


Efeito da adubação de boro na nutrição e exportação de nutrientes em plantas de café arábica

Engenheira agrônoma – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), e-mail: samiraqueirozagronoma@gmail.com.  Samira Furtado de Queiroz

Professora da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), e-mail: mcp.cruz@unesp.com.br.  Mara Cristina Pessoa da Cruz

Professor da UNIFENAS – Laboratório de Solos, e-mail: jose.mantovani@unifenas.br.  José Ricardo Mantovani

Engenheiro Agrônomo Sênior - Mosaic Fertilizantes, e-mail: saldanhaecm@gmail.com  Eduardo Cezar Medeiros Saldanha

RESUMO

O boro é um micronutriente com atuação direta no crescimento meristemático, na formação da parede celular, na estabilidade de membranas e na fase reprodutiva, influenciando a formação dos grãos de café. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação boratada sobre a assimilação e a exportação de macronutrientes e boro em *Coffea arabica*, visando compreender sua influência no estado nutricional da cultura. O experimento foi conduzido no ano agrícola 2023/2024, em Santo Antônio do Amparo (MG), em delineamento de blocos ao acaso com cinco doses de B (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kg ha⁻¹) e cinco repetições. Os atributos avaliados foram teores de nutrientes nas folhas, grãos e exportação de nutrientes. A amostragem de folhas foi feita de acordo com o recomendado para a cultura. Através dos dados produtividade e das concentrações de nutrientes nos grãos foi calculada a exportação dos nutrientes. A aplicação de boro no solo não alterou os teores foliares de macronutrientes, os quais se mantiveram dentro da faixa adequada para a cultura. Nos grãos, não houve efeito das doses de B sobre os teores de N e Mg, enquanto P, K apresentaram respostas, com predominância de comportamento quadrático com doses próximas médias de 2,4 kg ha⁻¹ de B. O S apresentou comportamento linear decrescente, com redução de aproximadamente 27%. O acúmulo e a exportação de nutrientes foram influenciados pelas doses de B, com incremento até valores entre 3,0 e 4,5 kg ha⁻¹. Para N, P, Mg, S e B observou-se resposta quadrática, com máximos na média de 3 kg ha⁻¹ de B. O K foi o nutriente mais exportado, com valores entre 122 e 146 kg ha⁻¹ com ponto máximo na dose de 3,4 kg ha⁻¹. O Ca apresentou incremento linear à medida que aumentava a dose de boro no solo. A dose de 6,0 kg ha⁻¹ não proporcionou ganhos adicionais, indicando limitação ao aumento das doses de boro.

Palavras-chave: Exportação de Nutrientes, Fertilidade do Solo, Micronutriente.

Effect of boron fertilization on nutrition and nutrient export in Arabica coffee plants

ABSTRACT

The formation of the cell wall, membrane stability, and the reproductive phase influence the formation of coffee beans. The objective of this work was to evaluate the effect of boron fertilization on the assimilation and export of macronutrients and boron in *Coffea arabica*, aiming to understand its influence on the nutritional status of the crop. The experiment was

conducted in the 2023/2024 growing season in Santo Antônio do Amparo (MG), in a randomized block design with five doses of B (0; 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 kg ha⁻¹) and five replications. The attributes evaluated were nutrient content in leaves, beans, and nutrient export. Leaf sampling was done according to the recommendations for the crop. Nutrient export was calculated using productivity data and nutrient concentrations in the beans. The application of boron to the soil did not alter the foliar macronutrient content, which remained within the adequate range for the crop. In the grains, there was no effect of B doses on N and Mg contents, while P and K showed responses, with a predominantly quadratic behavior at doses close to the average of 2.4 kg ha⁻¹ of B. S showed a decreasing linear behavior, with a reduction of approximately 27%. The accumulation and export of nutrients were influenced by B doses, with increases up to values between 3.0 and 4.5 kg ha⁻¹. For N, P, Mg, S, and B, a quadratic response was observed, with maximums at the average of 3 kg ha⁻¹ of B. K was the most exported nutrient, with values between 122 and 146 kg ha⁻¹, with a maximum point at the dose of 3.4 kg ha⁻¹. Ca showed a linear increase as the dose of boron in the soil increased. The dose of 6.0 kg ha⁻¹ did not provide additional gains, indicating a limitation to increasing boron doses.

Keywords: Nutrient Export, Soil Fertility, Micronutrients.

Efecto de la fertilización con boro sobre la nutrición y la exportación de nutrientes en plantas de café arábica

RESUMEN

El boro es un micronutriente con un papel directo en el crecimiento meristemático, la formación de la pared celular, la estabilidad de la membrana y la fase reproductiva, influyendo en la formación de los granos de café. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con boro en la asimilación y exportación de macronutrientes y boro en *Coffea arabica*, con el fin de comprender su influencia en el estado nutricional del cultivo. El experimento se realizó en la temporada de cultivo 2023/2024 en Santo Antônio do Amparo (MG), en un diseño de bloques aleatorizados con cinco dosis de B (0; 1.5; 3.0; 4.5 y 6.0 kg ha⁻¹) y cinco repeticiones. Los atributos evaluados fueron el contenido de nutrientes en hojas, granos y la exportación de nutrientes. El muestreo de hojas se realizó de acuerdo con las recomendaciones para el cultivo. La exportación de nutrientes se calculó utilizando los datos de productividad y las concentraciones de nutrientes en los granos. La aplicación de boro al suelo no alteró los niveles foliares de macronutrientes, que se mantuvieron dentro del rango adecuado para el cultivo. En los granos, no hubo efecto de las dosis de B sobre los niveles de N y Mg, mientras que P y K mostraron respuestas, con un comportamiento predominantemente cuadrático en dosis cercanas al promedio de 2,4 kg ha⁻¹ de B. S mostró un comportamiento lineal decreciente, con una reducción de aproximadamente el 27%. La acumulación y exportación de nutrientes fueron influenciadas por las dosis de B, con aumentos hasta valores entre 3,0 y 4,5 kg ha⁻¹. Para N, P, Mg, S y B, se observó una respuesta cuadrática, con máximos en el promedio de 3 kg ha⁻¹ de B. K fue el nutriente más exportado, con valores entre 122 y 146 kg ha⁻¹, con un punto máximo en la dosis de 3,4 kg ha⁻¹. Ca mostró un aumento lineal a medida que aumentaba la dosis de boro en el suelo. La dosis de 6,0 kg ha⁻¹ no proporcionó ganancias adicionales, lo que indica una limitación para aumentar las dosis de boro.

Palabras clave: Exportación de nutrientes, fertilidad del suelo, micronutrientes.

Introdução

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, embora possua grande diversidade, o gênero *Coffea* é representado, de forma comercial, por duas espécies: *Coffea arabica* e *C. canefora*.

