

JAQUELINE APARECIDA MARCON

**FORNECIMENTO DE MAGNÉSIO VIA SOLO E FOLIAR NA CULTURA DA
BATATA**

Botucatu

2026

JAQUELINE APARECIDA MARCON

**FORNECIMENTO DE MAGNÉSIO VIA SOLO E FOLIAR NA CULTURA DA
BATATA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia/Agricultura.

Orientador: Rogério Peres Soratto

Botucatu

2026

M321f

Marcon, Jaqueline Aparecida

Fornecimento de magnésio via solo e foliar na cultura da batata / Jaqueline Aparecida Marcon. -- Botucatu, 2026
129 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Rogério Peres Soratto

1. Solanum tuberosum. 2. adubação magnesiana. 3.
adubação foliar. 4. produtividade. 5. qualidade de tubérculos. I.
Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: FORNECIMENTO DE MAGNÉSIO VIA SOLO E FOLIAR NA CULTURA DA BATATA

AUTORA: JAQUELINE APARECIDA MARCON

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Presencial)
Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA


Pesquisadora Sr. THAIS REGINA DE SOUZA CHIACHIA (Participação Virtual)
Agronomia, Pesquisa e Desenvolvimento / Yara Fertilizantes


Pesquisador Dr. RENATO YAGI (Participação Virtual)
Estação de Pesquisa de Ponta Grossa / Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná


Professor Doutor ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Presencial)
Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES (Participação Presencial)
Ciência Florestal, Solos e Ambiente / UNESP / Câmpus de Botucatu - FCA

Botucatu, 27 de fevereiro de 2026.

*Aos meus amados pais,
Laerte e Oneida, que me ensinaram desde cedo o
valor do trabalho, da persistência e da dedicação.
Ao meu companheiro, Adevair, pelo apoio diário,
compreensão e incentivo ao longo desta jornada.
Assim como na agricultura, este trabalho é fruto de
tempo, cuidado e perseverança.*

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por me conceder saúde, força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Nos momentos de incerteza, foi a fé que me sustentou e me permitiu seguir em frente com confiança e gratidão.

À minha família, que é a base de tudo. Aos meus pais, Laerte e Oneida, pelo amor incondicional, incentivo constante e por acreditarem nos meus sonhos mesmo nos momentos mais difíceis. Aos meus irmãos e familiares, pelo apoio, compreensão e carinho ao longo de toda essa trajetória.

Ao meu marido, Adevaír, pelo amor, companheirismo, paciência e apoio incondicional ao longo de toda essa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela orientação, confiança, disponibilidade e ensinamentos compartilhados ao longo do meu tempo de pós-graduação. Levarei os ensinamentos dessa convivência para a vida.

Ao Dr. Renan José Parecido, pelo auxílio na condução dos experimentos 1, 2 e 3.

A todos os professores e funcionários da FCA.

Aos colegas de pós-graduação e de laboratório, pelo convívio, troca de conhecimentos, apoio nos trabalhos de campo e laboratoriais e pelos momentos de amizade que tornaram essa caminhada mais leve. Em especial a Westefann, Bárbara e Júlio.

Ao grupo GEFEM, por toda colaboração na condução dos experimentos.

Ao CERAT – Centro de Raízes e Amidos Tropicais da UNESP, pela infraestrutura, apoio técnico e científico disponibilizados para a condução dos experimentos e análises que fundamentaram este trabalho. Agradeço em especial o técnico de campo Elder Mattos pela colaboração, disponibilidade e contribuição ao longo de todas as etapas desta pesquisa.

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

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação acadêmica, profissional e pessoal ao longo desta trajetória. A todos, o meu sincero reconhecimento e gratidão.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

COLLIER, R. **The secret of the ages**. New York: P.F. Collier & Son, 1926.

RESUMO

O magnésio (Mg) desempenha papel fundamental no metabolismo vegetal, atuando diretamente na fotossíntese, no transporte de fotoassimilados e no enchimento dos tubérculos da cultura da batata. Entretanto, informações sobre estratégias eficientes de fornecimento desse nutriente na cultura da batata ainda são limitadas, especialmente quanto à forma de aplicação, via solo e via foliar, ou sua combinação. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do fornecimento de Mg via solo e foliar sobre a nutrição mineral, o crescimento, a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata. Foram conduzidos sete experimentos de campo, entre os anos de 2021 e 2023, em diferentes municípios do sudoeste de São Paulo, utilizando-se as cultivares Agata (seis) e Orchestra (um). Em todos os experimentos, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×4 , composto pela ausência e presença de Mg via solo (50 kg ha^{-1} , tendo como fonte o sulfato de magnésio monoidratado), combinadas com quatro doses de Mg via foliar (0, 150, 300 e 600 g ha^{-1} , usando como fonte uma suspensão de hidróxido de magnésio), com cinco repetições. Avaliaram-se o índice relativo de clorofila (IRC), os teores foliares de macro e micronutrientes, o acúmulo de matéria seca e de Mg pela cultura, os componentes da produção, a produtividade e atributos de qualidade dos tubérculos. De modo geral, a aplicação de Mg via solo promoveu incrementos nos teores foliares de Mg, no acúmulo total do nutriente na planta e na produtividade de tubérculos, mesmo em solos com teores considerados adequados. A aplicação de Mg via foliar apresentou efeito complementar, especialmente em estádios críticos de desenvolvimento, resultando em aumentos no IRC, no peso médio dos tubérculos e na proporção de tubérculos da classe especial, com respostas dependentes do ambiente de cultivo, mas com os melhores resultados obtidos principalmente com a dose de 300 g ha^{-1} de Mg. A combinação do fornecimento de Mg via solo e foliar favoreceu o equilíbrio nutricional da cultura, a partição de fotoassimilados e a melhoria de atributos relacionados à qualidade dos tubérculos, como firmeza, pH e acidez titulável. Conclui-se que o manejo integrado do Mg, por meio da adubação via solo associada a pulverizações foliares, constitui estratégia eficiente para otimizar a nutrição, a produtividade e a qualidade da batata em diferentes condições edafoclimáticas.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*; adubação magnésiana; adubação foliar; produtividade; qualidade de tubérculos.

ABSTRACT

Magnesium (Mg) plays a fundamental role in plant metabolism, acting directly in photosynthesis, photoassimilate transport, and tuber filling of potato crop. However, information regarding efficient strategies for Mg supply for potato crop remains limited, particularly concerning the method of application, whether via soil or foliar application, or a combination combination. This study aimed to evaluate the effects of Mg supply via soil and foliar application on mineral nutrition, plant growth, tuber yield, and tuber quality of potato. Seven field experiments were conducted between 2021 and 2023 in different municipalities of southwestern São Paulo state, Brazil, using the cultivars Agata (six) and Orchestra (one). In all experiments, the experimental design was a randomized block design in a 2 × 4 factorial scheme, consisting of the absence and presence of Mg applied via soil (50 kg ha⁻¹, using monohydrate magnesium sulfate as a source), combined with four foliar-applied Mg rates (0, 150, 300, and 600 g ha⁻¹, using a magnesium hydroxide suspension as a source), with five replications. The relative chlorophyll index (RCI), leaf concentrations of macro- and micronutrients, accumulation of dry matter and Mg by the crop, yield components, tuber yield, and tuber quality attributes were evaluated. Overall, soil Mg fertilization increased leaf Mg concentration, total Mg accumulation in the plant, and tuber yield, even in soils with Mg levels considered adequate. Foliar Mg application showed a complementary effect, especially at critical growth stages, increasing the RCI, tuber mean weight, and the proportion of marketable tubers, with responses varying according to the growing environment, but with the best results obtained mainly with the rate of 300 g ha⁻¹ Mg. The combined Mg supply via soil and foliar applications improved nutritional balance, photoassimilate partitioning, and tuber quality attributes, such as firmness, pH, and titratable acidity. It is concluded that integrated Mg management, through soil application associated with foliar sprays, is an efficient strategy to optimize nutrition, yield, and tuber quality of potato under different edaphoclimatic conditions.

Keywords: *Solanum tuberosum*; magnesium fertilization; foliar fertilization; yield; tuber quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Desdobramento da interação do índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 31-36 DAE em São Manuel 2023 em resposta a doses de Mg via foliar49
- Figura 2 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (N e P) Itapeva 2023 (A) e São Manuel 2023 (B), em resposta a doses de Mg via foliar..57
- Figura 3 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (K e Ca) na folha diagnose K – Itapeva 2023 (A), Ca – Paranapanema 2021 (B), e Ca – Pardinho 2023 (C), em resposta a doses de Mg via foliar61
- Figura 4 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (Mg e S) na folha diagnose Mg – São Manuel 2022 (A), S – Paranapanema 2023 (B) E Pardinho 2023 (C), em resposta a doses de Mg via foliar66
- Figura 5 - Desdobramento da interação do teor de micronutrientes (B) na folha diagnose no experimento de Paranapanema 2023, em resposta a doses de Mg via foliar69
- Figura 6 - Desdobramento da interação do teor de Mg no resto da planta (Mg – PA) em São Manuel 2022 avaliados antes da dessecação, em resposta a doses de Mg via foliar77
- Figura 7 - Desdobramento da interação do peso médio de tubérculo na cultura da batata em São Manuel 2022 em resposta a doses de Mg via foliar82
- Figura 8 - Produtividade total de tubérculos em São Manuel 2022 (A), tubérculos da classe especial em Paranapanema 2021 (B), São Manuel 2022 (C), Paranapanema 2023 (D) em resposta a doses de Mg via foliar.....87
- Figura 9 - Desdobramento da interação da proporção da produtividade da classe especial em Paranapanema 2021 (A), São Manuel 2022 (B), Paranapanema 2022 (C) e Paranapanema 2023 (D) em resposta a doses de Mg via foliar90
- Figura 10 - Desdobramento da interação dos teores de N em Itapeva 2023 (A), P em Itapeva 2023 e Pardinho 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar.....93

Figura 11 - Desdobramento da interação dos teores de Ca em Itapeva 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar.....	96
Figura 12 - Desdobramento da interação do teor de Mg em Paranapanema 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar.....	98
Figura 13 - Ph São Manuel 2023 (A) e Pardinho 2023 (B) e acidez titulável Paranapanema 2023 (C) da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, em resposta a doses de Mg via foliar.....	106
Figura 14 - Teores de amido Paranapanema 2023 (A) e açúcares redutores Paranapanema 2023 (B) e Pardinho 2023 (C), nos tubérculos, avaliados na colheita final, em resposta a doses de Mg via foliar	111

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Caracterização edafoclimática das áreas experimentais conduzidas entre 2021 e 2023, abrangendo sete locais no estado de São Paulo, Brasil ..35
- Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados nos experimentos.....37
- Tabela 3 - Especificações dos produtos utilizados nos tratamentos37
- Tabela 4 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 18-27 e 31-36 dias após a emergência (DAE), da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)48
- Tabela 5 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 40-51 e 54-73 dias após a emergência (DAE), da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)51
- Tabela 6 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de N e P na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)...55
- Tabela 7 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de K e Ca na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)...59
- Tabela 8 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mg e S na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)...64
- Tabela 9 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de B, Cu e Fe na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)...68
- Tabela 10 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mn e Zn na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de

magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP) 70

- Tabela 11 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Mg na folha diagnose, avaliado aos 45 dias após a emergência, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 71
- Tabela 12 - Teste de médias e resumo da análise de variância para quantidade de matéria seca acumulada no resto da planta e nos tubérculos, avaliada antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP) 73
- Tabela 13 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Mg no resto da planta e nos tubérculos, avaliado antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP) 75
- Tabela 14 - Teste de médias e resumo da análise de variância para quantidade de Mg acumulada na planta (parte área + tubérculos), avaliada antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 78
- Tabela 15 - Teste de médias e resumo da análise de variância para população final de plantas e número de hastes por planta da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP) 79
- Tabela 16 - Teste de médias e resumo da análise de variância para número de tubérculos por planta e peso médio de tubérculo da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 81
- Tabela 17 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a produtividade total de tubérculos e de tubérculos da classe especial da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 86

Tabela 18 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a proporção da produtividade da classe especial e percentagem de matéria seca nos tubérculos da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP).....	89
Tabela 19 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de N e P nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	92
Tabela 20 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de K e Ca nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	95
Tabela 21 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mg e S nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	97
Tabela 22 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de B e Cu nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	99
Tabela 23 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Fe e Mn nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	100
Tabela 24 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Zn nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)	101

- Tabela 25 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a firmeza e sólidos solúveis da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 103
- Tabela 26 - Teste de médias e resumo da análise de variância para pH e acidez titulável da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 105
- Tabela 27 - Teste de médias e resumo da análise de variância para teores de amido e açúcares redutores nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)..... 110

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1	Cultura da batata	25
2.2	Magnésio no Solo e na Cultura da Batata	26
2.3	Fornecimento Foliar de Magnésio na Cultura da Batata	30
2.4	Magnésio na Qualidade de Tubérculos de Batata	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Localização e caracterização edafoclimática das áreas experimentais ..	34
3.2	Delineamento experimental, tratamentos e amostragem.....	36
3.3	Instalação e condução dos experimentos.....	37
3.4	Avaliações	41
3.4.1	Índice relativo de clorofila.....	41
3.4.2	Determinação dos teores foliares de nutrientes	41
3.4.3	População final, números de hastes por planta e acúmulo de matéria seca e magnésio	42
3.4.4	Número e peso médio de tubérculos, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos	43
3.4.5	Determinação dos teores de nutrientes nos tubérculos na colheita	44
3.4.6	Firmeza, sólidos solúveis, pH e acidez titulável de polpa dos tubérculos	44
3.4.7	Teores de amido e açúcares redutores nos tubérculos.....	45
3.5	Análise estatística	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Índice Relativo de Clorofila.....	47
4.2	Teores Foliares de Nutrientes	52
4.3	Matéria seca e teor de magnésio acumulado do resto da planta e tubérculos	71
4.4	População de plantas, número de hastes e tubérculos por planta e peso médio de tubérculos.....	78
4.5	Produtividade e classificação dos tubérculos	82
4.6	Teores de nutrientes nos tubérculos na colheita	90
4.7	Firmeza da polpa, sólidos solúveis, pH e acidez titulável.....	101

4.8	Amido e açúcares redutores	107
5	CONCLUSÕES	112
	REFERÊNCIAS.....	113
	APÊNDICE A – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2021, em Paranapanema-SP.....	121
	APÊNDICE B – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de abril a julho de 2022, em São Manuel-SP	123
	APÊNDICE C – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de julho a novembro de 2022, em Paranapanema-SP.....	124
	APÊNDICE D – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de maio a agosto de 2023, em São Manuel-SP	126
	APÊNDICE E – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de junho a outubro de 2023, em Itapeva-SP	127
	APÊNDICE F – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2023, em Paranapanema-SP.....	128
	APÊNDICE G – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2023, em Pardinho-SP.....	129

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das culturas alimentícias mais relevantes do mundo, ocupando a terceira posição em consumo global, ao lado de arroz e trigo. Seu elevado valor energético, conteúdo de proteínas e nutrientes, aliado ao ciclo relativamente curto e à alta produtividade, a consolidam como um alimento estratégico para a segurança alimentar (Fernandes; Soratto, 2016). Essas características, contudo, fazem da batateira uma planta altamente exigente em nutrientes, cuja adequada nutrição mineral é essencial para alcançar altos rendimentos e assegurar a qualidade dos tubérculos, aspecto decisivo para os mercados *in natura* e industrial.

Dentre os nutrientes essenciais, o magnésio (Mg) destaca-se por desempenhar funções centrais no metabolismo vegetal, incluindo a síntese e partição de carboidratos, a biossíntese de ácidos nucleicos e proteínas, além da ativação de enzimas e participação direta na fotossíntese. Pela sua importância fisiológica, o Mg exerce influência significativa tanto no crescimento vegetativo quanto na qualidade final dos tubérculos destinados ao consumo e ao processamento (Farhat *et al.*, 2016).

Apesar de essencial, o Mg tem recebido atenção limitada em pesquisas agrônomicas, sobretudo sobre doses e modos de aplicação (Chitdeshwari *et al.*, 2025). No Brasil, a bataticultura é conduzida frequentemente em solos ácidos e com baixos teores de Mg. A prática da calagem, principal alternativa de baixo custo para suprimento do nutriente, ainda encontra resistência entre produtores devido ao risco de aumentar a incidência de sarna comum (*Streptomyces* spp.) em condições de pH mais elevado.

Além disso, mesmo em solos com a acidez corrigida, a adubação potássica intensiva, característica da cultura, pode induzir um desequilíbrio por competição catiônica, reduzindo a absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} , efeito que se torna mais crítico em solos com altos teores de K, onde a relação K:Mg é drasticamente alterada durante o enchimento do tubérculo.

Os estudos nacionais sobre adubação magnesiana em batata ainda são escassos. Entretanto, pesquisas recentes desenvolvidas na FCA/Unesp indicam que o fornecimento de Mg via solo incrementa a produtividade e qualidade da batata, inclusive em áreas com teores considerados adequados do nutriente, possivelmente

em função do melhor equilíbrio nutricional e da maior realocação de fotoassimilados para os tubérculos (Garreto, 2022; Soratto *et al.*, 2022). Permanece, entretanto, a questão sobre a forma de aplicação mais eficiente (via solo, via foliar ou a combinação de ambas), capaz de otimizar a nutrição e a eficiência de uso do Mg.

Com base nesse contexto, formularam-se as seguintes hipóteses: i) o fornecimento de Mg pode influenciar a nutrição, o crescimento e o desenvolvimento da batateira, resultando em maior produtividade; ii) a aplicação de Mg via solo, associada a pulverizações foliares, pode melhorar a absorção do nutriente e sua eficiência de utilização; iii) o fornecimento adequado de Mg pode potencializar a produção de fotoassimilados e sua translocação para os tubérculos na fase de enchimento, refletindo em maior produtividade e melhor qualidade.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do fornecimento de Mg via solo e foliar sobre a nutrição mineral, o crescimento, a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da batata

Considerada um alimento estratégico para a segurança alimentar global, a batata apresenta importância nutricional expressiva, sendo fonte primordial de carboidratos, vitaminas e minerais (White *et al.*, 2009; Fernandes; Soratto, 2016). Embora apresente teores proteicos quantitativamente reduzidos, os tubérculos fornecem proteínas de alta qualidade biológica, além de aminoácidos essenciais e fibras (Braun *et al.*, 2011)

A batata ocupa uma posição de destaque no cenário agrícola global, com uma posição de destaque no cenário agrícola global, com uma produção que atingiu aproximadamente 357 milhões de toneladas em 2022, sendo a China o maior produtor mundial, seguido pela Índia (FAO, 2023). O Brasil consolida-se como o 21º maior produtor mundial, com uma colheita estimada em 3,8 milhões de toneladas distribuídas em 117 mil hectares, o que confere ao país uma produtividade média de 33 t ha⁻¹ (FAO, 2023). No cenário interno, a produção nacional é liderada pelo estado de Minas Gerais (1,28 milhão de toneladas), seguido pelo Paraná (778,4 mil toneladas) e São Paulo (688,5 mil toneladas) (IBGE, 2022).

No Brasil, a diversidade climática entre as diferentes regiões produtoras permite o cultivo da batata ao longo de todo o ano. De acordo com as características regionais, distinguem-se três safras principais: a safra das águas (plantio entre agosto e novembro), a safra da seca (janeiro a março) e a safra de inverno (maio a julho) (Silva; Lopes, 2015).

Botanicamente, a batata pertence à família *Solanaceae*, gênero *Solanum*, sendo *Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* a espécie de maior relevância econômica (Fortes; Pereira, 2003). É uma planta de porte herbáceo, originária da região dos Andes e ilha de Chiloé e arquipélago de Chonos no sul do Chile, na América do Sul (Lizana *et al.*, 2021). O órgão de interesse econômico é o tubérculo, que corresponde a um caule modificado capaz de acumular reservas de amido e outros nutrientes, conferindo à planta resistência em condições adversas, como as baixas temperaturas típicas de altitudes elevadas (Filgueira, 2003).

Os tubérculos constituem importante fonte de carboidratos, sobretudo amido, além de fornecerem vitaminas como ácido ascórbico (vitamina C) e vitaminas do

complexo B, essenciais para a saúde humana (Mouillé; Charrondière; Burlingame, 2010).

O sistema radicular da batateira é superficial e pouco desenvolvido, com maior concentração de raízes até 30 cm de profundidade, característica que a torna exigente à disponibilidade de água e nutrientes no solo (Hopkins; Hansen, 2019). No Brasil, em função do ciclo relativamente curto, entre 90 e 110 dias, e das elevadas produtividades por área, a cultura é altamente responsiva à adubação. Assim, o manejo adequado da adubação é essencial para assegurar equilíbrio nutricional, otimizar a eficiência no uso dos fertilizantes, maximizar a produtividade, reduzir custos de produção e mitigar impactos ambientais (Fernandes; Soratto, 2016).

2.2 Magnésio no solo e na cultura da batata

A deficiência de Mg é uma limitação comum para a produção agrícola devido aos baixos níveis de Mg^{2+} disponível no solo, especialmente em solos ácidos, o que prejudica a sustentabilidade do desenvolvimento agrícola (Wang *et al.*, 2020). Embora seja exigido em quantidades menores quando comparado ao nitrogênio e ao potássio, o Mg é um macronutriente vital, com influência direta na produtividade e qualidade da batata, sendo crucial para a produção e transporte de fotoassimilados (Koch *et al.*, 2019).

No sistema solo-planta, a absorção de Mg pelas raízes das plantas ocorre predominantemente por fluxo de massa e difusão, sendo a absorção um processo mediado por transportes específicos nos pelos radiculares. A eficiência desses mecanismos é dependente da atividade do íon Mg^{2+} na solução do solo e da sua interação com a troca catiônica nos coloides, sendo fortemente influenciada por fatores edáficos como pH e teores de matéria orgânica (Martinez; Marotta; Mangas, 2021).

O Mg^{2+} absorvido do solo pelas plantas é transportado via xilema para a parte aérea, contudo, por ser um elemento altamente móvel na planta, sua redistribuição para os tecidos meristemáticos e folhas jovens ocorre predominantemente via floema. Em situação de baixa disponibilidade de Mg, o nutriente é prontamente remobilizado através do transporte ativo no floema, movendo-se das folhas mais velhas para as mais novas. Por esses motivos, os sintomas visuais de deficiência geralmente se manifestam primeiro nas folhas basais antes de aparecerem na recém-expandidas

(Pitchay; Mikkelsen, 2018). Embora a deficiência de Mg possa inibir o transporte via floema, a exportação do nutriente para os drenos pode ser rapidamente restaurada quando o Mg é novamente fornecido às plantas (Cakmak; Kirkby, 2008).

Já na planta, o Mg é um elemento altamente móvel e participa de processos fundamentais como na biossíntese de clorofila, proteínas e ácidos nucleicos, formação de raízes, fosforilação, fixação de dióxido de carbono (CO₂), partição e utilização de fotoassimilados, carregamento via floema, geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), fotooxidação em tecidos foliares reações enzimáticas, como ativação da Rubisco e PEPcarboxilase e resistência a doenças (Shaul, 2002; Rodrigues *et al.*, 2022).

Já a deficiência de Mg é um distúrbio nutricional comum em plantas, representando um problema significativo que afeta tanto a produtividade quanto a qualidade das culturas (Aitken *et al.*, 1999). Aproximadamente 90 a 98% do Mg presente no solo está ligado à estrutura cristalina dos minerais, o que o torna indisponível diretamente para as plantas. A única forma de Mg passível de absorção pelas plantas é o íon Mg²⁺, que se caracteriza por possuir o menor raio iônico e o maior raio hidratado entre os principais cátions absorvidos pelas raízes (como K⁺ e Ca²⁺). Essa característica química única resulta em uma ligação fraca entre o Mg²⁺ e os coloides do solo com carga negativa, assim como as bordas das células radiculares, facilitando a deficiência de Mg trocável no solo (Ahmed *et al.*, 2023).

Os sintomas comuns da deficiência de Mg incluem crescimento retardado e clorose internerval nas folhas mais velhas progredindo para as mais jovens (Farhat, 2014). Em geral, uma concentração de Mg abaixo de 1 a 2 mg g⁻¹ de peso seco da folha está associada ao início da clorose (Hermans; Verbruggen, 2005). Uma resposta inicial das plantas à deficiência de Mg é o acúmulo de carboidratos nas folhas e a redução do crescimento das raízes devido à menor disponibilidade de carboidratos para essas partes (Alisson *et al.*, 1997).

Além disso, a deficiência de Mg em plantas geralmente se manifesta através de sintomas como arquitetura anã e manchas necróticas. Esses sintomas resultam na redução do conteúdo de clorofila e na fixação de CO₂, além de comprometer o metabolismo do carbono (Hermans *et al.*, 2010a). A deficiência é mais evidente nas partes aéreas das plantas, enquanto os efeitos no desenvolvimento das raízes e na distribuição de biomassa entre raiz e parte aérea podem variar (Hermans *et al.*, 2010b). Durante a germinação ou nas fases jovens, a deficiência de Mg causa uma

redução severa no crescimento das raízes. Devido a isso, a baixa produção de matéria seca (MS) foi observada inicialmente nas raízes, posteriormente na parte aérea do trevo, pinheiro, pimenta e feijão (Bouma; Dowling; Wahjoedi, 1979; Cakmak; Hengeler; Marschner, 1994; Sol; Payn; 1999; Riga; Anza; Garbisu, 2005).

Fundamentalmente, a ocorrência de deficiência de Mg pode ser atribuída a duas razões principais, sendo elas a deficiência absoluta e competição catiônica. A deficiência absoluta pode ser causada por baixos teores de Mg nas rochas de origem, perdas de Mg do solo devido à mobilização e subsequente lixiviação e práticas desequilibradas de fertilização a longo prazo, que negligenciam o esgotamento de Mg do solo pela remoção das culturas (Papenfur; Schlichtin, 1979; Van Der Pol; Traore, 1993; Grzebisz, 2011). A competição catiônica gera o desequilíbrio de nutrientes no solo. É bem conhecido que a absorção de Mg é fortemente influenciada pela disponibilidade de outros cátions, como NH_4^+ , Ca^{2+} e K^+ . Os desequilíbrios de nutrientes no solo podem ser causados tanto por fatores relacionados ao solo quanto por práticas inadequadas de fertilização. Ambas as deficiências estão intimamente relacionadas e devem ser consideradas em conjunto (Römheld; Kirkby, 2007).

Ainda, em solos de baixa fertilidade, a lixiviação de Mg pode chegar a 25 kg por hectare, mas pode aumentar para 40 a 70 kg por hectare, a depender de várias condições, como tipo de solo e cultura, condições ambientais e volume de drenagem (Gransee; Fühns, 2013).

Na cultura da batata, exigência nutricional de Mg e Ca intensifica-se a partir do início da tuberização, permanecendo elevada até a maturação. O período de maior demanda para o Mg ocorre, predominantemente, entre 42 e 63 dias após o plantio (DAP), coincidindo com a fase crítica de enchimento dos tubérculos, enquanto para o Ca esse intervalo situa-se entre 44 e 73 DAP (Pitchay; Mikkelsen, 2018) Como esses intervalos podem variar significativamente em função da cultivar das condições de cultivo, o fornecimento equilibrado de ambos os nutrientes é determinante para garantir a integridade fisiológica e o desenvolvimento qualitativo dos tubérculos (Garretto, 2022).

Em média, são absorvidos cerca de 0,5 kg de Mg para cada tonelada de tubérculo produzido, enquanto aproximadamente 0,2 kg de Mg são exportados por tonelada de tubérculo colhido (Fernandes; Soratto, 2012). As variedades Agata e Asterix de batata extraem, respectivamente, 8 e 12 kg ha^{-1} de Mg do solo, exportando

entre 7,0 e 8,0 kg ha⁻¹ desse nutriente através dos tubérculos (Fernandes; Soratto; Silva, 2011).

A maior parte do Mg absorvido pela batateira é acumulada nos tubérculos, representando entre 43 e 88% do total máximo acumulado pela planta. Essa amplitude considerável reflete as distintas taxas de extração e exportação entre as variedades, como observado nas cultivares Agata e Asterix, além de ser influenciada pelas condições de cultivo que determinam a eficiência da realocação do nutriente da parte aérea para os tubérculos durante a fase de enchimento. (Fernandes; Soratto; Silva, 2011).

Sob a ótica econômica, o fornecimento de Mg e Ca via calagem ainda representa a forma mais acessível de suprimento nutricional para a cultura (Fernandes; Soratto; Silva, 2011; Rodrigues *et al.*, 2022). No entanto, a batata é frequentemente cultivada em solos com baixos níveis de Mg e pH relativamente ácidos e ainda muitos produtores negligenciam a importância da calagem e a evitam nesses solos por medo de que o aumento do pH cause uma maior incidência de sarna comum (*Streptomyces* spp) nos tubérculos (Fernandes; Soratto, 2012).

Pesquisas sobre a fertilização com Mg na cultura da batata mostram que a aplicação adequada de Mg pode melhorar significativamente o crescimento, o rendimento e a qualidade dos tubérculos. Estudos revelam que a deficiência de Mg pode levar a sintomas como clorose nas folhas mais velhas, crescimento reduzido e menor resistência a doenças. A fonte kieserita tem mostrado resultados superiores em comparação com outras formas de Mg, promovendo um aumento mais pronunciado na concentração de Mg nas folhas e no rendimento da colheita (LOPES, 2018; ZENGIN *et al.*, 2008). Orlovius e McHoul (2015) observaram claros aumentos na concentração de Mg nas folhas e no rendimento das culturas da batata e da beterraba açucareira resultantes da aplicação de 60 kg ha⁻¹ de Mg das fontes fertilizantes de magnesita calcinada e Kieserita. Sendo que o aumento médio na concentração de Mg nas folhas e no rendimento da colheita foi mais acentuado com o uso de kieserita.

Em estudo realizado para determinar o nível crítico de Mg para Latossolos Vermelhos da Índia cultivados com a cultura da batata, Chitdeshwari *et al.* (2025) avaliaram seis doses de MgSO₄ (0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg ha⁻¹) aplicadas no sulco de plantio. Os autores estabeleceram como nível crítico 42 mg kg⁻¹ de Mg no solo e 0,27% no tecido vegetal na fase de floração, verificando resposta positiva e

economicamente viável à adubação magnesiana, especialmente em solos deficientes, com dose ótima em torno de 60 kg MgSO₄ ha⁻¹.

Em condições brasileiras, Garreto (2022) demonstrou que a aplicação de Mg na forma de sulfato de magnésio monohidratado (kieserita) promove incrementos significativos no índice relativo de clorofila, no acúmulo de matéria seca e na produtividade de tubérculos, independentemente da cultivar avaliada. A autora observou que a maior parte do nutriente absorvido é translocado para os tubérculos, o que otimiza a qualidade industrial ao elevar o teor de amido e reduzir os açúcares redutores e totais. Notavelmente, os ganhos de rendimento ocorreram mesmo em solos com teores elevados de Mg²⁺ (9 a 14 mmol_c dm⁻³), com responsividade seguindo a ordem Agata > Asterix > Orchestra. Além disso, verificou-se que a época de aplicação (plantio ou amontoa) exerce pouca influência sobre a nutrição e a produtividade da cultura.

2.3 Fornecimento foliar de magnésio na cultura da batata

A adubação foliar constitui uma estratégia complementar ao fornecimento de nutrientes via solo, permitindo rápida absorção e correção de deficiências nutricionais. Em estudo realizado com aplicação via foliar de sulfato de potássio associado a micronutrientes na forma de quelatos houve aumento na produtividade da batata de 45 para 71 t ha⁻¹ (Gaj; Borowski-Beszta, 2020).

