



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Extração, exportação e ciclagem de nutrientes por híbridos de sorgo granífero

COMUNICADO
TÉCNICO

258

Antônio Marcos Coelho

Sete Lagoas, MG
Outubro, 2023

Embrapa

Extração, exportação e ciclagem de nutrientes por híbridos de sorgo granífero¹

¹ Antônio Marcos Coelho, engenheiro-agrônomo, doutor em Qualidade de Solos, Nutrição de Plantas e Agricultura de Precisão, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Nos últimos anos, o sorgo granífero tem se constituído em uma excelente opção para compor o sistema de produção de grãos, sendo cultivado na segunda safra (safrinha) em sucessão à cultura da soja. A expansão do cultivo se deve às instabilidades climáticas, especialmente pelos períodos de déficit hídrico, que vêm ocorrendo na segunda safra com a cultura do milho, e também pelo aumento da incidência da cigarrinha do milho, que transmite os agentes causais do chamado complexo do enfezamento. De acordo com dados da Conab (2022), a área cultivada na safra 2021/2022 foi de 1.072,30 mil hectares, com produção total de 2.916,10 mil toneladas e produtividade média de 2.719 kg ha⁻¹, sendo que a região Centro-Sul do Brasil respondeu por 75% da área cultivada e 82% da produção (Conab, 2022). Embora o sorgo seja reconhecido, entre as culturas produtoras de grãos, como mais tolerante ao estresse hídrico, sendo assim recomendado para o cultivo em períodos de menor intensidade e regularidade das chuvas, é erroneamente considerado adequado para o cultivo em solos ácidos e de baixa fertilidade (Menezes, 2015).

Na definição de um programa de adubação para as culturas, três componentes assumem importância fundamental: as condições da fertilidade do solo, as exigências nutricionais e o manejo da calagem e da adubação. A fertilidade do solo está relacionada com a acidez e a “biodisponibilidade” de nutrientes. As exigências nutricionais envolvem as quantidades de nutrientes demandadas pelas culturas, assim como a ciclagem e exportação de nutrientes. No manejo da calagem e da adubação, são definidas as fontes de nutrientes (tipos de corretivos, fertilizantes, etc.) e as épocas de aplicação, de acordo com a curva de crescimento das culturas e a mobilidade dos nutrientes no solo, a qual define o potencial de perdas por lixiviação.

Assim, torna-se crucial o conhecimento das exigências nutricionais do sorgo, ou seja, quais as quantidades de macro e micronutrientes, assim como os mais demandados pela cultura, para produção de biomassa e grãos. Além disso, é importante identificar quais são os nutrientes com maior taxa de exportação e de ciclagem. Essas informações possibilitam estimar o balanço de nutrientes (aplicado-removido) que,

associado aos resultados das análises químicas dos solos, é ferramenta essencial para a elaboração do programa de adubação para a cultura, considerando o sistema de produção utilizado na propriedade.

Embora o manejo de nutrientes seja um processo complexo, melhorar nossa compreensão de quando, onde e como os nutrientes são usados pelas plantas de sorgo representa oportunidade para otimizar as doses de fertilizantes e as épocas de aplicação. A reavaliação periódica dos índices de extração e partição de nutrientes pode fornecer a base para o ajuste fino das práticas de manejo dos fertilizantes, principalmente quando os produtores buscam aumentar a produtividade e a lucratividade.

O objetivo principal deste trabalho foi quantificar a absorção, a partição e a remoção de nutrientes em híbridos comerciais de sorgo granífero cultivado sob práticas modernas de manejo. Os resultados obtidos nesta pesquisa são uma contribuição aos 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 de Projetos Nutrientes para Agricultura Brasileira, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Planejamento experimental e manejo da cultura

Os dados reportados neste trabalho são provenientes de experimento envolvendo tratamentos com híbridos comerciais de sorgo granífero (BRS 330, BRS 373, 1G100 e DKB540), fontes de fósforo (P) (fosfato reativo–Marrocos; fosfato itafós–Brasil e superfosfato triplo) e doses de fósforo (0 kg ha^{-1} , 50 kg ha^{-1} e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5). O delineamento experimental foi de blocos casualizado (quatro repetições), com parcelas sub-subdivididas, dispondo-se nas parcelas as fontes de fósforo; nas subparcelas, as doses de fósforo; e nas sub subparcelas, os híbridos de sorgo granífero. Foi utilizada uma variação do delineamento em sub subparcelas em *dummy plots* (LeClerc et al., 1966), em que apenas uma testemunha sem aplicação de fósforo compõe o experimento.