A cafeicultura apresenta grande importância econômica. O Brasil, é o maior produtor e exportador mundial, totalizando cerca de três milhões de toneladas por ano (MAPA, 2025). No ano agrícola de 2025, a produção brasileira atingiu mais de 56 milhões de sacas beneficiadas, o que representou aumento de cerca de 17% em relação ao ano anterior

(CONAB, 2026). O café arábica representa a maior parte da produção brasileira, ultrapassando 34 milhões de sacas, enquanto o café conillon atingiu cerca de 17 milhões sacas. Dentre os estados que produzem o grão, Minas Gerais está como principal produtor, respondendo por cerca de 50% da produção nacional (EMBRAPA, 2025), com predominância de cultivo de café arábica (EMATER, 2020).

A importância do manejo nutricional eficiente e que reduz os custos de produção tem impulsionado pesquisas em busca de novas alternativas que ofereçam maior rentabilidade a cultura. Todavia, deve-se levar em conta práticas já conhecidas e que são de grande importância, como, por exemplo, a identificação dos nutrientes limitantes da alta produtividade, por meio da avaliação da fertilidade do solo (REIS Jr. et al., 2002). Um outro fator que deve ser considerado é a idade do cafezal que, juntamente com os já mencionados, resulta na atenuação da bienalidade, culminando no declínio da produção (MESQUITA, 2016). O conjunto de práticas pode afetar diretamente a capacidade de floração das plantas, que necessitam de tempo para o desenvolvimento, sendo ativadas apenas no período chuvoso (BAPTISTELA, 2019). A sequência desses eventos depende, no entanto, da realização de um manejo nutricional que atenda às necessidades da planta.

A adubação do cafeeiro já foi bastante estudada, e foi recentemente atualizada no Estado de São Paulo (CANTARELLA et al., 2022). Contudo, a resposta aos micronutrientes, demanda maior detalhamento. Entre os micronutrientes, o boro é um dos que mais limita a produtividade do cafeeiro (MESQUITA et al., 2016). Embora seja encontrado na matéria orgânica, as deficiências desse micronutriente para a planta são observadas, principalmente, devido a lixiviação provocada por excesso de chuvas, aos efeitos de calagem utilizada de forma descontrolada, e ao uso de adubos nitrogenados que agravam a deficiência em períodos secos (MATIELLO et al. 2015). Esse micronutriente guarda estreita relação com o cálcio, o qual exerce importante papel na sua absorção e em suas funções na planta, agindo em conjunto.

O boro atua no alongamento e na divisão celular, sendo essencial em locais da planta que apresentam crescimento intenso (MATIELLO et al., 2015). Desse modo, regiões específicas como o ápice do ramo ortotrópico, a ponta dos ramos laterais e os meristemas radiculares são altamente dependentes desse micronutriente para se desenvolver plenamente. Os sintomas de deficiência de boro são a presença de folhas novas afiladas, de tamanho menor e com bordas arredondadas (MATIELLO et al., 2015). A ocorrência de grãos negros (coração negro), ou distúrbios que resultam no chochamento, má granação e presença de grãos miúdos são verificados, devido ao suprimento desse micronutriente em quantidades inadequadas (MESQUITA et al., 2016).

Para a obtenção de grãos de qualidade, entende-se que há necessidade de realizar estudos em que o efeito da adubação com boro seja isolado. Nesse aspecto pode estar a chave do sucesso para o produtor de café. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação boratada sobre a assimilação e a exportação de macronutrientes e boro em *Coffea arabica*, visando compreender sua influência no estado nutricional da cultura.

Material e métodos

O experimento foi instalado no ano agrícola 2023/2024, em uma propriedade rural no município de Santo Antônio do Amparo (MG), com a cultura do café arábica, safra zero. A área experimental foi demarcada e foi feita amostragem de solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (**Tabela 1**). As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo, UNESP/FCAV, e submetidas a análise química (Raij et al., 2001).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas. Os tratamentos foram as doses de boro equivalentes a 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 kg ha⁻¹. A definição dos tratamentos foi feita com base na recomendação de Quaggio et al. (2022). As parcelas foram constituídas por cinco plantas de café

espaçadas entre si por 0,5 m, com 3,7 m de espaçamento nas entrelinhas (9,25 m²). A área útil de cada parcela foram as 3 plantas centrais, desprezando 2 plantas nos extremos (5,55 m²).

Tabela 1. Atributos químicos do solo, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, na área experimental com a cultura do café arábica, safra zero, no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Prof.	P-resina	B	MO	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
cm	mg dm ⁻³		g dm ⁻³	CaCl ₂	-----mmol _c dm ⁻³ -----						%
0-20	26	1,07	27	4,8	7,8	63	20	37	91	128	71
20-40	23	0,96	26	4,8	7,6	54	19	32	81	112	72

As adubações foram feitas seguindo o manejo do produtor, de acordo com as recomendações para a cultura do café (QUAGGIO et al., 2022). Durante a condução do experimento foi feito o manejo cultural. Foram coletadas amostras de folhas de café em cada parcela na data de 07 de novembro de 2023. A amostragem das folhas foi feita dentro da área útil de cada parcela seguindo os procedimentos recomendados por Quaggio et al. (2022). As amostras de folhas e grãos de café foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP/FCAV, onde se determinaram os teores de macronutrientes e boro, conforme o método descrito por Carmo et al. (2000). A produtividade agrícola foi determinada com o objetivo de estimar a exportação de nutrientes; no entanto, esses dados não serão apresentados nesse trabalho, sendo destinados a uma publicação posterior em conjunto com as análises de qualidade da bebida.

Para avaliação estatística dos resultados das adubações com boro nas variáveis avaliadas foi feita análise de variância e regressão polinomial (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

Para os teores de macronutrientes nas folhas do cafeeiro não houve diferença significativa em função das doses de boro aplicadas no solo (**Tabela 2**).

Resultados e discussão

Tabela 2. Macronutrientes e boro nas folhas de café arábica em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Doses de B	N	P	K	Ca	Mg	S	B
kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----						mg kg ⁻¹
0	33 ^a	1,5 ^a	26 ^a	10 ^a	3 ^a	1,5 ^a	52,2 ^a
1,5	34 ^a	1,5 ^a	25 ^a	10 ^a	3 ^a	1,5 ^a	36,4 ^b
3	35 ^a	1,5 ^a	26 ^a	10 ^a	3 ^a	1,5 ^a	39,2 ^b
4,5	32 ^a	1,4 ^a	26 ^a	10 ^a	3 ^a	1,5 ^a	45,0 ^b
6,0	34 ^a	1,4 ^a	26 ^a	10 ^a	3 ^a	1,7 ^a	47,2 ^b
Média	34	1,5	26	10	3	1,5	44,4
CV (%)	9	7	5	8	7	12	15
F Blocos	1,7 ^{ns1}	6,61 ^{**}	2,41 ^{**}	3,61 ^{**}	5,32 ^{**}	0,35 ^{ns}	0,95 ^{ns}
F Parcelas	0,7 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,77 ^{ns}	0,54 ^{ns}	5,39 ^{**}

1^{ns}= não significativo; ** significativo a 5% de probabilidade.

