesse contexto, estudos adicionais de longo prazo são necessários para verificar os efeitos benéficos dessas cepas bacterianas na fixação de nitrogênio e na mobilização de fosfato do solo no rendimento do sorgo granífero em condições de campo. Esses estudos podem ser úteis na formulação de novos inoculantes, melhorando os sistemas de cultivo nos quais eles podem ser aplicados de forma mais lucrativa e ecologicamente correta. Esses inoculantes combinados de base biológica podem ser facilmente disponibilizados aos agricultores, representando uma alternativa promissora, ambientalmente segura e de baixo custo para reduzir o uso de fertilizantes sintéticos na agricultura.

Tabela 8. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de sorgo granífero em funo da aplicao de doses de fósforo associadas com bioinoculantes comerciais.

Doses de fósforo (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	Bioinoculante comercial	Local	
		Sete Lagoas, MG	Karaj, Iran
0	Não inoculado	2.575c	4.908c
56	Não inoculado	6.342b	-
56	BiomaPhos	7.637ab	-
62	Barvar-2	-	6.896a
112	Não inoculado	7.900a	-
124	Não inoculado	-	5.818b
CV (%)		7,82	13,98
P "disponível" no solo (mg dm ⁻³)		2,83	4,6

Traço (-): informao não aplicável.

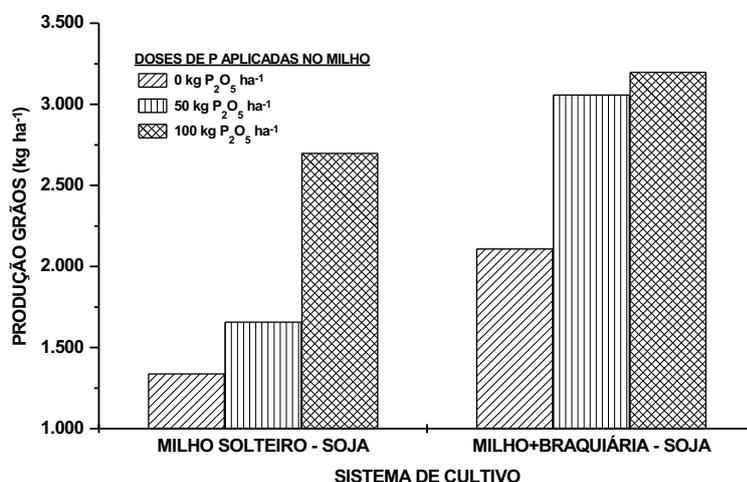
Fonte: Adaptado de Oliveira (2024) e Khalili et al. (2008).

Consortrio sorgo granífero e gramíneas forrageiras: sistema de Integrao Lavoura-Pecuária (ILP)

O consórcio de cereais com forrageiras compõe os sistemas denominados Integrao Lavoura-Pecuária (ILP). A semeadura do sorgo granífero consorciado com braquiária na mesma área após a colheita da cultura de verão, no caso, a soja, permite a obteno de gros e de biomassa na entressafra. O sistema  considerado como uma prática de manejo para melhoria das condioes biofísicas do solo e incremento de cobertura vegetal, visando  implantao da cultura de soja, na safra posterior. Essa prática se torna cada vez mais comum na região do Cerrado, com o propósito de reduzir

os prejuízos de produtividade causados quando ocorre a má distribuo hídrica durante a safra de verão.

Como exemplo da importância desse sistema, são apresentados, na Figura 11, resultados obtidos de experimentos de longa durao conduzidos na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Nesses estudos, o efeito residual de doses de P aplicadas na cultura do milho foi avaliado sobre a produtividade da soja cultivada em rotao. Em condioes de acentuado déficit hídrico no mês de janeiro (período de 20 dias, com precipitao de apenas 26 mm), as produtividades da soja cultivada após milho consorciado com braquiária foram significativamente superiores em relao às obtidas com a soja cultivada após o milho solteiro, com uma alta eficiência no aproveitamento do P residual (Figura 11).

**Figura 11.** Produtividade de gros de soja com o efeito residual da adubao fosfatada de manuteno aplicada para a cultura do milho no sistema solteiro e no consorciado com braquiária.

Fonte: dados não publicados.