O experimento foi conduzido na safra 2016/2017, na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho, textura muito argilosa (64% argila), apresentando as seguintes características químicas para as profundidades de 0 cm–20 cm e 20 cm–40 cm: pH água 5,9 e 5,6; Matéria Orgânica (M.O.) $36,9 \text{ g dm}^{-3}$ e $31,1 \text{ g dm}^{-3}$; Fósforo (P-Melich1) $5,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $3,6 \text{ mg dm}^{-3}$; Potássio (K) $53,8 \text{ mg dm}^{-3}$ e $47,2 \text{ mg dm}^{-3}$; Cálcio (Ca) $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Magnésio (Mg) $0,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $0,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Sat.

Alumínio (m) 4,6% e 11%; Sat. Bases (V) 33% e 26%; Zinco (Zn) 4,34 mg dm⁻³ e 2,91 mg dm⁻³; Cobre (Cu) 0,71 mg dm⁻³ e 0,65 mg dm⁻³; Manganês (Mn) 6,42 mg dm⁻³ e 5,65 mg dm⁻³; Ferro (Fe) 25,68 mg dm⁻³ e 23,14 mg dm⁻³, respectivamente.

Durante o período de desenvolvimento, da semeadura (dezembro) até a colheita (maio), a cultura recebeu 639 mm de chuvas de um total de 1.081 mm ocorridos de outubro de 2016 a maio de 2017, sem período de estiagem (Figura 1), que,

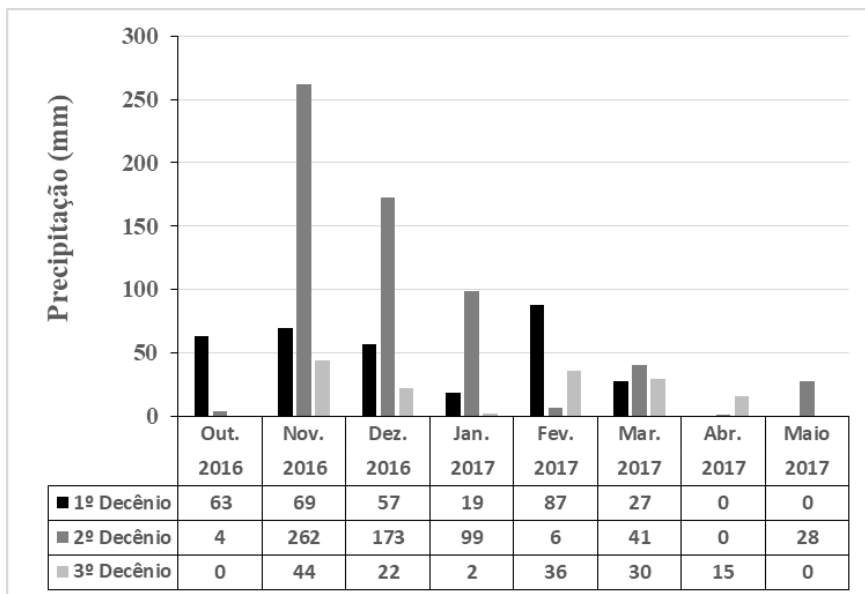


Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica (mm) por decênio, durante o desenvolvimento da cultura no campo.

na região, ocorrem normalmente nos meses de janeiro e/ou fevereiro.

No verão de 2006/2007, a área foi cultivada com milho como cultura de cobertura e não foram aplicados fertilizantes. Após isso, no período de 2007 a 2016, a área ficou em pousio, sob pastagem de braquiária. Após o manejo da braquiária (dessecação com herbicida e roçada com picador), foram aplicados na superfície do solo 1,5 t ha⁻¹

de calcário dolomítico e 1,0 t ha⁻¹ gesso agrícola, em julho de 2016.

Em 1º/8/2016, foi realizada semeadura mecânica do feijão (ensaio em branco), variedade BRS Estilo, no espaçamento de 0,50 cm entre linhas e densidade de 8 a 10 sementes por metro (Figura 2), sem aplicação de fertilizantes. Posteriormente, em 18/8/2016, foi realizada adubação de cobertura com aplicação de 300 kg ha⁻¹ do formulado

NPK 20-00-20. Para a colheita do feijão, a área foi dividida em 10 blocos (18 m x 20 m), colhendo, dentro de cada, três

parcelas de cinco linhas, com 4 m de comprimento ($2,5 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$),



Fotos: Antônio Marcos Coelho

Figura 2. Vista geral da área experimental mostrando o solo com palhada de braquiária e o cultivo de feijão em semeadura direta.

avaliando a variabilidade espacial na produtividade de grãos do feijão.