Os teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro variaram de 32 a 33; 1,4 a 1,5; 25 a 26; e 1,5 a 1,7 g kg⁻¹ para N, P, K e S, respectivamente (**Tabela 2**). Para Ca e Mg os teores foram iguais em todas as doses de boro aplicadas e foram iguais a 10 e 3 g kg⁻¹, respectivamente (**Tabela 2**).

Os teores de nutrientes adequados nas folhas de café são de 25 g kg⁻¹ de N, 1,5 g kg⁻¹ de P, 25 g kg⁻¹ de K, 10 g kg⁻¹ Ca, 3 g kg⁻¹ de Mg e 1,5 g kg⁻¹ de S. Na média dos tratamentos com aplicação de doses de boro no solo, todos os macronutrientes estão na faixa considerada adequada para a cultura do cafeeiro (**Tabela 2**), de acordo com Quaggio et al. (2022).

Os resultados obtidos devem-se ao fato de que o boro aplicado no solo não apresenta interação fisiológica por competição na absorção de outros nutrientes. As exigências nutricionais são referentes às quantidades de nutrientes para atender as necessidades da planta para crescer e produzir adequadamente (FAQUIN, 2005).

Apesar de os teores de boro no solo estarem no limite das classes médio/alto nas camadas de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1), as concentrações de boro nas folhas do cafeeiro estavam baixas, menores que 60 mg kg^{-1} (Tabela 2), segundo Quaggio et al. (2022). Em relação aos tratamentos, tem-se que as concentrações foram maiores no controle, sem adubação com boro, e o aumento das doses de boro não resultou em maiores concentrações do nutriente nas folhas (Figura 1). Esse resultado sugere maior crescimento das plantas, com maior produção de massa e diluição do boro absorvido nos tecidos formados devido ao estímulo causado pela maior disponibilidade do nutriente no solo (FAQUIM, 2005).

Na avaliação dos teores de nutrientes nos grãos de café, não houve efeito dos tratamentos nos teores de nitrogênio e magnésio, indicando que a adubação com boro não alterou a assimilação ou a redistribuição desses elementos na planta. Para fósforo, potássio, cálcio, enxofre e boro ocorreu efeito significativo em relação às doses de boro no solo (Tabela 3).

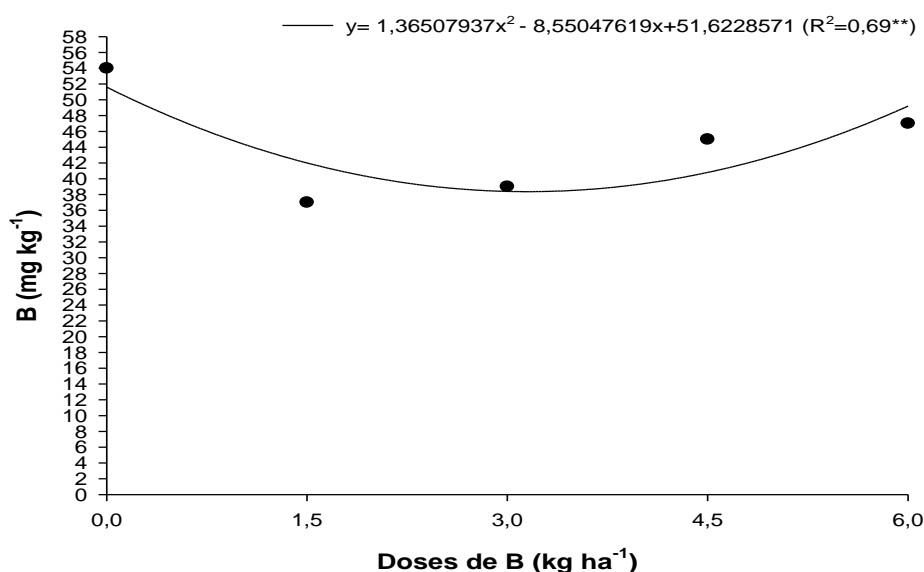


Figura 1. Boro nas folhas de café arábica em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

A aplicação de B promoveu efeito quadrático em relação ao fósforo, com ponto de máximo na dose de $2,25 \text{ kg ha}^{-1}$. Esse comportamento indica que doses moderadas de B favorecem a absorção ou a translocação de P para os grãos, enquanto doses mais elevadas reduzem seu transporte na planta (Figura 2). O B

contribui para a estabilização de membranas e paredes celulares, aumenta a mobilidade de açúcares e mantém a integridade do floema, fatores fundamentais para o transporte de P até os órgãos reprodutivos (CRISTÓBAL et al., 2019). Além disso, doses adequadas de B podem favorecer a expansão radicular, ampliando a interceptação das raízes ao fósforo no solo.

O potássio apresentou resposta quadrática às doses de boro, com ponto mínimo na dose de 2,3 kg ha⁻¹ de B, indicando redução nos teores em níveis intermediários e recuperação em doses mais altas (Figura 3). A redução de K pode ocorrer porque o B altera cargas negativas da parede celular, modulando a retenção de cátions como K, Ca e Mg (CRISTÓBAL et al., 2019). A recuperação dos teores de K em doses mais elevadas pode ocorrer por mecanismos compensatórios da planta, como ajustes osmóticos e maior atividade de transportadores (MALDONADO et al., 2024).

Para o cálcio, o efeito foi linear, incrementos adicionais de B tendem a favorecer a absorção e o acúmulo de Ca nos grãos (Figura 4).

Tabela 3. Macronutrientes e boro em grãos de café arábica em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Doses de B	N	P	K	Ca	Mg	S	B
kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----						mg kg ⁻¹
0	23 ^a	1,9a	21,1a	0,82a	1,92a	1,28a	11,2b
1,5	24 ^a	2,3a	20,6a	0,94a	2,1a	1,2a	8,4b
3	24 ^a	2a	19,8a	0,62b	2,04a	1,1b	12,8a
4,5	21 ^a	1,9a	21,1a	1,02a	2,12a	1,06b	13,4a
6,0	22 ^a	1,7b	22,2a	1,18a	2,14a	0,94c	13,6a
Média	24,8	1,95	20,86	0,91	2,06	1,11	11,88
CV (%)	12,54	14,13	7,66	24,44	12,1	7,96	18,98
F Blocos	2,18 ^{ns}	3,66 ^{**}	2,03 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,85 ^{ns}	3,34 ^{**}	0,68 ^{ns}
F Tratamentos	0,98 ^{ns}	5,66 [*]	4,70 [*]	4,56 [*]	0,63 ^{ns}	42,56 ^{**}	9,44 ^{**}

^{ns}= não significativo; ^{*} significativo a 1% e ^{**} significativo a 5% de probabilidade.