No caso do Mg, essa via de aplicação tem sido estudada como alternativa, principalmente na forma de sulfato de potássio (K₂SO₄), eficiente para otimizar o estado nutricional das plantas e melhorar o rendimento agrícola, especialmente em culturas de alta exigência, como a batata (Koch *et al.*, 2020).

O fornecimento foliar de Mg é particularmente relevante em situações em que a absorção radicular é limitada por fatores edáficos, tais como acidez do solo, baixa disponibilidade do nutriente na solução, elevada lixiviação ou competição catiônica com K⁺, Ca²⁺ e amônio (NH₄⁺) (Mikkelsen, 2010; Römheld; Kirkby, 2007). Nessas condições, a aplicação foliar atua como uma ferramenta de rápida absorção para suprimento do nutriente em estádios críticos de desenvolvimento.

De modo geral, a eficiência da absorção foliar depende de fatores como concentração da solução, estágio fenológico, condições ambientais, solubilidade das fontes e forma química do Mg aplicado. Compostos como o, óxido de Mg (MgO),

sulfato de Mg ($\text{MgSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})$), cloreto de Mg ($(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$), epsomita ($(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$), acefato de Mg ($\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) e nitrato de Mg ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) apresentam elevada solubilidade e rápida absorção, sendo as fontes mais indicadas para pulverizações (Kanjama, 2020; Rodrigues *et al.*, 2022). Estudos têm demonstrado que aplicações foliares de Mg podem promover aumento do teor de clorofila, intensificar a fotossíntese e favorecer a translocação de carboidratos para os tubérculos (Cakmak; Yazici, 2010).

Na cultura da batata, a fase de maior demanda por Mg ocorre entre 42 e 63 dias após o plantio, período que coincide com o enchimento dos tubérculos (Fernandes; Soratto, 2012). Assim, aplicações foliares realizadas nesse intervalo são estratégicas para maximizar a absorção e utilização do nutriente. Farhat *et al.* (2016) observaram que pulverizações foliares com MgSO_4 resultaram em incremento significativo no teor foliar de Mg e no acúmulo de MS, refletindo em maior rendimento de tubérculos. Resultados semelhantes foram relatados por Orlovius e McHoul (2015), que verificaram aumento no teor de amido e na qualidade de processamento com a adubação foliar de Mg.

Além de corrigir deficiências nutricionais, o fornecimento foliar de Mg pode desempenhar papel preventivo, mantendo níveis adequados do nutriente ao longo do ciclo da batata. Em solos com baixos teores de Mg, a combinação de adubação via solo e pulverizações foliares tem se mostrado mais eficiente, elevando a eficiência de uso do nutriente e reduzindo riscos de deficiência em fases críticas do cultivo (Rodrigues *et al.*, 2022).

A suplementação via foliar atua como uma ferramenta imediata para o suplemento de Mg, especialmente em cultivos de alta exigência nutricional e em solos propensos a perdas por lixiviação. A definição criteriosa do manejo nutricional é, todavia, determinante para assegurar o retorno econômico, devendo a escolha da fonte e da época de aplicação estar alinhada à dinâmica de translocação do nutriente e às necessidades específicas de cada fase do ciclo da batateira.

2.4 Magnésio na qualidade de tubérculos de batata

Embora o Mg desempenhe funções centrais na fotossíntese e no transporte de fotoassimilados, seu efeito direto nos parâmetros de qualidade dos tubérculos raramente é abordado com a mesma profundidade que os seus impactos na

produtividade (Gerendas; Fuhrs, 2013). A qualidade dos tubérculos de batatas é um parâmetro complexo, e as características desejadas variam conforme a destinação para o mercado (Franco; Delgado, 2022).

Para tubérculos destinados ao consumo *in natura*, um parâmetro qualitativo determinante é a textura após o cozimento, classificada na literatura técnica em categorias que varia de cerosa (baixo teor de amido) a farinhenta (elevado teor de amido) (Gerendas; Fuhrs, 2013). Embora essas características sejam regidas primordialmente pelo genótipo, fatores de manejo que otimizam a translocação de carboidratos, como a nutrição magnésiana, podem influenciar significativamente a deposição de amido e, conseqüentemente, a qualidade culinária final (Feltran; Lemos; Vieites, 2004).

Para a produção de amido, a concentração de amido nos tubérculos é o critério de qualidade mais essencial. O teor de MS também desempenha um papel significativo na produção de batatas destinadas ao processamento industrial, como batatas fritas, salgadinhos ou produtos instantâneos secos. Altos níveis de MS garantem uma menor absorção de óleo, resultando em mais produto por unidade de óleo e melhorando tanto a textura quanto a forma do produto final (Feltran; Lemos; Vieites, 2004). A influência do Mg na fotossíntese e na translocação de fotoassimilados eleva a qualidade dos tubérculos, resultando em maior teor de amido e resistência ao armazenamento (Marschner, 2011; Gerendas; Fuhrs, 2013).

Nesse contexto, Saaseea e Al-a'amry (2018) avaliaram o efeito da aplicação foliar de Mg em diferentes concentrações (0,500 e 1000 mg L⁻¹), associada ou não à aplicação de cálcio e ácido húmico, sobre o crescimento, a produtividade e a capacidade de armazenamento de tubérculos de batata. Os autores observaram que a aplicação foliar de Mg, especialmente na concentração de 1000 mg L⁻¹, promoveu incrementos significativos no número de folhas, na área foliar, no número de tubérculos por planta e no rendimento por planta, além de aumentar o acúmulo de matéria seca e o teor de proteína nos tubérculos após o armazenamento. Além disso, a adubação foliar com Mg contribuiu para a redução das perdas pós-colheita, refletidas pela menor incidência de danos e pela diminuição da perda de massa dos tubérculos durante o período de armazenamento. Esses resultados reforçam o papel do Mg foliar na intensificação da atividade fotossintética, no transporte de carboidratos e na melhoria da qualidade e da produtividade da cultura da batata.

Alguns estudos, evidenciam que a aplicação de Mg resulta em tubérculos de tamanho maior. Esse aumento no tamanho dos tubérculos está associado a um maior rendimento da colheita e a um produto com melhor qualidade para comercialização (Zengin *et al.*, 2008; Orlovius; Mchoul, 2015). Em estudo realizado com sulfato de magnésio observou-se aumento da firmeza das batatas com a aplicação de 115 kg ha⁻¹, em solo em faixa de nutrientes adequadas (Klein *et al.*, 1982). Avaliando o rendimento e concentração de amido em uma variedade de ciclo tardio, Cepl (1994) observou incremento nesses parâmetros com as doses de 40 e 80 kg Mg ha⁻¹.

Dessa forma, considerando o papel central do Mg nos processos fotossintéticos e no transporte de fotoassimilados, é esperado que sua adequada disponibilidade exerça influência marcante sobre os atributos de qualidade dos tubérculos, especialmente aqueles de interesse para a indústria de processamento (Gerendás; Führs, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi constituído por sete experimentos, conduzidos em condições de campo na região sudoeste do estado de São Paulo, entre 2021 e 2023. Os experimentos foram realizados com a cultivar Agata, exceto o estudo conduzido em Pardinho –2023, no qual foi utilizada a cultivar Orchestra.

Os experimentos foram distribuídos conforme segue:

- Experimento 1: Paranapanema 2021 (23°23'32" S; 48°43'56" W);
- Experimento 2: São Manuel 2022 (22°44'02" S; 48°34'16" W);
- Experimento 3: Paranapanema 2022 (23°23'32" S; 48°43'56" W);
- Experimento 4: São Manuel 2023 (22°46'22"S; 48°34'11"W);
- Experimento 5: Itapeva 2023 (23°41'31"S; 49°01'21"W);
- Experimento 6: Paranapanema 2023 (23°31'31"S; 48°40'14"W);
- Experimento 7: Pardinho 2023 (23°10'06"S; 48°23'41"W).

3.1 Localização e caracterização edafoclimática das áreas experimentais

Os experimentos 1, 3 e 6, realizados em Paranapanema-SP, foram cultivados em área comercial pertencente à Rodrigues Furtado Agropecuária. Os experimentos 2 e 4, realizados no município de São Manuel-SP, foram cultivados na Fazenda Experimental da FCA/Unesp. O experimento 5 foi conduzido em Itapeva-SP, na propriedade do produtor José Carlos Fernandes. E por fim, o exp. 7 foi realizado em Pardinho-SP, em área comercial pertencente ao produtor Ivan Fornaziero.

As localidades dos experimentos apresentam clima subtropical ou temperado quente úmido, com verão marcado por temperaturas elevadas e precipitação mais intensa, e inverno mais seco e ameno. Em Paranapanema, as temperaturas médias oscilam entre ~14 °C e ~30 °C ao longo do ano, com verões abafados e chuvas bem distribuídas, e inverno mais ameno. Já em São Manuel, o clima é classificado como Cfa (mesotérmico úmido) segundo Köppen, com temperaturas médias anuais entre ~13 °C e ~29 °C, e verões úmidos e invernos mais tranquilos. Em Itapeva e Pardinho, observam-se padrões anuais semelhantes ao do interior paulista: amplitudes moderadas, chuvas concentradas no verão e variação de umidade considerável.

A caracterização edafoclimática das áreas experimentais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização edafoclimática das áreas experimentais conduzidas entre 2021 e 2023, abrangendo sete locais no estado de São Paulo, Brasil

Informação	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Areia (%)	21,0	82,2	32,3	81,9	50,3	22,0	90,7
Silte (%)	13,2	9,7	10,2	5,7	10,4	17,2	1,3
Argila (%)	65,8	8,1	57,5	12,4	39,3	60,8	8,0
pH (CaCl ₂)	5,1	6,0	5,1	5,3	5,6	5,0	5,5
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	33	23	23	15	13	35	9
P-resina (mg dm ⁻³)	51	143	45	89	129	50	2
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	161	1	181	4	8	30	3
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	58	14	48	17	12	12	10
K (mmol _c dm ⁻³)	4,9	1,6	4,8	2,2	4,2	3,1	0,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	57	35	88	26	66	46	10
Mg (mmol _c dm ⁻³)	14	6	15	4	15	14	5
CTC (mmol _c dm ⁻³)	133	56	125	50	117	107	25
Saturação por bases (%)	57	76	62	66	73	60	61
B (mg dm ⁻³)	0,55	0,07	0,35	0,15	0,56	0,44	0,06
Cu (mg dm ⁻³)	1,7	2,4	1,3	1,8	2,6	2,1	0,1
Fe (mg dm ⁻³)	20	44	25	75	49	29	22
Mn (mg dm ⁻³)	2,7	9,2	1,4	11,5	7,3	14,5	0,8
Zn (mg dm ⁻³)	1,6	3,9	1,4	4,0	4,8	4,6	0,2
Temperatura máxima (°C)	26,4	25,6	26,5	26,3	27,2	28,7	29,6
Temperatura mínima (°C)	15,0	14,9	15,2	14,4	14,7	17,1	17,7
Temperatura média (°C)	19,7	19,3	20,1	20,4	21,0	22,9	23,6
Precipitação (mm)	212	102	252	185	106	422	502
Irrigação (mm)	117	223	94	217	141	45	51
Total (mm)	329	325	346	402	247	467	553

Nota: P-resina = fósforo extraído por resina; S-SO₄²⁻ = sulfato disponível; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação por bases.

Os solos onde os experimentos foram conduzidos apresentaram ampla variabilidade textural, com teores de areia variando entre 21,0 e 90,7%, silte entre 1,3 e 17,2% e argila de 8,0 a 65,8%, refletindo desde solos de textura arenosa a argilosa, característicos das principais regiões produtoras de batata no estado de São Paulo (Tabela 1). O pH em CaCl₂ variou de 5,1 a 6,0, indicando predomínio de solos levemente ácidos, condição comum em áreas de cultivo intensivo de hortaliças. Os teores de matéria orgânica oscilaram de 9 a 35 g dm⁻³, enquanto os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ apresentaram amplitude de 10 a 88 mmol_c dm⁻³ e de 4 a 15 mmol_c dm⁻³,

respectivamente, evidenciando diferenças na fertilidade natural e no histórico de manejo de cada local. Os teores de P extraído por resina oscilaram de 2 a 143 mg dm⁻³, enquanto os teores de sulfato (SO₄²⁻) variaram de 1 a 181 mg dm⁻³. A capacidade de troca catiônica (CTC) variou de 25 a 133 mmol_c dm⁻³, com saturação por bases entre 52 e 76%, valores considerados adequados ao desenvolvimento da cultura. De modo geral, os solos apresentaram teores adequados de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), compatíveis com sistemas agrícolas de alta produtividade.

Durante o ciclo da batata, as temperaturas médias oscilaram entre 19,3 e 23,6 °C, com médias máximas de 25,6 a 29,6 °C e mínimas de 14,4 a 17,7 °C, condições consideradas favoráveis ao crescimento e enchimento dos tubérculos (Tabela 1). A precipitação total registrada variou de 102 a 502 mm, complementada por lâminas de irrigação entre 45 e 223 mm, aplicadas conforme a necessidade hídrica da cultura em cada local-ano. Essas variações edafoclimáticas conferem representatividade aos ambientes experimentais, permitindo avaliar de forma abrangente o efeito do fornecimento de Mg em diferentes condições de adubação, solo e clima sobre o desempenho agrônômico da batateira.

3.2 Delineamento experimental, tratamentos e amostragem

Em todos os experimentos, o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com cinco repetições. Foram avaliados oito tratamentos, resultantes da combinação entre a ausência e a presença de aplicação de Mg via solo, associadas a quatro doses de Mg via foliar (Tabela 2). As especificações e composições dos produtos utilizados encontram-se descritas na Tabela 3.

Cada unidade experimental foi constituída por cinco fileiras de plantas com 5 m de comprimento. Para as avaliações, foram consideradas as três fileiras centrais, desconsiderando-se 0,5 m em cada extremidade, de modo a reduzir o efeito de bordadura.

A aplicação via solo foi realizada no sulco de plantio. As aplicações foliares de Mg foram realizadas em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, conforme o cronograma de cada experimento: aos 23 e 51 dias após a emergência (DAE) no exp. 1; aos 27 e 51 DAE no exp. 2; aos 18 DAE no exp. 3; aos 22 e 43 DAE no exp. 4; e aos 20 e 42 DAE nos exps. 5, 6 e 7.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados nos experimentos

Tratamento	Mg via solo (kg ha ⁻¹)	Mg via foliar (g ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	0	150
T3	0	300
T4	0	600
T5	50	0
T6	50	150
T7	50	300
T8	50	600

As aplicações via solo foram realizadas com o sulfato de magnésio monohidratado (kieserita).

As aplicações de Mg via foliar foram realizadas com o produto YaraVita Magtrac 500, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Tabela 3 - Especificações dos produtos utilizados nos tratamentos

Produtos	Composição/Descrição
Sulfato de magnésio monohidratado – kieserita	15% de Mg e 20% de S
Suspensão de hidróxido de magnésio - YaraVita Magtrac 500	300 g L ⁻¹ de Mg e 60 g L ⁻¹ de N

3.3 Instalação e condução dos experimentos

O preparo do solo foi realizado de forma convencional nos sete experimentos, mediante operações de subsolagem e gradagens sucessivas, com o objetivo de promover a descompactação e a adequada uniformização das áreas experimentais.

No exp. 1, conduzido em Paranapanema no ano de 2021, o plantio foi mecanizado, realizado em 6 de agosto, utilizando-se espaçamento de 0,90 m entre fileiras e aproximadamente 0,32 m entre tubérculos-semente, visando atingir uma população estimada de 34.700 plantas por hectare. Foram utilizados tubérculos-semente tipo I (diâmetro superior a 45 mm) da cultivar Agata. O tratamento de sulco foi realizado conforme o manejo adotado pelo produtor, utilizando os fungicidas fluazinam (1000 g i.a. ha⁻¹) e tifluzamida (480 g i.a. ha⁻¹), e os inseticidas clorpirifós (900 g i.a. ha⁻¹), imidacloprido (196,8 g i.a. ha⁻¹) e fipronil (160 g i.a. ha⁻¹). Todas as parcelas receberam 1400 kg ha⁻¹ de TOP-PHOS 280HP (3% N, 28% P₂O₅, 17% Ca e 5% S), correspondendo a 392 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 42 kg ha⁻¹ de N aplicados no sulco de plantio. Adicionalmente, aplicou-se o equivalente a 162 kg ha⁻¹ de K₂O no plantio e 50 kg ha⁻¹ de K₂O na amontoa, utilizando como fonte o KCl (60% K₂O), conforme o manejo do produtor. A emergência das plantas ocorreu em 24 de agosto de 2021 (18

dias após o plantio – DAP), e a amontoa mecânica foi realizada em 1º de setembro de 2021 (26 DAP). A adubação de cobertura com 115 kg ha⁻¹ de N foi dividida entre a amontoa e 30 dias após a amontoa (DAA), utilizando as fontes Nitrabor (15,4% N; 18,3% Ca; 0,3% B) e YaraBela (27% N; 5% Ca; 3% S). A aplicação de Mg via foliar foi realizada aos 23 e 51 dias após a emergência (DAE). As plantas foram dessecadas em 17 de novembro de 2021 (85 DAE) e a colheita dos tubérculos ocorreu em 25 de novembro de 2021 (93 DAE).

No exp. 2, conduzido em São Manuel no ano de 2022, o plantio manual foi realizado em 1º de abril, utilizando-se espaçamento de 0,80 m entre fileiras e aproximadamente 0,30 m entre tubérculos-semente, resultando em uma população aproximada de 41.700 plantas por hectare. Foram utilizados tubérculos-semente tipo II (diâmetro entre 33 e 45 mm) da cultivar Agata, provenientes da Rodrigues Furtado Agropecuária. O tratamento de sulco foi composto pelo fungicida boscalida (500 g i.a. ha⁻¹) e pelos inseticidas tiametoxam (200 g i.a. ha⁻¹) e fipronil (120 g i.a. ha⁻¹). Todas as parcelas receberam 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo 50% da dose proveniente de superfosfato triplo (41% P₂O₅ e 10% Ca) e 50% de superfosfato simples (18% P₂O₅, 16% Ca e 10% S), além de 102 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl, 60% K₂O), 83 kg ha⁻¹ de N (ureia, 46% N) e 1 kg ha⁻¹ de B (borax, 11% B) aplicados no sulco de plantio. A emergência das plantas ocorreu em 16 de abril de 2022 (16 DAP), e a amontoa manual foi realizada em 25 de abril de 2022 (25 DAP). A adubação de cobertura foi composta por 62 kg ha⁻¹ de N (ureia, 46% N) e 105 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl, 60% K₂O), aplicados na amontoa e aos 26 DAE. O Mg via foliar foi aplicado aos 27 e 51 DAE. As plantas foram dessecadas em 6 de julho de 2022 (81 DAE), e a colheita foi efetuada em 11 de julho de 2022 (86 DAE).

No exp. 3, conduzido em Paranapanema no ano de 2022, o plantio foi mecanizado e ocorreu em 27 de julho, com espaçamento de 0,90 m entre fileiras e 0,32 m entre tubérculos-semente, visando a obtenção de uma população de aproximadamente 34.700 plantas por hectare. Foram utilizados tubérculos-semente tipo I (diâmetro superior a 45 mm) da cultivar Agata. O tratamento de sulco foi realizado com os fungicidas fluazinam (1000 g i.a. ha⁻¹), casugamicina (60 g i.a. ha⁻¹) e tifulzamida (480 g i.a. ha⁻¹), e os inseticidas abamectina (18 g i.a. ha⁻¹), tiametoxam (180 g i.a. ha⁻¹) e fipronil (160 g i.a. ha⁻¹). Todas as parcelas receberam 1400 kg ha⁻¹ de TOP-PHOS 280HP (3% N, 28% P₂O₅, 17% Ca e 5% S) aplicados no sulco de plantio. A emergência das plantas ocorreu em 24 de agosto de 2022 (28 DAP), e a

amontoa mecânica foi realizada em 30 de agosto de 2022 (34 DAP). A adubação de cobertura com 115 kg ha⁻¹ de N foi dividida entre a amontoa e 28 dias após a amontoa (DAA), utilizando as fontes Nitrabor (15,4% N; 18,3% Ca; 0,3% B) e YaraBela (27% N; 5% Ca; 3% S). Adicionalmente, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl, 60% K₂O) entre o pós-plantio e o pós-amontoa. A aplicação do Mg via foliar foi realizada somente aos 18 DAE. A dessecação das plantas ocorreu em 7 de novembro de 2022 (75 DAE), e a colheita dos tubérculos foi realizada em 15 de novembro de 2022 (83 DAE).

No experimento conduzido em São Manuel, em 2023 (exp. 4), o plantio manual foi realizado em 3 de maio de 2023, utilizando-se tubérculos-semente tipo II (diâmetro entre 33 e 45 mm) da cultivar Agata, dispostos no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,30 m entre tubérculos, resultando em uma população estimada de aproximadamente 41.700 plantas ha⁻¹. Na adubação de plantio, foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de K₂O (equivalente a 250 kg ha⁻¹ de KCl) e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (mistura de MAP e superfosfato simples), totalizando 846 kg ha⁻¹ da mistura formulada, com a composição 5,5% N, 35,5% P, 10,5% Ca, 5,5% S e 10,5% K. A adubação de cobertura foi composta por 150 kg ha⁻¹ de K₂O (250 kg ha⁻¹ de KCl) e 163,5 kg ha⁻¹ de N (355 kg ha⁻¹ de ureia). A emergência das plantas ocorreu em 22 de maio de 2023 (19 DAP). As aplicações foliares de Mg foram realizadas aos 22 e 43 DAE, correspondendo às datas de 13 de junho e 4 de julho, respectivamente. A dessecação foi feita aos 78 DAE (08/08/2023). A colheita dos tubérculos ocorreu aos 84 DAE (14 de agosto de 2023).

No exp. 5, conduzido em Itapeva no ano de 2023, o plantio mecanizado foi realizado em 28 de junho de 2023, utilizando-se tubérculos-semente tipo III (diâmetro entre 28 e 33 mm) da cultivar Agata, dispostos no espaçamento de 0,80 m entre fileiras e 0,28 m entre tubérculos, resultando em uma população aproximada de 44.600 plantas ha⁻¹. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 1500 kg ha⁻¹ de um fertilizante formulado 04-30-10 acrescido de 6% Ca, 3,9% S, 0,05% B, 0,1% Mn e 0,1% Zn, distribuído no sulco de plantio, e 250 kg ha⁻¹ de KCl (60% K₂O) aplicados a lanço. Adicionalmente, foi aplicado 0,5 L ha⁻¹ de Stimulate e 10 L ha⁻¹ de Houst TOP no sulco de plantio, conforme manejo adotado pelo produtor. A emergência das plantas ocorreu em 19 de julho de 2023 (23 DAP). As aplicações foliares de Mg foram realizadas aos 20 e 42 DAE, correspondendo às datas de 8 e 30 de agosto, respectivamente. Sendo as plantas desseçadas aos 69 DAE (26/09/2023). A colheita dos tubérculos ocorreu aos 83 DAE (10/10/2023).

No exp. 6, conduzido em Paranapanema no ano de 2023, o plantio mecanizado foi realizado em 8 de agosto de 2023, utilizando-se a cultivar Agata. O espaçamento adotado foi de 0,80 m entre fileiras e 0,27 m entre tubérculos, resultando em uma população estimada de 46.200 plantas ha^{-1} . A adubação de plantio foi composta por 300 kg ha^{-1} de fertilizante formulado 11-00-30, 420 kg ha^{-1} de P_2O_5 fornecidos através do superfosfato simples, aplicados no sulco, e 250 kg ha^{-1} de KCl + ureia em cobertura, fornecendo os nutrientes N, P e K conforme recomendação técnica. O tratamento de sulco incluiu o fungicida boscalida (500 g i.a. ha^{-1}) e os inseticidas tiametoxam (200 g i.a. ha^{-1}) e fipronil (120 g i.a. ha^{-1}). A emergência das plantas ocorreu em 24 de agosto de 2023 (16 DAP). As aplicações foliares de Mg foram realizadas aos 21 e 42 DAE, correspondendo às datas de 14 de setembro e 5 de outubro, respectivamente. A dessecação das plantas ocorreu aos 74 DAE (06/11), e a colheita dos tubérculos foi realizada aos 78 DAE (10/11/2023).

No exp. 7, conduzido em Pardinho no ano de 2023, o plantio foi realizado de forma mecanizada em 7 de agosto de 2023, utilizando-se a cultivar Orchestra. O espaçamento adotado foi de 0,80 m entre fileiras e 0,27 m entre tubérculos, totalizando uma população aproximada de 46.300 plantas ha^{-1} . A adubação de plantio consistiu na aplicação de 95 kg ha^{-1} de N e 616 kg ha^{-1} de P_2O_5 através da mistura MAP e superfosfato simples e 100 kg ha^{-1} de KCl. Também foram aplicados 12 kg ha^{-1} de ácido bórico, distribuídos no sulco de plantio. A adubação de cobertura foi realizada posteriormente com 100 kg ha^{-1} de KCl, conforme recomendação técnica e manejo do produtor. O tratamento de sulco incluiu o fungicida boscalida (500 g i.a. ha^{-1}) e os inseticidas tiametoxam (200 g i.a. ha^{-1}) e fipronil (120 g i.a. ha^{-1}), visando a proteção inicial contra patógenos de solo e pragas de parte subterrânea. A emergência das plantas ocorreu em 1º de setembro de 2023 (25 DAP). As aplicações foliares de Mg foram realizadas aos 20 e 42 DAE, correspondendo às datas de 21 de setembro e 11 de outubro, respectivamente. A dessecação das plantas ocorreu aos 63 DAE (03/11), e a colheita dos tubérculos foi realizada aos 69 DAE (09/11/2023).

Em todos os experimentos, o Mg via solo foi aplicado no plantio, de acordo com os tratamentos, tendo como fonte a kieserita.

O manejo fitossanitário dos experimentos foi conduzido conforme as recomendações técnicas para a cultura e os critérios adotados pelos produtores, utilizando produtos registrados e recomendados para a batateira (Apêndices A a G). A irrigação foi realizada por sistema de pivô central nos experimentos 1, 3, 5, e por

aspersão convencional em malha nos experimentos 2 e 4 e no exp. 7 a irrigação foi por aspersão com canhão autopropelido. Em todos os experimentos, as irrigações foram ajustadas às condições edafoclimáticas de cada local e às necessidades hídricas do sistema solo-planta durante todo o ciclo da cultura (Tabela 1).

3.4 Avaliações

3.4.1 Índice relativo de clorofila

Aos 23, 36, 51 e 73 (Paranapanema 2021), 27, 35, 46 e 60 (São Manuel 2022), 18, 32 e 40 DAE (Paranapanema 2022), 22, 35, 43 e 59 DAE (São Manuel 2023), 20, 34, 42 e 54 DAE (Itapeva 2023), 21, 35, 42 e 61 DAE (Paranapanema 2023) e aos 20, 31, 41 e 52 DAE (Pardinho 2023), foram realizadas determinações do índice relativo de clorofila (IRC) nas folhas.

As avaliações foram realizadas utilizando um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development), equipamento amplamente empregado para estimar de forma indireta o teor de clorofila e o estado nutricional das plantas.

As medições foram efetuadas em dez plantas representativas por parcela, tomando-se como referência a terceira folha completamente expandida a partir do tufo apical, considerada fisiologicamente ativa e indicativa do estado nutricional momentâneo da planta.

Em cada folha, foram realizadas três leituras em regiões distintas do limbo foliar, evitando a nervura central, totalizando 30 leituras por parcela. Os valores obtidos foram posteriormente promediados para obtenção do valor médio do índice SPAD por parcela. As medições foram conduzidas em quatro fases do ciclo da cultura, abrangendo desde o desenvolvimento vegetativo até o início da maturação dos tubérculos, com o objetivo de monitorar a variação temporal do teor relativo de clorofila e sua resposta ao fornecimento de Mg.

3.4.2 Determinação dos teores foliares de nutrientes

Para a determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes, foi realizada as amostragens de folhas diagnósticas, correspondentes à terceira folha completamente expandida a partir do tufo apical, em cada unidade experimental, entre

29 a 35 DAE, conforme os critérios descritos por Feltran *et al.* (2022). Nos três primeiros experimentos, foi realizada uma única amostragem de folhas. Nos experimentos subsequentes (4 ao 7), também foi realizada uma segunda amostragem, por volta de 42 a 50 DAE.

As amostras coletadas foram lavadas em água destilada, secas inicialmente ao ar e, posteriormente, em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas, até atingirem peso constante. Após a secagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de malha de 1 mm, para obtenção de amostras homogêneas. A determinação dos teores de macronutrientes foi realizada segundo os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), empregando digestões e leituras apropriadas para cada elemento.

Na primeira amostragem, foram determinados, em todos os experimentos, os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e nos demais experimentos (4-7) também os teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), com o objetivo de caracterizar o estado nutricional inicial das plantas. Já na segunda amostragem, procedeu-se a determinação exclusiva do teor foliar de Mg, visando avaliar a resposta específica da cultura ao fornecimento do nutriente ao longo do ciclo.

3.4.3 População final, número de hastes por planta e acúmulo de matéria seca e magnésio

Antes da dessecação das plantas, foram realizadas avaliações de crescimento vegetativo e componentes de rendimento em todos os experimentos, com o objetivo de caracterizar o desenvolvimento e o potencial produtivo das plantas de batata sob os diferentes tratamentos de fornecimento de Mg. As determinações foram conduzidas em duas fileiras centrais de 2 metros de comprimento por parcela, correspondendo à área útil de amostragem.

Nessa área, procedeu-se a contagem do número de plantas, a partir da qual foi estimada a densidade populacional por hectare (plantas ha⁻¹). Em seguida, foi determinado o número médio de hastes por planta, por meio da contagem direta das hastes no número determinado de plantas da parcela útil.

Foram coletadas quatro plantas representativas por parcela, com o objetivo de determinar o acúmulo de MS e o conteúdo total de Mg na planta de batata. Após a

colheita, as plantas foram cuidadosamente lavadas em água corrente e destilada, e posteriormente separadas em tubérculos e resto da planta (folhas, caules, estolões e raízes).

Os materiais vegetais foram submetidos à secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 96 horas, até atingirem peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas para determinação da MS de cada compartimento e moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de malha de 1 mm, para homogeneização. A porção moída foi utilizada para a determinação dos teores de Mg, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

O teor de Mg em cada compartimento da planta (tubérculos e resto da planta) foi determinado por análise química do tecido vegetal seco, sendo expresso em g kg⁻¹ de MS. O acúmulo de Mg em cada parte da planta foi calculado a partir do produto entre o teor de Mg e a produção de MS correspondente, representando a quantidade total de nutriente absorvida pela cultura durante o ciclo.

3.4.4 Número e peso médio de tubérculos, produtividade e classificação dos tubérculos produzidos

Na ocasião da colheita, os tubérculos foram coletados em duas fileiras centrais de 2 metros de comprimento da área útil de cada unidade experimental. Após a colheita, os tubérculos foram contados e classificados de acordo com o diâmetro transversal, utilizando-se três classes comerciais: especial ou “graúda” (tubérculos com diâmetro superior a 45 mm), primeira (33 a 45 mm) e segunda (23 a 33 mm).

Após a classificação, os tubérculos de cada classe foram pesados para determinação da produtividade por classe de tamanho. A produtividade total de tubérculos (t ha⁻¹) foi obtida pelo somatório das três classes, considerando a área útil colhida. Além disso, foram determinados o número médio de tubérculos por planta, o peso médio de tubérculo (g) e a distribuição percentual da produtividade por classe, possibilitando a avaliação detalhada da estrutura de rendimento e do padrão comercial dos tubérculos em função dos tratamentos aplicados.

3.4.5 Determinação dos Teores de Nutrientes nos Tubérculos na Colheita

Após a classificação, foram retiradas aleatoriamente amostras compostas por seis tubérculos da classe especial (diâmetro > 45 mm) de cada parcela, destinadas à determinação do teor de MS. As amostras foram pesadas para obtenção do peso fresco, posteriormente fatiadas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 horas, até atingirem peso constante. A partir da diferença entre o peso fresco e o peso seco, foi calculado o teor de MS dos tubérculos.

Nos experimentos 4, 5, 6 e 7, as mesmas amostras utilizadas para a determinação da MS foram empregadas para a análise dos teores de macronutrientes, contemplando N, P, K, Ca, Mg e S, conforme os critérios descritos por Feltran *et al.* (2022). Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de malha de 1 mm, para obtenção de material homogêneo.

A determinação dos teores de nutrientes foi realizada segundo os procedimentos analíticos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), empregando métodos de digestão e leitura específicos para cada elemento, de modo a garantir a precisão na quantificação dos macronutrientes presentes nos tubérculos.

3.4.6 Firmeza, sólidos solúveis, pH e acidez titulável da polpa dos tubérculos

Nos experimentos 4, 5, 6 e 7 foram avaliados os parâmetros descritos a seguir.

A firmeza da polpa foi determinada em seis tubérculos (com pele) da classe especial de cada parcela, utilizando-se texturômetro com profundidade de penetração de 20 mm, velocidade de 2,0 mm s⁻¹ e ponteiro TA 9/1000.

Para a quantificação dos sólidos solúveis, algumas fatias da polpa foram maceradas e duas gotas do suco foram colocadas no prisma do refratômetro eletrônico (Atago, modelo PR32), e após um minuto fez-se a leitura direta dos graus Brix.

O pH da polpa de batata foi determinado por meio de potenciometria, utilizando-se um pHmetro digital previamente calibrado com soluções tampão padrão de pH 4,0 e 7,0. Para a análise, amostras representativas de tubérculos foram lavadas, descascadas e trituradas até obtenção de uma polpa homogênea.

Uma alíquota da polpa foi então diluída em água destilada, geralmente na proporção de 1:1 (m:v), conforme metodologia usual para tecidos vegetais, a fim de

facilitar a leitura e garantir adequada interação do eletrodo com a amostra. Após homogeneização, o eletrodo do pHmetro foi imerso na suspensão, realizando-se a leitura direta do pH, expressa em unidades adimensionais.

Entre as determinações, o eletrodo foi lavado com água destilada e seco com papel absorvente, evitando contaminação cruzada entre amostras. As análises foram realizadas à temperatura ambiente, e os valores de pH foram obtidos a partir da média das leituras das repetições.

A acidez titulável da polpa de batata foi determinada por meio de titulação ácido-base, conforme metodologia usual para análise de tecidos vegetais. Tubérculos representativos foram lavados, descascados e triturados até obtenção de uma polpa homogênea. Em seguida, uma massa conhecida de amostra foi pesada e diluída em água destilada, formando uma suspensão aquosa, a qual foi homogeneizada para extração dos ácidos orgânicos solúveis.

O extrato obtido foi submetido à titulação com solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, sob agitação constante, até o ponto final da reação, determinado por leitura potenciométrica em pH 8,1 ou pelo aparecimento de coloração rosa persistente, utilizando fenolftaleína como indicador. O volume de NaOH consumido na titulação foi registrado.

A acidez titulável foi calculada a partir do volume de base gasto, sendo expressa em mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ por 100 g de amostra fresca ($\text{mL } 100 \text{ g}^{-1}$), de acordo com a relação entre o volume titulado e a massa inicial da amostra, corrigida quando necessário pelo fator de diluição. Esse procedimento permitiu estimar o conteúdo total de ácidos orgânicos dissociáveis presentes na polpa dos tubérculos.

3.4.7 Teores de amido e açúcares redutores nos tubérculos

Nos experimentos 4, 5, 6 e 7, a alíquotas do material moído foram destinadas à determinação dos teores de carboidratos solúveis e amido. Os teores de açúcares redutores (AR), que compreendem a soma de glicose e frutose, e de açúcares totais (AT), que incluem a sacarose após hidrólise ácida com ácido clorídrico (HCl), foram determinadas por espectrofotometria a 535 nm, seguindo o método de Somogyi adaptado por Nelson (1944). A concentração de amido foi determinada por hidrólise enzimática de acordo com o método ISO-6647 (ISO, 1987), seguido da determinação do teor de açúcar, de acordo com o método de Somogyi e adaptado por Nelson (1944).

A concentração de açúcar obtida foi convertida em concentração de amido pela multiplicação dos valores pelo fator de 0,9. Os teores de açúcar redutor e de amido foram determinados nas amostras secas e os resultados foram convertidos para teores na matéria fresca.

3.5 Análise estatística

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade. Devido à natureza distinta dos fatores estudados, as médias do fator qualitativo (presença e ausência de Mg via solo) foram comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, enquanto para o fator quantitativo (doses de Mg via foliar), realizou-se análise de regressão, visando identificar o comportamento das variáveis e a dose de máxima eficiência técnica. Nos casos em que houve interação significativa entre a aplicação de Mg no solo e as doses via foliar ($p < 0,05$), procedeu-se ao desdobramento da interação, comparando-se as médias do suprimento radicular dentro de cada dose foliar pelo teste LSD, e ajustando-se modelos de regressão para as doses foliares dentro de cada nível de Mg no solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índice relativo de clorofila

O índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 18–27 DAE e 31–36 DAE, foi influenciado pelos tratamentos de aplicação de Mg via solo e/ou via foliar de forma distinta nos sete experimentos (Tabela 4).

A aplicação de Mg no plantio não alterou significativamente o IRC na maioria dos experimentos (Tabela 4), indicando que o suprimento inicial de Mg no solo foi suficiente para manter níveis adequados de clorofila nas plantas, pelo menos nesta fase mais inicial do ciclo. Diferenças pequenas, geralmente inferiores a duas unidades SPAD, foram observadas entre os tratamentos com e sem Mg no solo. A única resposta estatisticamente significativa ocorreu em Itapeva 2023, na primeira avaliação (18–27 DAE), quando a aplicação de Mg no plantio elevou levemente o IRC. Esse resultado pontual sugere que, naquele ambiente, as elevadas disponibilidades iniciais de K^+ e Ca^{2+} e a adubação de plantio podem ter gerado desequilíbrio, favorecendo resposta temporária da planta ao Mg, apesar do teor inicial de Mg^{2+} de $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ também ser considerado alto (Tabela 1).

Não houve efeito das doses de Mg aplicadas via foliar no IRC na maioria dos experimentos, quando a avaliação foi feita entre 18 e 27 DAE (Tabela 4), o que era de se esperar, já que essa época de avaliação foi imediatamente antes da primeira pulverização com Mg. Da mesma forma, na segunda avaliação (31–36 DAE), o IRC foi afetado pela aplicação foliar de Mg apenas nos experimentos de Paranapanema 2021 e São Manuel 2023, com os maiores valores sendo obtidos com aplicação de 150 a 300 g ha^{-1} de Mg. Contudo, mesmo quando houve variação entre tratamentos, os valores permaneceram muito próximos, evidenciando que o Mg foliar não modificou substancialmente o teor de clorofila nas folhas. Essa ausência de resposta indica que as plantas provavelmente encontravam-se com níveis adequados de Mg nos tecidos nessa época, não havendo limitação nutricional que justificasse incrementos detectáveis nas unidades SPAD após a aplicação foliar.

Tabela 4 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 18-27 e 31-36 dias após a emergência (DAE), da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
IRC (SPAD) – 18-27 DAE							
Mg via solo (S)							
Sem	43,8	40,5	46,8	42,6	39,6	46,8	47,2
Com	44,1	40,6	45,9	43,4	39,6	46,9	47,3
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	43,8	40,6	44,6b	42,2b	39,3	46,3	47,5
150 g ha ⁻¹	43,9	40,7	46,8a	43,2ab	39,3	46,5	47,9
300 g ha ⁻¹	44,1	40,9	46,5a	45,8 ^a	39,8	47,2	47,2
600 g ha ⁻¹	43,9	40,1	47,5a	40,9b	40,0	47,2	46,5
Regressão	Ns	ns	L ⁽¹⁾	Q ⁽²⁾	ns	ns	ns
F. Variação	P > F						
S	0,424	0,887	0,104	0,481	0,973	0,888	0,801
F	0,965	0,276	0,011	0,040	0,223	0,582	0,130
S × F	0,518	0,228	0,911	0,103	0,248	0,991	0,141
CV (%)	2,8	2,4	4,0	8,6	2,4	3,8	2,9
IRC (SPAD) – 31-36 DAE							
Mg via solo (S)							
Sem	45,5	40,3b	44,5	47,1	39,1	45,7	48,8
Com	45,9	41,4a	45,2	47,1	39,4	45,9	49,6
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	45,1b	40,4	44,2	45,8	39,7	45,9	49,4
150 g ha ⁻¹	45,5ab	41,2	44,7	48,2	38,7	45,9	49,2
300 g ha ⁻¹	46,4a	40,5	45,1	47,7	38,8	45,6	49,4
600 g ha ⁻¹	46,0ab	41,2	45,4	46,7	38,7	45,9	48,8
Regressão	Ns	ns	ns	Q ⁽³⁾	ns	ns	ns
F. Variação	P > F						
S	0,346	0,036	0,058	0,887	0,441	0,593	0,295
F	0,197	0,488	0,109	0,069	0,055	0,919	0,945
S × F	0,786	0,962	0,543	0,011	0,218	0,569	0,790
CV (%)	3,0	3,5	2,5	4,4	2,4	2,9	4,6

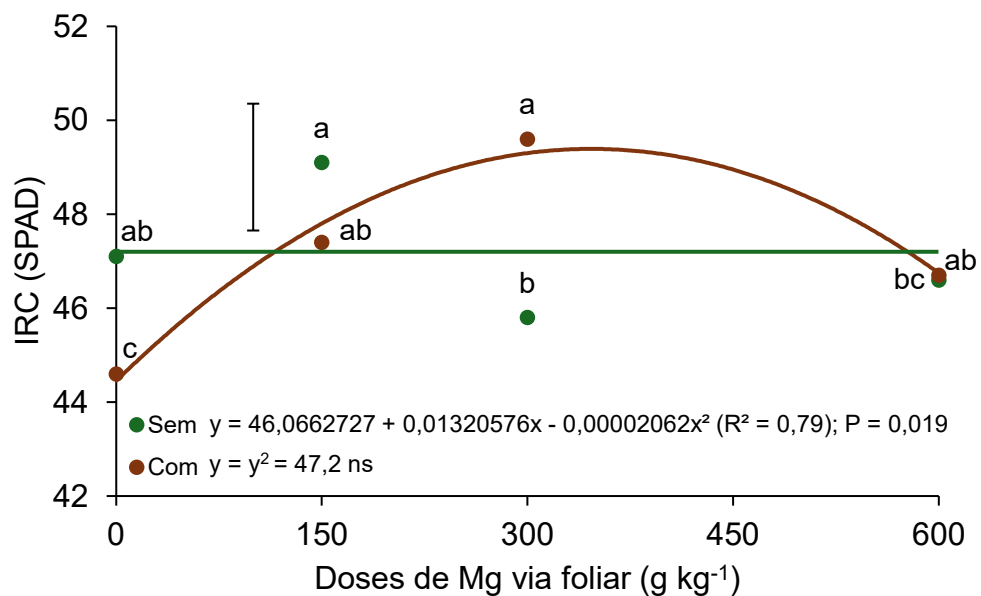
Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 45,2980 + 0,0040x$ ($R^2 = 0,68$)*; ⁽²⁾ $y = 41,7823 + 0,0225x - 0,00004x^2$ ($R^2 = 0,84$)*; ⁽³⁾ $y = 46,0663 + 0,0132x - 0,00002x^2$ ($R^2 = 0,79$)*. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Na avaliação de 31–36 DAE no experimento conduzido em São Manuel 2023, houve interação significativa entre a aplicação de Mg via solo e as doses aplicadas via foliar (Tabela 4). Assim, o desdobramento da interação, bem como os ajustes de regressão, é apresentado na Figura 1.

Na ausência de Mg aplicado no solo, não houve resposta significativa às doses foliares, apresentando linha praticamente estável ao longo das doses, porém, o maior

valor de IRC foi obtido com a aplicação de 150 g ha⁻¹ (Figura 1). Por outro lado, na presença de Mg aplicado no plantio, as doses ótimas estimadas de 320 g ha⁻¹ de Mg, ponto a partir do qual observou-se redução nas leituras SPAD com a dose mais elevada, resultando em um comportamento quadrático. O ponto de máximo na curva indica que, nessas condições, suplementações foliares foram suficientes para elevar o IRC das plantas.

Figura 1 - Desdobramento da interação do índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 31-36 DAE em São Manuel 2023 em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

O IRC avaliado entre 40–51 e 54–73 DAE também apresentou relativamente baixa resposta às aplicações de Mg via solo e via foliar na maioria dos ambientes experimentais (Tabela 5). De maneira geral, a aplicação de Mg no plantio não resultou em diferenças significativas no IRC, com valores muito próximos entre os tratamentos com e sem o nutriente nos experimentos. Em São Manuel 2022, a aplicação de Mg no solo resultou em IRC maior na terceira avaliação (40–51 DAE), mas apenas ligeiramente superior na avaliação de 54–73 DAE, indicando relativo benefício na aplicação do Mg na adubação de sulco. Por outro lado, no experimento de São Manuel

2023, a aplicação de Mg no plantio proporcionou redução das leituras de IRC aos 40–51 e 54–73 DAE.

No experimento de Paranapanema 2022, observou-se que, aos 40-51 DAE, as doses de Mg via foliar de 300 e 600 g ha⁻¹, assim como em Pardinho 2023 a dose de 300 g ha⁻¹, proporcionaram maiores valores de IRC (Tabela 5). Aos 54-73 DAE em Paranapanema 2022, observou-se que a aplicação de Mg via foliar refletiu em aumento do IRC, assim como em Itapeva 2023, com os maiores valores sendo obtidos com as doses de 300 e 600 g ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 5 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC), avaliado aos 40-51 e 54-73 dias após a emergência (DAE), da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
IRC (SPAD) – 40-51 DAE							
Mg via solo (S)							
Sem	40,1	38,8b	43,4	39,6a	38,7	45,8	48,2
Com	40,5	40,5a	43,1	38,5b	38,7	45,9	48,3
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	39,9	39,0	41,7b	38,4b	38,7	45,1	47,7b
150 g ha ⁻¹	40,2	39,9	42,7b	40,2a	38,1	45,8	48,0b
300 g ha ⁻¹	40,7	39,7	44,2a	38,9ab	39,1	46,3	50,1a
600 g ha ⁻¹	40,5	39,9	44,3a	38,6b	38,3	46,3	47,3b
Regressão	ns	ns	L ⁽¹⁾	ns	ns	ns	Q ⁽²⁾
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,173	0,001	0,377	0,020	0,174	0,842	0,954
F	0,397	0,480	<0,001	0,053	0,120	0,246	0,036
S × F	0,365	0,877	0,685	0,137	0,638	0,443	0,356
CV (%)	2,6	3,8	2,9	3,8	2,5	3,2	4,5
IRC (SPAD) – 54-73 DAE							
Mg via solo (S)							
Sem	20,3	33,6	-	37,2a	36,1	44,1	40,7
Com	19,6	34,5	-	32,6b	36,6	44,7	41,4
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	18,7b	33,4	-	34,2	34,8c	43,5	40,4
150 g ha ⁻¹	19,6ab	33,7	-	35,5	36,2b	44,5	40,4
300 g ha ⁻¹	21,6a	34,3	-	34,4	36,6ab	44,5	41,9
600 g ha ⁻¹	19,7ab	34,8	-	35,7	37,6a	45,0	41,4
Regressão	Q ⁽³⁾	ns	-	ns	L ⁽⁴⁾	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,310	0,125	-	<0,001	0,190	0,262	0,385
F	0,042	0,377	-	0,146	<0,001	0,359	0,403
S × F	0,700	0,849	-	0,949	0,278	0,100	0,273
CV (%)	11,1	5,6	-	5,1	3,5	4,3	5,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 42,1120 + 0,0043x$ ($R^2 = 0,81$)^{**}; ⁽²⁾ $y = 47,3534 + 0,0135x - 0,00002x^2$ ($R^2 = 0,69$)^{*}; ⁽³⁾ $y = 18,4915 + 0,0150x - 0,00002x^2$ ($R^2 = 0,82$); ⁽⁴⁾ $y = 35,1820 + 0,0043x$ ($R^2 = 0,92$)^{**}. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Esses resultados estão alinhados ao papel fisiológico do Mg como componente central da molécula de clorofila e ativador enzimático envolvido na fotossíntese (White; Brown, 2010). Assim, em condições de leve limitação, aplicações foliares tendem a elevar o teor de clorofila. No conjunto, a interação observada reforça que a eficiência da aplicação foliar de Mg é condicionada pela disponibilidade prévia do nutriente no solo e pelo estado fisiológico da planta no momento da aplicação.

Nesse contexto, avaliações do IRC têm sido amplamente utilizado nas culturas como um indicador indireto do teor de clorofila foliar e do estado fisiológico das plantas ao longo do ciclo. Por refletir a intensidade do verde das folhas, os valores de SPAD estão diretamente associados à integridade do aparato fotossintético e à nutrição mineral, sendo sensível a variações na disponibilidade de nutrientes essenciais. O Mg exerce papel fundamental nesse contexto, uma vez que constitui o átomo central da molécula de clorofila e atua como ativador de enzimas envolvidas na fotossíntese, na fixação de CO₂ e no transporte de fotoassimilados. Em batata, condições de deficiência ou suprimento limitado de Mg resultam em redução do teor de clorofila, comprometendo a eficiência fotossintética e refletindo-se em menores valores de SPAD, enquanto níveis adequados do nutriente mantêm valores estáveis ao longo do ciclo (Zebarth; Rosen; Panton, 2002; Marschner, 2011; Guou *et al.*, 2016).

De modo geral, as doses de Mg não exerceram efeito significativo sobre os valores de SPAD na maioria dos experimentos e épocas avaliadas. Esse comportamento pode estar associado à elevada mobilidade do Mg na planta, que permite sua redistribuição das folhas mais velhas para as folhas mais jovens em situações de deficiência nutricional, contribuindo para a manutenção dos teores de clorofila nos tecidos em crescimento (Taiz; Zeiger, 2013; Taiz *et al.*, 2017). Ademais, não foram observados sintomas visuais de deficiência de Mg nas plantas.

4.2 Teores foliares de nutrientes

O fornecimento de Mg, via solo e foliar, resultou em respostas variáveis nos teores foliares de N e P entre os sete experimentos conduzidos, refletindo a influência das condições específicas de cada ambiente (Tabela 6).

De forma geral, não houve efeito significativo da aplicação de Mg via solo sobre o teor de N na maioria dos experimentos (Paranapanema 2021; São Manuel 2022; Paranapanema 2022; Itapeva 2023; Pardinho 2023) (Tabela 6). Nesses locais, os teores variaram entre aproximadamente 44 e 52 g kg⁻¹, mantendo os teores foliares de N dentro da faixa considerada adequada para a cultura da batata (Fernandes; Soratto, 2012; Feltran *et al.*, 2022). Entretanto, observaram-se respostas significativas nos experimentos de São Manuel 2022 e 2023, onde a aplicação de Mg via solo elevou o teor de N de 44,5 para 46,9 g kg⁻¹, e 51,5 para 54,0 g kg⁻¹, respectivamente. Esses aumentos sugerem que, em condições específicas de ambiente ou fertilidade do solo,

o suprimento de Mg no plantio pode favorecer o metabolismo nitrogenado, especialmente pela participação do Mg na formação da clorofila e em processos relacionados à assimilação e redistribuição de N.

Para a aplicação de Mg via foliar, também não foram observadas respostas consistentes nos teores foliares de N entre os experimentos (Tabela 6). Em grande parte dos experimentos, as doses de Mg aplicadas no início da tuberação não promoveram alterações significativas, e os teores de N permaneceram estáveis e dentro da faixa adequada para a cultura. Embora o Mg desempenhe papel crucial como cofator na síntese proteica e na ativação enzimática, a ausência de incremento no teor total de N sugere que o suprimento basal deste nutriente via solo foi suficiente para atender à demanda metabólica, não havendo limitação que justificasse um acúmulo adicional em resposta à suplementação foliar de Mg (Taiz; Zeiger, 2013).

A interação entre a aplicação ou não do Mg via solo e as doses de Mg via foliar foi significativa para o teor foliar de N em Itapeva 2023 (Tabela 6). O teor foliar de N apresentou respostas diferenciadas às doses de Mg via foliar em função da presença ou ausência do Mg aplicado no plantio (Figura 2A). Na ausência de Mg via solo, os valores de N mantiveram-se praticamente constantes entre as doses de Mg foliar, conforme indicado pela regressão não significativa e pela linha horizontal que representa a média dos tratamentos. Esse comportamento sugere que a aplicação foliar de Mg, isoladamente, não foi suficiente para promover alterações no teor de N quando o sistema radicular da planta não havia recebido suprimento prévio desse nutriente, possivelmente devido à limitação da planta em manter o metabolismo nitrogenado apenas com a absorção foliar complementar.

Por outro lado, quando o Mg foi aplicado no solo, observou-se tendência de aumento dos teores de N com o incremento das doses de Mg via foliar (Figura 2A). O modelo quadrático ajustado indica resposta crescente do N, especialmente nas doses mais altas (300 e 600 g kg⁻¹). Essa resposta sugere que, quando a planta já dispõe de um suprimento adequado de Mg pelas raízes, a aplicação foliar pode atuar de forma adicional, favorecendo processos relacionados à assimilação e ao metabolismo nitrogenado. Esse resultado é consistente com o papel fisiológico do Mg como cofator enzimático essencial para a ativação de aminoácidos e síntese proteica, o que pode explicar o aumento do teor de N na presença de níveis adequados do nutriente (Maschner, 1995; Malavolta, 2006; Hermans *et al.*, 2004 Oliveira *et al.*, 2023).

A relação entre Mg e N é amplamente reconhecida na literatura, sobretudo pelo papel central do Mg em processos metabólicos associados à assimilação nitrogenada. Apesar de o Mg promover diversos benefícios sobre o metabolismo de N na planta, atuando como cofator enzimático e agente estabilizador de complexos essenciais para a síntese proteica (Malavolta, 2006; Ferreira *et al.*, 2023), neste estudo, essa influência não se manifestou de forma generalizada pela análise dos teores foliares de N (Tabela 6). Na maioria dos experimentos, os teores de N mantiveram-se estáveis e dentro da faixa considerada adequada para a cultura (44 a 52 g kg⁻¹), o que sugere que o suprimento basal de N já era suficiente e que o metabolismo nitrogenado não estava limitado pela disponibilidade de Mg nestes ambientes. Respostas positivas ficaram restritas a condições específicas, como em São Manuel e Itapeva, indicando que a sinergia entre esses nutrientes depende fortemente do status nutricional inicial e das condições de fertilidade do solo.

A aplicação de Mg via solo não influenciou significativamente a concentração foliar de P na maioria dos experimentos, com valores situados entre 2,7 e 5,5 g kg⁻¹ (Tabela 6). Esses teores encontram-se dentro ou ligeiramente acima da faixa considerada adequada para a cultura da batata no estágio de florescimento (2,5 a 5,0 g kg⁻¹), conforme os critérios diagnósticos estabelecidos por Fernandes e Soratto (2012) e Feltran *et al.* (2022). A aplicação de Mg via foliar não causou alteração significativa nos teores de P nos diferentes experimentos, e as variações observadas entre as doses foram pequenas e sem tendência definida. A ausência de resposta sugere que o aporte foliar de Mg não foi determinante para modificar a concentração de P nas folhas, possivelmente devido à alta mobilidade interna do elemento.

Tabela 6 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de N e P na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
N (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	55,6	44,5b	44,5	51,5b	56,6	49,9	51,2
Com	55,6	46,9a	44,9	54,2a	57,0	49,5	52,4
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	52,7	47,4a	44,1	50,3	56,4	49,5	50,2
150 g ha ⁻¹	56,1	45,9a	46,5	53,5	55,8	49,9	52,6
300 g ha ⁻¹	57,4	46,4a	44,0	53,7	56,4	50,3	52,9
600 g ha ⁻¹	58,2	43,0b	44,2	53,7	58,5	49,1	51,5
Regressão	ns	L ⁽¹⁾	ns	ns	Q ⁽²⁾	ns	ns
F. Variação	P > F						
S	0,503	<0,001	0,571	0,024	0,561	0,793	0,112
F	0,084	<0,001	0,055	0,101	0,062	0,947	0,053
S × F	0,489	0,098	0,066	0,433	0,035	0,765	0,061
CV (%)	8,7	4,1	4,9	6,7	4,0	9,6	4,3
P (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	4,7	4,3	2,6	5,6	5,4	5,1a	5,3
Com	4,9	4,4	2,7	5,8	5,5	4,9b	5,4
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	4,9	4,2	2,8	5,9	5,7a	5,1	5,7
150 g ha ⁻¹	4,8	4,3	2,7	5,8	5,4b	5,0	5,3
300 g ha ⁻¹	4,8	4,3	2,6	5,6	5,4b	4,9	5,2
600 g ha ⁻¹	4,7	4,5	2,6	5,5	5,2b	4,9	5,1
Regressão	ns	ns	ns	Ns	L ⁽³⁾	ns	Q ⁽⁴⁾ ; L ⁽⁵⁾
F. Variação	P > F						
S	0,070	0,133	0,189	0,144	0,676	0,034	0,807
F	0,737	0,352	0,070	0,304	0,005	0,507	0,063
S × F	0,269	0,307	0,081	0,269	0,082	0,071	0,017
CV (%)	5,1	7,4	6,1	8,5	5,5	7,0	9,6

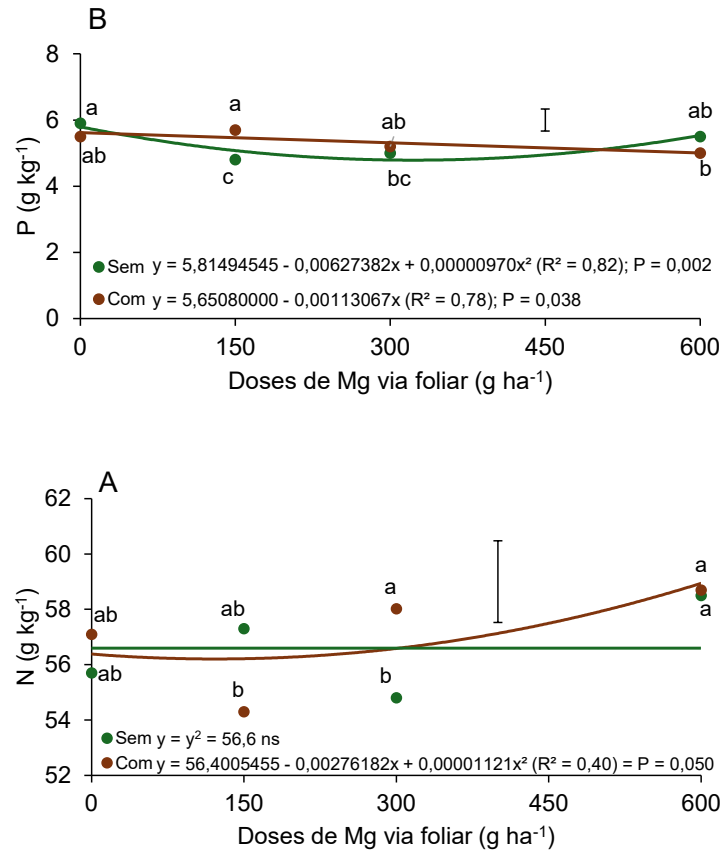
Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 47,4860 - 0,0069x$ ($R^2 = 0,88$)**; ⁽²⁾ $y = 56,4005 - 0,0028x + 0,00001x^2$ ($R^2 = 0,40$)*; ⁽³⁾ $y = 5,6608 - 0,0008x$ ($R^2 = 0,85$)**; ⁽⁴⁾ $y = 5,8149 - 0,0062x + 0,00001x^2$ ($R^2 = 0,82$)**; ⁽⁵⁾ $y = 5,6508 - 0,0011x$ ($R^2 = 0,78$)*. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

A interação entre a aplicação ou não do Mg via solo e as doses de Mg via foliar foi significativa para o teor foliar de P em Pardinho 2023 (Tabela 6). O teor foliar de P apresentou respostas distintas às doses de Mg via foliar em função da aplicação ou não do nutriente no plantio (Figura 2B). Na ausência de Mg via solo, observou-se comportamento quadrático, com redução acentuada do teor de P na dose de 150 g ha⁻¹, seguida de recuperação gradual nas doses subsequentes. Esse declínio inicial

sugere que, em plantas não supridas com Mg na base do sistema radicular, a aplicação foliar isolada não foi suficiente para sustentar níveis adequados de P, o que pode refletir limitações fisiológicas relacionadas à absorção e ao transporte do nutriente.

Por outro lado, quando o Mg foi aplicado no solo, o teor de P apresentou maior estabilidade entre as doses de Mg foliar, com menores oscilações e valores frequentemente superiores aos obtidos na ausência do nutriente no plantio (Figura 2B). Esse comportamento demonstra que o suprimento radicular de Mg contribuiu para manter níveis mais constantes e elevados de P no tecido foliar, reforçando o efeito sinérgico entre esses nutrientes. Esse sinergismo é amplamente documentado na literatura, que aponta o Mg como elemento fundamental para o carregamento e a translocação de P, além de sua participação direta na ativação de numerosas enzimas fosforilativas e na formação de complexos Mg-ATP, indispensáveis ao metabolismo energético e às reações de fosforilação. Estudos recentes demonstram que o Mg não só atua como ativador de ATPases mas também modula a absorção de P via solo, e a interação entre Mg e P na rizosfera está sendo melhor elucidada (AHMED *et al.*, 2023; QU *et al.*, 2023).

Figura 2 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (N e P) Itapeva 2023 (A) e Pardinho 2023 (B), em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Os teores foliares de K variaram entre os experimentos e tratamentos, mas, de maneira geral, o Mg via solo não alterou significativamente o K nas folhas na maior parte dos experimentos (Tabela 7). A diferença no teor foliar de K entre a ausência e a presença de Mg via solo foi inferior a 2 g kg^{-1} , evidenciando que a disponibilidade de Mg no solo teve pouco efeito no teor de K na folha diagnose da batateira. Entretanto, nos experimentos de Paranapanema 2022 e 2023, onde os teores de Mg^{2+} já eram altos ($14\text{-}15 \text{ mmol c dm}^{-3}$; Tabela 1) e a adubação de K no plantio foi realizado em doses moderadas, observou-se efeito significativo do Mg via solo, com maiores teores foliares de K na ausência de Mg ($46,9$ e $42,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) e redução para $43,7$ e $39,3 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, quando o Mg foi aplicado no plantio. Esse comportamento sugere um possível antagonismo Mg–K na absorção radicular, fenômeno já descrito na literatura, como por Marschner (2012), que excesso de Mg^{2+}

reduz a absorção de K^+ por competição nos transportadores de membrana e por efeitos eletroquímicos na rizosfera. Não foram observados efeitos das doses de Mg aplicadas via foliar sobre o teor K na folha diagnose (Tabela 7).

A interação entre a aplicação de Mg via solo e as doses de Mg via foliar para os teores de K em Itapeva 2023 evidencia respostas contrastantes entre a ausência e a presença do Mg no plantio, com modelos de ajuste distintos entre os dois sistemas de fornecimento (Figura 3A). Na ausência de Mg via solo, houve resposta quadrática significativa ao Mg foliar, ajustando-se a um modelo em que o teor de K aumentou até a dose estimada de 373 g ha^{-1} , atingindo o valor máximo nesse ponto, através de cálculos de estimativa, e posteriormente reduziu na dose mais elevada, embora mantendo níveis superiores aos observados na menor dose. Por outro lado, na presença de Mg via solo, o comportamento foi linear decrescente em função das doses de Mg via foliar, revelando que o aumento das doses de Mg foliar promoveu uma redução contínua do K nas folhas, com decréscimos de 4,6% na dose de 300 g ha^{-1} e de 9,2% na dose máxima (600 g ha^{-1}) em relação ao controle (Figura 3A). Nesse cenário, o fornecimento basal de Mg no solo pode ter elevado a disponibilidade do íon Mg^{2+} na solução da rizosfera, intensificando a competição com potássio pelos transportadores de membrana. A suplementação adicional de Mg pode ter elevado o conteúdo interno desse nutriente nos tecidos, o que aparece ter exacerbado o antagonismo iônico preexistente, resultando em uma redução mais acentuada nos teores foliares de K (Marschner, 2012; Yakimenko *et al.*, 2021).

Houve efeito significativo do Mg aplicado no plantio no teor de Ca na folha diagnose, com maiores teores de Ca quando o Mg foi fornecido, em três experimentos, São Manuel 2023, Itapeva 2023 e Pardinho 2023 (Tabela 7). Quanto às aplicações de Mg via foliar, não foram observadas respostas significativas nos teores foliares de Ca na maior parte dos ambientes, indicando que o suprimento de Mg aplicado nas folhas não modificou a dinâmica de absorção ou transporte do Ca, cuja mobilidade é predominantemente xilemática e dependente do fluxo transpiratório (Pathak *et al.*, 2021). A única exceção foi o experimento de Paranapanema 2022, no qual se verificou maior teor de Ca na ausência da aplicação foliar de Mg, sugerindo que, nesse ambiente específico, a adição de Mg nas folhas não contribuiu para a melhoria do estado nutricional de Ca e, possivelmente, até reduziu levemente o seu acúmulo.

Tabela 7 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de K e Ca na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	K (g kg ⁻¹)						
Mg via solo (S)							
Sem	45,8	40,7	46,9a	45,2	42,3	42,7a	27,0
Com	46,8	41,7	43,7b	44,0	42,5	39,3b	27,2
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	45,2	41,6	45,5	44,1	42,2	40,7	27,4
150 g ha ⁻¹	45,8	40,7	45,9	45,4	42,2	42,3	26,6
300 g ha ⁻¹	46,8	42,4	44,9	43,7	43,7	41,1	27,6
600 g ha ⁻¹	47,4	40,2	44,9	45,4	41,5	39,9	26,7
Regressão	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,373	0,211	<0,001	0,052	0,816	<0,001	0,765
F	0,519	0,276	0,709	0,111	0,451	0,150	0,231
S × F	0,459	0,438	0,534	0,405	0,014	0,375	0,075
CV (%)	7,5	6,3	4,9	4,2	7,1	5,6	4,6
	Ca (g kg ⁻¹)						
Mg via solo (S)							
Sem	10,7	12,4	14,2	11,3b	15,1b	15,9	8,0b
Com	10,8	12,0	13,9	13,3a	17,1a	16,7	10,9a
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	10,6	12,4	15,9a	12,2	15,0	15,9	8,8
150 g ha ⁻¹	10,9	12,2	13,7b	12,1	16,4	15,9	9,4
300 g ha ⁻¹	11,1	12,4	13,1b	12,3	17,5	16,8	9,4
600 g ha ⁻¹	10,6	11,9	13,6b	12,7	15,6	16,7	10,2
Regressão	Q ⁽¹⁾	Ns	L ⁽²⁾	ns	ns	ns	L ⁽³⁾
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,630	0,156	0,261	<0,001	0,006	0,287	<0,001
F	0,140	0,566	<0,001	0,867	0,060	0,742	0,084
S × F	0,018	0,300	0,088	0,805	0,058	0,131	0,012
CV (%)	5,1	6,7	6,7	6,9	8,1	14,9	12,2

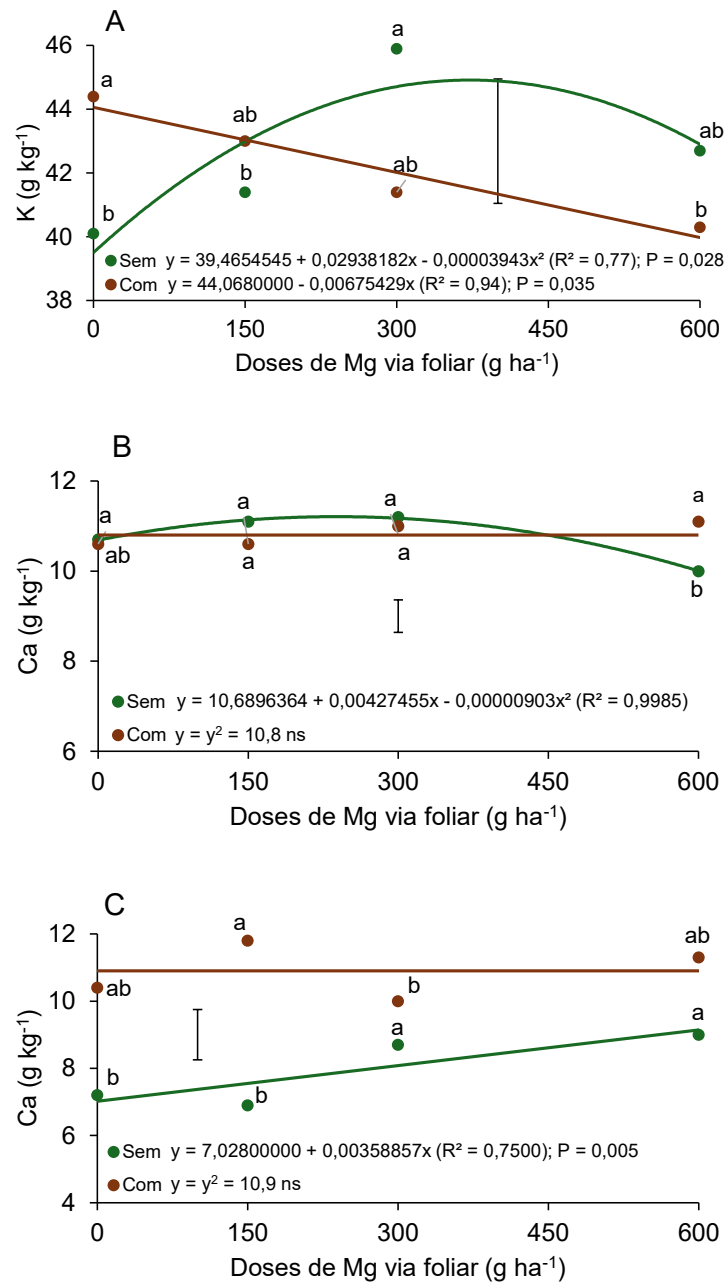
Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 10,6896 + 0,0043x - 0,000009x^2$ ($R^2 = 0,43$)*; ⁽²⁾ $y = 14,9220 - 0,0033x$ ($R^2 = 0,26$)**; ⁽³⁾ $y = 10,6896 + 0,0043x - 0,000009x^2$ ($R^2 = 0,43$)*. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

No experimento de Paranapanema 2021, os teores foliares de Ca apresentaram diferenças na resposta às doses de Mg aplicadas via foliar, em função da aplicação de Mg via solo (Figura 3B). A análise estatística revela que, na ausência de Mg via solo, houve resposta quadrática significativa dos teores de Ca em função das doses de Mg foliar, com os maiores valores observados nas doses intermediárias (150 a 300 g ha⁻¹) e redução na dose mais elevada (600 g ha⁻¹). Por outro lado, considerando que a aplicação de Mg no plantio preveniu esse decréscimo, pode-se

especular que o fornecimento basal de Mg via solo atua de forma mitigadora sobre o antagonismo exercido pelas doses elevadas de Mg foliar, conferindo maior estabilidade ao equilíbrio catiônico e garantido que o transporte xilemático de Ca não seja comprometido pela suplementação foliar adicional. A comparação entre a presença e ausência de Mg via solo indica diferença significativa apenas na dose de 600 g ha⁻¹, na qual o Ca foi menor na condição sem Mg via solo (10,0 g kg⁻¹ contra 10,8 g kg⁻¹ na presença do nutriente, redução estimada de 7,4%) (Figura 3B).

Avaliando o desdobramento da interação entre aplicações de Mg via solo e foliar do experimento de Pardinho 2023, observou-se clara diferenciação na resposta do Ca foliar em função das doses de Mg aplicadas via folha e da presença ou ausência de Mg no solo, revelando uma interação dependente do estado nutricional basal da planta (Figura 3C). Na ausência de Mg via solo, os teores de Ca aumentaram de forma linear com as doses de Mg foliar, indicando que o suprimento foliar exerceu efeito positivo sobre o acúmulo de Ca nas folhas. Podendo ser observado maior incremento nas doses de 300 e 600 g kg⁻¹. O comportamento linear crescente sugere que, quando o sistema radicular se encontra sob menor disponibilidade de Mg, a aplicação foliar contribui indiretamente para otimizar processos fisiológicos que sustentam o transporte de Ca, como a integridade de membranas e o funcionamento metabólico geral, favorecendo o fluxo do nutriente via xilema (Guo *et al.*, 2016). Por outro lado, quando o Mg foi aplicado no solo, os teores foliares de Ca permaneceram estáveis ao longo de todas as doses foliares de Mg, mantendo-se próximos a 10,9 g kg⁻¹. Apresentando maior teor na dose de 150 g kg⁻¹. De modo geral, verificou-se maiores teores foliares de Ca quando o Mg foi aplicado via solo.

Figura 3 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (K e Ca) na folha diagnose K – Itapeva 2023 (A), Ca – Paranapanema 2021 (B), e Ca – Pardinho 2023 (C), em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Os teores foliares de Mg apresentaram elevada variação entre os experimentos (Tabela 8). De maneira geral, a aplicação de Mg via solo exerceu efeito significativo em alguns ambientes, enquanto em outros os teores foliares foram pouco sensíveis à

adição do nutriente no plantio. Nos experimentos de São Manuel 2022, São Manuel 2023 e Itapeva 2023, a aplicação de Mg via solo promoveu aumentos significativos nos teores foliares de Mg, indicando resposta direta ao fornecimento via radicular. O maior incremento percentual foi observado em São Manuel 2023 (20,0%), seguido por São Manuel 2022 (12,5%) e Itapeva 2023 (7,3%) (Tabela 8).

Essas variações na magnitude da resposta estão relacionadas às condições de fertilidade inicial das áreas experimentais. Em São Manuel (2022 e 2023), os teores iniciais de Mg no solo eram baixos a moderado (4 a 6 mmol_c dm⁻³), o que justifica a maior eficiência de absorção e o reflexo imediato nos tecidos foliares com a adubação de plantio. Por outro lado, em Itapeva 2023, embora o teor inicial de Mg no solo fosse considerado alto (15 mmol_c dm⁻³), a resposta positiva de 7,3% sugere que a adubação potássica o plantio (300 kg ha⁻¹ de K₂O) pode ter induzido um desequilíbrio na relação K:Mg na rizosfera. Nesse cenário, a suplementação basal de Mg via solo tornou-se estratégia para mitigar o antagonismo catiônico exercido pelo excesso de K e garantir o suprimento do nutriente à cultura. Esse comportamento é coerente com a fisiologia do Mg, altamente móvel no floema e prontamente redistribuído na planta quando absorvido pelas raízes (Hermans; Verbruggen *et al.*, 2013).

Com relação às doses de Mg via foliar, houve efeito dos tratamentos nos experimentos de São Manuel 2022 e Itapeva 2023, onde os efeitos foram significativos, com ajustes linear e quadrático, respectivamente (Tabela 8). Em São Manuel 2022, observou-se maior incremento nas doses de 300 e 600 g ha⁻¹. Já em Itapeva 2023, houve incremento em relação ao controle, independentemente da dose de Mg aplicada.

A interação dos fatores foi significativa no experimento de São Manuel 2022 (Figura 4A). Houve resposta linear crescente dos teores foliares de Mg às doses de Mg via foliar na ausência do Mg via solo. À medida que as doses aumentaram, os teores foliares passaram de cerca de 2,8 para 3,5 g kg⁻¹, indicando que a aplicação foliar foi eficaz em elevar o Mg quando o suprimento radicular era limitado. As diferenças apontadas pelo teste de médias confirmam esse comportamento, com teores menores nas doses baixas e aumento significativo a partir de 300 g ha⁻¹. Por outro lado, na presença do Mg via solo, não houve resposta às doses foliares: os teores permaneceram estáveis em torno de 3,6 g kg⁻¹ (modelo não significativo), demonstrando que o Mg fornecido no plantio já era suficiente para suprir a planta, tornando a aplicação foliar suplementar desnecessária. Verifica-se que os efeitos do

fator com e sem Mg via solo foi relevante nas doses mais baixas, mas desaparecem com o aumento do Mg foliar.

A baixa ocorrência das interações significativas entre Mg via solo e via foliar indica que o efeito da aplicação de Mg via foliar dependeu da disponibilidade prévia de Mg no solo. As exceções foram pequenas diferenças numéricas sem relevância fisiológica clara (Tabela 8). Esse padrão corrobora estudos que demonstram que o Mg absorvido pelas folhas tende a ser rapidamente redistribuído via floema, independentemente do suprimento radicular do nutriente, desde que a deficiência não seja severa (Ahmed *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2024).

De modo geral, os teores foliares observados (entre 3,2 e 5,9 g kg⁻¹) situam-se próximos ou dentro da faixa de 3,0 a 5,0 g kg⁻¹, considerada adequada para a batata, conforme estabelecido por Fernandes e Soratto (2012), White *et al.* (2009) e Feltran *et al.* (2022). A variabilidade entre ambientes reflete a sensibilidade do Mg às condições de umidade, estrutura radicular e competição com outros cátions (especialmente K⁺ e Ca²⁺), que podem modular seu acúmulo nos tecidos, além de sua forte mobilidade e capacidade de redistribuição interna.

Não houve efeito dos tratamentos sobre os teores foliares de S nas maiorias dos experimentos, com exceção de Paranapanema 2023, que apresentou maior teor quando não foi aplicado Mg via solo e nas doses mais baixas de Mg via foliar (Tabela 8).

Tabela 8 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mg e S na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Mg (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	4,7	3,2b	4,6	3,5b	5,5b	3,2	4,5
Com	4,8	3,6a	4,6	4,2a	5,9a	3,2	4,6
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	4,6	3,1b	4,5	3,6b	5,7	3,0	4,3
150 g ha ⁻¹	4,7	3,1b	4,6	3,8a	5,5	3,2	4,6
300 g ha ⁻¹	4,8	3,6a	4,6	4,0a	5,9	3,3	4,6
600 g ha ⁻¹	4,9	3,6a	4,6	3,9a	5,7	3,3	4,5
Regressão	ns	L ⁽¹⁾	Ns	Q ⁽²⁾	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,452	<0,001	0,977	<0,001	0,002	0,730	0,565
F	0,492	<0,001	0,863	0,005	0,428	0,382	0,313
S × F	0,524	0,002	0,691	0,189	0,705	0,567	0,936
CV (%)	6,8	5,7	7,1	6,3	7,9	13,0	8,0
S (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	2,4	2,4b	2,7b	3,7	3,3	3,7a	3,6
Com	2,4	2,5a	2,9 ^a	3,8	3,2	3,5b	3,6
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	2,4	2,5	2,8	3,6	3,2	3,6ab	3,7
150 g ha ⁻¹	2,4	2,5	2,7	3,8	3,2	3,8a	3,5
300 g ha ⁻¹	2,3	2,5	2,8	3,8	3,4	3,4b	3,4
600 g ha ⁻¹	2,4	2,5	2,8	3,8	3,2	3,6ab	3,8
Regressão	ns	ns	Ns	ns	ns	Q ⁽³⁾	Q ⁽⁴⁾
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,809	0,026	0,036	0,229	0,701	0,049	0,522
F	0,955	0,997	0,613	0,588	0,769	0,049	0,157
S × F	0,249	0,802	0,082	0,438	0,314	<0,001	0,003
CV (%)	9,9	6,6	8,3	10,5	14,6	9,3	12,5

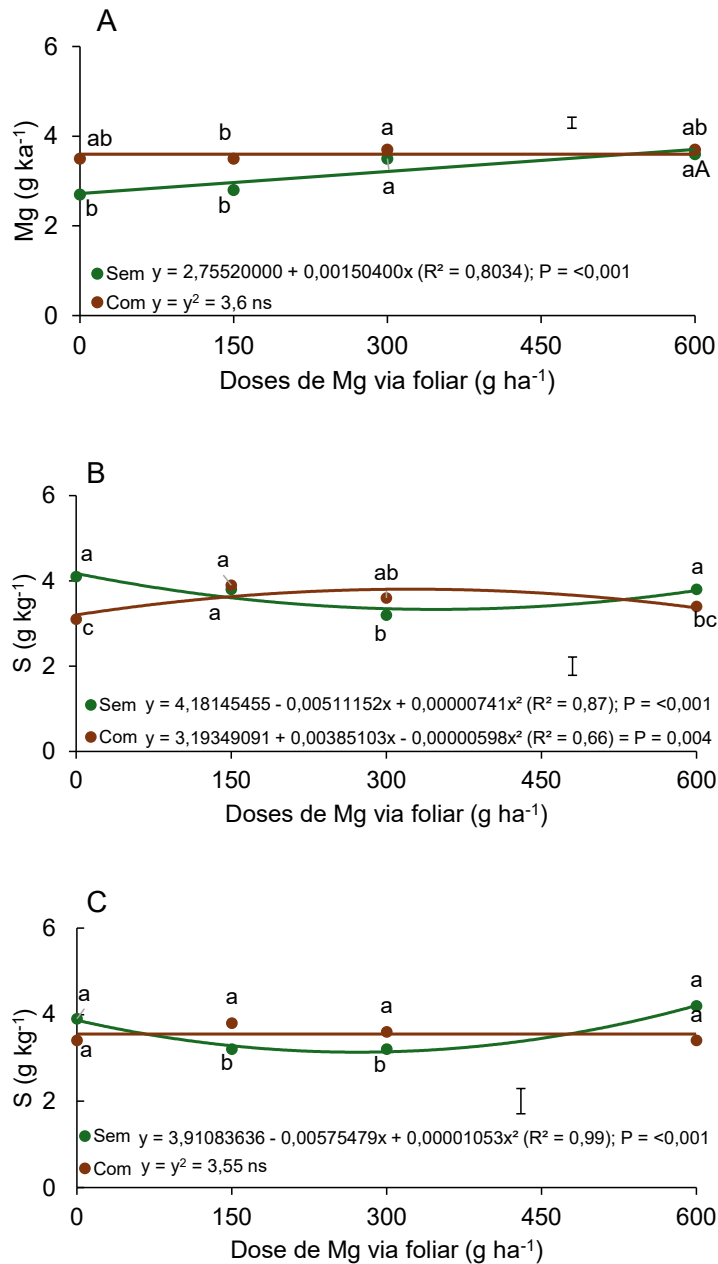
Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 2,7552 + 0,0015x$ ($R^2 = 0,80$)^{**}; ⁽²⁾ $y = 3,5839 + 0,0021x - 0,000002x^2$ ($R^2 = 0,99$); $P = 0,012^*$; ⁽³⁾ $y = 4,1815 - 0,0051x + 0,000007x^2$ ($R^2 = 0,87$)^{**} e $y = 3,1934 + 0,0039x - 0,000006x^2$ ($R^2 = 0,66$)^{**}; ⁽⁴⁾ $y = 3,911 - 0,0058x + 0,00001x^2$ ($R^2 = 0,99$)^{**}. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

A interação entre o fornecimento radicular e foliar de Mg foi significativo para o teor foliar de S nos experimentos de Paranapanema e Pardinho 2023 (Tabela 8). No experimento de Paranapanema 2023, os teores foliares de S responderam às doses de Mg via foliar tanto na ausência quanto na presença de Mg via solo, com ambas as curvas apresentando ajustes quadráticos significativos (Figura 4B). Na ausência de adubação no plantio, o teor de S reduziu-se em 21% em relação à dose zero, atingindo o valor mínimo estimado de 3,30 g kg⁻¹ na dose de 345 g ha⁻¹ de foliar, apresentando

recuperação na dose máxima. Na presença de Mg via solo, observou-se variação oposta, com o teor de S aumentando até o ponto de máximo estimado de 3,81 g kg⁻¹ na dose de 322 g ha⁻¹ de Mg foliar, o que indica que o suprimento radicular possivelmente atua como modulador da dinâmica desse nutriente. Em pardinho 2023, o S foliar respondeu às doses de Mg apenas na ausência de adubação radicular, apresentando também comportamento quadrático com a redução máxima de 20,2% (mínimo de 3,12 g kg⁻¹) na dose estimada de 273 g ha⁻¹ de Mg foliar (Figura 4C). Tais resultados sugerem que a adubação foliar com Mg pode interferir temporariamente no equilíbrio do enxofre, especialmente em situação de baixo suprimento via sistema radicular.

Apesar do sulfato de magnésio monohidratado (kieserita) também ser fonte de S (~20%), os elevados teores iniciais de S no solo em alguns experimentos (Tabela 1) e/ou a aplicação de elevadas doses de S via adubação, provavelmente foram os motivos para a reduzida resposta da cultura da batata a aplicação de kieserita via solo.

Figura 4 - Desdobramento da interação do teor de macronutrientes (Mg e S) na folha diagnose Mg – São Manuel 2022 (A), S – Paranapanema 2023 (B) e Pardinho 2023 (C), em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

A análise dos micronutrientes avaliados nos experimentos conduzidos em São Manuel, Itapeva, Paranapanema e Pardinho 2023 demonstra que as aplicações de Mg via solo e via foliar não exerceram grande influência sobre os teores foliares de B (Tabela 9).

No experimento de Paranapanema 2023 observou-se interação significativa entre Mg via solo e Mg via foliar para os teores foliares de B (Figura 5), com respostas opostas nas duas condições de adubação de Mg no solo. Na ausência de Mg via solo, verificou-se comportamento linear decrescente do B com o aumento das doses de Mg foliar, indicando que o fornecimento de Mg pela folha promoveu redução gradual nos teores de B. O teste de média confirma essa tendência, indicando maiores valores na dose zero e teores mais baixos nas doses intermediárias (150 e 300 g ha⁻¹). Em contraste, na presença de Mg via solo, o comportamento foi linear crescente, com aumento progressivo dos teores de B à medida que as doses foliares de Mg foram elevadas. Nesse caso, a suplementação foliar contribuiu para elevar o B foliar, resultando em valores máximos na dose de 600 g ha⁻¹.

A barra da DMS evidencia que a diferença entre “com” e “sem Mg no solo” é significativa principalmente nas doses extremas (0 e 600 g ha⁻¹) (Figura 5). Na dose zero, os teores foram maiores na ausência de Mg via solo; já na dose de 600 g ha⁻¹, os maiores valores ocorreram na presença de Mg via solo. Essa inversão revela que o efeito do Mg foliar sobre o B depende diretamente do estado nutricional inicial da planta: quando o Mg no solo é limitado, o Mg aplicado na folha reduz o teor de B; quando o Mg é suficiente no solo, o mesmo suprimento foliar favorece seu acúmulo.

Na maior parte dos experimentos, os valores permaneceram dentro da faixa considerada adequada para a cultura, conforme descrito por Feltran *et al.* (2022), que indicam teores ideais entre 25 e 50 mg kg⁻¹ para folhas de batateira no período de florescimento (Tabela 9; Figura 5).

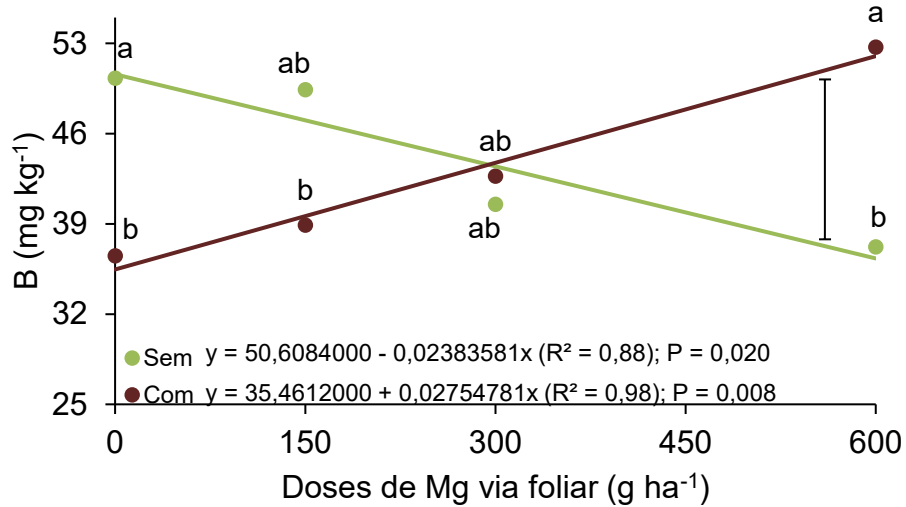
A mesma tendência foi observada para Cu e Fe, cujos teores não apresentaram variações consistentes em resposta aos tratamentos (Tabela 9). Apenas no experimento de Pardinho 2023 a aplicação de Mg via solo aumentou o teor foliar de Cu. Em alguns experimentos, os valores determinados estiveram acima da faixa ideal, embora sem associação direta com o fornecimento de Mg. Isso indica que a disponibilidade desses micronutrientes esteve mais relacionada às características intrínsecas de cada ambiente do que ao manejo com Mg.

Tabela 9 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de B, Cu e Fe na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
B (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	39,1	43,9	44,4	54,8
Com	39,9	45,2	42,7	52,7
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	39,1	43,7	43,4	50,3
150 g ha ⁻¹	39,5	47,0	44,1	50,3
300 g ha ⁻¹	38,3	41,4	41,6	59,9
600 g ha ⁻¹	41,1	46,1	44,9	54,2
Regressão	ns	ns	L ⁽¹⁾	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,655	0,727	0,589	0,595
F	0,767	0,666	0,885	0,293
S × F	0,616	0,974	0,008	0,572
CV (%)	15,2	24,7	22,1	23,4
Cu (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	18,0	100,1	111,4	26,5b
Com	17,2	99,9	108,7	38,9a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	17,7	97,8	111,5	29,7
150 g ha ⁻¹	18,0	104,7	113,9	33,3
300 g ha ⁻¹	17,7	99,6	108,0	32,7
600 g ha ⁻¹	17,0	97,7	106,8	35,0
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,458	0,953	0,291	0,015
F	0,913	0,511	0,188	0,888
S × F	0,632	0,698	0,976	0,999
CV (%)	18,6	11,6	7,1	46,6
Fe (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	80,5	315,3a	351,1	282,8
Com	80,3	287,9b	351,4	257,7
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	78,9	306,4	358,6	261,6
150 g ha ⁻¹	84,2	314,3	327,2	287,8
300 g ha ⁻¹	80,8	295,8	389,3	282,6
600 g ha ⁻¹	77,7	289,9	330,0	249,0
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,969	0,045	0,988	0,134
F	0,909	0,562	0,208	0,310
S × F	0,394	0,956	0,837	0,979
CV (%)	26,3	13,7	20,5	19,0

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 50,608 - 0,0238x$ ($R^2 = 0,88$)* e $y = 35,4612 + 0,0275x$ ($R^2 = 0,98$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 5 - Desdobramento da interação do teor de micronutrientes (B) na folha diagnose no experimento de Paranapanema 2023, em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Os teores foliares de Mn e Zn também foram pouco influenciados pelos tratamentos, mantendo-se relativamente estáveis em todos os tratamentos (Tabela 10). Apenas no experimento de Pardinho 2023 a aplicação de Mg via solo aumentou o teor foliar de Mn. Na maioria dos experimentos os teores permaneceram dentro ou acima do ideal para a cultura (30 a 250 mg kg⁻¹ para Mn e 20 a 50 mg kg⁻¹ para Zn), conforme os critérios de Feltran *et al.* 2022.

Tabela 10 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mn e Zn na folha diagnose da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Mn (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	127,1	77,7	251,5	323,2b
Com	140,3	76,8	251,0	352,8a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	132,5	72,0	264,6	341,8
150 g ha ⁻¹	131,0	81,9	247,6	331,8
300 g ha ⁻¹	135,3	72,7	247,2	339,6
600 g ha ⁻¹	136,3	82,5	245,7	338,7
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,122	0,825	0,956	0,033
F	0,966	0,150	0,418	0,956
S × F	0,770	0,717	0,061	0,053
CV (%)	19,6	16,8	11,4	12,4
Zn (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	19,4	27,9	22,3	20,6
Com	20,9	26,3	22,3	22,6
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	19,4	27,4	22,6	23,7
150 g ha ⁻¹	19,3	28,3	21,6	19,2
300 g ha ⁻¹	19,6	26,2	22,1	17,9
600 g ha ⁻¹	22,4	26,3	22,9	25,5
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,257	0,053	0,941	0,459
F	0,283	0,228	0,762	0,168
S × F	0,082	0,177	0,304	0,550
CV (%)	19,9	9,2	13,3	39,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de Mg avaliados aos 45 DAE apresentaram respostas distintas entre os experimentos. Em São Manuel 2023, observou-se efeito significativo da aplicação de Mg via solo, elevando o teor foliar de 3,4 para 5,0 g kg⁻¹, enquanto em Itapeva 2023, o Mg no solo aumentou o teor de 4,8 para 5,7 g kg⁻¹ (Tabela 11). Esses resultados são coerentes com a fisiologia da planta: o Mg absorvido pelas raízes é altamente móvel no floema e rapidamente redistribuído para tecidos em crescimento, de modo que aumentos na oferta radicular tendem a ser prontamente refletidos nos teores foliares quando a cultura se encontra próxima de limitação nutricional (Hermans; Verbruggen, 2005; Marschner, 2011).

Tabela 11 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Mg na folha diagnose, avaliado aos 45 dias após a emergência, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	Mg (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	3,4b	4,8b	4,8	4,7
Com	5,0a	5,7a	4,8	4,7
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	3,9	5,1bc	4,6	4,7
150 g ha ⁻¹	4,3	4,7c	4,7	4,8
300 g ha ⁻¹	4,4	5,4ab	5,1	4,6
600 g ha ⁻¹	4,2	5,4a	4,7	4,7
Regressão	Ns	L ⁽¹⁾	Ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	<0,001	<0,001	0,934	0,909
F	0,081	0,005	0,578	0,887
S × F	0,250	0,298	0,505	0,652
CV (%)	11,7	11,7	19,7	10,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 4,8472 + 0,0015x$ ($R^2 = 0,73$); $P = 0,002$. **ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Quanto às doses de Mg via foliar, observou-se incremento adicional dos teores nas doses de 300 e 600 g ha⁻¹ no experimento de Itapeva 2023, sugerindo que, nesse ambiente, a adubação foliar atuou de forma complementar ao suprimento radicular. Estudos recentes mostram que, em condições de deficiência moderada, a aplicação foliar de Mg pode melhorar o status nutricional e o desempenho fotossintético, elevando o teor de clorofila e a assimilação de CO₂ (Koch *et al.*, 2019; Farhat *et al.*, 2020). Por outro lado, a ausência de resposta foliar mais consistente em outros ambientes indica que, uma vez atingida a faixa adequada de Mg na folha (3–5 g kg⁻¹ para batata), a planta passa a regular o acúmulo do nutriente, de modo que doses adicionais apresentam retorno limitado, como já discutido em revisões sobre nutrição magnésiana em plantas de clima temperado (Hermans; Verbruggen, 2005; White; Broadley, 2009).

4.3 Matéria seca e teor de magnésio acumulado do resto da planta e tubérculos

A MS do resto da planta apresentou resposta variável entre os experimentos, com efeitos pontuais do Mg via solo e via foliar (Tabela 12). Em Paranapanema 2021, houve efeito do Mg aplicado no solo, com redução da MS quando o nutriente foi

fornecido (11,7%). Esse comportamento indica que, nesse ambiente, a adição de Mg ao solo não favoreceu o acúmulo de biomassa aérea, possivelmente devido a condições edáficas que já supriam Mg adequadamente (Tabela 1), resultando em resposta inversa à esperada — fenômeno observado quando o nutriente se encontra acima do nível ótimo, podendo afetar a absorção de outros cátions (Huber; Jones, 2016). Nos demais experimentos, o efeito do Mg via solo não foi significativo, e as pequenas variações numéricas entre tratamentos não caracterizam resposta fisiológica consistente ao nutriente (Tabela 12).

Para as doses de Mg via foliar, verificou-se efeito significativo somente em São Manuel 2022 (Tabela 12). Nesse experimento, a análise de regressão indicou ajuste quadrático, com incremento da MS até a dose intermediária (300 g ha⁻¹), seguido de estabilização ou leve redução na maior dose (600 g ha⁻¹). A maior média ocorreu com 300 g ha⁻¹, sugerindo que doses moderadas maximizaram o acúmulo de biomassa naquele ambiente específico. Essa resposta está de acordo com estudos que descrevem maior eficiência da adubação foliar sob condições de limitação temporária de Mg no solo ou maior demanda da planta durante fases de alta atividade metabólica (Qu *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2024). Nos demais experimentos, não houve efeito significativo das doses foliares.

A MS de tubérculos apresentou respostas variáveis nos diferentes experimentos, com efeitos positivos do fornecimento de Mg via solo em dois deles (Tabela 12). Em São Manuel 2022, houve aumento da MS de tubérculos com a aplicação de Mg no plantio (de 4.431,5 para 4.942,3 kg ha⁻¹). Resultado semelhante ocorreu em Itapeva 2023 (de 4.847,4 para 5.205,1 kg ha⁻¹), indicando que, nesses ambientes, a disponibilidade inicial de Mg pode ter sido limitante para o crescimento subterrâneo, e a adubação de Mg no plantio contribuiu para maior acúmulo de biomassa nos tubérculos. Esses incrementos são coerentes com o papel do Mg na fotossíntese, na translocação de fotoassimilados e na atividade de enzimas relacionadas ao enchimento dos tubérculos, conforme amplamente reportado na literatura (Cakmak; Yazici, 2013; Hermans *et al.*, 2003; Farhat *et al.*, 2016). Nos demais experimentos, o Mg via solo não apresentou efeito significativo.

A aplicação de Mg via foliar apresentou efeito significativo na MS de tubérculos, com ajuste a um modelo quadrático, apenas no experimento de Itapeva 2023 (Tabela 12). Os maiores valores de MS de tubérculos foram obtidos com a aplicação de 150 e 300 g ha⁻¹ de Mg via foliar. A interação entre as vias solo e foliar também não foi

significativa em nenhum dos experimentos, indicando que os efeitos das formas aplicação de Mg são independentes.

Tabela 12 - Teste de médias e resumo da análise de variância para quantidade de matéria seca acumulada no resto da planta e nos tubérculos, avaliada antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Matéria seca do resto da planta (g ha ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	669,1a	540,6	777,4	777,4	931,4	1205,4	616,6
Com	599,1b	574,9	795,0	795,0	953,5	1219,0	564,6
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	635,3	497,1b	844,2	844,2	849,6	1226,2	554,3
150 g ha ⁻¹	609,3	544,7ab	791,8	756,0	948,1	1326,6	589,7
300 g ha ⁻¹	662,3	621,0a	756,0	791,8	999,5	1151,7	585,2
600 g ha ⁻¹	630,1	568,2ab	752,7	752,7	972,7	1144,4	633,2
Regressão	ns	Q ⁽¹⁾	ns	Ns	ns	ns	Ns
F. Variação	P > F						
S	0,011	0,234	0,739	0,739	0,598	0,872	0,344
F	0,540	0,034	0,585	0,585	0,082	0,397	0,781
S × F	0,134	0,802	0,281	0,281	0,683	0,225	0,967
CV (%)	12,7	16,0	21,1	20,1	13,9	21,8	28,9
Matéria seca de tubérculos (g ha ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	5267,9	4431,5b	6184,0	6184,0	4847,4b	3698,1	3099,7
Com	5317,9	4942,3a	6396,1	6396,1	5205,1a	4027,6	3309,2
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	4933,1	4373,1	5831,1	5831,1	4699,7b	3770,3	3053,9
150 g ha ⁻¹	5424,2	4691,6	6167,8	6167,8	5487,1a	3678,8	3074,6
300 g ha ⁻¹	5415,3	4866,6	6775,2	6775,2	5206,8a	3835,5	3197,9
600 g ha ⁻¹	5397,0	4816,1	6386,1	6386,1	4711,5b	4076,9	3491,4
Regressão	ns	ns	ns	Ns	Q ⁽²⁾	ns	Ns
F. Variação	P > F						
S	0,788	0,004	0,5723	0,572	0,017	0,358	0,440
F	0,205	0,157	0,351	0,351	<0,001	0,915	0,640
S × F	0,792	0,936	0,881	0,881	0,763	0,648	0,987
CV (%)	11,2	10,9	18,7	18,7	8,8	20,9	26,4

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 489,1927 + 0,6367x - 0,0008x^2$ ($R^2 = 0,90$); $P = 0,026^*$; ⁽²⁾ $y = 4788,8319 + 4,1534x - 0,0072x^2$ ($R^2 = 0,78$); $P \leq 0,001^{**}$. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Os teores de Mg no resto da planta apresentaram variações importantes entre os experimentos (Tabela 13). De modo geral, o fornecimento de Mg via solo exerceu

maior influência sobre o teor do nutriente nos tecidos do resto da planta quando comparado às doses aplicadas via foliar. Em quatro dos sete experimentos (Paranapanema 2021, São Manuel 2022, Paranapanema 2022, São Manuel 2023), a aplicação de Mg no plantio elevou significativamente o teor de Mg, com incrementos aproximados entre 0,3 e 0,9 g kg⁻¹. Esse efeito sugere que o suprimento radicular adequado é determinante para sustentar o acúmulo de Mg ao longo do ciclo vegetativo, uma vez que a absorção via solo ocorre de forma contínua e atende à demanda metabólica das plantas.

Tabela 13 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Mg no resto da planta e nos tubérculos, avaliado antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Teor de Mg no resto da planta (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	3,3b	2,8b	3,7b	3,7b	3,7	4,3	6,2
Com	3,8a	3,6a	4,6a	4,6 ^a	4,0	4,6	6,5
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	3,4	2,8b	4,0	4,0	3,5c	4,1	6,2
150 g ha ⁻¹	3,5	3,4a	4,3	4,3	3,6bc	4,7	6,5
300 g ha ⁻¹	3,4	3,4a	4,2	4,2	4,2a	4,7	6,2
600 g ha ⁻¹	4,0	3,4a	4,2	4,2	4,0ab	4,4	6,5
Regressão	ns	Q ⁽¹⁾	ns	Ns	L ⁽²⁾	ns	Ns
F. Variação	P > F						
S	0,016	<0,001	0,001	0,001	0,076	0,524	0,499
F	0,115	0,001	0,846	0,846	0,032	0,686	0,932
S × F	0,835	0,010	0,982	0,982	0,868	0,547	0,741
CV (%)	19,0	11,5	17,7	17,7	14,6	26,7	19,3
Teor de Mg nos tubérculos (g kg ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	1,0	0,9	1,2	1,2	1,4	1,3b	1,7
Com	1,0	0,9	1,2	1,2	1,5	1,4a	1,8
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	1,1	0,9	1,2	1,2	1,3c	1,1b	1,8
150 g ha ⁻¹	1,0	0,9	1,1	1,1	1,4bc	1,4a	1,7
300 g ha ⁻¹	1,0	0,9	1,2	1,2	1,5a	1,4a	1,7
600 g ha ⁻¹	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5ab	1,4a	1,8
Regressão	ns	ns	ns	Ns	L ⁽³⁾	L ⁽⁴⁾	Ns
F. Variação	P > F						
S	0,205	0,284	0,554	0,554	0,056	0,047	0,962
F	0,344	0,071	0,828	0,828	0,034	0,007	0,749
S × F	0,543	0,779	0,759	0,759	0,404	0,206	0,698
CV (%)	10,5	7,8	12,5	12,5	10,5	13,1	11,4

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 2,9273 + 0,0068x - 0,000009x^2$ ($R^2 = 0,89$)**; ⁽²⁾ $y = 3,5620 + 0,0009x$ ($R^2 = 0,61$)*; ⁽³⁾ $y = 1,3738 + 0,0003x$ ($R^2 = 0,56$)*; ⁽⁴⁾ $y = 1,2438 + 0,0003x$ ($R^2 = 0,67$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Esse resultado é coerente com o papel fisiológico do Mg como elemento central na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos. O Mg participa diretamente da ativação de enzimas envolvidas na fixação de carbono, formação de clorofila e síntese de ATP, além de regular o transporte de fotoassimilados pelo floema. Assim, plantas bem supridas no solo tendem a apresentar maior produção de biomassa e maior demanda absoluta pelo nutriente, o que explica os maiores valores de acúmulo

observados (Guo *et al.*, 2016). Estudos clássicos e recentes confirmaram essa relação: Hermans *et al.* (2004) demonstraram que a deficiência de Mg reduz a fotossíntese e o transporte de sacarose, exemplificado em beterraba açucareira, limitando o crescimento vegetativo; Farhat *et al.* (2016) reforçaram que o fornecimento adequado do nutriente aumenta tanto o conteúdo total de Mg nos tecidos quanto o desenvolvimento do resto da planta.

Quanto às aplicações via foliar, observaram-se efeitos pontuais, com respostas significativas apenas em São Manuel 2022 e Itapeva 2023 (Tabela 13). A interação entre Mg via solo e Mg via foliar em São Manuel 2022 indicou comportamento quadrático, com maior teor de Mg do resto da planta nas doses intermediárias, sugerindo que existe um limiar de absorção acima do qual não há incremento adicional, ou seja, apenas as plantas com suprimento radicular responderam às doses foliares (Figura 6). Sem aplicação de Mg via solo, o teor de Mg do resto da planta permaneceu constante ($\sim 2,8 \text{ kg ha}^{-1}$), e a regressão não foi significativa, indicando que a via foliar não foi capaz de aumentar o acúmulo total do nutriente. Esse comportamento confirma que a eficiência da aplicação foliar depende do estado nutricional da planta, sendo maior quando o suprimento radicular é adequado.

Já em Itapeva 2023, verificou-se resposta linear positiva do teor de Mg do resto da planta às doses foliares, indicando que as plantas estavam mais responsivas ao fornecimento externo de Mg, possivelmente devido à algum desequilíbrio, especialmente na relação K:Mg, devido ao alto teor de K^+ no solo (Tabela 1) e a aplicação de 300 kg ha^{-1} de K_2O no início do ciclo da cultura. Nos demais experimentos, a pulverização de Mg foliar não alterou significativamente os teores deste nutriente, o que pode ser explicado também pela capacidade limitada de absorção e translocação do Mg aplicado via folhas.

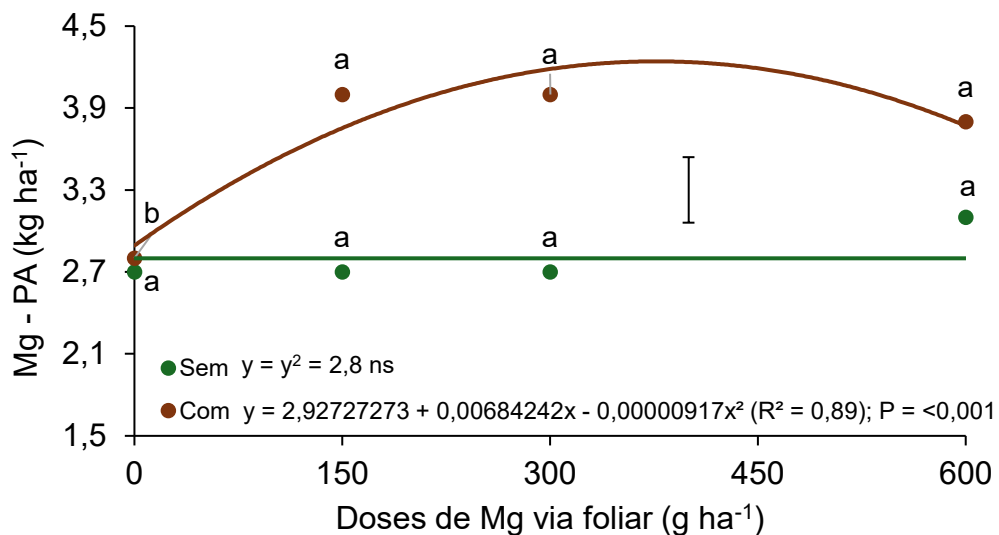
O teor de Mg nos tubérculos apresentou pouca variação entre os tratamentos avaliados e manteve-se relativamente estável entre os experimentos, oscilando entre $0,9$ e $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 13). Houve apenas uma pequena variação significativa em Paranapanema 2023, de $1,3$ para $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ quando aplicado Mg via solo. Já para as doses de Mg aplicadas via foliar, efeitos positivos foram observados nos experimentos de Itapeva e Paranapanema 2023, com aumento linear do teor de Mg nos tubérculos, com maior influência das doses de 300 e 600 g ha^{-1} .

A ausência de interação entre Mg via solo e via foliar indica ainda que a resposta às doses foliares é independente da disponibilidade radicular do nutriente,

reforçando que o acúmulo de Mg nos tubérculos é governado principalmente por características fisiológicas intrínsecas da cultura e pela quantidade de biomassa produzida (Gerendás; Führs, 2013). Apesar da capacidade dos tubérculos em acumular nutrientes, observa-se variação entre ambientes de cultivo no teor de Mg nos tubérculos. Conforme destacado por Fernandes (2017), essas diferenças podem resultar tanto da produção de MS quanto do teor de Mg presente no órgão, os quais são influenciados por fatores de manejo, condições ambientais e características genótípicas. Esses elementos afetam diretamente processos fisiológicos como absorção e translocação de Mg, crescimento, desenvolvimento e a partição de assimilados na planta.

Valores semelhantes ao encontrado nesse estudo, foi encontrado por Garreto (2022), tanto para os teores do resto da planta com valores entre 2,8 e 4,6 g kg⁻¹, e nos tubérculos com valores variando entre 1,1 e 1,2 g kg⁻¹, estudando dose e época de aplicação de Mg na cultura da batata, em três cultivares, Agata, Asterix e Orchestra.

Figura 6 - Desdobramento da interação do acúmulo de Mg no resto da planta (Mg - PA) em São Manuel 2022 avaliados antes da dessecação, em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Apesar de tendência positiva em todos, apenas em dois experimentos (São Manuel 2022 e Itapeva 2023) a aplicação de Mg via solo aumentou significativamente

o acúmulo total do nutriente na cultura da batata (Tabela 14). Os mesmos experimentos apresentaram efeito significativo das doses de Mg aplicadas via foliar, onde no experimento de São Manuel o acúmulo apresentou aumento linear, e no experimento de Itapeva o comportamento foi quadrático, sendo a dose de 300 g ha⁻¹ a que proporcionou maior acúmulo (12,1 kg ha⁻¹).

Tabela 14 - Teste de médias e resumo da análise de variância para quantidade de Mg acumulada na planta (parte área + tubérculos), avaliada antes da dessecação, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	Quantidade de Mg acumulada (kg ha ⁻¹)						
Mg via solo (S)							
Sem	7,4	5,6b	10,2	10,2	10,3b	10,0	9,2
Com	7,6	6,7a	11,2	11,2	11,4a	11,1	9,5
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	7,2	5,6b	10,2	10,2	9,3c	9,4	8,9
150 g ha ⁻¹	7,6	6,3a	10,2	10,2	11,0ab	11,1	9,0
300 g ha ⁻¹	7,7	6,3a	11,4	11,4	12,1a	10,8	9,2
600 g ha ⁻¹	7,8	6,5a	11,0	11,0	11,0b	10,9	10,3
Regressão	ns	L ⁽¹⁾	ns	Ns	Q ⁽²⁾	ns	Ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,441	<0,001	0,145	0,145	0,007	0,117	0,676
F	0,690	0,027	0,480	0,480	<0,001	0,298	0,547
S × F	0,586	0,923	0,885	0,885	0,224	0,556	0,998
CV (%)	14,0	11,2	19,8	19,8	11,2	20,7	26,4

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 5,8030 + 0,001365x$ ($R^2 = 0,72$)*; ⁽²⁾ $y = 9,2571 + 0,01559x - 0,00002x^2$ ($R^2 = 0,99$). ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

4.4 População de plantas, número de hastes e tubérculos por planta e peso médio de tubérculos

As variáveis população de plantas e número de hastes por planta de nenhum dos experimentos foram afetadas pelos fatores estudados (Tabela 15). Resultados semelhantes foram observados por Garreto (2022), que também não verificou efeito dos manejos de Mg sobre a população de plantas e o número de hastes por planta em diferentes cultivares de batata, conduzidas em distintos ambientes de cultivo.

Tabela 15 - Teste de médias e resumo da análise de variância para população final de plantas e número de hastes por planta da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
População de plantas (plantas ha ⁻¹)							
Mg via solo (S)							
Sem	31918	41328	33659	43229	41010	37240	37688
Com	31987	41329	33531	43260	42146	36979	36979
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	32265	41750	33418	43375	41104	36979	36979
150 g ha ⁻¹	32087	41813	33630	43083	42521	36979	37500
300 g ha ⁻¹	31749	41420	33630	43188	42063	36458	36833
600 g ha ⁻¹	31709	41413	33703	43333	40625	38021	38021
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,906	0,136	0,780	0,977	0,329	0,864	0,656
F	0,886	0,761	0,973	0,997	0,636	0,902	0,949
S × F	0,597	0,707	0,980	0,820	0,371	0,953	0,916
CV (%)	5,7	2,9	4,3	7,9	8,7	12,8	13,3
Número de hastes por planta							
Mg via solo (S)							
Sem	3,5	4,2	3,6	3,8	3,9	4,8	4,8
Com	3,7	4,2	3,7	3,8	4,1	4,7	4,6
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	3,5	4,2	3,6	3,7	4,0	4,8	4,7
150 g ha ⁻¹	3,7	4,2	3,5	3,9	3,8	4,7	4,8
300 g ha ⁻¹	3,5	4,3	3,8	3,9	4,0	4,8	4,6
600 g ha ⁻¹	3,7	4,1	3,6	3,7	4,2	4,8	4,8
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>						
S	0,075	0,792	0,652	0,675	0,142	0,690	0,513
F	0,130	0,643	0,303	0,761	0,444	0,980	0,969
S × F	0,358	0,760	0,358	0,581	0,116	0,881	0,826
CV (%)	6,4	9,6	9,2	16,0	12,5	17,1	14,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

Já as variáveis número de tubérculos por plantas e peso médio de tubérculos foram afetadas pelos tratamentos em situações específicas (Tabela 16). No experimento de Paranapanema 2023, o número de tubérculos foi maior quando houve aplicação de Mg via solo, elevando-se de 11,7 para 13,1 (incremento de 12,0%). Padrão semelhante de resposta positiva ao Mg via solo foi observado para o peso médio de tubérculo, com aumento de 8,1% em São Manuel 2022 (de 84,0 para 90,8

g), de 7,1% em São Manuel 2023 (de 78,4 para 84,0 g), de 5,6% em Itapeva 2023 (de 80,2 para 84,7 g) e de 5,7% em Pardinho 2023 (de 51,3 para 54,2 g).

Nos experimentos de Paranapanema 2021 e São Manuel 2022 houve incremento no peso médio de tubérculos com o aumento das doses Mg aplicadas via foliar (Tabela 16). Os demais experimentos apresentaram comportamento semelhante, mas sem diferenças estatísticas.

Esse padrão é coerente com o papel fisiológico do Mg na planta, uma vez que o nutriente atua diretamente na fotossíntese e na partição de carboidratos, favorecendo o transporte de assimilados para os órgãos de reserva. De acordo com Assunção *et al.* (2020), o suprimento suplementar de Mg aumenta o fluxo de carboidratos para os tubérculos e, conseqüentemente, pode elevar o rendimento e o peso individual dos tubérculos. Assim, os incrementos observados nos diferentes locais refletem o efeito do Mg em melhorar o abastecimento energético e o enchimento dos tubérculos.

Tabela 16 - Teste de médias e resumo da análise de variância para número de tubérculos por planta e peso médio de tubérculo da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

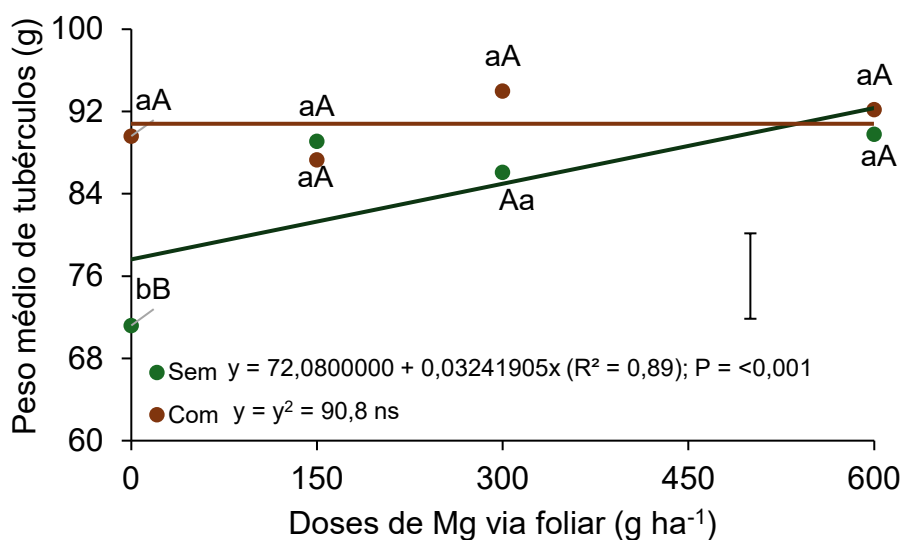
Tratamento	Experimento						
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Número de tubérculos por planta							
Mg via solo (S)							
Sem	11,7	9,0	8,2	13,4	11,6	11,7b	14,4
Com	11,8	9,1	8,3	13,3	12,2	13,1 ^a	14,5
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	12,1	8,9	8,5	13,3	11,6	12,5	13,4
150 g ha ⁻¹	11,6	9,1	8,1	13,6	11,7	12,8	14,0
300 g ha ⁻¹	11,4	9,1	8,3	13,3	12,1	12,4	14,6
600 g ha ⁻¹	11,9	9,1	8,2	13,2	12,2	11,8	14,0
Regressão	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns
F. Variação	$P > F$						
S	0,806	0,830	0,743	0,766	0,253	0,019	0,227
F	0,436	0,913	0,583	0,947	0,810	0,691	0,825
S × F	0,411	0,988	0,620	0,868	0,208	0,813	0,839
CV (%)	9,2	10,5	8,6	13,7	13,3	15,0	18,5
Peso médio de tubérculo (g)							
Mg via solo (S)							
Sem	109,5	84,0b	144,5	78,4b	80,2b	116,6	51,3b
Com	112,4	90,8a	147,4	84,0a	84,7a	112,1	54,2a
Mg via foliar (F)							
0 g ha ⁻¹	103,5b	80,4b	140,9	79,1	81,6	112,1	53,2
150 g ha ⁻¹	112,6a	88,2a	145,4	80,0	82,6	113,6	53,6
300 g ha ⁻¹	115,3a	90,1a	147,6	83,1	83,7	114,1	51,3
600 g ha ⁻¹	112,3a	91,0a	150,0	82,7	81,8	117,6	53,0
Regressão	Q ⁽¹⁾	L ⁽²⁾	ns	ns	ns	Ns	ns
F. Variação	$P > F$						
S	0,248	0,002	0,483	0,032	0,022	0,099	0,047
F	0,011	0,003	0,461	0,582	0,836	0,531	0,664
S × F	0,149	0,009	0,641	0,735	0,393	0,808	0,262
CV (%)	7,0	7,3	8,9	9,6	7,1	7,3	8,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $103,7562 + 0,0670x - 0,00009x^2$ ($R^2 = 0,99$)**; ⁽²⁾ $y = y = 72,0800 + 0,0324x$ ($R^2 = 0,89$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Na Figura 7 observa-se o desdobramento da interação entre Mg via solo e doses de Mg via foliar sobre o peso médio de tubérculo no experimento de São Manuel 2022. A aplicação de Mg via solo promoveu aumento expressivo no peso médio dos tubérculos, elevando a média de 72,1 g para 90,8. Esse efeito principal do suprimento radicular é evidente, uma vez que, independentemente da dose foliar, os tratamentos com Mg no solo mantiveram valores superiores e estáveis, sem resposta significativa ao incremento foliar.

Para os tratamentos sem Mg via solo, houve resposta linear às doses de Mg foliar, indicando que o fornecimento foliar foi capaz de atenuar a limitação imposta pela ausência de Mg no solo, resultando em incrementos progressivos no peso médio dos tubérculos (Figura 7). Contudo, mesmo nas maiores doses (600 g ha⁻¹), o desempenho não atingiu o patamar observado quando o Mg foi aplicado diretamente ao solo. Esse comportamento reforça a importância do fornecimento radicular de Mg, especialmente em condições em que o nutriente é limitante no solo.

Figura 7 - Desdobramento da interação do peso médio de tubérculo na cultura da batata em São Manuel 2022 em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

4.5 Produtividade e classificação dos tubérculos

A produtividade total de tubérculos apresentou variação entre os experimentos, porém com padrão consistente quanto ao efeito isolado do Mg aplicado via solo (Tabela 17). Em quatro dos sete experimentos (Paranapanema 2021, São Manuel 2022, Paranapanema 2023 e Pardinho 2023) houve incremento na produtividade total quando o Mg foi fornecido ao solo, sendo este efeito verificado também na produtividade média obtida dos sete experimentos, com incremento médio de 2,3 t ha⁻¹ (5,9%).

O efeito significativo do Mg via solo em quatro ambientes confirma que o suprimento radicular do nutriente é determinante para sustentar processos fisiológicos relacionados ao enchimento dos tubérculos e ao transporte de carboidratos, conforme discutido por Assunção *et al.* (2020), que demonstraram que o Mg aumenta a alocação de carboidratos para os órgãos de reserva, resultando em maiores rendimentos. Assim, a maior produtividade observada em diferentes locais está alinhada com o papel do Mg em otimizar a fotossíntese, o carregamento do floema e a partição de fotoassimilados. Além disso, vale destacar que a resposta a aplicação de Mg via solo não está diretamente relacionada ou teor inicial de Mg^{2+} no solo, já que, mesmo em solos com teores considerados elevados $>8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com nos experimentos de Paranapanema 2021 e 2023 (Tabela 1), houve efeito positivo (Tabela 17).

As doses de Mg via foliar proporcionaram efeito significativo sobre a produtividade total em apenas um local (São Manuel 2022), porém, com tendências positivas em todos os locais, o que resultou em efeito significativo na média dos sete experimentos (Tabela 17). As doses proporcionaram efeito linear, evidenciando incremento pelas médias de $4,4 \text{ t ha}^{-1}$ (14,7%) com a dose de 600 g ha^{-1} de Mg.

Em São Manuel 2022, houve interação Mg via solo \times Mg via foliar significativa para a produtividade total (Tabela 17). Quando não foi aplicado Mg via solo, houve resposta linear significativa às doses de Mg via foliar, com aumento progressivo da produtividade, evidenciando que a aplicação foliar atuou como medida corretiva diante da limitação nutricional (Figura 8A). Já nos tratamentos com Mg via solo, a produtividade manteve-se estável entre as doses, indicando que o suprimento radicular foi suficiente para atender às demandas fisiológicas da cultura, de modo que a aplicação foliar não proporcionou ganhos adicionais.

Esses resultados são coerentes com os achados de El-Hadidi *et al.* (2017), que observaram aumento significativo no rendimento de tubérculos com a aplicação foliar de Mg, resultando em incremento de até 10,9% na produtividade quando o nutriente foi fornecido em condições de deficiência. Os autores atribuíram esse efeito à maior eficiência fotossintética e ao aumento no acúmulo de MS promovidos pelo Mg, refletindo diretamente no crescimento e na capacidade de enchimento dos tubérculos. Tal evidência reforça que, em situações em que o fornecimento radicular é limitado, o Mg aplicado via foliar pode mitigar parcialmente a deficiência e favorecer o desenvolvimento dos tubérculos. No entanto, quando o Mg é adequadamente suprido pelo solo, o aporte foliar deixa de gerar incrementos adicionais, o que confirma que o

suprimento radicular é a via mais determinante para assegurar a produtividade da batata.

A produtividade de tubérculos da classe especial apresentou respostas semelhantes às observadas para a produtividade total (Tabela 17). Em quatro dos sete experimentos (Paranapanema 2021, São Manuel 2022, São Manuel e Pardinho 2023), o fornecimento de Mg via solo aumentou a produtividade da classe especial, com aumento de até 4,1 t ha⁻¹, chegando em aumento de até 16,1%. O efeito significativo do Mg via solo na maior parte dos ambientes reforça que o nutriente desempenha papel determinante na formação de tubérculos de maior tamanho, dependente de processos fisiológicos ligados ao transporte e acúmulo de carboidratos nos órgãos de reserva (Gerendás; Fühns, 2013). A produtividade média da classe especial seguiu a mesma tendência, com aumento de 7,2%.

As doses de Mg via foliar também influenciaram a produtividade da classe especial em alguns experimentos (Paranapanema 2021, São Manuel 2022 e Itapeva 2023), com aumentos lineares de comportamento, em sua maioria, conforme a dose, chegando em até 6 t ha⁻¹ em Itapeva 2023, com a dose 300 g ha⁻¹ de Mg (Tabela 17).

A interação entre Mg via solo e foliar foi significativa em alguns ambientes, evidenciando que a resposta às doses foliares depende do estado nutricional inicial da planta. Na Figura 8B, observa-se resposta linear significativa às doses de Mg via foliar somente na presença de Mg via solo, com aumento claro na produtividade da classe especial de Paranapanema 2021, conforme a dose foliar é elevada. Esse comportamento indica que, quando o fornecimento de Mg via solo atende adequadamente a demanda da planta, a aplicação foliar atua de forma complementar, potencializando o enchimento dos tubérculos e elevando a fração de tubérculos maiores. Já na ausência de Mg via solo, a produtividade permaneceu estável e inferior, sem resposta às doses foliares.

Na interação dos fatores em São Manuel 2022 (Figura 8C), houve resposta linear às doses de Mg foliar somente nos tratamentos sem Mg via solo, com aumento significativo na produtividade. Isso demonstra que o Mg foliar exerceu papel corretivo, melhorando o desenvolvimento dos tubérculos da classe especial quando o suprimento radicular era insuficiente. Por outro lado, quando o Mg foi fornecido no solo, a produtividade se manteve estável, com médias elevadas e sem efeito das doses foliares, comportamento típico de situação nutricional já adequada, em que o fornecimento adicional via folha não gera incrementos adicionais.

As letras mostram distinção entre tratamentos sem Mg via solo, reforçando que a limitação inicial influenciou diretamente o tamanho dos tubérculos.

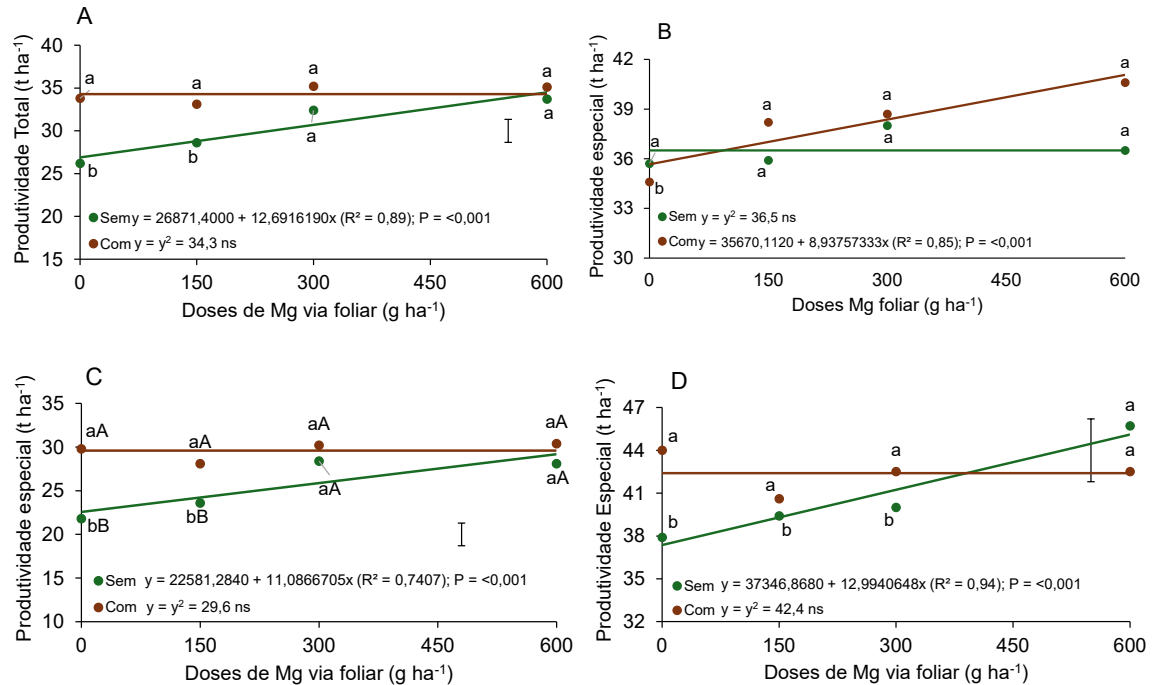
Em Paranapanema 2023, a resposta às doses de Mg foliar ocorreu na ausência de Mg via solo, com incremento significativo e modelo linear ajustado (Figura 8D). O Mg foliar elevou a produtividade da classe especial de forma progressiva. No entanto, quando o Mg foi aplicado ao solo, a produtividade de tubérculos especiais permaneceu constante e elevada, sem diferenças estatísticas entre as doses foliares. Esse comportamento confirma que o fornecimento radicular foi suficiente para suprir as necessidades da planta, garantindo desenvolvimento adequado dos tubérculos de maior calibre independentemente das aplicações via foliar.

Tabela 17 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a produtividade total de tubérculos e de tubérculos da classe especial da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento							Média
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23	
Produtividade total (t ha ⁻¹)								
Mg via solo (S)								
Sem	40,7b	30,2b	39,8	45,0	40,1	49,5b	25,4b	38,7b
Com	42,0a	34,3a	40,9	47,7	41,4	52,8a	28,1a	41,0a
Mg via foliar (F)								
0 g ha ⁻¹	40,1	30,0b	39,8	45,2	38,5	50,3	25,1	38,4c
150 g ha ⁻¹	41,4	30,8b	39,5	46,8	40,7	51,1	26,8	39,6b
300 g ha ⁻¹	41,6	33,8a	40,9	47,1	41,9	51,2	27,1	40,5a
600 g ha ⁻¹	42,3	34,4a	40,9	46,2	41,3	52,2	28,0	40,8a
Regressão	ns	L ⁽¹⁾	ns	ns	ns	Ns	ns	L ⁽²⁾
F. Variação	P > F							
S	0,025	<0,001	0,156	0,074	0,457	0,008	0,045	<0,001
F	0,075	<0,001	0,379	0,806	0,229	0,727	0,441	<0,001
S × F	0,067	0,017	0,748	0,998	0,393	0,129	0,998	0,147
CV (%)	4,4	6,2	5,9	10,0	9,4	7,1	15,1	2,5
Produtividade especial (t ha ⁻¹)								
Mg via solo (S)								
Sem	36,5b	25,5b	37,1	31,6b	26,7	40,8	15,3b	30,4b
Com	38,0a	29,6a	37,2	34,3a	28,9	42,4	17,7a	32,6a
Mg via foliar (F)								
0 g ha ⁻¹	35,2b	25,8b	36,4	31,6	24,3b	40,9	15,5	29,9c
150 g ha ⁻¹	37,0a	25,8b	36,3	32,9		40,0	16,5	30,9b
					28,0ab			
300 g ha ⁻¹	38,3a	29,3a	38,0	33,6	30,3a	41,2	16,8	32,5a
600 g ha ⁻¹	38,6a	29,3a	37,8	32,7	28,6a	44,1	17,2	32,6a
Regressão	L ⁽³⁾	L ⁽⁴⁾	ns	ns	Q ⁽⁵⁾	L ⁽⁶⁾	ns	L ⁽⁷⁾
F. Variação	P > F							
S	0,019	<0,001	0,865	0,018	0,114	0,413	0,008	<0,001
F	0,002	<0,001	0,154	0,758	0,028	0,064	0,547	<0,001
S × F	0,030	0,006	0,605	0,979	0,898	0,037	0,912	0,164
CV (%)	5,1	7,2	5,7	12,5	15,3	8,2	16,4	3,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 26871,4000 + 12,6917x$ ($R^2 = 0,89$)**; ⁽²⁾ $y = 38830,3400 + 3,7598x$ ($R^2 = 0,83$)**; ⁽³⁾ $y = 35670,1120 + 8,9376x$ ($R^2 = 0,85$)**; ⁽⁴⁾ $y = 22581,2840 + 11,08667x$ ($R^2 = 0,74$)**; ⁽⁵⁾ $y = 24247,8176 + 32,2549x - 0,04162x^2$ ($R^2 = 0,99$)**; ⁽⁶⁾ $y = 37346,8680 + 12,9941x$ ($R^2 = 0,94$)**; ⁽⁷⁾ $y = 303243,9800 + 44,6904x$ ($R^2 = 0,80$)**ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 8 - Produtividade total de tubérculos em São Manuel 2022 (A), tubérculos da classe especial em Paranapanema 2021 (B), São Manuel 2022 (C), Paranapanema 2023 (D) em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

A proporção de tubérculos da classe especial apresentou resposta variável entre os experimentos (Tabela 18). Em São Manuel 2022, o fornecimento de Mg via solo elevou significativamente a proporção de tubérculos maiores em 2,5% (passando de 84,2% para 86,3%), indicando que o suprimento radicular do nutriente contribuiu diretamente para o aumento do tamanho, o que também se refletiu na média geral dos sete experimentos, que apresentou incremento de 1,5% (passando de 77,9% para 79,1%) com a aplicação de Mg no solo. Contudo, em Paranapanema 2022, a aplicação de Mg no plantio reduziu a proporção de tubérculos da classe especial de 93,2 para 91,0%. As doses de Mg via foliar também influenciaram positivamente essa variável em quatro locais e na média dos sete experimentos, com incrementos mais expressivos nas doses de 300 e 600 g ha⁻¹. A ocorrência de interação significativa entre Mg via solo e foliar em quatro experimentos reforça que a resposta ao Mg foliar

depende do estado nutricional inicial da planta, sendo maximizada quando o suprimento radicular já atende parte da demanda fisiológica.

Em Paranapanema 2021, observa-se comportamento quadrático para a aplicação de Mg foliar na presença do Mg via solo, com aumento da proporção de tubérculos da classe especial até doses intermediárias ($\sim 300 \text{ g ha}^{-1}$) e estabilização posterior (Figura 9A). Já na ausência de Mg via solo, a proporção permaneceu inferior e relativamente estável.

Em São Manuel 2022, o padrão foi inverso, ou seja, na ausência de Mg via solo, a resposta foi negativamente quadrática, com redução da proporção de especial nas doses mais altas de Mg foliar, sugerindo possível desequilíbrio nutricional quando a demanda radicular não era atendida (Figura 9B). Por outro lado, quando o Mg foi fornecido ao solo, a resposta apresentou leve incremento nas maiores doses foliares, demonstrando novamente que o aporte radicular condiciona a eficiência da aplicação foliar. Esse comportamento reforça que o Mg foliar tende a agir como complemento, e não como substituto, do fornecimento pelo solo.

No caso de Paranapanema 2022, a interação mostrou efeito significativo e pronunciado, sendo que, na ausência de Mg via solo houve efeito quadrático, com maior incremento até a dose de aproximadamente 300 g ha^{-1} (Figura 9C).

Por fim, em Paranapanema 2023, quando o Mg não foi aplicado ao solo, houve efeito quadrático inverso, sendo o maior incremento obtido com 600 g ha^{-1} , com cerca de 90% dos tubérculos na classe especial (Figura 9D).

Esse comportamento converge com os resultados obtidos para a produtividade da classe especial, demonstrando coerência entre as variáveis. Em ambos os casos, o Mg via solo se mostrou o principal fator para aumentar o rendimento de tubérculos maiores, enquanto o Mg via foliar contribuiu de maneira secundária. Assim, os dois conjuntos de resultados corroboram que o Mg desempenha papel fundamental na fotossíntese, no carregamento do floema e na partição de carboidratos, processos determinantes para o enchimento e a formação de tubérculos de maior tamanho.

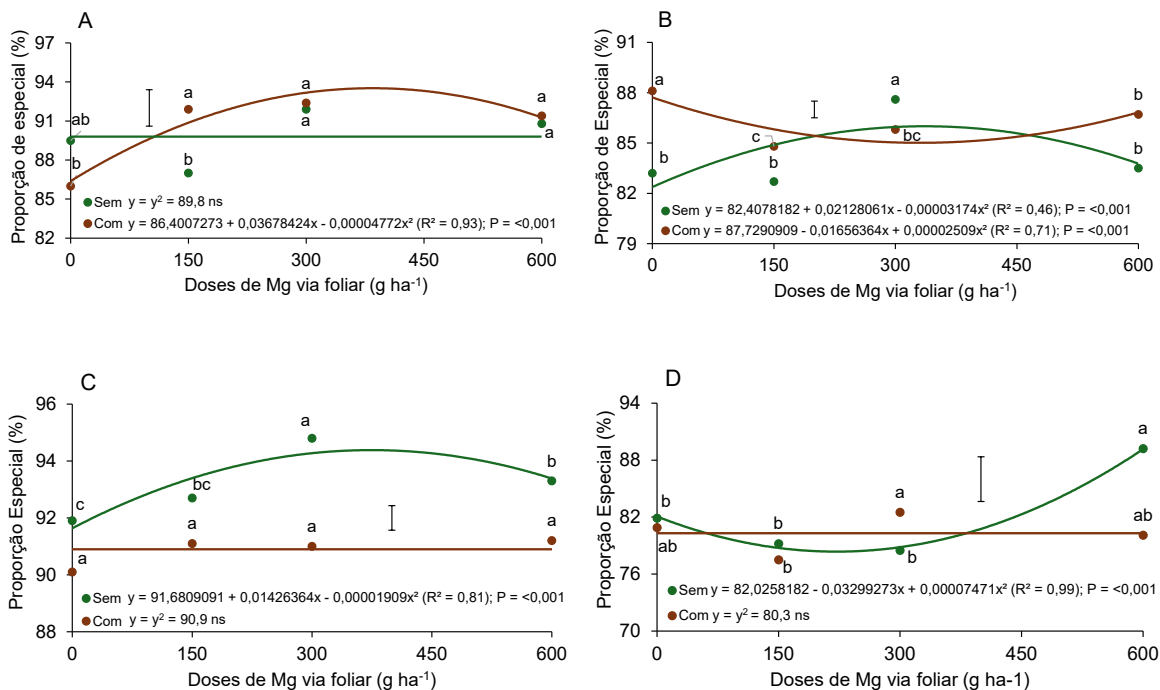
Já para a variável teor de MS nos tubérculos, não foram observados efeitos da aplicação de Mg via solo e de doses de Mg via foliar, exceto no experimento de São Manuel 2023, que apresentou resultado significativamente positivo quando o Mg foi aplicado via solo (Tabela 18).

Tabela 18 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a proporção da produtividade da classe especial e percentagem de matéria seca nos tubérculos da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento							Média
	Paran. 21	S.M. 22	Paran. 22	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23	
Proporção de especial (%)								
Mg via solo (S)								
Sem	89,8	84,2b	93,2 ^a	69,0	66,7	82,2	60,2	77,9b
Com	90,4	86,3 ^a	91,0b	71,9	70,1	80,3	63,7	79,1a
Mg via foliar (F)								
0 g ha ⁻¹	87,8c	85,7b	91,3c	69,8	63,3	81,4ab	62,0	77,3b
150 g ha ⁻¹	89,4bc	83,3c	91,9bc	70,0	68,9	78,4b	61,7	77,7b
300 g ha ⁻¹	92,2a	86,7 ^a	92,9 ^a	71,4	71,9	80,5b	62,5	79,7a
600 g ha ⁻¹	91,1ab	85,1b	92,3ab	70,4	69,5	84,7a	61,8	79,3a
Regressão	Q ⁽¹⁾	Q ⁽²⁾	Q ⁽³⁾	ns	ns	Q ⁽⁴⁾	ns	L ⁽⁵⁾
F. Variação	P > F							
S	0,411	<0,001	<0,001	0,076	0,163	0,112	0,109	0,031
F	<0,001	<0,001	0,013	0,886	0,091	0,006	0,994	0,007
S × F	0,003	<0,001	0,041	0,903	0,265	0,005	0,562	0,605
CV (%)	2,4	0,9	1,1	7,0	10,9	4,5	10,7	2,1
Matéria seca nos tubérculos (%)								
Mg via solo (S)								
Sem	15,2	14,7	15,0	14,8b	13,1	13,5	12,1	-
Com	15,2	15,1	15,2	15,4a	13,3	13,8	12,3	-
Mg via foliar (F)								
0 g ha ⁻¹	15,0	14,5	15,1	14,9	13,2	13,6	11,7	-
150 g ha ⁻¹	15,2	14,9	15,2	15,0	13,2	13,6	12,4	-
300 g ha ⁻¹	15,4	15,0	15,1	15,2	13,2	13,8	12,4	-
600 g ha ⁻¹	15,1	15,2	15,1	15,5	13,3	13,6	12,3	-
Regressão	ns	Ns	Ns	ns	ns	ns	ns	-
F. Variação	P > F							
S	0,830	0,101	0,232	0,004	0,358	0,193	0,074	-
F	0,836	0,203	0,976	0,077	0,959	0,836	0,085	-
S × F	0,766	0,798	0,684	0,753	0,245	0,427	0,806	-
CV (%)	7,2	4,8	3,6	4,0	5,4	4,5	2,6	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 86,4007 + 0,0368x - 0,00005x^2$ ($R^2 = 0,93$)**; ⁽²⁾ $y = 82,4078 + 0,0212x - 0,00003x^2$ ($R^2 = 0,46$)** e $y = 87,7290 - 0,0166x + 0,00003x^2$ ($R^2 = 0,71$)**; ⁽³⁾ $y = 91,680 + 0,01426x - 0,00002x^2$ ($R^2 = 0,81$)**; ⁽⁴⁾ $y = 82,0258 - 0,0330x + 0,00007x^2$ ($R^2 = 0,99$)**; ⁽⁵⁾ $y = 77,5640 + 0,0036x$ ($R^2 = 0,61$). ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 9 - Desdobramento da interação da proporção da produtividade da classe especial em Paranapanema 2021 (A), São Manuel 2022 (B), Paranapanema 2022 (C) e Paranapanema 2023 (D) em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

4.6 Teores de nutrientes nos tubérculos na colheita

Os teores de nutrientes nos tubérculos na ocasião da colheita foram avaliados em quatro locais, São Manuel, Itapeva, Paranapanema e Pardinho 2023. Os teores de N (Tabela 19) nos tubérculos apresentaram comportamento relativamente estável entre os experimentos, sem efeito significativo do fornecimento de Mg via solo (S) nem das aplicações foliares (F) na maioria dos ambientes avaliados. Apenas em Itapeva 2023 verificou-se redução de 10,3% com a aplicação de Mg no solo.

Neste local a interação foi significativa entre Mg via solo e Mg foliar (Figura 10A), evidenciando que a resposta às doses foliares depende do suprimento radicular do nutriente. Sem Mg via solo, observou-se ajuste quadrático significativo, com redução inicial do teor de N até 289 g ha⁻¹, seguida de incremento nas doses mais elevadas, atingindo os maiores valores na dose máxima avaliada. Esse

comportamento sugere que, na ausência do suprimento radicular, o Mg aplicado via folha passa a exercer papel modulador no metabolismo nitrogenado, possivelmente por melhorar a eficiência fotossintética e o transporte de assimilados em doses mais altas. Por outro lado, com Mg via solo não houve resposta às doses de Mg foliar, mantendo-se o teor de N constante ($\sim 14 \text{ g kg}^{-1}$), evidenciando que o fornecimento radicular de Mg é suficiente para sustentar o metabolismo do N, tornando a aplicação foliar redundante nesse contexto.

Para os teores de P (Tabela 19), de modo geral, a aplicação de Mg via solo promoveu aumento nos teores de P nos tubérculos, como observado em São Manuel, no qual os valores passaram de 2,8 para 3,1 g kg^{-1} e de 4,0 para 4,2 g kg^{-1} em Pardinho. Esse resultado indica que o suprimento adequado de Mg no sistema radicular favorece a absorção e/ou redistribuição de P para os órgãos de reserva, possivelmente em função da melhoria no crescimento radicular e da eficiência metabólica associada ao balanço iônico e energético das plantas (Ahmed *et al.*, 2023).

Em relação ao Mg via foliar, observou-se resposta significativa em Itapeva e Paranapanema, com ajustes de natureza quadrática e/ou linear, apresentando resultados opostos, respectivamente. No primeiro o maior incremento foi obtido sem aplicação foliar, já no segundo com as doses de 300 e 600 g ha^{-1} .

Em Itapeva, observou-se interação significativa entre o fornecimento de Mg via solo e as doses de Mg via foliar sobre os teores de P nos tubérculos (Figura 10B). Na ausência de Mg via solo, houve redução linear acentuada do teor de P com o aumento das doses de Mg foliar, passando de valores próximos a 3,8 g kg^{-1} na dose zero para cerca de 1,3 g kg^{-1} na dose máxima.

Por outro lado, com Mg via solo, a resposta ao Mg foliar foi quadrática, com leve redução em doses intermediárias e posterior incremento nas doses mais elevadas, atingindo valores superiores a 3,0 g kg^{-1} . Esse padrão sugere que o suprimento radicular adequado de Mg confere maior estabilidade nutricional à planta, permitindo que o Mg foliar atue de forma complementar, sem prejuízo ao acúmulo de P nos tubérculos.

Em Pardinho, a interação apresentou comportamento distinto (Figura 10C). Na ausência de Mg via solo, os teores de P nos tubérculos não responderam às doses de Mg foliar, mantendo-se estáveis em torno de 4,0 g kg^{-1} , indicando que, nesse local, o fornecimento foliar não foi capaz de alterar significativamente o acúmulo de P quando o suprimento radicular de Mg estava ausente.

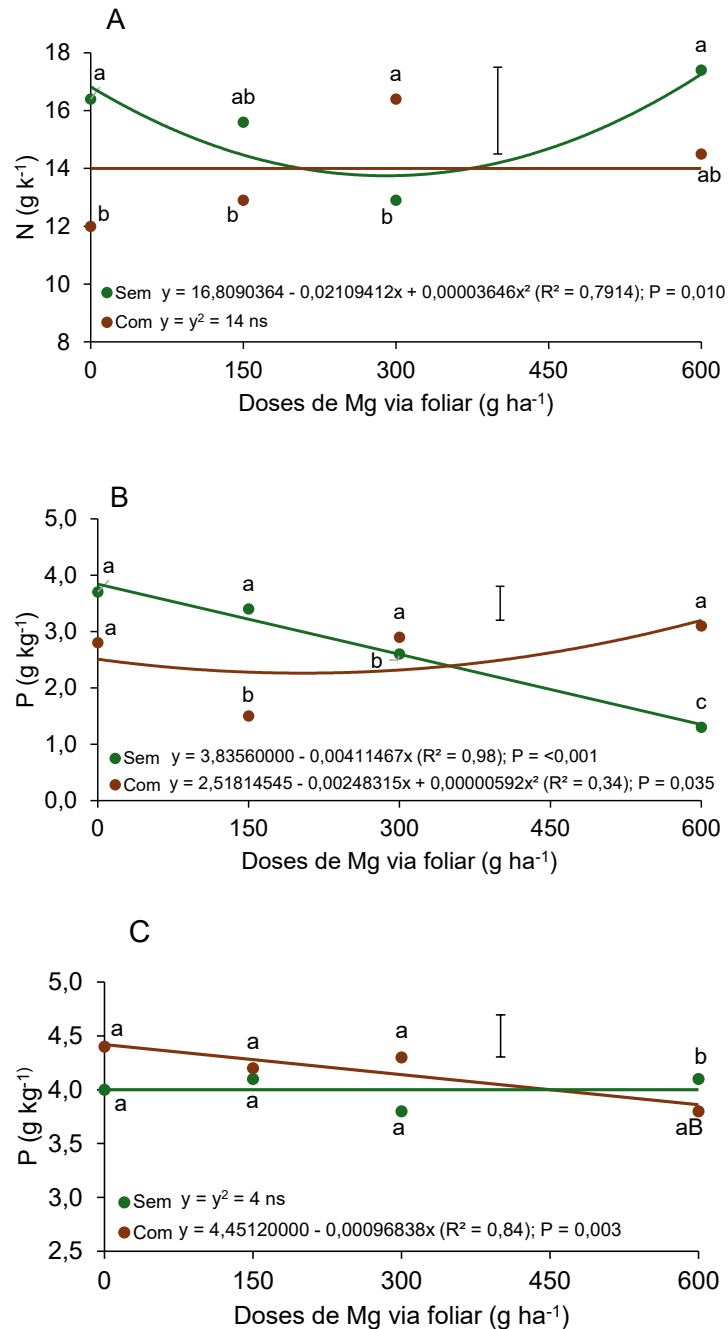
Em contraste, com Mg via solo, verificou-se resposta linear negativa às doses de Mg foliar, com redução progressiva dos teores de P à medida que as doses aumentaram, passando de aproximadamente 4,5 para valores próximos a 3,8 g kg⁻¹. Esse resultado sugere que, em condições de adequado suprimento radicular de Mg, o excesso relativo de Mg via foliar pode promover antagonismo nutricional, reduzindo a eficiência de translocação ou o acúmulo de P nos tubérculos (Rietra *et al.*, 2017).

Tabela 19 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de N e P nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	N (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	15,2	15,6a	14,2	21,0
Com	16,5	14,0b	14,4	20,2
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	15,1	14,2	14,4	19,3
150 g ha ⁻¹	14,9	14,3	15,4	20,3
300 g ha ⁻¹	16,7	14,6	13,9	21,8
600 g ha ⁻¹	16,5	16,0	13,5	21,1
Regressão	Ns	Q ⁽¹⁾	ns	ns
F. Variação	P > F			
S	0,069	0,038	0,780	0,398
F	0,160	0,325	0,093	0,228
S × F	0,372	0,004	0,644	0,459
CV (%)	13,5	15,9	11,8	13,3
	P (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	2,8b	2,8	2,2	4,0b
Com	3,1 ^a	2,6	2,3	4,2a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	2,9	3,2a	1,9b	4,2
150 g ha ⁻¹	2,8	2,5bc	2,1b	4,2
300 g ha ⁻¹	3,2	2,8b	2,2ab	4,0
600 g ha ⁻¹	3,0	2,2c	2,6a	4,0
Regressão	Ns	L ⁽²⁾ , Q ⁽³⁾	L ⁽⁴⁾	L ⁽⁵⁾
F. Variação	P > F			
S	0,009	0,220	0,405	0,041
F	0,063	<0,001	0,038	0,206
S × F	0,630	<0,001	0,728	0,023
CV (%)	10,4	17,9	24,2	7,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 16,8090 - 0,0211x + 0,00004x^2$ ($R^2 = 0,79$)*; ⁽²⁾ $y = 3,8356 - 0,0041x$ ($R^2 = 0,98$)**; ⁽³⁾ $y = 2,5181 - 0,0025x + 0,000006x^2$ ($R^2 = 0,34$)**; ⁽⁴⁾ $y = 1,9156 + 0,00128x$ ($R^2 = 0,99$)**; ⁽⁵⁾ $y = 4,4512 - 0,0010x$ ($R^2 = 0,84$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 10 - Desdobramento da interação dos teores de N no tubérculo em Itapeva 2023 (A), P em Itapeva 2023 e Pardinho 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Os teores de K nos tubérculos não foram influenciados pela aplicação de Mg via solo (Tabela 20). Em contraste, a aplicação de Mg via foliar promoveu incremento nos teores de K em Itapeva, com aumento progressivo à medida que as doses foram

elevadas, variando de 26,4 g kg⁻¹ na ausência de aplicação para 27,3 g kg⁻¹ na dose de 600 g ha⁻¹. Nos demais locais avaliados, não houve resposta significativa às doses de Mg foliar. A interação entre Mg via solo e Mg via foliar também não foi significativa em nenhum dos ambientes, indicando que os efeitos observados ocorreram de forma independente. Os valores encontrados para esse nutriente foram semelhantes aos de Karan (2023), quando estudou a variabilidade de nutrientes minerais em tubérculos de batata em diferentes cultivares, evidenciando que o manejo do Mg não afetou a dinâmica de K na cultura.

Em três dos quatro ambientes avaliados, a aplicação de Mg no solo promoveu incrementos significativos nos teores de Ca (Tabela 20), indicando que o manejo adequado de Mg no solo contribui para a manutenção do equilíbrio iônico e para a eficiência de absorção de Ca pelas plantas.

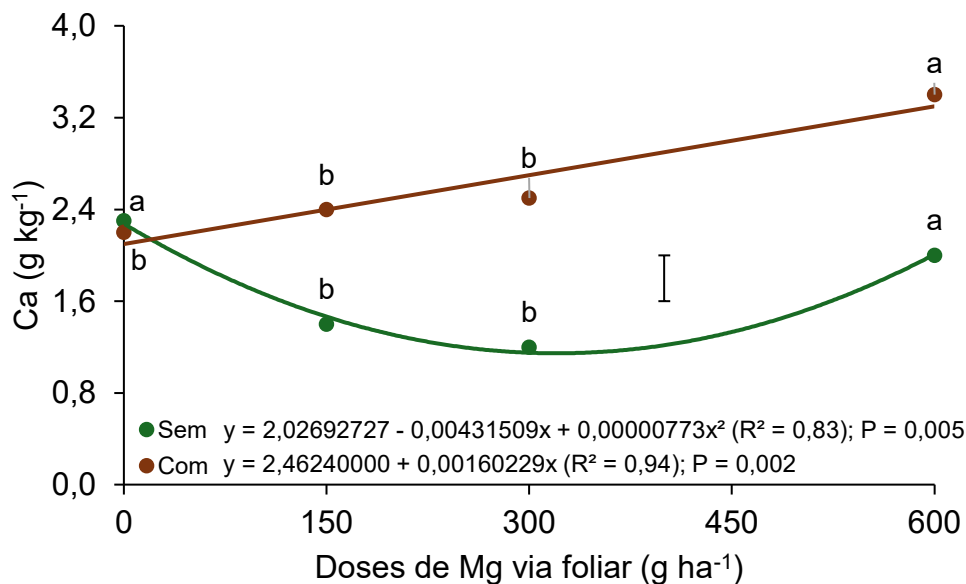
Em relação à aplicação de Mg via foliar, observou-se resposta significativa apenas em São Manuel e Itapeva. Em São Manuel, verificou-se aumento linear, com aumento progressivo dos teores de Ca à medida que as doses de Mg foliar foram elevadas. Já em Itapeva, a interação entre Mg via solo e Mg via foliar foi significativa (Figura 11), indicando efeito nas concentrações de Ca nos tubérculos com doses foliares de Mg depende do suprimento radicular do nutriente. Na ausência de Mg via solo, observou-se ajuste quadrático, com redução dos teores de Ca em doses intermediárias e recuperação na maior dose aplicada, sugerindo desequilíbrio nutricional em níveis intermediários de Mg foliar quando o suprimento radicular é limitado. Por outro lado, com Mg via solo, houve incremento linear dos teores de Ca com o aumento das doses de Mg foliar, atingindo os maiores valores na dose de 600 g ha⁻¹, o que demonstra que o suprimento adequado de Mg no solo confere maior estabilidade nutricional à planta e potencializa o efeito positivo da aplicação foliar sobre o acúmulo de Ca nos tubérculos.

Tabela 20 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de K e Ca nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	K (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	24,6	26,8	23,3	26,0
Com	24,7	26,4	23,7	27,3
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	24,3	26,4b	23,4	26,7
150 g ha ⁻¹	24,4	26,6ab	24,5	27,1
300 g ha ⁻¹	24,8	26,1ab	23,2	26,2
600 g ha ⁻¹	25,0	27,3 ^a	22,8	26,7
Regressão	ns	L ⁽¹⁾	ns	ns
F. Variação	P > F			
S	0,923	0,168	0,356	0,064
F	0,712	0,042	0,091	0,075
S × F	0,530	0,052	0,537	0,081
CV (%)	5,9	3,4	6,3	2,4
	Ca (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	2,0b	1,7b	2,1b	2,6
Com	2,3a	2,6 ^a	2,4a	2,8
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,9b	2,2b	2,2	2,7
150 g ha ⁻¹	2,2a	1,9c	2,0	2,6
300 g ha ⁻¹	2,2a	1,9c	2,4	2,7
600 g ha ⁻¹	2,3a	2,7 ^a	2,4	2,8
Regressão	L ⁽²⁾	Q ⁽³⁾ , L ⁽⁴⁾	ns	ns
F. Variação	P > F			
S	<0,001	<0,001	0,043	0,073
F	0,011	<0,001	0,276	0,055
S × F	0,213	<0,001	0,075	0,084
CV (%)	10,3	14,1	22,1	6,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 26,2560 + 0,0013x$ ($R^2 = 0,46$)*; ⁽²⁾ $y = 1,6368 + 0,0131x$ ($R^2 = 0,92$)**; ⁽³⁾ $y = 2,0267 - 0,0043x + 0,000008x^2$ ($R^2 = 0,83$)**; ⁽⁴⁾ $y = 2,4624 + 0,0016x$ ($R^2 = 0,94$). ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 11 - Desdobramento da interação dos teores de Ca em Itapeva 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Observando os teores de Mg nos tubérculos, verifica-se diferença significativa quando o nutriente foi aplicado via solo em São Manuel e Pardinho (Tabela 21), evidenciando a importância do suprimento radicular para o acúmulo do elemento nos órgãos de reserva. Em relação às doses de Mg via foliar, apenas no experimento conduzido em Paranapanema foi observado efeito linear crescente, com incremento dos teores de Mg nos tubérculos à medida que as doses aplicadas foram elevadas. Nesse ambiente, a interação entre Mg via solo e Mg via foliar foi significativa (Figura 12), indicando que a resposta ao fornecimento foliar depende do manejo do Mg no solo. Na ausência de Mg via solo, os teores de Mg mantiveram-se constantes, sem ajuste significativo às doses foliares, sugerindo limitação da redistribuição do nutriente quando o suprimento radicular é restrito. Por outro lado, com Mg via solo, observou-se aumento linear expressivo dos teores de Mg nos tubérculos com o incremento das doses foliares, atingindo os maiores valores na dose de 600 g ha⁻¹, o que demonstra que o suprimento adequado via solo potencializa a eficiência da aplicação foliar e favorece o acúmulo de Mg nos tubérculos.

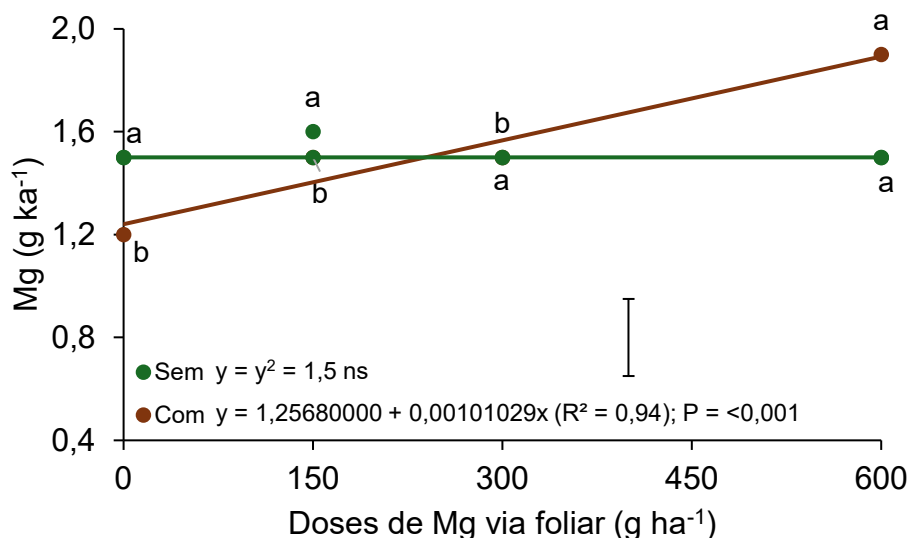
Os teores de S nos tubérculos (Tabela 21) não foram influenciados pelo fornecimento de Mg via solo nem pelas doses de Mg via foliar, uma vez que nenhum dos efeitos principais ou da interação S × F foi significativo em todos os ambientes avaliados. Os valores observados mantiveram-se relativamente constantes entre os tratamentos.

Tabela 21 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Mg e S nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	Mg (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	1,3b	1,4	1,5	1,3b
Com	1,4a	1,5	1,5	1,4a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,3	1,4	1,4b	1,3
150 g ha ⁻¹	1,3	1,4	1,5ab	1,3
300 g ha ⁻¹	1,3	1,4	1,5ab	1,3
600 g ha ⁻¹	1,4	1,4	1,7a	1,4
Regressão	ns	Ns	L ⁽¹⁾	ns
F. Variação	P > F			
S	0,044	0,299	0,905	0,015
F	0,640	0,961	0,028	0,709
S × F	0,697	0,723	0,048	0,373
CV (%)	9,3	12,5	15,5	8,1
	S (g kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	1,1	1,1	1,8	1,1
Com	1,1	1,2	1,6	1,1
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,0	1,0	1,6	1,1
150 g ha ⁻¹	1,2	1,1	1,7	1,2
300 g ha ⁻¹	1,1	1,2	1,9	1,2
600 g ha ⁻¹	1,1	1,2	1,6	1,2
Regressão	ns	Ns	ns	ns
F. Variação	P > F			
S	0,994	0,434	0,149	0,415
F	0,319	0,674	0,311	0,271
S × F	0,426	0,506	0,789	0,058
CV (%)	20,0	29,3	23,0	13,2

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ y = 1,2568 + 0,0010x (R² = 0,94)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 12 - Desdobramento da interação do teor de Mg em Paranapanema 2023, nos tubérculos, avaliados na colheita final em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

Em São Manuel (2023), observou-se efeito significativo das doses de Mg via foliar para os teores de B (Tabela 22), com ajuste linear crescente, indicando aumento progressivo dos teores de B à medida que as doses foram elevadas, o que sugere efeito indireto do Mg foliar sobre a absorção ou redistribuição desse micronutriente. Em Paranapanema (2023), também houve efeito significativo do Mg via foliar, porém com ajuste quadrático, caracterizado por redução dos teores em doses intermediárias e incremento na maior dose aplicada. Já em Pardinho (2023), verificou-se efeito significativo do Mg via solo, com maiores teores de B na ausência de Mg.

Os teores de micronutrientes Cu (Tabela 22), Fe, Mn (Tabela 23) e Zn (Tabela 24), nos tubérculos, avaliados na ocasião da colheita, não foram influenciados pelos tratamentos, não sendo observados efeitos significativos do fornecimento de Mg via solo, das doses de Mg via foliar ou da interação entre esses fatores.

Tabela 22 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de B e Cu nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
B (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	4,2	7,0	3,8	9,7a
Com	4,7	6,5	4,3	7,9b
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	3,6c	6,5	4,0b	8,7
150 g ha ⁻¹	4,1bc	7,2	3,9b	8,8
300 g ha ⁻¹	4,9ab	6,4	3,2b	8,8
600 g ha ⁻¹	5,3a	6,9	5,0a	8,8
Regressão	L ⁽¹⁾	Ns	Q ⁽²⁾	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,120	0,418	0,180	0,015
F	0,003	0,857	0,004	0,999
S × F	0,065	0,932	0,463	0,964
CV (%)	21,9	31,8	23,9	25,3
Cu (mg kg ⁻¹)				
Mg via solo (S)				
Sem	1,3	6,6	3,4	0,8
Com	1,1	7,1	3,3	0,8
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,3	8,3	3,8	0,9
150 g ha ⁻¹	1,2	6,6	3,3	0,9
300 g ha ⁻¹	1,2	7,4	2,6	0,7
600 g ha ⁻¹	1,3	5,1	3,6	0,7
Regressão	ns	Ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,112	0,553	0,729	0,862
F	0,925	0,098	0,310	0,699
S × F	0,841	0,646	0,903	0,992
CV (%)	0,915	41,4	44,1	701,8

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 3,7076 + 0,0028x$ ($R^2 = 0,93$)**; ⁽²⁾ $y = 4,1446 - 0,0056x + 0,00001x^2$ ($R^2 = 0,86$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Tabela 23 - Teste de médias e resumo da análise de variância para os teores de Fe e Mn nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	Fe (mg kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	78,7	33,7	85,6	24,3
Com	69,6	30,2	96,9	22,8
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	70,7	38,5	95,7	23,9
150 g ha ⁻¹	78,2	29,4	89,0	26,0
300 g ha ⁻¹	77,0	32,8	91,8	23,0
600 g ha ⁻¹	70,8	27,0	88,5	21,3
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,236	0,426	0,276	0,684
F	0,835	0,287	0,957	0,836
S × F	0,890	0,942	0,837	0,785
CV (%)	32,0	43,2	35,4	49,1
	Mn (mg kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	6,7	26,3	5,5	7,9
Com	6,1	21,0	5,1	6,7
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	6,4	24,4	5,2	8,7
150 g ha ⁻¹	6,4	25,0	5,4	7,0
300 g ha ⁻¹	6,6	25,3	5,0	7,7
600 g ha ⁻¹	6,1	19,9	5,5	5,8
Regressão	ns	ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,578	0,072	0,375	0,272
F	0,986	0,497	0,901	0,257
S × F	0,694	0,622	0,372	0,542
CV (%)	45,0	37,4	31,0	45,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Tabela 24 - Teste de médias e resumo da análise de variância para o teor de Zn nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	Zn (mg kg ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	25,6	23,6	22,6	25,5
Com	23,8	20,4	23,5	26,0
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	23,3	21,2	22,1	26,6
150 g ha ⁻¹	25,0	23,0	23,8	26,6
300 g ha ⁻¹	25,8	24,6	21,9	25,8
600 g ha ⁻¹	23,6	19,3	24,4	24,0
Regressão	ns	Ns	ns	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,161	0,206	0,495	0,767
F	0,643	0,483	0,439	0,616
S × F	0,759	0,797	0,251	0,751
CV (%)	15,7	35,6	17,5	19,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

4.7 Firmeza da polpa, sólidos solúveis, pH e acidez titulável

Em São Manuel, Itapeva e Paranapanema 2023, não foram observados efeitos significativos do fornecimento de Mg, tanto via solo quanto via foliar, indicando que, nesses ambientes, a firmeza dos tubérculos foi pouco responsiva às variações no manejo do nutriente (Tabela 25). Os valores médios de firmeza nesses locais permaneceram relativamente estáveis entre os tratamentos, sugerindo que o suprimento basal de Mg e as condições fisiológicas das plantas foram suficientes para sustentar a integridade estrutural dos tubérculos.

Em contraste, no experimento conduzido em Pardinho, verificou-se efeito significativo do Mg aplicado via solo, com incremento na firmeza dos tubérculos quando o nutriente foi fornecido no plantio. Por outro lado, a aplicação via foliar não exerceu efeito sobre a firmeza de tubérculos, sendo o maior valor encontrado na dose zero.

Os sólidos solúveis totais (°Brix) dos tubérculos apresentaram pequenas variações (Tabela 25). Em São Manuel foi verificada diferença significativa quando o Mg não foi fornecido via solo (3,5). Já com a aplicação foliar, em Pardinho observou-se efeito linear com as doses, com maior incremento nas doses de 300 e 600 g ha⁻¹.

Os sólidos solúveis totais (°Brix) dos tubérculos refletem principalmente a concentração de açúcares simples, os quais são diretamente influenciados pelo metabolismo dos carboidratos, pelo transporte floemático e pelo equilíbrio entre síntese de amido e açúcares solúveis. Nesse contexto, o Mg desempenha papel central, uma vez que atua como cofator enzimático em reações da fotossíntese, da fosforilação e do carregamento de sacarose no floema, além de ser essencial para a estabilidade dos complexos Mg-ATP (Hermans *et al.*, 2004; Farhat *et al.*, 2016).

Em São Manuel 2023, o efeito significativo do Mg aplicado via solo, com maiores valores de °Brix na ausência do nutriente, sugere que o fornecimento radicular adequado de Mg pode ter favorecido maior conversão dos açúcares solúveis em amido nos tubérculos. Estudos clássicos demonstram que o suprimento adequado de Mg melhora a eficiência do transporte de sacarose e estimula sua conversão em compostos de reserva, reduzindo o acúmulo de açúcares redutores nos órgãos de armazenamento (Hermans *et al.*, 2004). Dessa forma, a redução dos sólidos solúveis observada com a aplicação de Mg via solo pode estar associada a um metabolismo mais eficiente de alocação de carbono para amido, característica desejável para a qualidade industrial da batata.

Nos ambientes de Itapeva 2023 e Paranapanema 2023, a ausência de resposta significativa dos sólidos solúveis aos tratamentos indica que o metabolismo dos carboidratos foi predominantemente regulado por fatores ambientais, como temperatura e disponibilidade hídrica, além do status nutricional inicial das plantas. Nessas condições, o suprimento de Mg, tanto via solo quanto via foliar, não foi limitante para os processos fisiológicos relacionados à síntese e ao acúmulo de açúcares, corroborando a ideia de que a resposta do °Brix ao manejo nutricional é altamente dependente do ambiente de cultivo (White; Broadley, 2009).

Em Pardinho 2023, o efeito significativo e linear crescente das doses de Mg aplicadas via foliar sobre os sólidos solúveis sugere que, nesse ambiente, o suprimento foliar atuou como complemento nutricional em um contexto de maior demanda fisiológica. A aplicação foliar de Mg é reconhecida por promover correções rápidas em situações de deficiência moderada, aumentando temporariamente a atividade fotossintética e a produção de carboidratos solúveis nas folhas, que podem ser translocados para os órgãos de reserva (Hauer-Jákli; Tränkner, 2019). O aumento do °Brix com as doses foliares indica que, embora essa via não substitua o

fornecimento radicular, ela pode intensificar o acúmulo de açúcares solúveis nos tubérculos em condições específicas.

Tabela 25 - Teste de médias e resumo da análise de variância para a firmeza e sólidos solúveis da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Firmeza (N)				
Mg via solo (S)				
Sem	9,7	9,3	10,9	12,9b
Com	9,9	9,2	11,2	13,9a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	9,9	9,1	11,1	14,2a
150 g ha ⁻¹	9,7	9,1	11,3	13,4b
300 g ha ⁻¹	9,8	9,4	11,1	13,1b
600 g ha ⁻¹	9,7	9,2	10,9	13,0b
Regressão	ns	ns	ns	Q ⁽¹⁾
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,1392	0,347	0,181	<0,001
F	0,8412	0,371	0,667	0,007
S × F	0,4484	0,054	0,466	0,109
CV (%)	4,8	5,0	5,9	5,7
Sólidos solúveis (°Brix)				
Mg via solo (S)				
Sem	3,5a	2,7	4,3	3,3
Com	2,7b	2,7	4,3	3,4
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	2,8	3,0	4,2	3,3b
150 g ha ⁻¹	2,9	2,5	4,2	2,8c
300 g ha ⁻¹	3,3	2,6	4,3	3,5ab
600 g ha ⁻¹	3,4	2,8	4,3	3,8a
Regressão	ns	ns	ns	L ⁽²⁾
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,002	0,608	1,000	0,311
F	0,155	0,154	0,681	<0,001
S × F	0,322	0,087	0,738	0,439
CV (%)	21,8	15,7	7,7	13,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 14,1692 - 0,0056x + 0,000006x^2$ ($R^2 = 0,97$)*; ⁽²⁾ $y = 3,0680 + 0,0011x$ ($R^2 = 0,50$); $P = 0,002$ ** . ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Em resposta, o pH dos tubérculos em São Manuel 2023, apresentou efeito significativo do Mg aplicado via solo, com elevação do pH dos tubérculos quando o nutriente foi fornecido no plantio (Tabela 26). Esse aumento pode ser atribuído ao papel do Mg na neutralização de cargas ácidas no metabolismo celular e na regulação do balanço iônico, uma vez que a adequada nutrição magnésiana contribui para a

manutenção do equilíbrio cátion-ânion e da homeostase do pH nos tecidos vegetais (Mengel; Kirkby, 2001; Marschner, 2011; Hermans; Verbruggen, 2005).

Além disso, nesse ambiente, a aplicação de Mg via foliar também influenciou o pH, com ajuste linear crescente em função das doses aplicadas, indicando que o suprimento adicional de Mg promoveu alterações graduais no metabolismo dos ácidos orgânicos nos tubérculos. A figura 13A evidencia interação significativa entre o fornecimento de Mg via solo e as doses de Mg aplicadas via foliar sobre o pH dos tubérculos. Na ausência de Mg via solo, observa-se ajuste linear crescente do pH em função do aumento das doses foliares, indicando que a aplicação de Mg por essa via atuou como fonte complementar do nutriente, promovendo incrementos graduais no pH dos tubérculos. Por outro lado, quando o Mg foi fornecido via solo, não se verificou resposta significativa do pH às doses foliares, com valores permanecendo estáveis ao longo da faixa de doses avaliadas.

Em Itapeva e Pardinho, foi verificado efeito significativo apenas do Mg aplicado via solo, com discreta elevação do pH dos tubérculos. No último, o pH também pelo Mg via foliar, com ajuste quadrático em função das doses foliares, com maiores valores em 0, 300 e 600 g ha⁻¹. A interação nesse local também foi significativa (Figura 13B), na ausência de Mg via solo, não se observa resposta significativa do pH às doses foliares, com valores permanecendo estáveis ao longo da faixa de doses avaliada. Por outro lado, quando o Mg foi fornecido via solo, verificou-se ajuste quadrático do pH em função das doses de Mg aplicadas via foliar. Esse comportamento indica que doses intermediárias de Mg foliar promoveram redução do pH, enquanto doses mais elevadas restabeleceram valores semelhantes aos observados nas menores doses, caracterizando resposta fisiológica não linear.

Já para a variável de acidez titulável (Tabela 26) não houve uma tendência definida de valores quanto a aplicação via solo nos diferentes locais. Com a aplicação foliar, verificou-se maiores valores com as menores doses de Mg em Itapeva, Paranapanema e Pardinho.

Em Paranapanema, observou-se interação significativa entre os fatores. Na ausência de Mg via solo, verificou-se ajuste linear decrescente da acidez titulável em função do aumento das doses de Mg foliar. Quando o Mg foi fornecido via solo, não se observou resposta significativa da acidez titulável às doses foliares, com valores permanecendo estáveis ao longo da faixa de doses avaliada. Esse resultado indica que o suprimento contínuo de Mg pelo sistema radicular foi suficiente para regular o

metabolismo dos ácidos orgânicos, tornando a aplicação foliar adicional pouco efetiva nesse ambiente.

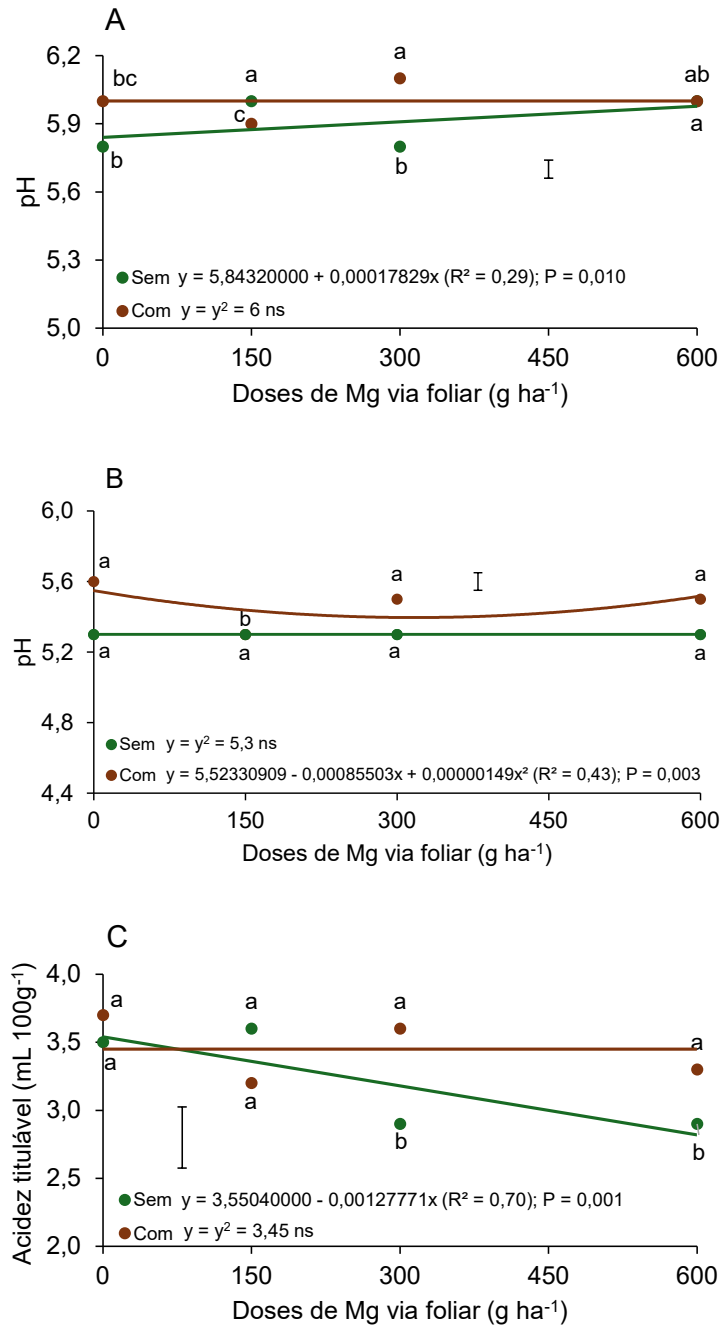
A acidez titulável, por refletir o conteúdo total de ácidos orgânicos nos tubérculos, exerce influência direta sobre a qualidade fisiológica, tecnológica e sensorial da batata. Reduções na acidez titulável indicam maior eficiência metabólica e menor acúmulo de ácidos orgânicos, o que favorece a estabilidade do pH, a qualidade no processamento industrial, a aceitabilidade sensorial e a conservação pós-colheita dos tubérculos (Ierna *et al.*, 2022).

Tabela 26 - Teste de médias e resumo da análise de variância para pH e acidez titulável da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
	pH			
Mg via solo (S)				
Sem	5,90b	5,51b	5,79	5,30b
Com	6,00a	5,59a	5,74	5,47a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	5,89b	5,60	5,79	5,44a
150 g ha ⁻¹	5,94ab	5,54	5,76	5,30b
300 g ha ⁻¹	5,94ab	5,53	5,73	5,39a
600 g ha ⁻¹	5,99a	5,54	5,79	5,41a
Regressão	L ⁽¹⁾	ns	ns	Q ⁽²⁾
F. Variação	$P > F$			
S	<0,001	0,002	0,200	<0,001
F	0,017	0,144	0,650	0,004
S × F	<0,001	0,396	0,437	0,040
CV (%)	1,1	1,3	2,1	1,5
	Acidez titulável (mL 100g ⁻¹)			
Mg via solo (S)				
Sem	1,50	1,47	3,22b	3,44a
Com	1,54	1,39	3,45a	3,09b
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,50	1,58a	3,60a	3,45a
150 g ha ⁻¹	1,55	1,45b	3,40ab	3,48a
300 g ha ⁻¹	1,50	1,36bc	3,24bc	3,09b
600 g ha ⁻¹	1,53	1,32c	3,08c	3,05b
Regressão	ns	ns	L ⁽³⁾	L ⁽⁴⁾
F. Variação	$P > F$			
S	0,084	0,050	0,042	<0,001
F	0,416	<0,001	0,014	<0,001
S × F	0,580	0,207	0,013	0,446
CV (%)	4,8	8,5	10,4	7,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 5,8432 + 0,0002x$ ($R^2 = 0,29$)*; ⁽²⁾ $y = 5,5233 - 0,0008x + 0,000001x^2$ ($R^2 = 0,43$)**; ⁽³⁾ $y = 3,5504 - 0,0012x$ ($R^2 = 0,70$)**; ⁽⁴⁾ $y = 3,4664 - 0,0008x$ ($R^2 = 0,73$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 13 - pH São Manuel 2023 (A) e Pardinho 2023 (B) e acidez titulável Paranapanema 2023 (C da polpa dos tubérculos, avaliados na colheita final, em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

4.8 Amido e açúcares redutores

De modo geral, o teor de amido dos tubérculos apresentou comportamento dependente do local, com respostas pontuais ao manejo de Mg via solo e via foliar (Tabela 27). Uma vez que, em condições de deficiência de Mg, ocorre acúmulo de açúcares solúveis nas folhas e redução do transporte de carbono para os tubérculos, o que pode limitar a síntese e o acúmulo de amido. Quando o suprimento é adequado, o fluxo de assimilados é mantido e o amido tende a se acumular normalmente nos tubérculos (Cakmak; Kirkby, 2008), assim como nos experimentos conduzidos.

Em Itapeva 2023, verificou-se efeito significativo da aplicação de Mg via solo, com redução do teor de amido quando o nutriente foi fornecido no plantio (61,9%) em comparação à ausência de Mg (65,5%).

No experimento conduzido em Pardinho 2023, observaram-se respostas mais evidentes ao manejo do Mg. A aplicação do nutriente via solo promoveu incremento significativo no teor de amido, passando de 66,3% para 79,7%, evidenciando que, nesse ambiente, o suprimento radicular adequado de Mg favoreceu o metabolismo carbonado e a deposição de amido nos tubérculos. Além disso, as doses de Mg aplicadas via foliar também influenciaram o teor de amido, com maiores valores observados nas doses de 150 e 600 g ha⁻¹, indicando que, sob condições de maior limitação nutricional inicial, a aplicação foliar pode atuar de forma complementar no suprimento de Mg para os processos de síntese e transporte de carboidratos.

Gerendás e Führs (2013) destacam que o teor de amido está fortemente associado à MS e à maturidade dos tubérculos, sendo menos sensível a adubações isoladas quando não há deficiência nutricional severa.

A interação significativa entre a aplicação de Mg via solo e as doses aplicadas via foliar evidenciou respostas contrastantes no teor de amido dos tubérculos (Figura 14A). Na ausência de Mg aplicado via solo, observou-se incremento linear positivo do teor de amido com o aumento das doses de Mg via foliar, indicando que o fornecimento foliar foi capaz de suprir parcialmente a demanda do nutriente e favorecer o metabolismo carbonado. Esse comportamento sugere que, sob condição de menor disponibilidade radicular de Mg, a aplicação foliar contribuiu para melhorar a eficiência fotossintética e o transporte de fotoassimilados, refletindo-se em maior deposição de amido nos tubérculos.

Por outro lado, quando o Mg foi fornecido no plantio, verificou-se redução linear do teor de amido com o aumento das doses foliares. Esse resultado indica que, em plantas adequadamente supridas com Mg via solo, a aplicação foliar adicional não promoveu benefícios ao acúmulo de amido e pode ter alterado a partição de assimilados, favorecendo outros compartimentos da planta ou diluindo a fração de amido expressa em base de matéria seca.

A convergência das curvas próximas à dose de 300 g ha⁻¹ indica um ponto de equilíbrio entre as vias de fornecimento, a partir do qual o efeito do Mg foliar deixa de ser dependente da disponibilidade radicular. Tal comportamento reforça que o teor de amido é altamente sensível ao balanço entre crescimento vegetativo e enchimento dos tubérculos, sendo influenciado não apenas pela disponibilidade de Mg, mas também pela eficiência de partição de carbono e pela produção de matéria seca ao longo do ciclo.

Esses resultados corroboram estudos que demonstram que o Mg desempenha papel central no transporte de sacarose via floema e na conversão de carboidratos solúveis em amido nos órgãos de reserva, com respostas mais evidentes quando o nutriente atua como fator limitante (Cakmak; Kirkby, 2003). Assim, a resposta contrastante observada neste experimento confirma que a eficiência da aplicação foliar de Mg depende diretamente do estado nutricional inicial da planta, sendo benéfica em condições de menor suprimento radicular e pouco responsiva quando o fornecimento via solo é adequado.

De modo geral, a aplicação de Mg via solo não influenciou significativamente os teores de açúcares redutores em São Manuel 2023 e Paranapanema 2023 (Tabela 27). Nesses casos, os valores permaneceram relativamente estáveis entre os tratamentos, sugerindo que o estado nutricional das plantas e as condições fisiológicas no momento da colheita foram suficientes para manter o equilíbrio entre açúcares solúveis e amido.

Em Itapeva 2023, observou-se efeito significativo da aplicação de Mg via solo, com maiores teores de açúcares redutores quando o nutriente foi fornecido no plantio. Esse comportamento pode estar relacionado ao aumento da atividade metabólica e ao maior fluxo de assimilados para os tubérculos, resultando em maior presença de açúcares solúveis no momento da avaliação.

No experimento conduzido em Pardinho 2023, verificou-se efeito significativo do Mg aplicado via solo, com redução dos teores de açúcares redutores quando o nutriente foi fornecido no plantio.

Em Paranapanema (Figura 14B), na ausência de Mg aplicado via solo, os valores de açúcares redutores mantiveram-se baixos e estáveis ao longo das doses de Mg via foliar, não apresentando ajuste significativo de regressão. Esse comportamento indica que, sob limitação do suprimento radicular de Mg, a aplicação foliar não foi suficiente para alterar de forma consistente a dinâmica dos carboidratos solúveis nos tubérculos, possivelmente em função da limitada absorção e translocação do nutriente aplicado via folhas.

Por outro lado, quando o Mg foi fornecido no plantio, observou-se resposta quadrática significativa dos açúcares redutores às doses de Mg via foliar, com incremento até doses intermediárias (em torno de 300 g ha^{-1}), seguido de redução nas doses mais elevadas. Esse padrão sugere que, em plantas adequadamente supridas com Mg via solo, a aplicação foliar promoveu alterações temporárias na partição de carboidratos, resultando inicialmente em maior acúmulo de açúcares solúveis nos tubérculos. Entretanto, nas doses mais elevadas, a redução dos açúcares redutores indica maior eficiência na conversão desses açúcares em amido, refletindo ajuste metabólico ao suprimento adicional do nutriente.

De forma integrada com os resultados de teor de amido, observa-se que os maiores teores de açúcares redutores coincidiram com doses em que o acúmulo de amido não foi maximizado, reforçando a relação inversa entre açúcares redutores e amido. Assim, a resposta quadrática observada confirma que o Mg influencia o metabolismo de carboidratos de maneira indireta, modulando a partição e a conversão de assimilados, com efeitos mais evidentes quando o suprimento radicular do nutriente é adequado.

A interação entre a aplicação de Mg via solo e as doses de Mg via foliar em Pardinho, evidenciou tendências opostas no teor de açúcares redutores dos tubérculos (Figura 14C). Na ausência de Mg aplicado no solo, observou-se aumento linear significativo dos açúcares redutores com o incremento das doses foliares, indicando que o fornecimento de Mg via folhas, nessas condições, favoreceu o acúmulo de carboidratos solúveis nos tubérculos. Esse comportamento sugere que, sob limitação do suprimento radicular, o Mg foliar pode ter promovido maior atividade

fotossintética e maior fluxo de assimilados, porém sem conversão proporcional desses açúcares em amido, resultando em elevação relativa dos açúcares redutores.

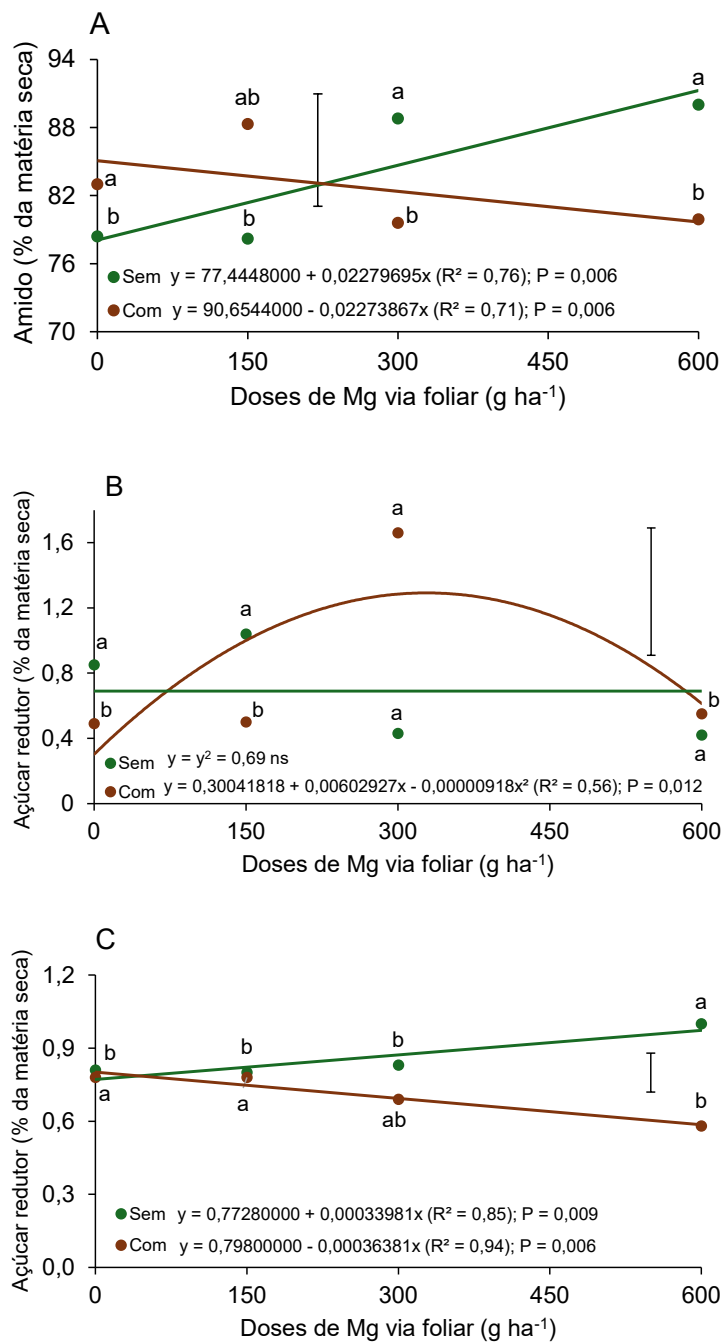
Em contraste, quando o Mg foi fornecido via solo, verificou-se redução linear significativa dos açúcares redutores com o aumento das doses foliares. Esse padrão indica que, em plantas com adequado suprimento radicular de Mg, a aplicação foliar adicional contribuiu para maior eficiência metabólica, favorecendo a conversão de açúcares solúveis em amido nos tubérculos e reduzindo a concentração relativa de açúcares redutores.

Tabela 27 - Teste de médias e resumo da análise de variância para teores de amido e açúcares redutores nos tubérculos, avaliados na colheita final, da cultura da batata submetida a aplicação de magnésio via solo e foliar, em sete experimentos conduzidos nos municípios de Paranapanema, São Manuel, Itapeva e Pardinho (SP)

Tratamento	Experimento			
	S.M. 23	Itap. 23	Paran. 23	Pard. 23
Amido (% da matéria seca)				
Mg via solo (S)				
Sem	82,9	65,5a	83,9	66,3b
Com	85,8	61,9b	85,2	79,7a
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	83,1	62,4	85,7	70,1bc
150 g ha ⁻¹	87,3	65,7	83,3	79,3a
300 g ha ⁻¹	86,1	65,4	84,2	66,7c
600 g ha ⁻¹	81,0	61,3	84,9	76,0ab
Regressão	ns	ns	L ⁽¹⁾	ns
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,364	0,049	0,577	<0,001
F	0,491	0,224	0,906	0,012
S × F	0,379	0,475	0,001	0,666
CV (%)	11,7	8,7	9,0	11,6
Açúcares redutores (% da matéria seca)				
Mg via solo (S)				
Sem	1,02	0,54b	0,69	0,86a
Com	1,08	0,71a	0,80	0,70b
Mg via foliar (F)				
0 g ha ⁻¹	1,02	0,65	0,67	0,80
150 g ha ⁻¹	1,08	0,74	0,77	0,79
300 g ha ⁻¹	1,07	0,52	1,04	0,75
600 g ha ⁻¹	1,02	0,60	0,49	0,79
Regressão	ns	ns	Q ⁽²⁾	L ⁽³⁾
F. Variação	<i>P > F</i>			
S	0,266	0,046	0,560	<0,001
F	0,765	0,377	0,241	0,824
S × F	0,365	0,349	0,013	0,003
CV (%)	15,7	43,8	18,6	15,5

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ $y = 77,4448 + 0,0228x$ ($R^2 = 0,76$)** e $y = 90,6544 - 0,0227x$ ($R^2 = 0,71$)**;
⁽²⁾ $y = 0,3004 + 0,0060x - 0,000009x^2$ ($R^2 = 0,56$)*; ⁽³⁾ $y = 0,7728 + 0,0003x$ ($R^2 = 0,85$)** e $y = 0,7980 - 0,0004x$ ($R^2 = 0,94$)**. ns, * e ** são: não-significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Figura 14 - Teores de amido Paranapanema 2023 (A) e açúcares redutores Paranapanema 2023 (B) e Pardinho 2023 (C), nos tubérculos, avaliados na colheita final, em resposta a doses de Mg via foliar



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de LSD ($p \leq 0,05$), considerando as doses de Mg via foliar dentro de cada nível de Mg via solo. A barra vertical representa a diferença mínima significativa (DMS) entre a presença e a ausência de Mg via solo, dentro de cada dose de Mg via foliar.

5 CONCLUSÕES

A adubação magnesiana influenciou positivamente a nutrição mineral, o crescimento, a produtividade e a qualidade dos tubérculos de batata, confirmando a relevância do nutriente para o desempenho agrônomo da cultura da batata.

A aplicação de Mg via solo promoveu incrementos consistentes nos teores foliares de Mg, no acúmulo total do nutriente na planta e na produtividade de tubérculos, mesmo em solos com teores de Mg considerados adequados, evidenciando que a disponibilidade inicial de Mg no solo, por si só, nem sempre reflete a eficiência de absorção pela planta.

A aplicação de Mg via foliar apresentou efeito complementar ao fornecimento via solo, especialmente em estádios críticos de desenvolvimento da cultura, resultando em aumentos no índice relativo de clorofila, no peso médio dos tubérculos e na proporção de tubérculos da classe especial.

As respostas às doses de Mg via foliar variaram conforme o ambiente de cultivo, indicando influência das condições edafoclimáticas e do histórico de fertilidade do solo sobre a eficiência da adubação foliar, porém, de maneira geral, os melhores resultados foram obtidos principalmente com a dose de 300 g ha⁻¹ de Mg.

A combinação do fornecimento de Mg via solo e via foliar favoreceu o equilíbrio nutricional da cultura, a partição de fotoassimilados e o acúmulo de Mg nos tubérculos, refletindo em melhorias nos componentes de rendimento e na produtividade total.

O manejo integrado do Mg contribuiu para a melhoria de atributos de qualidade dos tubérculos, incluindo firmeza da polpa, pH e acidez titulável, sem comprometer os teores de macro e micronutrientes nos tubérculos.

O fornecimento integrado de Mg via solo, associado a pulverizações foliares estratégicas, constitui uma prática agronomicamente eficiente e tecnicamente recomendável para otimizar a produtividade e a qualidade da batata em diferentes condições edafoclimáticas do estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- AHMED, N.; ZHANG, B.; BOZBAR B.; CHACHAR, S.; RAI, M.; LI, J.; LI, Y.; HAYAT, F.; CHACHAR, Z.; TU, P. The power of magnesium: unlocking the potential for increased yield, quality, and stress tolerance of horticultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1285512, 2023.
- AITKEN, R. L.; DICKSON, T.; HAILES, K. J.; MOODY, P.W. Response of field-grown maize to applied magnesium in acidic soils in north-eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 2, p. 191-198, 1999.
- ALLISON, M. F.; CHAPMANN J. L.; GARAT, C. E.; TODD, A. D. The potassium, sodium, magnesium, calcium and phosphate nutrition of sugarbeet (*Beta vulgaris*) grown on soils containing incorporated straw. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, p. 216-220, 1997.
- ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L. de M. e S.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C.; OTTO, R. Yield performance of soybean and corn subjected to magnesium foliar spray. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1185–1191, 2017.
- ASSUNÇÃO, N. S.; NICK, J. A.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M. Tuber yield and allocation of nutrients and carbohydrates in potato plants as affected by limestone type and magnesium supply. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 1, p. 51–63, 2020.
- BOUMA, D.; DOWLING, E. J.; WAHJOEDI, H. Some effects of potassium and magnesium on the growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). **Annals of Botany**, v. 43, n. 5, p. 529-538, 1979.
- BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; BUSATO, C.; CECON, P. R. Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 50-57, 2011.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 9, p. 1251-1257, 1994.
- CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v. 133, p. 692-704, 2008.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops with Plant Food**, v. 94, n. 2, p. 23–25, 2010.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Plant and Soil**, v. 368, p. 17–37, 2013.

CEPL, J. The effect of potassium and magnesium fertilization on some indicators of the potato yield and quality. **Rostlinna Vyroba-UZPI (Czech Republic)**, v. 40, n. 10, 1994.

CHITDESHWARI, T.; VIVEKA, B.; SHUKLA, A. K.; BEHERA, S. K. Critical magnesium levels in soil and potato (*Solanum tuberosum*) plants grown on lateritic red soils. **Potato Research**, v. 68, p. 4873–4887, 2025.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

EL-HADIDI, E. M.; EL-DISSOKY, R. A.; ABDELHAFEZ, A. A. H. Foliar calcium and magnesium application effect on potato crop grown in clay loam soils. **Journal of Soil Science and Agricultural Engineering**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2017.

FAO (Food and Agriculture Organization). FAO Statistical Pocketbook. World Food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/potato/en/>. Acesso em: 06 de jan 2026.

FARHAT, N.; RABBHI, M.; KROL, M.; BARHOUMI, Z.; IVANOV, A. G.; MCCARTHY, A.; ABDELLY, C.; SMAOUI, A.; HUNER, N. P. A. Starch and sugar accumulation in *Sulla carnosa* leaves upon Mg^{2+} starvation. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 2157-2165, 2014.

FARHAT, N., ELKHOUNI, A., ZORRIG, W.; SMAOUI, A.; ABDELLY, C.; RABHI, M. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 6, p. 145, 2016.

FELTRAN, J. C.; LEMOS, L. B.; VIEITES, R. L. Technological quality and utilization of potato tubers. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 598-603, 2004.

FELTRAN, J. C.; PERESIN, V. A.; GRANJA, N. P.; SILVA FILHO, H. M.; LORENZI, J. O., FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; FACTOR, T. L.; RÓS, A. B., AGUIAR, E. B. Raízes e tubérculos. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. (Eds.), **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo, Campinas, p. 314–338. 2022

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 2039-2056, 2011.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. **Nutrição mineral, calagem e adubação da batateira**. Botucatu/Itapetininga: FEPAF/ ABBA. 121p. 2012.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P. Phosphorus fertilizer rate for fresh market potato cultivars grown in tropical soil with low phosphorus availability. **American Journal of Potato Research**, v.93, p.404-414, 2016.

FERNANDES, F. M. **Estimativa da necessidade de nitrogênio na cultura da batata com base no índice relativo de clorofila**. 2017. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2017.

FERREIRA, L. S.; OLIVEIRA, V. S.; MARCHIORI, J. J. P.; FERREIRA, T. C.; BERNABÉ, A. C. B.; BOONE, G. T. F.; PEREIRA, L. L. S.; CARRIÇO, E. The nutrient magnesium in soil and plant: a review. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 8, p. 136-144, 2023.

FILGUEIRA, F. A. R. Nutrição mineral e adubação em bataticultura, no Centro-Sul. In: FILGUEIRA, F. A. R. Nutrição mineral e adubação de hortaliças. Piracicaba, **Potafós**. p.401-428, 1993.

FRANCO, M. F. S.; DELGADO, E. U. A. Relação entre adubação e qualidade dos produtos agrícolas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e36311427562-e36311427562, 2022.

GAJ, R.; BOROWSKI-BESZTA, J. Effects of foliar fertilization with potassium and micronutrients on potato yield and quality. **European Journal of Horticultural Science**, v. 85, n. 6, p. 394-400, 2020.

GARRETO, F. G. S. **Manejo de magnésio na cultura da batata: respostas fisiológicas e produtivas em diferentes ambientes**. 2022. 183 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2022.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, p. 101-128, 2013.

GUO, W.; NAZIM, H.; LIANG, Z.; YANG, D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, v. 4, n. 2, p. 83-91, 2016.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, v. 368, p. 5-21, 2013.

HAUER-JÁKLI, M., TRÄNKNER, M. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and productivity. **Frontiers in Plant Science**, v.10, p. 766, 2019.

HERMANS C.; JOHNSON, G. N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterisation of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to

low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta**, v. 220, n. 2, p. 344-355, 2004.

HERMANS, C.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of magnesium deficiency in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 418, p. 215–225, 2005.

HERMANS, C.; VUYLSTEKE, M.; COPPENS, F.; CRACIUN, A.; INZÉ, D.; VERBRUGGER, N. Early transcriptomic changes induced by magnesium deficiency in *Arabidopsis thaliana* reveal the alteration of circadian clock gene expression in roots and the triggering of abscisic acid-responsive genes. **New Phytologist**, v. 187, n. 1, p. 119-131, 2010a.

HERMANS, C.; VUYLSTEKE, M.; COPPENS, F.; CRISTESCU, S. M.; HARREN, F. J. M.; INZÉ, D.; VERBRUGGEN, N. Systems analysis of the responses to long-term magnesium deficiency and restoration in *Arabidopsis thaliana*. **New Phytologist**, v. 187, n. 1, p. 132-144, 2010b.

HOPKINS, B. G.; HANSEN, N. C. Phosphorus management in high-yield systems. **Journal of environmental quality**, v. 48, n. 5, p. 1265-1280, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento de safras agrícolas no ano civil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 09 de mai 2024.

IERNA, A.; PARISI, B.; MELILLI, M. G. Overall quality of “early” potato tubers as affected by organic cultivation. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 296, 2022.

KANJANA, D. Foliar application of magnesium oxide nanoparticles on nutrient element concentrations, growth, physiological, and yield parameters of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 20, p. 3035-3049, 2020.

KARAN, Y. B. Mineral nutrient variability of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers with different colors grown in Niksar, Kazova and Artova locations of Tokat Province, Turkey. **PeerJ**, v. 11, e15262, 2023.

KLEIN, L. B.; CHANDRA, S.; MONDY, N. I. Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes: total nitrogen, nonprotein nitrogen, protein, amino acids, minerals and firmness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 30, n. 4, p. 754-757, 1982.

KOCH, M.; BUSSE, M.; NAUMANN, M.; JÁKLI, B.; SMIT, I.; CAKMAK, I.; HERMANS, C.; PAWELZIK, E. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. **Physiologia Plantarum**, v. 166, n. 4, p. 921-935, 2019.

KOCH, M.; NEUMANN, M.; PAWELZIK, E.; GRANSEE, A.; THIELE, H. The importance of nutrient management for potato production part I: plant nutrition and yield. **Potato Research**, v. 63, p. 97-119, 2020.

KUNHIKRISHNAN, A.; THANGARAJAN, R.; BOLAN, N. S. XU, Y.; MANDAL, S.; GLEESON, D. B.; SESHADRI, B.; ZAMAN, M.; BARTON, L.; TANG, C.; LUO, J.; DALAL, R.; DING, W., KIRKHAM, M.B.; NAIUDU, R. Functional relationships of soil acidification, liming, and greenhouse gas flux. **Advances in Agronomy**, v. 139, p. 1-71, 2016.

LIZANA, X. C., SANDAÑA, P., BEHN, A., ÁVILA-VALDÉS, A., RAMÍREZ, D. A., SORATTO, R. P., CAMPOS, H. Potato. In: SADRAS, V.O., CALDERINI, D.F. (Eds.), **Crop Physiology Case Histories for Major Crops**. Academic Press. 2021. pp. 550–587.

LUJAN, L.; SMITH, O. Potato quality XXIV. Objective measurement of mealiness in potatoes. 1964.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, p. 651, 2011.

MARTINEZ, H. E. P.; MAROTTA, J. J. L.; MANGAS, I. B. **Relações solo-planta: Bases para a nutrição e produção vegetal**. Editora UFV, 2021.

MATIAS, S. S. R.; MATOS, A.; LANDIM, J.; FEITOSA, S.; ALVES, M. A.; SILVA, R. Recomendação de calagem com base na variabilidade espacial de atributos químicos do solo no Cerrado brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 4, p. 896-907, 2019.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Springer, 2001. 849 p.

MIKKELSEN, R. Magnesium in plants: uptake, distribution, function and deficiency. **Better Crops with Plant Food**, v. 94, n. 2, p. 23–25, 2010.

MOUILLÉ, B.; CHARRONDIÈRE, U. R.; BURLINGAME, B. The contribution of plant genetic resource to health and dietary diversity thematic background study. **FAO**, Roma. Disponível em: Acesso em: 14 maio de 2024.

OLIVEIRA, C. da S.; OLIVEIRA, J. A.; ASSIS, V. C. S. S.; OLIVEIRA, G. H.; SÁ, A. A. S.; SILVA, R. P.; CAMASSA, M. T.; BERTI, M. P. S. **Dinâmica do magnésio no sistema solo-planta e sua participação no metabolismo e nutrição de plantas: uma revisão**. 2024.

ORLOVIUS, K.; MCHOUL, D. Potato response to magnesium fertilization: effects on yield and tuber quality. **International Potash Institute e-ifc**, n. 42, p. 3–8, 2015.

ORLOVIUS, K.; MCHOUL, J. Effect of two magnesium fertilizers on leaf magnesium concentration, yield, and quality of potato and sugar beet. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 13, p. 2044-2054, 2015.

PAPENFUR, K. H.; SCHLICHTIN, E. Bestimmende Faktoren des Mg-Haushaltes von Boden in der Bundesrepublik Deutschland. **Magnesium-Bulletin**, v. 1, n. 1, 1979.

PATHAK, R. K.; SINGH, D. B.; SHARMA, H.; PANDEY, D.; DWIVEDI, S. Calcium uptake and translocation in plants. In: **Calcium Transport Elements in Plants**. Academic Press, 2021. p. 373-386.

PITCHAY, D.; MIKKELSEN, R. **Diagnose nutricional da planta**. Piracicaba: IPNI, 2018. 121 p. (Tradução de Silvia Regina Stipp).

QU, S.; LI, H.; ZHANG, T.; KOU, G.; CHEN, P.; YANG, Y. Effects of Magnesium Imbalance on Root Growth and Nutrient Absorption in Different Genotypes of Vegetable Crops. **Plants**, v. 12, n. 20, p. 3518, 2023.

RIETRA, R.P.J.J.; HEINEN, M.; DIMKPA, C.O.; BINDRABAN, P.S. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 16, p. 1895-1920, 2017.

RIGA, P.; ANZA, M.; GARBISU, C. Suitability of the antioxidative system as marker of magnesium deficiency in *Capsicum annuum* L. plants under controlled conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 46, p. 51-59, 2005.

RODRIGUES, M.; HANSEL, F. D.; MOREAU, M. F. M.; LAZZARINI, P. R. C.; MACHADO, B. A.; COMPARONI, I.; BONINI, F. G. Magnésio: Um macronutriente potencializador de safras. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 13, p. 1-24, 2022.

RODRIGUES, V. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; MUNDT, T. T.; DE OLIVEIRA, S. L.; GARCIA, A.; CALONEGO, J. C.; LOLLATO, R. P. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 797, 2021.

RÖMHELD V.; KIRKBY E. A. Magnesium functions in crop nutrition and yield. **Proceedings of a Conference in Cambridge** (7th Dec. 2007), p. 151–171, 2007.

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil**, v. 335, p. 155–180, 2007.

- SAASEEA, K. G.; AL-A'AMRY, N. J. K. Effect of foliar application with calcium, magnesium and fertilizing with humic acid on growth, yield, and storage ability of potato tubers. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 49, n. 5, p. 897–905, 2018.
- SENBAYRAM, M.; GRANSEE, A.; WAHLE, V.; THIEL, H. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. **Crop and Pasture Science**, v. 66, p. 1219-1229, 2015.
- SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biomaterials**, v. 15, p. 307-321, 2002.
- SILVA, G. O.; LOPES, C. A. Sistema de Produção da Batata. In: **Sistema de Produção Embrapa**. 2015. Disponível em: 213 https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportle. Acesso em 14 mai. 2024.
- SORATTO, R. P.; AQUIN, L. Â., YAGI, R.; GARRETO, F. G. de S.; KRAUSE, M. R.; MOSCOSO, M. P. P.; SOUZA, T. R. Avanços no manejo da adubação com nitrogênio e magnésio na cultura da batata. **Informações Agronômicas NPCT**, n. 14, p. 26-42. 2022.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Nutrição mineral. In: **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. p. 119-142.
- VAN DER POL, F.; TRAORE, B. Soil nutrient depletion by agricultural production in Southern Mali. **Fertilizer research**, v. 36, p. 79-90, 1993.
- WANG, Z.; HASSAN, M. U.; NADEEM, F.; WU, L.; ZHANG, F.; LI, X. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: A meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 495191, 2020.
- WHITE, P. J.; BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; RAMSAY, G.; HAMMOND, J. P.; BROADLEY, M. R. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. **HortScience**, v. 44, p. 6-11, 2009.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, p. 49–84, 2009.
- WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, v. 105, n. 7, p. 1073-1080, 2010.
- YAKIMENKO, V. V.; NAUMOVA, N. T.; BOIKO, V. S.; TIMOKHIN, A. Y.; KONARBAEVA, G. A. Tuning potassium and magnesium fertilization of potato in West Siberia. **Agronomy**, v. 11, n. 9, Article 1877, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1877>.

ZEBARTH, B. J.; ROSEN, C. J.; PANTON, S. H. Using the SPAD-502 chlorophyll meter to estimate leaf nitrogen concentration in potato. **American Journal of Potato Research**, v. 79, n. 2, p. 75–85, 2002.

ZENGIN, M.; GOKMEN, F.; GEZGIN, S.; ÇAKMAK, I. Effects of different fertilizers with potassium and magnesium on the yield and quality of potato. **Asian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 663–676, 2010.

ZENGIN, M.; GÖKMEN, F.; GEZGIN, S.; ÇAKMAK, I. Effects of different fertilizers with potassium and magnesium on the yield and quality of potato. **Asian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 1, p. 663, 2008.

APÊNDICE A – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2021, em Paranapanema-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
05/08/2021	S-Metolaclozolo (960 g/L)	992
22/08/2021	Paraquate (200 g/L)	207
	Gama-Cialotrina (150 g/L)	9,3
26/08/2021	Fenitrotiona (800 g/L)	400
	Esfenvalerato (40 g/L)	20
	Metribuzim (480 g/L)	298
31/08/2021	Tiametoxam (141 g/L)	35
	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
	Acefato (970 g/kg)	1002
	<i>Bacillus subtilis</i> Linhagem Y1336 (500 g/kg)	1033
	Clorpirifós (480 g/L)	992
01/09/2021	Carbendazim (500 g/L)	1033
	Metaflumizone (240 g/L)	248
	Bentiavalicarbe Isopropílico (100 g/L)	145
	Fluazinam (250 g/L)	362
	Foltron: N (65,5 g/L); P ₂ O ₅ (237,5 g/L); K ₂ O (62,5 g/L)	68; 245; 65
	Mancozebe (640 g/kg)	1058
06/09/2021	Cimoxanil (80 g/kg)	132
	Carbossulfano (400 g/L)	331
	Cloridrato de propamocarbe (625 g/L)	904
10/09/2021	Fluopicolida (62,5 g/L)	90
	Dimetoato (400 g/L)	165
	K ₂ O (280 g/L)	289
	Cloridrato de Propamocarbe (722 g/L)	1044
	Acefato (750 g/L)	1550
14/09/2021	Casugamicina (20 g/L)	58
	Trifloxistrobina (100 g/L)	83
	Tebuconazol (200 g/L)	165
	Oxicloreto de cobre (652 g/kg)	1078
18/09/2021	Sulfato de Mg: Mg (9%); S (12%)	1260; 1680
	Clorpirifós (480 g/L)	992
21/09/2021	Clorfenapir (240 g/L)	198
	Silwet	150
	Clorotalonil (500 g/L)	620
23/09/2021	Metomil (215 g/L)	222
	Carbaril (480 g/L)	238
	Clorpirifós (480 g/L)	992
05/10/2021	Abamectina (18 g/L)	22
	Nitrato de Potássio: N (13%); K ₂ O (44%)	533; 1804
	Bentiavalicarbe Isopropílico (37,5 g/L)	54
06/10/2021	Clorotalonil: (375 g/L)	542
	Trifloxistrobina (100 g/L)	83
	Tebuconazol (200 g/L)	165
08/10/2021	Mancozebe (800 g/kg)	1653
15/10/2021	Procimidona (500 g/kg)	723
	Clorpirifós (480 g/L)	992
	Bentiavalicarbe Isopropílico (100 g/L)	145
	Fluazinam (250 g/L)	362
18/10/2021	Fluxaproxade (167 g/kg)	69
	Piraclostrobina (333 g/L)	138
	Carbaril (480 g/L)	238
	Fluasifope-P-Butílico (250 g/L)	124
	Metoxifenoazida (240 g/L)	99

	Lambda-Cialotrina (50 g/L)	4
21/10/2021	K-Fol: K ₂ O (50%); P ₂ O ₅ (18%)	500; 180
28/10/2021	Metomil (215 g/L)	13
	Clorpirifós (480 g/L)	992
04/11/2021	Clorotalonil (750 g/L)	1550
16/11/2021	Diquat (200 g/L)	413
	Monoetilenoglicol (16 g/L)	33

⁽¹⁾ i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE B – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de abril a julho de 2022, em São Manuel-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
12/04/2022	Metribuzim (480 g/L)	298
	Paraquate (200 g/L)	400
	Diuron (100 g/L)	200
25/04/2022	Fipronil (800 g/L)	160
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Boscalida (500 g/L)	500
05/05/2022	Mancozebe (750 g/kg)	2400
	Boscalida (500 g/L)	250
13/05/2022	Abamectina (18 g/L)	18
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
19/05/2022	Bentiavalicarbe Isopropílico (100 g/L)	145
	Fluazinam (250 g/L)	362
	Piraclostrobina (250 g/L)	100
26/05/2022	Abamectina (18 g/L)	18
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
02/06/2022	Cloridrato de propamocarbe (625 g/L)	904
	Fluopicolida (62,5 g/L)	90
	Tiametoxam (500 g/kg)	180
10/06/2022	Oxatiapiprolina (15 g/L)	19,5
	Dimetomorfe (300 g/L)	390
	Tiametoxam (141 g/L)	35
	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
20/06/2022	Bentiavalicarbe Isopropílico (100 g/L)	145
	Fluazinam (250 g/L)	362
	Clorpirifós (480 g/L)	992
27/06/2022	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
	Cloridrato de propamocarbe (625 g/L)	904
	Fluopicolida (62,5 g/L)	90
	Mancozebe (640 g/kg)	1058
	Cimoxanil (80 g/kg)	132
06/07/2022	Diquat (200 g/L)	400

⁽¹⁾i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE C – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de julho a novembro de 2022, em Paranapanema-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
29/08/2022	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
	Metribuzim (480 g/L)	298
	Carbaril (480 g/L)	238
	Clorpirifós (480 g/L)	992
	Fipronil (800 g/L)	160
05/09/2022	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Gama-Cialotrina (150 g/L)	9,3
10/09/2022	Clortalonil (750 g/L)	1550
	Picoxistrobina (250 g/L)	50
	Dimetomorfe (500 g/L)	400
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Carbossulfano (400 g/L)	331
15/09/2022	Acetamiprido (167 g/L)	66,8
	Etofenproxi (300 g/L)	120
	Acefato (970 g/kg)	1002
18/09/2022	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (141 g/L)	35
	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Cloridrato de Propamocarbe (722 g/L)	1083
28/09/2022	Procimidona (500 g/kg)	723
	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Carbendazim (500 g/L)	1033
	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Metalaxil-m (40 g/kg)	100
	Mancozebe (640 g/kg)	1600
Tiofanato Metílico (500 g/L)	400	
01/10/2022	Clortalonil: (375 g/L)	542
	Acefato (970 g/kg)	1002
	Tiametoxam (500 g/kg)	180
06/10/2022	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Mancozebe (640 g/kg)	1600
	Fenitrotiona (800 g/L)	400
	Esfenvalerato (40 g/L)	20
	Cloridrato de Propamocarbe (722 g/L)	1083
13/10/2022	Imidacloprido (100 g/L)	75
	Beta-Ciflutrina (12,5 g/L)	9,4
	Carbendazim (500 g/L)	1033
	Cloridrato de propamocarbe (625 g/L)	904
	Fluopicolida (62,5 g/L)	90
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Ciprodinil (750 g/kg)	187,5
	K-Fol: K ₂ O (50%); P ₂ O ₅ (18%)	500; 180
20/10/2022	Picoxistrobina (250 g/L)	50
	Mancozebe (640 g/kg)	1058
	Cimoxanil (80 g/kg)	132
	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (141 g/L)	35
	Lambda-Cialotrina (106 g/L)	26

	Casugamicina (20 g/L)	58
	Carbossulfano (400 g/L)	331
	Picoxistrobina (250 g/L)	50
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
27/10/2022	Oxicloreto de cobre (652 g/kg)	1078
	Fenitrotona (800 g/L)	400
	Esfenvalerato (40 g/L)	20
	Bentiavalicarbe Isopropílico (37,5 g/L)	54
	Clorotalonil (375 g/L)	542
02/11/2022	Acetamiprido (167 g/L)	66,8
	Etofenproxi (300 g/L)	120
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
07/11/2022	Acetamiprido (200 g/L)	60
	Monoetilenoglicol (115,6 g/L)	34,7
	Diquat (200 g/L)	413

⁽¹⁾i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE D – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de maio a agosto de 2023, em São Manuel-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
03/05/2023	Fluzinam (500 g/L)	300
	Fludioxonil (250 g/L)	75
	Clorpirifós (480 g/L)	992
	Fipronil (800 g/L)	160
26/05/2023	Abamectina (600 g/L)	180
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Tiametoxam (250 g/kg)	200
03/06/2023	Clorotalonil (750 g/L)	1550
	Boscalida (500 g/kg)	400
	Tiametoxam (250 g/kg)	200
10/06/2023	Acetamiprido (167 g/L)	66,8
	Etofenproxi (300 g/L)	120
	Acefato (970 g/kg)	1002
18/06/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
26/06/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
	Clofenapir (240 g/L)	180
10/07/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
08/08/2023	Diquate (200 g/L)	600

⁽¹⁾ i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE E – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de junho a outubro de 2023, em Itapeva-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
28/06/2023	Fluzinam (500 g/L)	300
	Fludioxonil (250 g/L)	75
	Clorpirifós (480 g/L)	992
	Fipronil (800 g/L)	160
	Pencycuron (250 g/L)	625
20/07/2023	Abamectina (600 g/L)	180
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Tiametoxam (250 g/kg)	200
	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
28/07/2023	Clorotalonil (750 g/L)	1550
	Boscalida (500 g/kg)	400
	Tiametoxam (250 g/kg)	200
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
04/08/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
	Azoxitrobina (200 g/L)	80
10/08/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
17/08/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
	Clofenapir (240 g/L)	180
25/08/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
07/09/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Tiametoxam (250 g/kg)	200
26/09/2023	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Clofenapir (240 g/L)	180
08/08/2023	Diquate (200 g/L)	600

⁽¹⁾ i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE F – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2023, em Paranapanema-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
26/08/2023	Diquate (200 g/L)	600
	Fludioxonil (250 g/L)	75
	Imidacloprido (200 g/L)	60
	Fipronil (800 g/L)	160
	Pencycuron (250 g/L)	625
05/09/2023	Abamectina (600 g/L)	180
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Difeconazol (250 g/kg)	100
	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Imidacloprido (200 g/L)	60
12/09/2023	Abamectina (600 g/L)	180
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
	Difeconazol (250 g/kg)	100
	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Imidacloprido (200 g/L)	60
16/09/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
23/09/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
30/09/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
	Clofenapir (240 g/L)	180
07/10/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Tiametoxam (250 g/L)	200
	Casugamicina (20 g/L)	58
	Abamectina (600 g/L)	180
17/10/2023	Oxicloreto de cobre (588 g/kg)	940,8
	Mancozebe (800 g/kg)	2400
06/11/2023	Tiametoxam (250 g/kg)	200
	Diquate (200 g/L)	600

⁽¹⁾ i.a. = ingrediente ativo

APÊNDICE G – Tratos fitossanitários realizados na cultura da batateira em experimento conduzido durante o período de agosto a novembro de 2023, em Pardinho-SP

Data da aplicação	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g/ha do i.a.)⁽¹⁾
07/08/2023	Fluazinam (500 g/L)	500
	Fipronil (800 g/kg)	120
12/08/2023	Metribuzim (480 g/L)	288
	Paraquate (200 g/kg)	480
	Flumioxazina (250 g/L)	250
22/08/2023	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
08/09/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
15/09/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
22/09/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
29/09/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
06/10/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
13/10/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
20/10/2023	Difenoconazol (250 g/L)	150
	Clorpirifós (480 g/L)	480
	Metomil (215 g/L)	80
	Acefato (750 g/ kg)	80
	Cimoxanil (80 g/kg)	240
	Mancozebe (640 g/kg)	1920
03/11/2023	Paraquate (200 g/L)	400

⁽¹⁾ i.a. = ingrediente ativo