As doses de fósforo de cada fonte foram aplicadas manualmente nos sulcos previamente construídos. A semeadura do sogo granífero foi realizada em 29/12/2016, utilizando-se semeadora manual com roda (Planete), com espaçamento entre linhas de 0,50 m e densidade de 8 a 10 sementes por metro. (Figura 3). Na adubação de semeadura, foi aplicada no sulco a mistura de 40 kg ha^{-1} N (ureia) e 60 kg ha^{-1} K_2O (cloreto de potássio). A adubação de cobertura foi realizada no estágio de desenvolvimento vegetativo de cinco a seis folhas (30 DAS–35 DAS), com aplicação na superfície do solo, entre as

fileiras de sorgo, de 120 kg ha^{-1} N (ureia) e 60 kg ha^{-1} K_2O (cloreto de potássio). Micronutrientes não foram incluídos na adubação porque os resultados das análises de solo indicaram que eram suficientes, com valores acima dos níveis críticos. O controle de plantas daninhas foi realizado com herbicidas 2-4D e glifosato aplicados 30 dias antes da semeadura nas doses de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ e $2,5 \text{ L ha}^{-1}$, respectivamente. Em pós-emergência (30 dias), foi aplicado o herbicida atrazina, na dose de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$. O controle da lagarta-do-cartucho foi feito com aplicação do inseticida lanate, na dose de $0,6 \text{ L ha}^{-1}$.

Antes da colheita, realizada em 29/5/2017, foram avaliados nas

sub-subparcelas (duas linhas de 5 m de comprimento) o número de plantas e o número de panículas. Na colheita, foram anotados o peso de massa verde de plantas e o peso de grãos. Subamostras de massa verde de plantas e grãos foram coletadas para determinação de biomassa seca (65 °C) e para análises químicas das concentrações de macro e micronutrientes. Com base nos teores de nutrientes e nas produtividades de massa seca da planta, dos grãos e total, foram calculadas as quantidades totais extraídas, exportadas nos grãos, e o potencial de ciclagem nos restos culturais, sob influência dos tratamentos.

Os dados da produtividade de massa seca total, da planta (restos culturais/palhada) e dos grãos, e de grãos ajustados para umidade padrão (13%), assim como das concentrações de macro e micronutrientes na planta e nos grãos e das quantidades extraídas e exportadas nos grãos pelos híbridos de sorgo granífero, foram submetidos às análises de variância. Quando significativas ($Prob F \leq 0,10$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,10$).

Fotos: Antônio Marcos Coelho



Figura 3. Aspecto geral dos híbridos de sorgo granífero nos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

Resumo das análises estatísticas dos parâmetros agrônômicos de produtividade

Os resultados das produtividades de massa seca (65 °C) total, restos culturais e grãos e a produtividade de grãos ajustada para umidade padrão (13%) são apresentados na Tabela 1. Não houve efeitos significativos ($Prob F \leq 0,10$) para as interações de fontes de fósforo com as doses e híbridos,

para todas as variáveis analisadas. Entretanto, houve efeito significativo das doses de fósforo nas produtividades de massa seca total e de grãos, sendo que 50 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram resultados similares e foram superiores à testemunha sem

aplicação de fósforo. Verificou-se que houve efeito altamente significativo ($Pr < 0,001$) de híbridos (Tabela 1). Assim, as informações das concentrações e da extração de nutrientes entre os híbridos podem ser comparadas, na média das diferentes doses de fósforo.

Tabela 1. Resumo das análises de variância para as variáveis massa seca total, massa dos restos culturais (palhada) e dos grãos, e produtividade de grãos ajustados para umidade padrão em função dos tratamentos.

Fonte de variação	Variável			
	Massa seca total	Massa seca de palhada	Matéria seca grãos	Grãos ^{(1)/} 13% U _P
Resumo das análises estatísticas: $Prob > F^2$ das variáveis avaliadas				
Fontes de fósforo (FP)	0,410	0,621	0,151	0,155
Doses de fósforo (DP)	0,051	0,163	0,013	0,016
Híbridos (H)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
FP x DP	0,811	0,712	0,600	0,620
FP x H	0,955	0,864	0,992	0,990
DP x H	0,036	0,060	0,147	0,170
FP x DP x H	0,857	0,868	0,879	0,864
CV (%)	11,95	14,64	12,78	12,86
Híbridos	Produtividade (Mg ha ⁻¹)			
1G100	11,59b	5,10b	6,49a	7,12a
BRS 330	12,94a	7,26a	5,68b	6,22bc
DKB540	11,53b	5,43b	6,10a	6,68ab
BRS 373	11,11b	5,26b	5,59b	6,68c

⁽¹⁾ Produtividade de grãos ajustada para umidade padrão (U_P). Se o P-valor > nível de significância, não há diferenças significativas para variáveis entre os tratamentos: nível de significância ≤ 0,10. Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, α = 0,10.