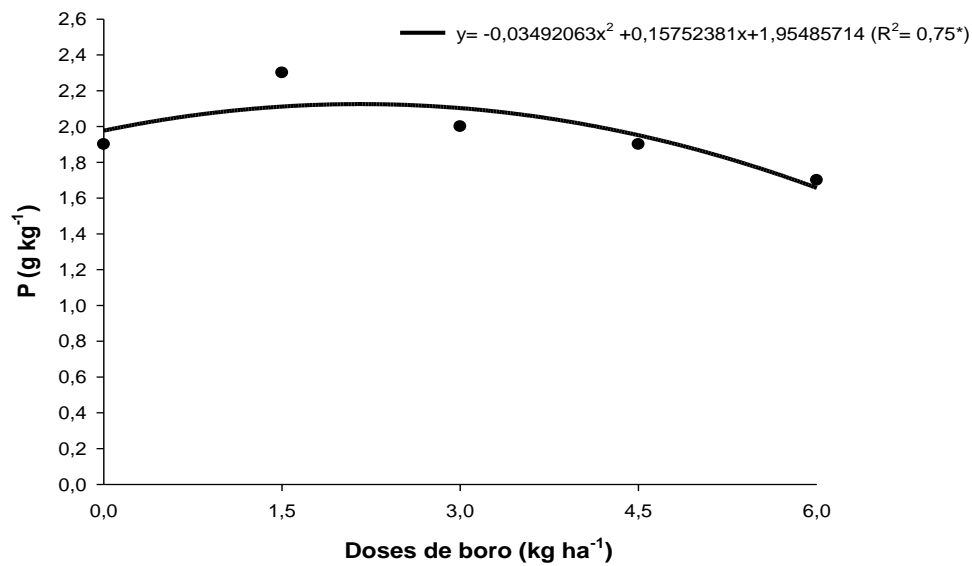


Figura 2. Fósforo em grãos de café em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

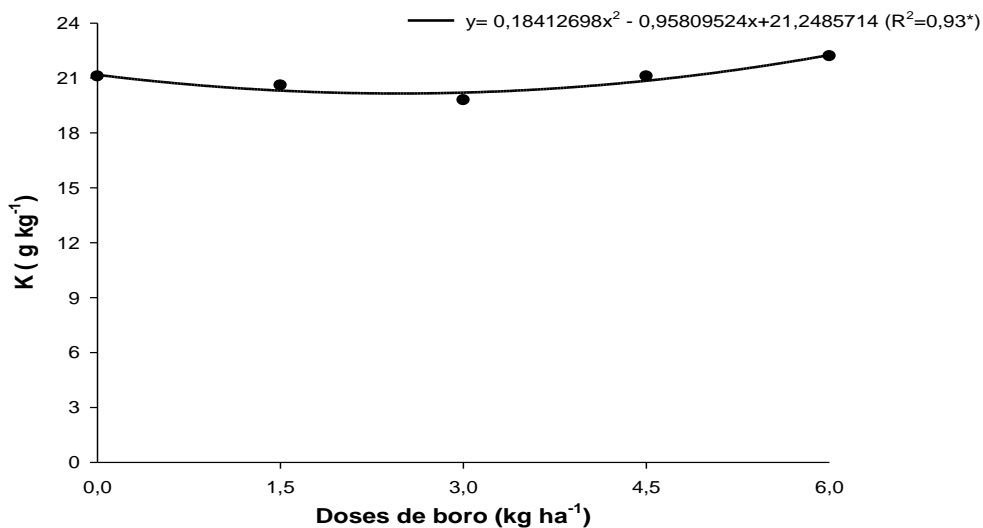


Figura 3. Potássio em grãos de café em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

O boro atua diretamente na biossíntese e organização das paredes celulares, contribuindo para a deposição de pectatos em sinergia com o Ca^{2+} e forma complexos de cisdiol-borato, que integram estruturalmente o plasmalema e participam da sua estabilidade. A interação entre B e Ca^{2+} desempenha um papel cooperativo na estabilização das membranas celulares por meio da formação de um complexo misto, no qual o Ca^{2+} se liga a ésteres de borato polihidroxilados ou

se associa diretamente a diferentes componentes da membrana (BROWN e SHELPS, 1997).

Para enxofre ocorreu efeito linear decrescente, com redução média de cerca de 27% entre o tratamento controle e a maior dose de B (**Tabela 3 e Figura 5**). O aumento das doses de boro no solo promoveu diminuição progressiva do teor de S nos grãos.

O boro apresentou efeito linear crescente, com acréscimo aproximado de 2,4 mg kg⁻¹ entre a ausência e a dose de 6 kg ha⁻¹, confirmando o efeito direto da adubação no acúmulo do elemento nos grãos e a eficiência de sua translocação via floema (**Tabela 3, Figura 6**).

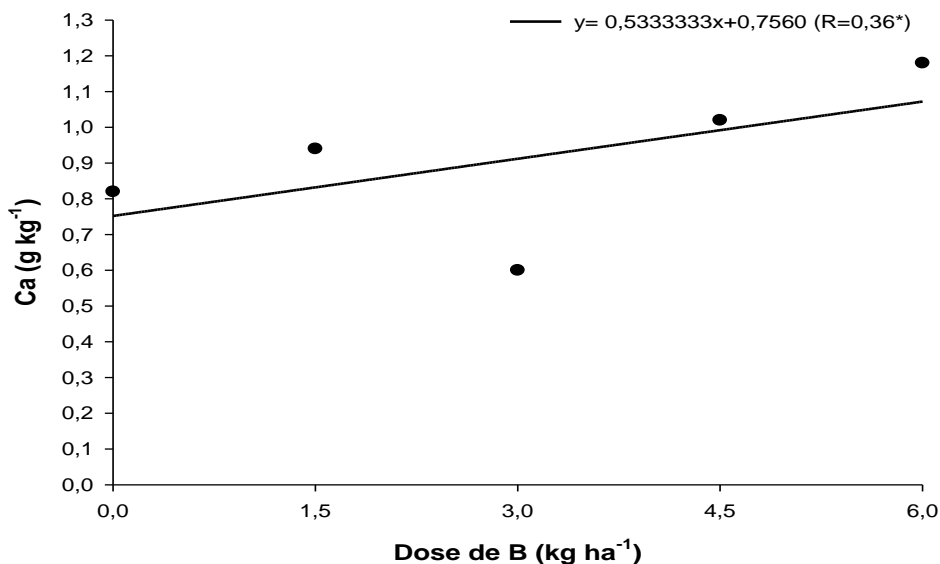


Figura 4. Cálcio em grãos de café em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