Entretanto, ao contrário do milho, que tem se adaptado bem ao sistema, sem redução acentuada na produtividade de grãos, o sorgo granífero cultivado na safrinha em consórcio com espécies de braquiária tem sua produtividade reduzida drasticamente, como mostram os resultados de várias pesquisas conduzidas em diferentes regiões do Brasil (Silva et al., 2017; Sousa Júnior et al., 2020; Bessa, 2020; Resende et al., 2022).

Alternativas de manejo da braquiária, envolvendo espécies, modo e época de semeadura, têm sido avaliadas para esse sistema de cultivo. Em experimento conduzido no município de Rio Verde, GO, Silva et al. (2017) avaliaram cinco espécies de braquiárias consorciadas com dois híbridos de sorgo granífero cultivado na safrinha (semeadura em 25 de fevereiro de 2010) em sucessão à cultura da soja. Nesse experimento, em que as espécies de braquiária foram semeadas na mesma linha do sorgo, verificou-se uma interação significativa entre híbridos e espécies de braquiária na produtividade de grãos de sorgo (Figura 12). O híbrido BRS 310, quando consorciado com as espécies de braquiária *Urochloa brizantha* 'Piatã' e *Urochloa decumbens*, apresentou produtividade de grãos similar às obtidas com o sorgo em monocultivo, mas mostrou reduções acentuadas nas produtividades de grãos quando consorciado com as outras espécies de braquiária (Figura 12). Por outro lado, o híbrido DKB599 apresentou alta sensibilidade ao consórcio com todas as espécies de

braquiária, com reduções acentuadas na produtividade de grãos (Figura 12).

Em outro experimento, também conduzido no município de Rio Verde, GO, Souza Júnior et al. (2020) avaliaram diferentes modos de semeadura da braquiária em consórcio com dois híbridos de sorgo granífero cultivados na safrinha (semeadura em 8 de março 2012) em sucessão à cultura da soja (Figura 13). Nesse experimento, para todos os métodos de semeadura da braquiária, ocorreram reduções acentuadas nas produtividades de grãos dos híbridos de sorgo consorciados, com potencial de produtividade de apenas 50% em relação às produtividades obtidas em monocultivo (Figura 13).

As relações de causa e efeito das reduções das produtividades que têm sido observadas no sistema de consórcio sorgo granífero e braquiárias não têm sido exploradas nos resultados das pesquisas reportadas na literatura. Entretanto, pode-se levantar as hipóteses de que condições climáticas, quantidade e distribuição da precipitação e competição entre as duas espécies pela intensidade luminosa podem ser fatores determinantes. As espécies de braquiária podem apresentar maior tolerância ao déficit hídrico e apresentar um crescimento mais rápido em relação às plantas de sorgo granífero. Por outro lado, os híbridos de sorgo granífero com altura máxima entre 120 e 130 cm permitem uma maior penetração de luz, favorecendo desenvolvimento e maior competição das espécies de braquiárias sobre as plantas de sorgo granífero.

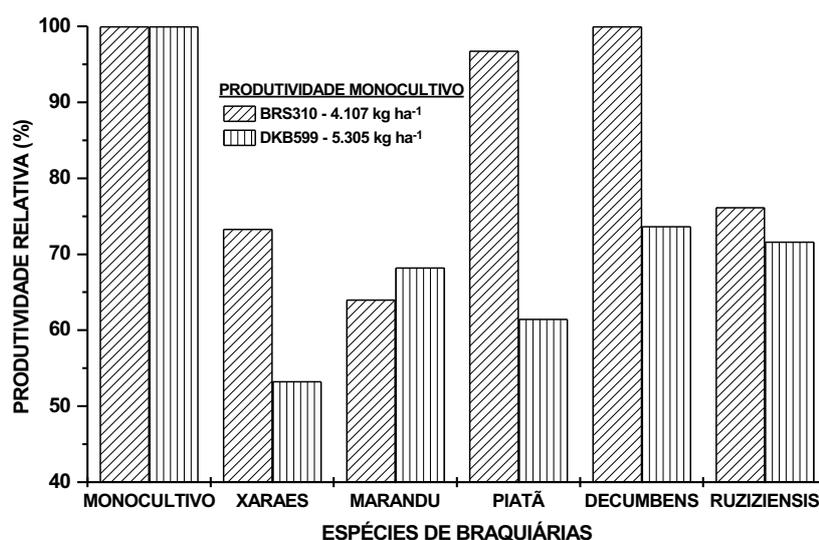


Figura 12. Produtividade relativa de grãos de híbridos de sorgo granífero consorciados com braquiárias (*Urochloa brizantha* 'Xaraés', 'Marandú' e 'Piatã'; *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruzizensis*) em relação aos monocultivos.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2017).

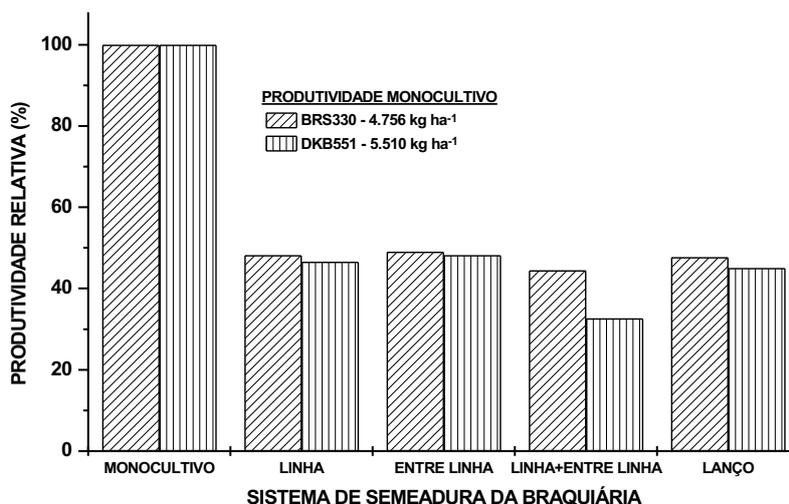


Figura 13. Produtividade relativa de gros de híbridos de sorgo granífero em funo do modo de semeadura da braquiária em relao aos monocultivos.

Fonte: Adaptado de Sousa Júnior et al. (2020).

Para efeito comparativo, os dados apresentados na Tabela 9 mostram as alturas de plantas de híbridos de sorgo granífero e de milho em diferentes estdios de desenvolvimento. Na fase inicial, os híbridos de sorgo granífero apresentaram desenvolvimento similar aos híbridos de milho. Entretanto, no florescimento, os híbridos de milho apresentaram o dobro

da altura dos híbridos de sorgo (Tabela 9). Assim, nessas condioes, o milho apresenta, em relao ao sorgo granífero, um maior poder de competio (Figura 14), principalmente de luminosidade sobre as espécies de braquiária, retardando assim seu desenvolvimento, o que poderia justificar o melhor desempenho dessa cultura quando em consórcio.

Tabela 9. Alturas de plantas de híbridos de sorgo granífero e de milho em diferentes estdios de desenvolvimento.

Híbrido	Altura média da planta (cm)		Florescimento (dias)
	Estdio vegetativo	Estdio florescimento	
Sorgo granífero			
DKB540	47,67	134,3	65,39
1G100	46,86	122,33	57,19
BRS 373	45,64	112,86	67
BRS 330	45,08	130	67,36
Médias	46,31	124,87	64,23
CV (%)	6,02	4,74	2,66
Milho			
BRS1055	50,31	234,94	70,44
1M1752	50,25	225,97	70,33
DKB390	48,72	218,55	69,77
AG8088	46,67	222	69,05
Médias	48,98	225,37	69,9
CV (%)	11,53	4,7	1,07

Sorgo: semeadura em 29/12/2016 – altura no estdio vegetativo (V6-7 folhas), em 1/2/2017, 32 dias após semeadura. Milho: semeadura em 30/12/2016 – altura no estdio vegetativo (V6-7 folhas), em 1/2/2017, 33 dias após semeadura. Espaçamento entre linhas de 50 cm. Fonte: dados não publicados.

Fotos: Robélio Marchão (A); Antonio Marcos Coelho (B)

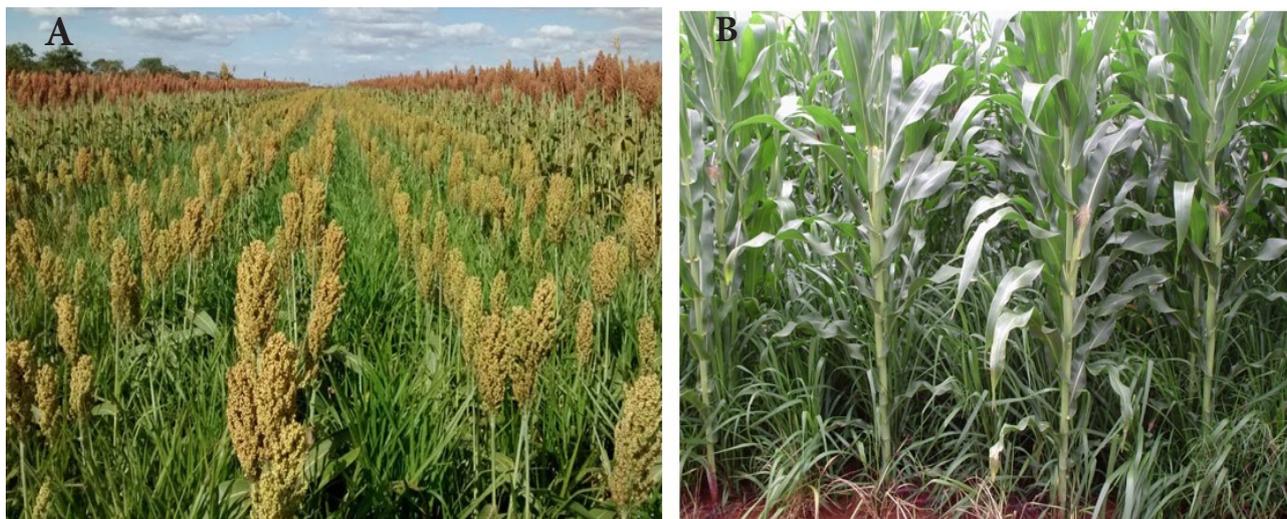


Figura 14. Vista geral comparativa de alturas de plantas de sorgo granífero e milho em consórcio com braquiária.

Assim, verifica-se a necessidade de serem desenvolvidas pesquisas sobre alternativas de manejo para o consórcio entre sorgo granífero e espécies de braquiária, visando ao equilíbrio entre produtividade de grãos e produção de biomassa da forrageira, que possibilitem um melhor desempenho e produtividade de sorgo. Uma alternativa poderia ser a redução nas densidades de sementeira do sorgo (por exemplo, 100 a 120 mil plantas ha^{-1}) e das espécies de braquiária (por exemplo, 25 a 40 sementes puras viáveis m^{-2}), semeadas após o estabelecimento da cultura do sorgo granífero, reduzindo a competitividade entre as duas espécies, mas possibilitando boas produtividades de grãos e produção de massa vegetal para uma adequada cobertura do solo.

Outra alternativa bastante interessante é o desenvolvimento e a avaliação de híbridos de sorgo granífero que apresentem tolerância à aplicação de herbicidas com potencial para controlar o crescimento das espécies de braquiária, reduzindo assim seu poder de competição, sem reduções acentuadas nas produtividades do sorgo. Outro aspecto a ser levado em consideração é o uso de dessecantes em pré-colheita no sorgo, visando tornar essa etapa no campo mais ágil e eficiente. Dessa forma, a aplicação de herbicidas sobre o sistema consorciado de sorgo granífero e da espécie de braquiária seria uma prática adequada e recomendada, com a vantagem de preparo antecipado da área para a próxima safra.

Considerações finais

O cultivo de sorgo granífero de segunda safra, ou safrinha, no Brasil tem registrado crescimento expressivo nos últimos anos, tanto em área cultivada, produção e produtividade quanto em importância econômica, posicionando atualmente o País como o terceiro maior produtor de sorgo granífero do mundo, mas com uma exportação relativamente pequena.

Entretanto, a alta instabilidade verificada nas produtividades médias de grãos ao longo dos anos, nas diferentes regiões, tem limitado a obtenção de maior volume de produção desse cereal no Brasil. Isso acontece pelas variações nas condições climáticas, principalmente a quantidade e a distribuição da precipitação, no armazenamento de água no solo e nas práticas de manejo da cultura.

Dados os desafios climáticos naturalmente impostos pela época de predomínio do cultivo do sorgo, a segunda safra, o uso de estratégias e práticas de manejo adequadas, que potencializem o melhor desempenho do cereal, é preponderante para o sucesso e a expansão da cultura. O correto posicionamento da cultura do sorgo de acordo com a janela de plantio, associado com a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis de produção (cultivares adaptadas, manejo de solo e fertilidade, manejo de plantas daninhas, manejo de pragas e doenças, etc.), certamente irá contribuir para a expansão da produção de grãos no Brasil. Isso resultará na

ampliação do cultivo de safrinha para regiões ainda pouco exploradas nessa época de cultivo ou mesmo a melhoria dos índices produtivos e de rentabilidade para aquelas áreas que ainda persistem no cultivo fora de época de semeadura.

A recente abertura do mercado chinês para o sorgo brasileiro marca o início de uma nova era para o agronegócio nacional. Assim, com planejamento, investimentos e uma estratégia sólida, o Brasil tem a chance de se destacar como um dos principais fornecedores de sorgo do mundo.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. Irrigação. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 51-61.
- ALLEY, M. M.; ROYGARD, I. K. F. Intensifying agronomic crop production systems. In: *INFORMATION AGRICULTURE CONFERENCE, 2001*, Indianapolis. **InfoAg 2001**: proceedings. Norcross: Potash & Phosphate Institute, 2001.
- ALMEIDA, D. P.; KARAM, D.; BORGHI, E.; SILVA, J. R. O.; DINIZ, M. N. Cultivo intercalar antecipado de sorgo granífero nas entrelinhas da soja - Antecipe: resultados do ano agrícola 2021/22 em Rio Verde/GO. **Anuário de Pesquisas Agricultura**, v. 5, p. 58-69, 2022.
- ALTMANN, N. **Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto**: resultados práticos no cerrado. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2012. 8 p. (Informações Agronômicas, 140).
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L. de; SOUZA, A. R. L. de. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540>.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A. Grain sorghum yield with hybrid advancement and changes in agronomic practices from 1957 through 2008. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 2, p. 703-706, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0314>.
- BERENQUER, M. J.; FACI, J. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. **European Journal of Agronomy**, v. 15, n. 1, p. 43-55, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00095-8).
- BESSA, O. R. **Densidade de semeadura de Brachiaria ruziziensis em consórcio com sorgo granífero na safrinha na região dos carrados**. 2020. 52 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, 2020.
- BINDRABAN, P. S.; DIMKPA, C.; NAGARAJAN, L.; ROY, A.; RABBINGE, R. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 897-911, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>.
- BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, n. 4571, p. 443-448, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.218.4571.443>.
- COELHO, A. M. **Extração, exportação e ciclagem de nutrientes por híbridos de sorgo granífero**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 258). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1157340/1/Extracao-exportacao-e-ciclagem-de-nutrientes-por-hibridos-de-sorgo-granifero.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.
- COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. **Seja o doutor do seu sorgo**. Piracicaba: Potafós, 2002. 24 p. (Arquivo do Agrônomo, 14).
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas das safras**: sorgo. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/912-sorgo>. Acesso em: 10 set. 2024.
- DIAWARA, B.; DIALLO, S.; TRAORE, B.; STAGGENBORD, S.; PRASAD, V. Effect of planting date on yield and yield components of grain sorghum hybrids. **American Journal of Plant Sciences**, v. 15, n. 5, p. 387-402, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2024.155028>.
- DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VORAGEN, A. G. J.; VAN BERKEL, W. J. H. Review: sorghum grain as human food in africa: relevance of starch content and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

EGHBAL, L. B.; POWER, J. F. Fractal description of temporal yield variability of 10 crops in the United States. **Agronomy Journal**, v. 87, n. 2, p. 152-156, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020003x>.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Production - Sorghum**. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>. Acesso em: 2 jul. 2024.

FAO. **World Food and Agriculture - statistical yearbook 2022**. Rome, 2022. 382 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc2211en>.

FREITAS, R. S. de; DUARTE, A. P.; BORGES, W. L. B.; STRADA, W. Produtividade de grãos de milho safrinha e sorgo no noroeste do estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10., 2009, Rio Verde, GO. **Anais...** Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2009. p. 527-533.

GODOY, L. M. **Extração e exportação de nutrientes na cultura da soja**. São Paulo: OCP Brasil, 2021. 4 p. (OCP Brasil. Boletim Agrônomo, 4). Disponível em: <https://www.ocpbrasil.com.br/pt-br/publicacoes>. Acesso em: 11 nov. 2024.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; MENEZES, C. B. de; TARDIM, F. D. **Zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 254). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126633/1/Doc-254-Zarc-sorgo.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Antecipe**: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126609/1/Antecipe-cultivo-intercalar-antecipado.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

KHALILI, A.; AKBARI, N.; CHAICHI, M. R. Limited irrigation and phosphorus fertilizer effects on yield and yield components of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. var. *Kimia*). **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 3, n. 5, p. 697-702, 2008.

LI, Y.; WANG, C.; WANG, T.; LIU, Y.; JIA, S.; GAO, Y.; LIU, S. Effects of different fertilizer treatments on rhizosphere soil microbiome

composition and functions. **Land**, v. 9, n. 9, 329, 2020. DOI: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/9/329>.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; CUNHA, J. J. da. **Superfosfatos simples**. São Paulo: Associação Nacional de Difusão de Adubos, 2010. 50 p.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. C.; LORENTZ, L. H.; LOVATO, C.; DIAS, V. O. Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 525-530, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600001>.

MENEZES, C. B. (ed.). **Sorgo granífero**: estenda sua safrinha com segurança. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1020186/1/doc176.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MITI, C.; MILNE, A. E.; GILLER, K. E.; LARK, R. M. The concepts and quantification of yield gap using boundary lines: a review. **Field Crops Research**, v. 311, p. 2-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109365>.

MONTAGNER, D.; LOVATO, C.; GARCIA, D. C. Perdas aleatórias na população inicial e sua relação com o rendimento de grãos em sorgo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, p. 81-285, 2004.

NAKAO, A. H.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; RODRIGUES, R. A. F. Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2702-2714, 2014.

OLIVEIRA, I. F. de. **Contribuição da colonização micorrízica e bacteriana na eficiência de aquisição de fósforo, produtividade e microbiota da rizosfera de plantas de sorgo**. 2024. 128 f. Tese (Doutorado em Bioengenharia) - Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2024.

O'TOOLE, J. C.; BLAND, W. L. Genotypic variation in crop plant root systems. **Advances in Agronomy**, v. 41, p. 91-145, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60803-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60803-2).

OWEN, D.; WILLIAMS, A. P.; GRIFFITH, G. W.; WITHERS, P. J. A. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.012>.

PATEL, P.; PANCHAL, K. Effect of free-living nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria on growth of *Gossypium hirsutum* L. **Asian Journal Life Science**, v. 9, n. 2, p. 169-176, 2020.

RESENDE, A. V.; GIEL, J.; SIM O, E. P.; ABREU, S. C.; GALV O, J. C. C.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M. Nutrient removal by off-season grain sorghum as affected by intercropping with ruzigrass and fertilization levels in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1282, 2022.

RIBEIRO, V. P.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. **Archives of Microbiology**, v. 204, article 143, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02759-3>.

RIZVI, A.; AHMED, B.; KHAN, M. S.; UMAR, S.; LEE, J. Sorghum-phosphate solubilizers interactions: crop nutrition, biotic stress alleviation, and yield optimization. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, article 743780, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.746780>.

SILVA, A. G.; ANDRADE, C. L. L.; GOULART, M. M. P.; TEIXEIRA, I. R.; SIMON, G. A.; MOURA, I. C. S. Consórcio de sorgo granífero com braquiárias na safrinha para produ o de gr os e biomassa. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 495-508, 2017.

SINGH, B. R.; SINGH, D. P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. **Field Crops Research**, v. 42, n. 2/3, p. 57-67, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00025-L](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00025-L).

SOUSA JÚNIOR, B. A. de; SILVA, A. G. da; FERREIRA, C. J. B.; COSTA, K. A. P.; SIMON, G. A.; ALMEIDA, K. L. Seed systems of *Brachiaria* species in intercropping with grain sorghum in the off-season. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, e0482019, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000482019>.

ZANDONADI, C. H. S. **Teor de clorofila, exporta o de nutrientes e desempenho agron mico de híbridos de sorgo granífero em diferentes épocas de semeadura**. 2015. 74 f. Disserta o (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