Produção de matéria seca total (planta e grãos) e extração de nutrientes

De um modo geral, a extração de nutrientes pelas culturas reflete suas exigências nutricionais para um determinado nível da produtividade. Para o sorgo granífero, com produtividades dos híbridos variando de aproximadamente 11 Mg ha⁻¹ a 13 Mg ha⁻¹ de biomassa seca total, as maiores demandas foram verificadas para o Nitrogênio (N) e o Potássio (K), com quantidades extraídas muito superiores às de Enxofre (S), Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (Tabela 2), o que indica uma maior exigência da cultura para esses nutrientes, embora possa ocorrer um consumo de luxo. Fazendo um paralelo entre as extrações totais de nutrientes pelos híbridos e as quantidades aplicadas de N (160 kg ha⁻¹), P₂O₅ (50 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹), K₂O (120 kg ha⁻¹), Ca e Mg (fornecidos pelo calcário) e S (fornecido pelo gesso agrícola), verifica-se que o manejo adotado atendeu perfeitamente às exigências nutricionais do sorgo (Tabela 2).

Para o N, S e o P, observaram-se valores similares de extração total entre os híbridos (Tabela 2). Entretanto, para a taxa de extração de N, S e P, houve diferenças significativas entre os híbridos. Ou seja, a concentração de nutrientes na biomassa total varia

entre os híbridos, mas a extração absoluta por hectare não difere, o que indica a importância em associar as concentrações dos nutrientes com as produtividades obtidas. Verifica-se que, para o P, os híbridos, embora adubados com diferentes doses desse nutriente, apresentaram valores similares de extração, com média de 18,29 kg ha⁻¹ de P (41,88 kg ha⁻¹ P₂O₅), inferiores às quantidades aplicadas (50 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Para o K, o Ca e o Mg, os híbridos apresentaram diferenças significativas, com as maiores extrações de K para IG100 e DKB540, enquanto o BRS 330 acumulou mais Ca e Mg (Tabela 2). As diferenças mais acentuadas entre os híbridos nas extrações de K, em relação a N e P, sugerem a possibilidade em selecionar genótipos com menores exigências naquele nutriente. Com relação aos micronutrientes, a maior demanda pelos híbridos de sorgo foi para o Ferro (Fe), seguida por Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu). A alta demanda do sorgo para o Fe confirma a alta exigência da cultura por esse micronutriente (Tabela 2), conforme reportado por Santi et al. (2005).

Tabela 2. Produtividade de massa seca total (planta e grãos) e extração de macro e micronutrientes.

Híbrido	Matéria seca	N	S	P	K	Ca	Mg
(Mg ha ⁻¹)		----- (kg ha ⁻¹) -----					
1G 100	11,59b	165,01	13,68	18,38	100,63a	28,06b	17,94b
BRS 330	12,94a	176,03	13,97	18,87	96,21a	33,48a	21,21a
DKB540	11,53b	164,25	14,1	18,09	102,33a	26,43b	18,46b
BRS 373	11,11b	167,16	13,23	17,79	77,55b	28,28b	18,79b
Média	11,79	168,11	13,75	18,29	94,18	29,06	19,10
CV (%)	11,95	12,83	14,68	17,78	18,59	18,35	16,84
Híbrido	Matéria seca	N	S	P	K	Ca	Mg
(Mg ha ⁻¹)		----- (kg Mg ⁻¹) -----					
1G 100	11,59	14,27b	1,18b	1,56a	8,60a	2,41ab	1,52c
BRS 330	12,94	13,64c	1,08c	1,45b	7,43b	2,56a	1,62ab
DKB540	11,53	14,28b	1,22a	1,56a	8,87a	2,28b	1,59bc
BRS 373	11,11	15,06a	1,19ab	1,59a	7,00b	2,54a	1,68a
Média	11,79	14,31	1,17	1,54	7,98	2,45	1,60
CV (%)	11,95	4,84	6,7	12,32	13,51	12,07	10,25
Híbrido	Matéria seca	Cu	Fe	Mn	Zn		
(Mg ha ⁻¹)		(g ha ⁻¹) -----					
1G 100	11,59	66,31a	2.281b	613	387		
BRS 330	12,94	68,60a	3.027a	645	386		
DKB540	11,53	68,96a	2.351b	646	401		
BRS 373	11,11	62,84a	2.522b	625	370		
Média	11,79	66,68	2.545	632	386		
CV (%)	11,95	17,16	32,05	18,78	19,67		

Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras, comparando os híbridos, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, $\alpha = 0,10$.

Produção de massa seca e conteúdo de nutrientes nos restos culturais (palhada)

Embora maior ênfase seja sempre dada à exportação de nutrientes nos grãos, a importância em se obter as quantidades de nutrientes na planta deve-se ao fato de se ter informações sobre as quantidades de nutrientes que são retornadas ao solo (ciclagem) quando apenas os grãos são colhidos,

o que é bastante diferente quando toda a parte aérea da planta é retirada da área, como na colheita para silagem. Embora os genótipos de sorgo granífero tenham apresentados diferenças na produtividade de matéria seca da planta (5,0 Mg ha⁻¹ a 7,2 Mg ha⁻¹) e nas quantidades de nutrientes acumulados (Tabela 3), verifica-se que as maiores quantidades que são retornadas para o solo com a palhada são de K e N, seguidas por Ca, Mg, S e P. Para o N e o K, quantidades expressivas da ordem de 61 kg ha⁻¹ e 77 kg ha⁻¹ (92 kg ha⁻¹ de K₂O), respectivamente, são retornadas para o solo (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade de massa seca e conteúdo de macro e micronutrientes nos restos culturais (palhada).