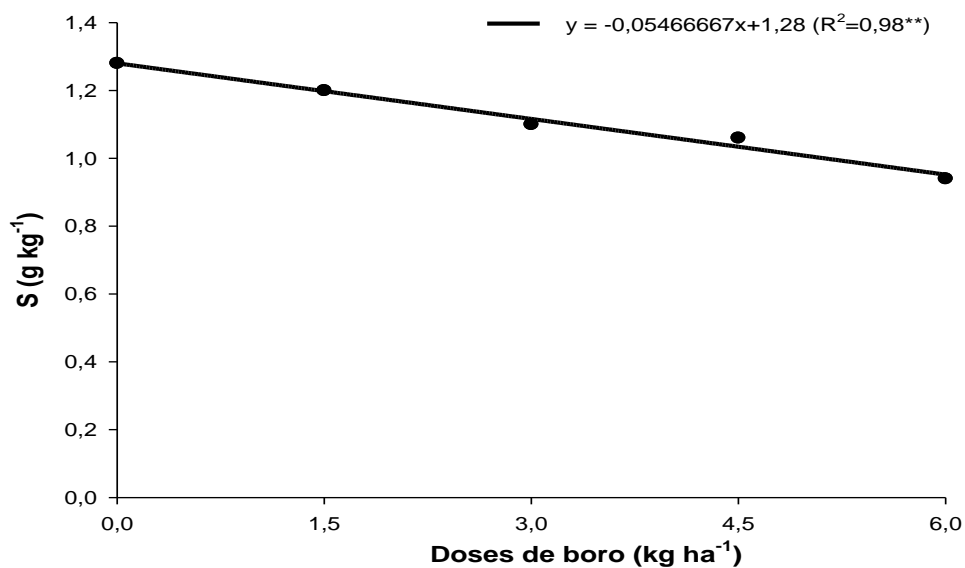


Figura 5. Enxofre em grãos de café em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

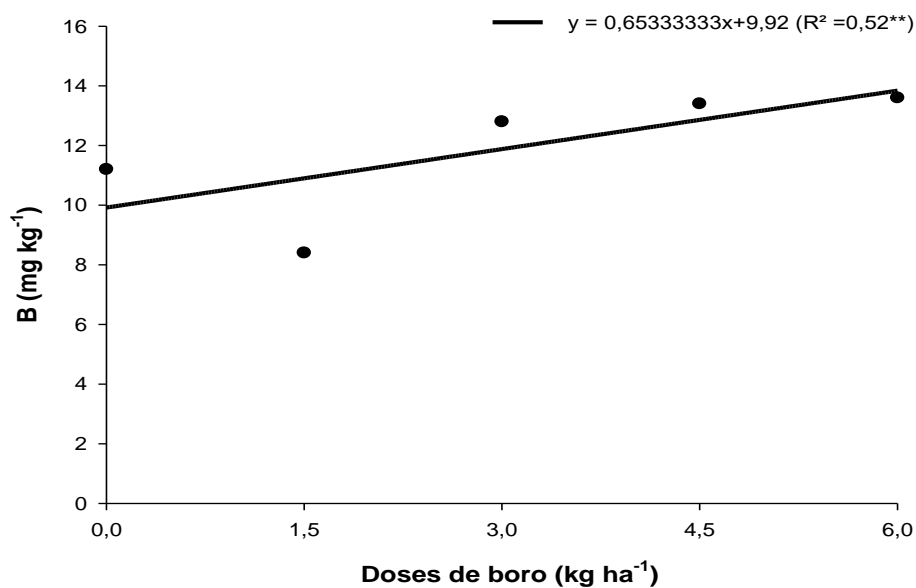


Figura 6. Boro em grãos de café em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

As quantidades acumuladas e exportadas de macronutrientes e boro nos grãos e na casca de café foram significativamente influenciados pelas doses de B aplicadas (**Tabela 4**).

Para N, as maiores médias foram verificadas nas doses de 1,5; 3,0 e 4,5 kg ha⁻¹, enquanto a ausência de aplicação e a dose de 6,0 kg ha⁻¹ apresentaram menores acúmulos (**Tabela 4**). O fósforo apresentou maior acúmulo nas doses de

1,5 e 3,0 kg ha⁻¹, ao passo que as doses extremas 0 e 6,0 kg ha⁻¹, resultaram nos menores valores e tendência semelhante foi observada para o enxofre (Tabela 4). A dose de 4,5 kg ha⁻¹ de B proporcionou os maiores acúmulos de K = 128 kg ha⁻¹, Ca = 7 kg ha⁻¹, Mg = 13 kg ha⁻¹ e B = 82 g ha⁻¹, diferindo estatisticamente das menores doses (Tabela 4). Os resultados demonstram que a aplicação de B promoveu incremento no acúmulo e na exportação de nutrientes até a dose de 4,5 kg ha⁻¹. A dose de 6,0 kg ha⁻¹ não proporcionou ganhos adicionais, limitando a atividade fisiológica ou início de efeito tóxico decorrente do excesso de boro (Tabela 4).

Tabela 4. Macronutrientes e boro exportados em grãos de café arábica em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Doses de B	N	P	K	Ca	Mg	S	B
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹
0	89b	7c	81b	3b	8c	5b	42c
1,5	124a	12a	111b	5b	11c	6a	44c
3,0	139a	12a	113b	4b	12b	6a	72b
4,5	130a	11b	128a	7a	13a	6a	82a
6,0	95b	7c	94b	5b	9c	4b	56c
Média	115,4	9,8	105,4	4,8	10,6	5,4	59,2
CV (%)	19	21,67	16,36	34	18,06	19,56	20,92
F Blocos	0,94 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,69 ^{ns}
F Tratamentos	18,93 ^{**}	24,44 ^{**}	16,50	5,86 [*]	21,09 ^{**}	19,05 ^{**}	12,74 ^{**}

^{ns}= não significativo; * significativo a 1% e ** significativo a 5% de probabilidade.

Houve efeito quadrático significativo para o teor de N exportado em grãos e cascas de café em função das doses de B aplicadas ao solo (Figura 7). Observou-se incremento nos acúmulos de N até a dose estimada de aproximadamente 3 kg ha⁻¹ de B, correspondente ao ponto de máxima eficiência (Figura 7). A partir dessa dose, houve redução na exportação, com decréscimo médio de 26,5 kg ha⁻¹ de N (Tabela 4). O manejo balanceado de nitrogênio e boro pode influenciar tanto a absorção quanto a utilização de N pelas plantas, e a interação desses nutrientes

impacta a eficiência de uso e a produtividade da cultura da cultura do café (GHIMIRE e GAIRHE, 2025).

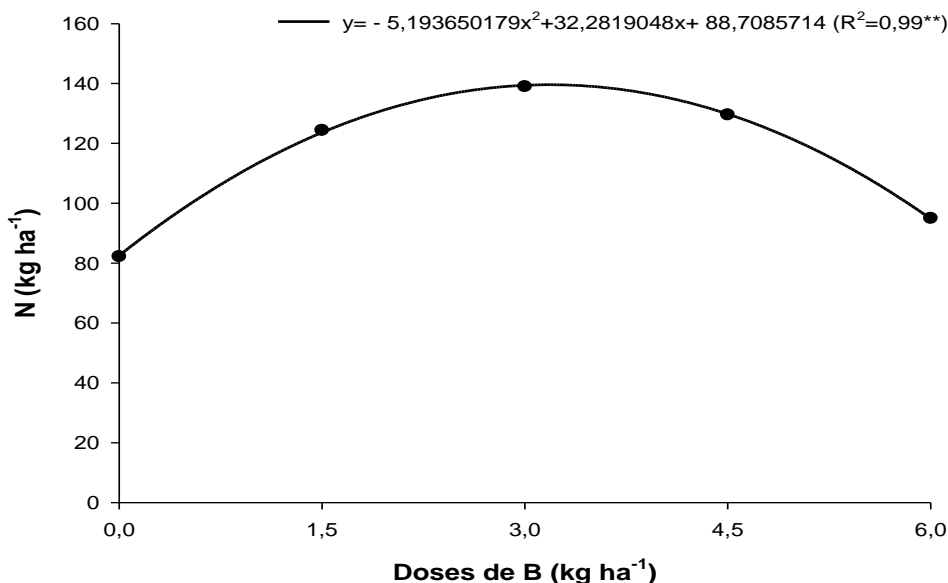


Figura 7. Nitrogênio exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Para o acúmulo de P em grãos de café, também houve resposta quadrática em função das doses de boro, com aumento até a dose de 2,95 kg ha⁻¹, e exportação próximo de 12 kg ha⁻¹ de P (**Figura 8**).

A adubação com micronutrientes, especialmente B, pode alterar a dinâmica de absorção e exportação de macronutrientes pelos frutos, uma vez que o desenvolvimento e o crescimento dos grãos determinam a demanda por fósforo durante a fase reprodutiva (MATIELLO et al., 2024). Dessa forma, o incremento do acúmulo de P em grãos de café até a dose de 2,95 kg ha⁻¹ de B e posteriormente redução desse acúmulo em doses maiores caracteriza equilíbrio nutricional na cultura do café (**Tabela 4 e Figura 8**).

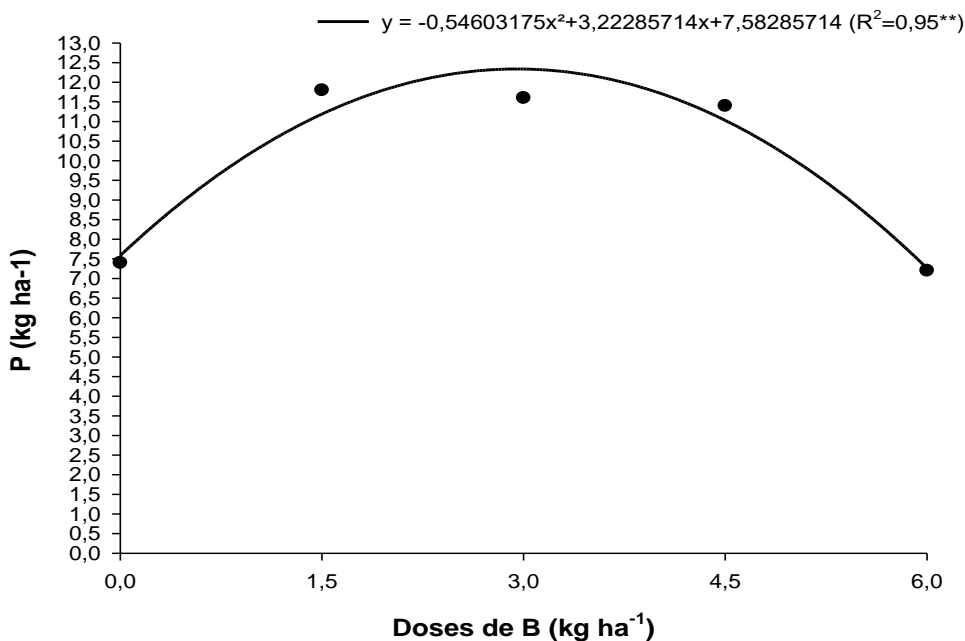


Figura 8. Fósforo exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Para o potássio, a dose máxima exportação foi de 3,4 kg ha⁻¹ de B, resultando em 123 kg ha⁻¹ de K exportados em grãos de café, conforme ajuste quadrático (**Figura 9**).

O potássio é considerado o nutriente mais exportado pelo cafeeiro. Os teores médios de K exportados podem variar de 1,3 e 1,6 kg por saca de 60 kg de café beneficiado (MALAVOLTA, 2006). A exportação estimada de K nesse trabalho variou entre 122 e 146 kg ha⁻¹, valor próximo aos 123 kg ha⁻¹. O incremento produtivo promove maior remoção de K da área, reforçando a elevada exigência desse nutriente pelo cafeeiro (**Tabela 4 e Figura 9**).

Para cálcio ocorreu efeito linear, ou seja, à medida que as doses de B no solo aumentaram a exportação de Ca nos grãos de café também aumentou, diminuindo com a dose de 6 kg ha⁻¹ (**Tabela 4 e Figura 10**).