Híbrido	Matéria seca	N	S	P	K	Ca	Mg
(Mg ha ⁻¹)		----- (kg ha ⁻¹) -----					
1G 100	5,10b	51,03c	7,90bc	4,87b	83,91a	27,00b	10,31c
BRS 330	7,26a	76,64a	8,68a	6,42a	78,13a	32,44a	13,90a
DKB540	5,43b	56,49bc	8,64ab	4,95b	85,96a	25,62b	11,51bc
BRS 373	5,52b	61,02b	7,74c	5,26b	59,52b	27,37b	12,05b
Média	5,83	61,3	8,24	5,37	76,88	28,11	11,94
CV (%)	14,64	16,44	17,4	20,57	21,2	18,67	19,64
		----- (kg Mg ⁻¹) -----					
1G 100	5,10b	10,05c	1,54a	0,94	16,39a	5,28a	1,99bc
BRS 330	7,26a	10,62b	1,20c	0,88	10,80b	4,48c	1,89c
DKB540	5,43b	10,47bc	1,60a	0,91	15,99a	4,71bc	2,11ab
BRS 373	5,52b	11,18a	1,41b	0,96	10,89b	4,94b	2,18a
Média	5,83	10,58	1,44	0,92	13,52	4,84	2,04
CV (%)	14,64	9,24	11,62	15,69	16,17	10,76	13,54

Continua...

Tabela 3:Continuação.....

Híbrido	Matéria seca	Cu	Fe	Mn	Zn
(Mg ha ⁻¹)		(g ha ⁻¹)			
1G100	5,10	45,54b	2.071b	503	271
BRS 330	7,26	52,45a	2.852a	544	281
DKB540	5,43	52,65a	2.189b	533	290
BRS 373	5,52	45,56b	2.357b	527	271
Média	5,83	49,05	2.367	527	278
CV (%)	14,64	18,05	34,21	20,71	22,39
(Mg ha ⁻¹)		(g Mg ⁻¹)			
1G100	5,10	8,98b	408,11	92,22 ^a	52,88a
BRS 330	7,26	7,25c	388,19	75,80b	38,66b
DKB540	5,43	9,96a	393,53	99,25 ^a	54,13a
BRS 373	5,52	8,32b	421,36	95,54 ^a	49,65a
Média	5,83	8,63	402,8	92,45	48,83
CV (%)	14,64	14,95	28,38	14,98	19,5

Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras, comparando os híbridos, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, $\alpha = 0,10$.

Após quantificar as quantidades de nutrientes acumulados nos restos culturais (palhada) de sorgo granífero (Tabela 3), é importante conhecer a velocidade de decomposição dessa palhada, o que reflete sobre a disponibilidade de nutrientes, permitindo, assim, uma melhor compreensão do suprimento de nutrientes e sua possível incorporação no programa de adubação a ser definido para a cultura subsequente.

Nesse sentido, pesquisas conduzidas por Rossi et al. (2013), visando a avaliar as taxas de decomposição e a dinâmica da liberação de N, P e K da mistura de resíduos culturais de sorgo e braquiária, verificaram que o K apresenta a

vantagem em relação ao N por apresentar liberação rápida, atribuída ao fato de o K não estar associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal das plantas e de a mineralização não ser um pré-requisito para sua liberação e, conseqüentemente, sua disponibilidade para a plantas (Rossi et al., 2013). O P, embora em menores quantidades na planta (média de 5,37 kg ha⁻¹, Tabela 3), apresenta, de acordo com Rossi et al. (2013), uma rápida liberação no período inicial da decomposição, que está relacionada ao P solúvel em água, acumulado nos vacúolos dos tecidos vegetais (Buchanan; King, 1993). Os demais nutrientes são mineralizados por meio da decomposição dos resíduos

culturais, podendo suprirem parte da demanda nutricional das plantas (Maluf et al., 2015).

É importante mencionar que a ciclagem de nutrientes dos resíduos de colheita pode explicar, em parte, a alta variabilidade temporal normalmente observada nos resultados das análises de solo para o K, mas significativamente menor para o P (Mallarino et al., 2011). Além disso, muito mais K do que P é absorvido pelas plantas (Tabela 2), e uma proporção maior do P é encontrada nos grãos (Tabela 4), sendo removido da área na colheita. Portanto, as quantidades relativas de remoção de K e os padrões de sua reciclagem para os solos com resíduos podem ter um efeito maior na variabilidade temporal nos resultados das análises de solo do que nos níveis e na variabilidade de P (Mallarino et al., 2011). Assim, os resultados observados para o K nos restos culturais devem ser considerados na interpretação da variabilidade temporal do K nos resultados das análises de solo e na tomada de decisão sobre a época de amostragem do solo.