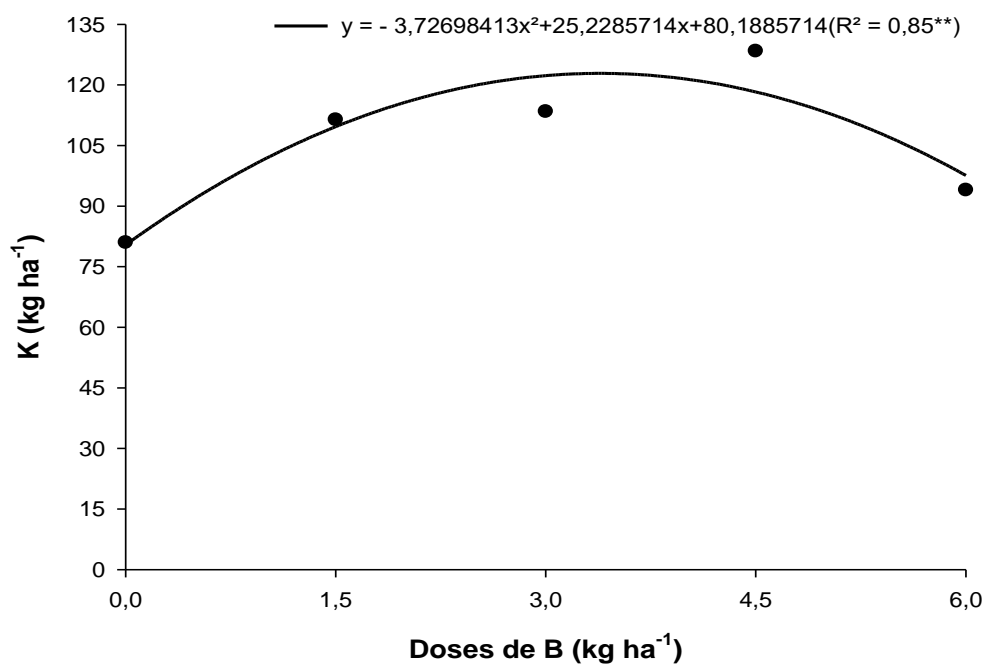


Figura 9. Potássio exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

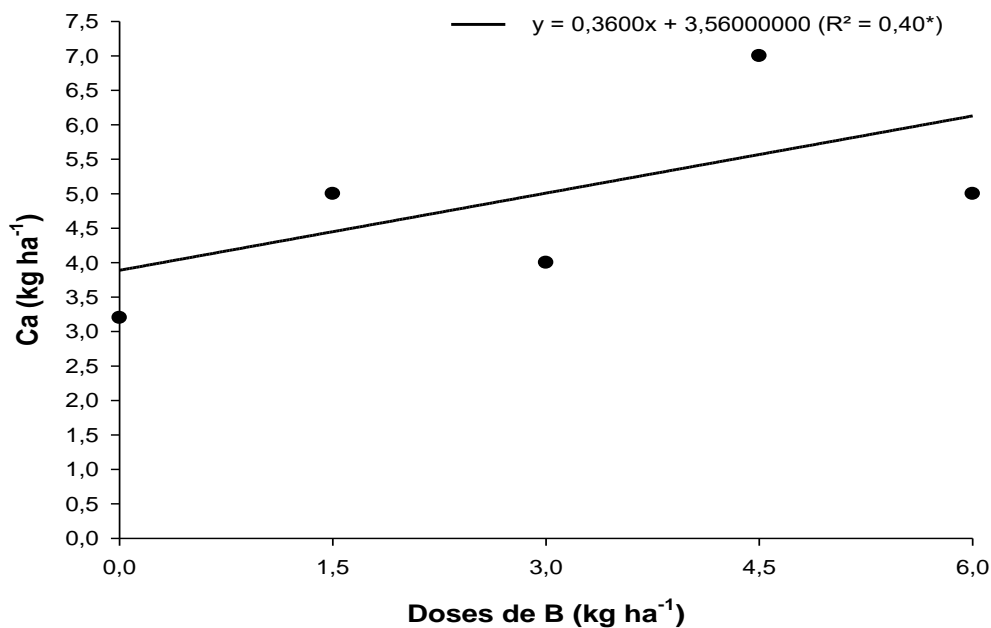


Figura 10. Cálcio exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Em relação ao acúmulo de magnésio em grãos de café houve efeito quadrático na dose de 3,3 kg ha⁻¹ de B, semelhante a dose encontrada para o potássio, de 3,4 kg ha⁻¹ (Figura 9 e 11). O teor de Mg exportado, quando usada a dose de 3,3 kg ha⁻¹, foi de 12,7 kg ha⁻¹. Segundo Malavolta (1993) os acumulados

médios de magnésio em cascas e grãos de café são iguais a 132 gramas por saca de 60 kg.

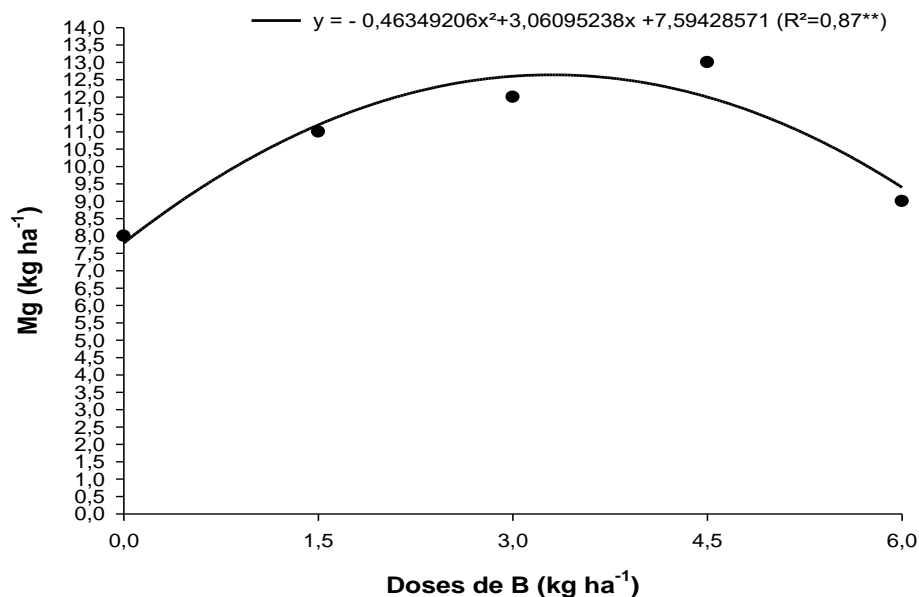


Figura 11. Magnésio exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Houve ajuste quadrático do acúmulo de enxofre nos grãos, com incremento de resposta até a dose de 2,7 kg ha⁻¹, na qual se observou valor máximo de aproximadamente 7 kg ha⁻¹ de S, seguido de decréscimo nas doses maiores (Figura 12). O acúmulo de S por sacas de 60 kg é igual a 126 gramas (MALAVOLTA, 1993).

Para a exportação de B, observou-se resposta quadrática positiva até a dose estimada de 3,94 kg ha⁻¹, valor 0,69 kg ha⁻¹ (Figura 13). Esse comportamento divergiu das doses ótimas observadas para os demais macronutrientes, cuja média foi de 3,0 kg ha⁻¹ (Tabela 4; Figuras 7, 8, 9, 11 e 12). O valor estimado de exportação de B foi de 72 g ha⁻¹ (Tabela 5 e Figura 14). De acordo com Malavolta (1993), o acúmulo de boro em grãos e casca de café é da ordem de 2 g por saca de 60 kg.