Com relação aos micronutrientes, verifica-se que o Fe encontra-se em maior quantidade na planta de sorgo, seguido por Mn, Zn e Cu (Tabela 3). De acordo com Maluf et al. (2015), estudos de mineralização e liberação de micronutrientes para o solo são escassos, provavelmente em razão do seu baixo conteúdo nos resíduos (Tabela 3). Entretanto, com o contínuo aporte e a manutenção dos resíduos sobre o solo,

ao longo do tempo, a mineralização dos micronutrientes contidos nos resíduos pode ser considerada no programa de adubação.

Produtividade de grãos e exportação de nutrientes

As informações sobre as concentrações e quantidades de nutrientes contidas nos grãos, que conseqüentemente serão exportadas, apresentam grande importância para a realização do balanço entre as quantidades de nutrientes aplicadas e aquelas removidas na colheita, o que possibilita o controle na manutenção e o equilíbrio dos diferentes nutrientes no solo em níveis adequados para as culturas. Por exemplo, quando o solo apresenta fertilidade construída com teores adequados de nutrientes, as recomendações de adubação, principalmente para P e K, indicam as doses com base nas quantidades removidas com a colheita dos grãos.

Nas Tabelas 4 e 5, são apresentados, respectivamente, os resultados das quantidades dos macronutrientes (N, S, P, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), contidos nos grãos de híbridos de sorgo granífero. Para os macronutrientes, verifica-se que, embora tenham ocorrido diferenças entre os híbridos, as quantidades contidas nos grãos seguem as mesmas tendências, ou seja: $N > K > P > Mg > S > Ca$. Para

os micronutrientes, tem-se: $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$.

A proporção de um nutriente mineral no grão de sorgo, em relação à absorção total pela planta, fornece uma estimativa da eficiência de partição e remobilização, denominada por Bender et al. (2013) de índice de colheita (IC) (HI, *harvest index*, em inglês). Valores mais altos representam nutrientes que foram acumulados durante os estádios de enchimento de grãos ou nutrientes que foram remobilizados de outras partes da planta para os grãos durante o período de enchimento. Os valores estimados dos índices de colheita são específicos dos nutrientes. Para o sorgo (Tabela 4), embora tenham ocorrido algumas diferenças entre híbridos, os ICs foram, em média, de: P (70%), N (64%), S (40%), Mg (38%), K (19%) e Ca (3%), e para os micronutrientes foram: Zn (29%), Cu (27%), Mn (17%), Fe (8%). É importante mencionar que, no manejo adotado, as diferenças entre híbridos, do ponto de vista prático, foram pouco acentuadas (Tabela 4).

Para o K, um nutriente absorvido em grandes quantidades pelo sorgo (Tabela 1), a sua exportação nos grãos é pequena, correspondendo a $2,90 \text{ kg Mg}^{-1}$ (Tabela 4). De acordo com Marschner (1995), quando o suprimento de K é adequado, é relativamente fácil aumentar seu conteúdo na planta, exceto no grão, o qual mantém um conteúdo relativamente constante, em torno de $3,0 \text{ kg Mg}^{-1}$ de peso seco. Assim, pode-se classificar o sorgo granífero como uma

cultura com alta capacidade de ciclagem de K, ao deixar $13,52 \text{ kg Mg}^{-1}$ de palhada (Tabela 3).

As concentrações de macronutrientes nos grãos, que refletem as exportações na colheita de 1 Mg de grãos, nas médias dos híbridos, foram de (kg Mg^{-1}): N: 17,92; P: 2,14 (P_2O_5 -4,90); K: 2,90 (K_2O -3,48); Mg: 1,19; S: 0,92 e Ca: 0,16 (Tabela 4). Para os micronutrientes, foram obtidos (g Mg^{-1}): Fe: 29,57; Zn: 17,97; Mn: 17,51 e Cu: 2,94 (Tabela 5). Em experimento conduzido no município de Unaí, MG, com o sorgo granífero (híbrido Enforcer) cultivado em sucessão à soja, e com produtividades de grãos variando de $7,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $9,20 \text{ Mg ha}^{-1}$, Resende et al. (2022) verificaram que, para cada Mg de grãos, o sorgo exportou o equivalente a (kg Mg^{-1}): N: 14,5; P_2O_5 : 5,0; K_2O : 3,5; Mg: 1,1 e S: 0,5, além de (g Mg^{-1}) B: 2; Cu: 2; Fe: 25; Mn-9 e Zn-11. A maior exportação de N nos grãos obtida na presente pesquisa pode estar associada às diferenças entre as exigências nutricionais dos híbridos utilizados e a época de semeadura.

Os nutrientes necessários em grandes quantidades (N e K) ou que tenham altos valores de índice de colheita (IC) (P, N, S, Mg, Zn e Cu) são fundamentais para a produção de sorgo de alto rendimento. Assim, a alta absorção total de nutrientes exige doses de adubações adequadas, feitas na época e no local certos. De acordo com Resende et al. (2022), no sorgo, a absorção de nutrientes ocorre principalmente (de 70% a 100%) durante a fase vegetativa. Nutrientes com altos

Tabela 4. Produtividade de grãos ajustada para umidade padrão (13%) e exportação de macronutrientes.

Híbrido	Produtividade Grãos	N	S	P	K	Ca	Mg
	(Mg ha ⁻¹)	Exportação nos grãos (kg ha ⁻¹)					
1G 100	7,12a	114,00a	5,78a	13,51	16,71a	1,06a	7,63a
BRS 330	6,22bc	99,38b	5,28b	12,46	18,09a	1,03a	7,31ab
DKB540	6,68ab	107,76a	5,45ab	13,15	16,37a	0,81c	6,95ab
BRS 373	6,09c	106,13b	5,49ab	12,53	18,03a	0,91b	6,74b
Média	6,53	106,81	5,5	12,91	17,3	0,95	7,16
CV (%)	12,86	13,4	13,91	19,97	19,69	17,68	20,07
Híbrido		Concentração nos grãos (kg Mg ⁻¹)					
1G 100	7,12a	17,56b	0,89c	2,05	2,55b	0,16b	1,16b
BRS 330	6,22bc	17,46b	0,93b	2,16	3,18a	0,18a	1,28a
DKB540	6,68ab	17,70b	0,89c	2,13	2,66b	0,13c	1,13b
BRS 373	6,09c	18,94a	0,98a	2,21	3,21a	0,16b	1,19ab
Média	6,53	17,92	0,92	2,14	2,9	0,16	1,19
CV (%)	12,86	2,77	5,62	13,93	11,83	12,65	13,92
Híbrido		Índice de colheita (IC) (%)					
1G 100	7,12a	69,19a	42,82a	73,50a	16,18c	3,87a	43,00a
BRS 330	6,22bc	56,53d	38,20b	65,92c	19,27b	3,18b	35,24b
DKB540	6,68ab	65,76b	39,00b	72,10a	16,18c	3,12b	38,01b
BRS 373	6,09c	63,36c	38,20a	69,43b	23,73a	3,33b	35,81b
Média	6,53	63,71	40,44	70,24	19,03	3,38	38,01
CV (%)	12,86	4,65	8,54	6,59	19,47	18,1	13,74

Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras, comparando os híbridos, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, $\alpha = 0.10$.

valores de IC são removidos do campo em maior intensidade do que aqueles com baixos valores de IC (Tabelas 4 e 5), e são indicativos de uma provável mineração das reservas do solo, se ajustes adequados não forem feitos nas doses de fertilizantes a serem aplicadas à medida que se buscam maiores produtividades.

A remoção de micronutrientes com a colheita e sua relação com a manutenção ou redução dos níveis no solo, abaixo dos teores considerados adequados, não são atualmente critérios usados nos programas de adubação. Acredita-se que isso possa acontecer, principalmente, em razão das pequenas quantidades removidas nos grãos

(Tabela 5), sendo as recomendações baseadas nos resultados das análises químicas de solo e nas exigências das culturas. Verifica-se na Tabela 5 que Zn e Cu apresentaram, em relação aos demais micronutrientes, as maiores taxas de exportação nos grãos. Coincidentemente, os resultados das análises químicas do solo, realizadas após os cultivos de feijão e sorgo granífero (dados não apresentados), indicaram redução nos teores de Zn ($2,12 \text{ mg dm}^{-3}$) e Cu ($0,41 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação aos resultados obtidos antes da implantação das culturas (Zn $4,34 \text{ mg dm}^{-3}$ e Cu $0,71 \text{ mg dm}^{-3}$). Entretanto, existe falta de informações de como a remoção, em médio e longo prazos, afeta os níveis de micronutrientes nos solos. Portanto, o conhecimento sobre as concentrações de micronutrientes nos grãos e como eles se relacionam com os níveis de produtividade devem fazer parte de pesquisas ainda necessárias para um melhor entendimento do manejo da adubação com micronutrientes.

Híbridos de sorgo granífero foram avaliados quanto ao potencial de produtividade, às exigências nutricionais, à ciclagem e à exportação de nutrientes, em um solo de Cerrado, manejado sob plantio direto e em sucessão à cultura do feijão.

Embora tenham ocorrido diferenças nas produtividades de biomassa total, da planta e dos grãos entre os híbridos de sorgo granífero, as demandas mais altas foram para N e K, com quantidades extraídas muito superiores às de S, P, Ca

e Mg, indicativo da maior exigência por aqueles nutrientes. Enquanto para N, S e o P os híbridos apresentaram valores similares de extração, para K, Ca e Mg, ocorreram diferenças significativas. Com relação aos micronutrientes, a maior demanda pelos híbridos de sorgo foi para Fe, seguido de Mn, Zn e Cu.