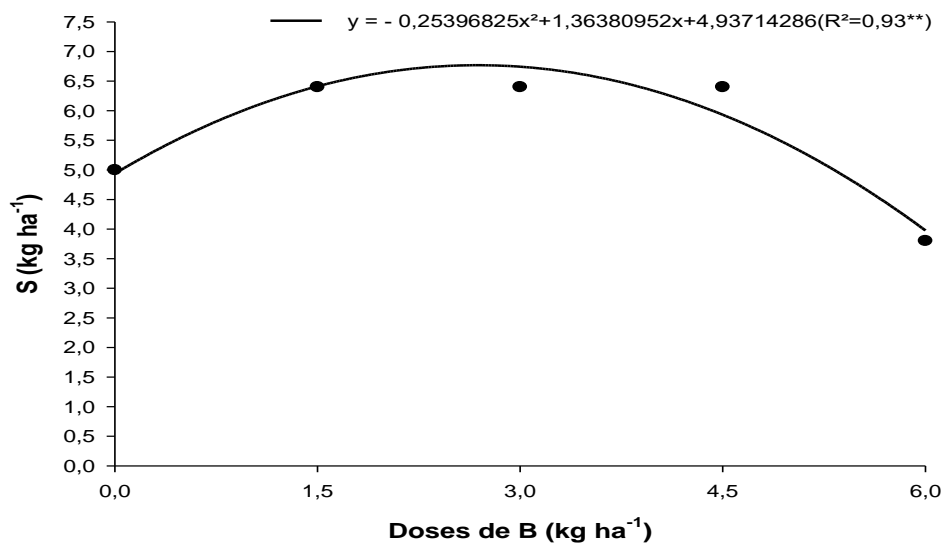


Figura 12. Enxofre exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

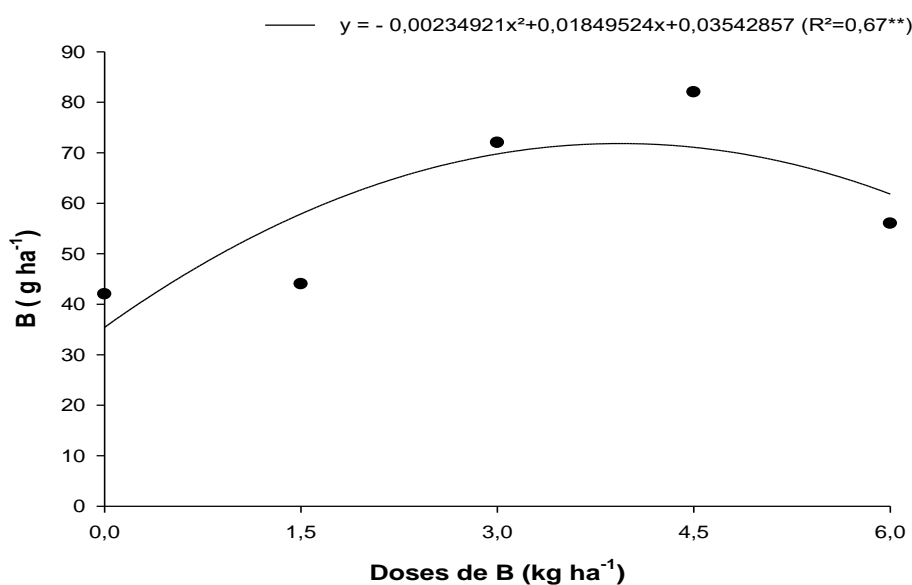


Figura 13. Boro exportado em grãos de café, em função das doses de boro aplicadas no solo no município de Santo Antônio do Amparo (MG).

Conclusões

Para os teores de macronutrientes nas folhas do cafeeiro não houve diferença. Nos grãos de café, N e Mg não foram influenciados, enquanto P, K, Ca, S e B responderam às doses de boro aplicadas. O P, K apresentaram respostas, efeito quadrático com doses próximas médias de 2,4 kg ha⁻¹ de B. Para o Ca e o B houve efeito linear em função das doses de B no solo. O excesso de boro promoveu efeito de linear para o S com

redução de aproximadamente 27%. O acúmulo e a exportação de nutrientes foram incrementados até doses entre 3,0 e 4,5 kg ha⁻¹ de B. Houve efeito quadrático para N, P, Mg, S e B que na média responderam a dose de 3,0 kg ha⁻¹ de B. O K foi o nutriente mais exportado com ponto máximo na dose de 3,4 kg ha⁻¹. O Ca apresentou incremento linear à medida que aumentava a dose de boro no solo. A dose de 6,0 kg ha⁻¹ não proporcionou ganhos adicionais, indicando limitação ao aumento das doses de boro.

Referências

BAPTISTELA, J. L. C. **Florada do café: cuide bem das flores e colha bons frutos**. 2019. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/florada-do-cafe/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

CRISTÓBAL, C., J. J.; REJANO, M, E. M.; RODRÍGUEZ, H., M. B.; GOCHICOA N., M. T.; REXACH, J., FONTES, G.; A.BORON. Deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.142, p.581-592, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, 2026. Disponível em: <chrome-extension://Efaidnbmnnnibpcjajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/1o-levantamento-de-cafe-safra-2026/boletim-de-safras-cafe-fevereiro-26.pdf>. Acesso: 16 de abr. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Produção total de café em nível mundial foi estimada em 174,9 milhões de sacas de 60 kg para doze meses**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/99010562/artigo---producao-total-de-cafe-em-nivel-mundial-foi-estimada-em-1749-milhoes-de-sacas-de-60kg-para-doze-meses>. Acesso: 16 de abr. 2026.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER). **Minas gerais deve alcançar produção recorde de café na safra 2020**. 2020. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/minas-gerais-deve-alcançar-produção-recorde-de-café-na-safra-2020/?flagweb=novosite_pagina_interna&id=25195#:~:text=A%20safra%202020,de%20café%20produzido%20no%20estado>. Acesso: 25 de mar.2023.

FAQUIN, V. R. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, p.185.

LONG, X.; PENG, X. Interactions between boron and other elements in plants. **Genes**, v. 14, n. 1, p.130, 2023.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993, p.210.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, p.630.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; PAIVA, A. C. R.; DIAS, J. R.; FRANCO, L. **Deficiência de boro em mudas de café por efeito de pH alto no substrato**. *CafePoint*. 2015. Disponível em:<

<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/deficiencia-de-boro-em-mudas-de-cafe-por-efeito-de-ph-alto-no-substrato-97209n.aspx#>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R.; SANTINATO, R. **Cultura do Café no Brasil: Manual de Recomendações**. 11. ed. Varginha, MG: Fundação Procafé, 2024. ISBN 978-8566870978. 797 p.

MESQUITA, C. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR. M. A.; MORAIS, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R.M.; ARAÚJO, W.G. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. p.72.

MALDONADO, V. E.; ZHAO, D.; ZHANG, Y.; WANG, X. Boron: transport, toxicity, and role in plant development. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p.1332459, 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). **Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2023/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>. Acesso: 16 de abr. 2026.

QUAGGIO, J. A.; THOMAZIELLO, R. A.; RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H. Interpretação dos teores de nutrientes foliares. In: Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Mattos Jr., D.; Boaretto, R. M; RAIJ, B. van; (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 2022. p.167. (Boletim técnico, 100)