Com relação à ciclagem de nutrientes, verifica-se que as maiores quantidades que são retornadas para o solo com a palhada referem-se a K e N, seguidas por Ca, Mg, S e P. Para N e K, quantidades expressivas da ordem de 61 kg ha^{-1} e 77 kg ha^{-1} ($92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) são devolvidas ao solo. Com relação aos micronutrientes, verifica-se que Fe se encontra em maior quantidade na planta de sorgo, seguido por Mn, Zn e Cu.

As concentrações de macronutrientes nos grãos, que também refletem as exportações na colheita de 1 Mg de grãos, foram, na média dos híbridos, de (kg Mg^{-1}): N: 17,9; P: 2,1 (P_2O_5 -4,9); K: 2,9 (K_2O -3,5); Mg: 1,2; S: 0,9 e Ca: 0,2. Para os micronutrientes, foram obtidos (g Mg^{-1}): Fe: 29,6; Zn: 17,9; Mn: 17,5 e Cu: 2,9.

Tabela 5. Produtividade de grãos ajustada para unidade padrão (13%) e exportação de micronutrientes.

Híbrido	Produtividade grãos	Cu	Fe	Mn	Zn
	(Mg ha ⁻¹)	Exportação nos grãos (g ha ⁻¹)			
1G 100	7,12a	20,77a	209,95a	109,92ab	116,17a
BRS 330	6,22bc	16,15b	175,19b	100,42bc	104,91ab
DKB540	6,68ab	16,31b	161,78b	113,30a	111,10ab
BRS 373	6,09c	17,28b	164,79b	97,67c	99,17b
Média	6,53	17,63	177,93	105,32	107,84
CV (%)	12,87	21,31	34,36	19,18	21,43
		Concentração nos grãos (g Mg ⁻¹)			
1G 100	7,12a	3,19a	32,21a	16,74b	17,68
BRS 330	6,22bc	2,82b	30,32ab	17,55ab	18,34
DKB540	6,68ab	2,68b	26,40b	18,48 ^a	18,26
BRS 373	6,09c	3,07a	29,36ab	17,27b	17,59
Média	6,53	2,94	29,57	17,51	17,97
CV (%)	12,87	14,8	29,35	12,42	15,12
		Índice de colheita (IC) (%)			
1G 100	7,12a	31,55a	9,87a	18,14a	30,55a
BRS 330	6,22bc	23,69c	6,29c	15,76b	28,24ab
DKB540	6,68ab	23,69c	8,14b	17,73a	28,50ab
BRS 373	6,09c	27,54b	7,72bc	15,84b	27,28b
Média	6,53	26,62	8	16,87	28,64
CV (%)	12,87	13,04	39,16	19,6	16,97

Médias nas mesmas colunas com as mesmas letras, comparando os híbridos, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, $\alpha = 0,10$.

Referências

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**,

v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>.

BUCHANAN, M.; KING, L. D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no till and conventional till agroecosystems. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 3, p. 631-638,

1993. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030021x>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica**: sorgo: área plantada: safras 1976/77 a 2021/22. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/912-sorgo>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LECLERG, L. E.; LEONARD, H. W.; CLARK, G. A. **Field plot technique**. 2. ed. Minneapolis: Burgess Publishing, 1966. 373 p.

MALLARINO, A. P.; OLTMANS, R. R.; PRATER, J. R.; VILLAVICENCIO, C. X.; THOMPSON, L. B. Nutrient uptake by corn and soybean, removal, and recycling with crop residue. In: ANNUAL INTEGRATED CROP MANAGEMENT CONFERENCE, 23., 2011, Ames. **Proceedings...** Ames: Iowa State University, 2011. p. 103-113.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140657>.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MENEZES, C. B. de (ed.). **Sorgo granífero**: estenda sua safrinha com segurança. Sete Lagoas: Embrapa Milho

e Sorgo, 2015. 65p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176).

RESENDE, A. V.; GIEL, J.; SIMÃO, E. P.; ABREU, S. C.; GALVÃO, 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.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, jul./ago. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1523>.

SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; PEREIRA, W. L. M.; SCARAMUZZA, J. F. Deficiências de micronutrientes em sorgo (*Sorghum bicolor*). **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 3, n. 1, p. 54-63, 2005.

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoeswww.embrapa.br/fale-conosco/sac**1ª edição**

Publicação digital (2023): PDF

Comitê Local de Publicações

Presidente

Maria Marta Pastina

Secretária-Executiva

Elena Charlotte Landau

Membros

*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso**Campanha, Roberto dos Santos Trindade e**Maria Cristina Dias Paes*

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

Tratamento das ilustrações

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa

Antônio Marcos CoelhoMINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA