



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



RICARDO TAJRA DE FIGUEIREDO

**PRODUTIVIDADE, ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA
BATATA-DOCE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE FORNECIMENTO DE POTÁSSIO**

BOTUCATU

2023

RICARDO TAJRA DE FIGUEIREDO

**PRODUTIVIDADE, ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA
BATATA-DOCE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE FORNECIMENTO DE POTÁSSIO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Horticultura)

Orientador: Prof. Dr. Adalton Mazetti
Fernandes

BOTUCATU

2023

F475p

Figueiredo, Ricardo Tajra de

Produtividade, absorção e exportação de nutrientes pela batata-doce sob diferentes níveis de fornecimento de potássio / Ricardo Tajra de Figueiredo. -- Botucatu, 2023

115 p. : il., tabs., fotos

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

Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Ipomea batatas L. 2. nutrição mineral. 3. doses de potássio. 4. acumulação de nutrientes. 5. partição de nutrientes.. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PRODUTIVIDADE, ABSORÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA BATATA-DOCE SOB DIFERENTES NÍVEIS DE FORNECIMENTO DE POTÁSSIO

AUTOR: RICARDO TAJRA DE FIGUEIREDO

ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Presencial)
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista UNESP

Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS (Participação Virtual)
Agronomia / UNESP - Câmpus de Registro/SP

Pesquisador Dr. VALDEMIR ANTÔNIO PERESSIN (Participação Virtual)
Centro de Horticultura / Instituto Agrônomo de Campinas

Prof. Dr. ANTONIO ISMAEL INÁCIO CARDOSO (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES (Participação Presencial)
Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 10 de março de 2023

**Ao meu pai João Batista e à minha mãe Elizabeth, que sempre
acreditaram em mim, ofereço.
Ao meu avô Jamil Abib Tajra pelo primeiro contato com a terra e
com plantios, dedico**

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, nele encontrei o conforto e a força na realização desse trabalho, também gratidão por todos da minha família sobreviverem nesse período de pandemia do Coronavírus. À São José de Ribamar, padroeiro do Maranhão e à São Cosme e Damião, meu santo protetor, com os quais renovei minha fé.

Ao secretário adjunto de Administração do Maranhão, Daniel Melo Soares Pinho de Carvalho, pela autorização do meu afastamento no quadro de professor do Estado do Maranhão para realização do doutorado.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, com a qual sonhei e acreditei que me formaria nessa instituição tão conceituada internacionalmente.

Ao programa de Horticultura pela oportunidade de ingressar no doutorado, e em especial aos professores do departamento com os quais ensinaram não só o conteúdo das disciplinas, mas também o verdadeiro valor da vida.

Ao meu orientador Adalton Mazetti Fernandes pela compreensão, pelo respeito, pelos puxões de orelha na hora certa e parabenizar pela excelente orientação ao longo desses seis anos de convivência, certeza que essa parceria será eterna.

Aos meus orientadores e orientadoras anteriores: Josiane Marlle Guissem, Raimunda Nonata Lemos, Mariano Oscar Anibal Ibañez Rojas, José de Ribamar Gusmão Araújo, Francisco Nóbrega dos Santos, Altamiro Ferraz Junior, Marcio Silva, Carlos Alexandre Costa Crusciol e Daniela Carvalho dos Santos que me auxiliaram nessa longa jornada acadêmica até a pós-graduação.

Ao produtor Danilo Martins Trindade pela concessão da área, também pelo apoio na realização dos experimentos em Braúna, além de fornecer as ramas para a realização dos experimentos em Botucatu.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), por disponibilizar equipamentos, infraestrutura, reagentes e tudo que foi necessário na realização desse trabalho, em especial aos funcionários Elder, Danilo, Luís, Débora pelo carinho, empenho nas suas funções e no suporte dessa pesquisa.

Aos amigos de pesquisa do CERAT Políton, Rudieli, Jason, Fabrício, Valkiria, Jéssica, Gyslane e Ítala pela amizade, carinho, e principalmente ajuda, sem os quais não teria conseguido.

Aos amigos pós-graduação Raira, Isabela, Hilbaty, Letícia, Gustavo, Eduardo e Thatiane por compartilhar momentos de alegria e muitos outros de incertezas do que seria a realização de um trabalho durante a pandemia.

À aluna Tatiane Cristovam e ao Prof. Dirceu Maximino Fernandes por disponibilizarem o equipamento WinRhizo e auxiliarem na realização de uma das avaliações desta pesquisa.

À UNIVESP pela bolsa concedida, também a oportunidade em ter meu primeiro contato com o Ensino Superior com as práticas online de aulas, e a tutoria em várias disciplinas por esses dois anos. Além da possibilidade de realizar uma outra especialização em Formação didático-pedagógica para cursos na modalidade a distância da UNIVESP.

Aos familiares, minha mãe Elizabeth, meu pai João Batista, meus irmãos Acrísio, Rodrigo, Bruno (gêmeo) e João Victor. Minha namorada Mariana, meus sobrinhos Vinicius e Lucas e meus cunhados Felipe, Fernando e cunhada Louise, obrigado pela força, pela compreensão da minha ausência em datas importantes e por acreditarem mais em mim do que eu mesmo.

A minha psicóloga Daniela Segadilha por ajudar a controlar minha ansiedade, e outros momentos de dificuldades dos quais aprendi a conviver e superar, obrigado! Recomendo façam terapias, se conheçam.

Gratidão a todos.

“ O pescador preferia a incerteza de não saber se iria voltar à garantia de quem já morreu na praia por medo de morrer no mar”.

COEN, M; CASTRO, A.D. **A monja e o poeta**. 1. ed. Editora Sextante/Gmt., 2021. p. 192.

RESUMO

O potássio (K) é um elemento essencial no crescimento e no desenvolvimento da batata-doce, compreender como ele se relaciona com demais nutrientes, e entender como ele interfere no crescimento e no acúmulo de nutrientes pelas plantas pode diminuir as perdas e consequentemente aumentar a produtividade. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade de raízes, a absorção e exportação de nutrientes pela batata-doce em resposta a adubação potássica em condições distintas de disponibilidade de K no solo. Para isso foram conduzidos quatro experimentos, sendo três em campo e um na casa de vegetação. Foram conduzidos três experimentos em solos arenosos em campo, com diferentes teores iniciais de K, ou seja, em Braúna foi conduzido um experimento em solo com baixo ($\leq 0,7 \text{ mmolc dm}^{-3}$) e outro médio ($0,8\text{-}1,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$) teor de K, e em São Manuel foi conduzido um experimento, em solo com alto teor de K ($> 1,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$). Em cada experimento de campo, o delineamento foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram analisados sete tratamentos, no esquema fatorial $1+2 \times 3$. Os tratamentos foram representados por uma testemunha sem K, duas épocas de aplicações das doses de potássio [1- o K foi parcelado com metade das doses no momento do plantio e o restante em cobertura aos 40 dias após o plantio (DAP) (2ap)] e [2- três aplicações de potássio no plantio, aos 40 e aos 90 DAP (3 ap)] combinadas com três doses de K_2O (60, 120 e 240 kg ha^{-1}). O K foi fornecido como KCl e as doses foram aplicadas conforme os tratamentos. Já o experimento de casa de vegetação foi conduzido no Centro de Raízes e Amidos Tropicais em Botucatu-SP, em vasos de 25 L, contendo solo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5×6 com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco épocas de coleta (35, 60, 85, 110 e 150 DAP) combinadas com 6 níveis de K no solo [1 – solo com baixo teor de K e sem aplicação de K (B-K0), 2 – solo com baixo teor de K e com aplicação de K (B-K100), 3 – solo com médio teor de K e sem aplicação de K (M-K0), 4 – solo com médio teor de K e com aplicação de K (M-K100), 5 – solo com alto teor de K e sem aplicação de K (A-K0), 6 – solo com alto teor de K e com aplicação de K (A-K100)]. Os níveis baixo, médio e alto de K corresponderam aos teores aproximados de 0,7, 1,5 e $>3,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$, respectivamente. Solos com baixa disponibilidade de K apresentaram melhores respostas para a adubação. A adubação potássica aumentou o crescimento da planta, a massa seca (MS) da parte aérea e a produtividade das

raízes nos solos com baixa, média e alta disponibilidade de K em até 191, 142 e 89 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Aumentos na absorção de N, P, Ca, S, Cu, Fe, Mn, B e na exportação de N, P, Mg, Mn foram proporcionados pela adubação potássica. O excesso da adubação potássica reduziu a absorção de Mg e Zn, além de reduzir as exportações de B, Cu e Zn, e vale ressaltar que em solos com alta disponibilidade de K a adubação diminuiu a exportação de Ca e S. O tratamento B-K0 foi o que apresentou maior número de folhas, comprimento da rama resultou no maior acúmulo da MS da parte aérea. Além de que esse tratamento obteve a maior área da superfície e comprimento radicular. As raízes foram formadas a partir dos 60 DAP, a absorção e a exportação maior dos nutrientes foi entre os 85 a 110 DAP. A adubação potássica interferiu na absorção dos nutrientes do experimento de casa de vegetação com aumento da absorção de N, Ca, B, Fe, Mn e Zn e a adubação não interferiu na exportação desses nutrientes.

Palavra chave : *Ipomea batatas* L.; nutrição mineral; doses de potássio; acumulação de nutrientes; partição de nutrientes.

ABSTRACT

Potassium (K) is an essential element for the growth and development of sweet potato. Thus, understanding how K relates to other nutrients, and how this element interferes in the growth and accumulation of nutrients by plants, can reduce losses and consequently increase root yield. Hence, the objective of this work was to evaluate root yield, uptake, and removal of nutrients by sweet potato in response to K fertilization under different conditions of K availability in the soil. For this, four experiments were conducted, three in a cultivation field and one in a greenhouse. The field experiments were carried out in sandy soils, with different initial K concentrations, that is, in Braúna, two experiments were carried out in soil with low ($\leq 0.7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and medium ($0.8\text{--}1.5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) K concentration, and in São Manuel an experiment was conducted in a soil with a high K concentration ($> 1.5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Seven treatments were analyzed, randomized blocks were used as experimental designs for all field experiments, with four replications, and factorial scheme $1+2 \times 3$. The treatments were represented by a control without K, two application times of potassium rates [1- K was split with half the rates at planting and the rest as topdressing at 40 days after planting (DAP) (2ap)] and [2- three applications of potassium at planting, at 40, and 90 DAP (3 ap)] combined with three K_2O rates (60, 120 and 240 kg ha^{-1}). K was supplied as KCl and the rates were applied according to the treatments. The greenhouse experiment was conducted at the Center for Tropical Roots and Starches in Botucatu-SP, in 25 L pots containing soil. The experimental design was randomized blocks, in a 5×6 factorial scheme with four replications. The treatments consisted of five sampling times (35, 60, 85, 110, and 150 DAP) combined with 6 levels of K in the soil [1 – soil with low K concentration and unfertilized K (B-K0), 2 – soil with low K rates fertilized with K (B-K100), 3 – soil with medium K rates and without K fertilization (M-K0), 4 – soil with medium K concentrations and fertilized with K (M-K100), 5 – soil with high K concentration and not fertilized with K (A-K0), 6 – soil with high K concentration and fertilized with K (A-K100)]. Low, medium, and high K levels corresponded to approximate levels of 0.7, 1.5, and $>3.0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectively. Soils with low K availability showed better responses to K fertilization. Potassium fertilization increased plant growth, shoot dry mass (DM), and root yield in soils with low, medium, and high K availability by up to 191, 142, and $89 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, respectively. Increases in N, P, Ca, S, Cu, Fe, Mn, and B uptake, and N, P, Mg, and Mn removal, were provided by K fertilization. The excess

K fertilization reduced the absorption of Mg and Zn, in addition to reducing the removal of B, Cu, and Zn. It is worth mentioning that in soils with high availability of K, fertilization reduced the removal of Ca and S. B-K0 treatment presented the highest number of leaves, and the length of the branch resulted in the highest accumulation of DM in the shoot. In addition, this treatment obtained the largest surface area and root length. The roots were formed from 60 DAP, and the highest absorption and removal of nutrients occurred between 85 to 110 DAP. Potassium fertilization interfered with the absorption of nutrients in the greenhouse experiment with increased uptake of N, Ca, B, Fe, Mn, and Zn, and K fertilization did not interfere with the removal of these nutrients.

Keywords: *Ipomea batatas* L.; mineral nutrition; potassium rates; nutrient accumulation; nutrient partitioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Precipitação pluvial diária (barras), temperaturas máximas (linha grossa) e mínimas (linha fina) nas áreas experimentais no período de outubro de 2016 a março de 2018. As épocas de plantio, adubação aos 40 e aos 90 DAP e colheita da batata-doce também são mostradas. DAP = dias após o plantio.....	34
Figura 2 -	Umidade relativa do ar (linha superior), temperaturas máximas (linha intermediária) e mínimas do ar (linha inferior) registrados dentro da casa de vegetação nos anos de 2019 a 2020. Botucatu SP.....	39
Figura 3 -	Teores de K (a), Mg (b), B (c) Cu (d), Fe (e) e Mn (f) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	44
Figura 4 -	Produtividades total das raízes tuberosas frescas (a), acúmulo de matéria seca na parte aérea (b), na raiz tuberosa (c) e na planta (d) da batata-doce em resposta a doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$	49
Figura 5 -	Teores de K (a), Ca (b), Mg (c) e S (d) na parte aérea da batata-doce em resposta a doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$	53
Figura 6 -	Teores de B (a, b), Cu (c), Fe (d), Mn (e) e Zn (f, g) na parte aérea de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	57
Figura 7 -	Teores P (a, b), K (c), Ca (d) e S (e) nas raízes tuberosas de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	59
Figura 8 -	Teores de B (a), Cu (b), Fe (c, d), Mn (e), e Zn (f) na raiz tuberosa de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	63
Figura 9 -	Quantidades absorvidas de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f, g) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 AP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	66
Figura 10 -	Quantidades absorvidas de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e, f) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	69
Figura 11 -	Quantidades exportadas de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), e S (f, g) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	72
Figura 12 -	Quantidades exportadas de B (a), Cu (b), Fe (c, d), Mn (e) e Zn (f) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP.....	75

Figura 13 -	Detalhe das folhas das plantas do tratamento com alto teor inicial de K e fertilizado com 100 mg dm ⁻³ de K (A-K100) apresentando sintomas visuais de deficiência de Mg num estágio inicial da clorose internerval apresentando nervuras em verde escuro (a-b) e numa fase mais avançada evoluindo para a necrose internerval dos tecidos (c-d).....	79
Figura 14 -	Detalhe dos sintomas de deficiência de B com morte da ponta da rama principal (gema apical) e com as folhas em expansão apresentando-se cloróticas e sem haver necrose dos bordos foliares como ocorre na deficiência de Ca.....	80
Figura 15 -	Número de folhas por planta (a), comprimento da rama principal (b), área foliar por planta (c), comprimento de raízes absorventes por planta (d), superfície de raízes absorventes por planta (e) e diâmetro médio de raízes absorventes (f) da batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; NS: não significativo pelo teste LSD (p ≤ 0,05). Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	83
Figura 16 -	Quantidade de MS acumulada na parte aérea (a), raízes absorventes (b), raízes tuberosas (c) e na planta inteira (d), número (e) e produtividade de raízes tuberosas por planta (f) da batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; NS: não significativo pelo teste LSD (p ≤ 0,05). Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	87
Figura 17 -	Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) absorvidas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	91
Figura 18-	Quantidades de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) absorvidas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	93
Figura 19-	Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) exportadas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	95
Figura 20-	Quantidades de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) exportadas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	96
Figura 21-	Valores de pH (a), teor de K trocável (b), e condutividade elétrica (c) dos solos cultivados com batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. NS: não significativo; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD (p ≤ 0,05). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm ⁻³ de K.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Produtividade ($t\ ha^{-1}$), quantidade de macronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) e micronutrientes ($g\ ha^{-1}$) exportadas pela colheita de raízes tuberosas de batata-doce por vários autores.....	28
Tabela 2 -	Características químicas e granulométricas das áreas dos experimentos nas profundidades 0 a 0,2 m após a correção do solo.....	33
Tabela 3 -	Características químicas e granulométricas dos solos após a correção e criação dos diferentes níveis de K antes da adubação de plantio da batata-doce em condição de casa-de-vegetação.....	38
Tabela 4 -	Teores de macronutrientes ($g\ kg^{-1}$) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	43
Tabela 5 -	Teores de micronutrientes ($mg\ kg^{-1}$) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	46
Tabela 6 -	Produtividade total de raízes tuberosas ($t\ ha^{-1}$) e acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, raiz tuberosa e na planta inteira ($t\ ha^{-1}$) de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	48
Tabela 7 -	Teores de macronutrientes ($g\ kg^{-1}$) na parte aérea da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	52
Tabela 8 -	Teores de micronutrientes ($mg\ kg^{-1}$) na parte aérea da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	55
Tabela 9 -	Teores de macronutrientes ($g\ kg^{-1}$) na raiz tuberosa da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	58
Tabela 10 -	Teores de micronutrientes ($mg\ kg^{-1}$) na raiz tuberosa da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	61
Tabela 11 -	Quantidades de macronutrientes absorvidas ($kg\ ha^{-1}$) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	64
Tabela 12 -	Quantidades de micronutrientes absorvidas ($g\ ha^{-1}$) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	67
Tabela 13 -	Quantidades de macronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) exportadas pelas raízes tuberosas da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	71
Tabela 14 -	Quantidades de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) exportadas pelas raízes tuberosas da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo.....	74
Tabela 15 -	Teores de macronutrientes e micronutrientes na folha diagnose da batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K.....	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	Potássio no solo e na plantas.....	23
2.2	Demanda nutricional da batata-doce.....	27
2.3	Interação do K com a absorção de nutrientes.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Experimento de campo.....	32
3.1.1	Avaliações.....	35
3.1.1.1	Diagnose foliar.....	35
3.1.1.2	Quantidade de matéria seca (MS), teores de macro e micronutrientes nas partes da planta e absorção de nutrientes pela planta.....	36
3.1.1.3	Produtividade total.....	36
3.1.1.4	Teor e exportação de macro e micronutrientes pelas raízes tuberosas.....	36
3.2	Experimento de casa de vegetação.....	37
3.2.1	Avaliações realizadas aos 35, 60, 85, 110 e 150 DAP.....	39
3.2.1.1	Diagnose foliar aos 60 DAP.....	39
3.2.1.2	Número de folhas, área foliar e comprimento da rama.....	40
3.2.1.3	Superfície, comprimento, diâmetro e taxa de crescimento radicular.....	40
3.2.1.4	Produtividade da raiz tuberosa e acúmulo de MS da parte aérea, raízes absorventes, tuberosas, da planta inteira.....	40
3.2.1.5	Absorção e exportação de nutrientes.....	41
3.2.1.6	Teor de K trocável no solo, pH do solo e condutividade elétrica do solo.....	41
3.2.2	Análise estatística.....	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	Experimento de campo.....	42
4.1.1	Teor de nutrientes nas partes da planta, absorção e exportação de nutrientes.....	52

4.2	Experimento de casa de vegetação.....	76
4.2.1	Diagnose foliar.....	76
4.2.2	Crescimento, acúmulo de MS e produtividade de raízes tuberosas.....	81
4.2.3	Absorção e exportação de nutrientes pela batata-doce.....	89
4.2.4	Teor de K trocável no solo, pH do solo e condutividade elétrica do solo.....	97
5	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce cresceu cerca de 29% a área plantada e a sua produção aumentou em 51% nos últimos 10 anos no Brasil com destaque para o Estado de São Paulo que no ano de 2021 teve uma produção de 153 mil t e com a produtividade média de 17 t ha⁻¹ (IBGE, 2022). Mesmo assim a produtividade brasileira é considerada baixa, com 14,6 t ha⁻¹ no ano de 2021. Com a crescente demanda nutricional das novas cultivares, que estão cada vez mais produtivas, pode-se atingir até 40 t ha⁻¹, tornando-se necessário o avanço no manejo da nutrição da batata-doce, dentre essas práticas estudadas tem a fertilização com potássio (EMBRAPA, 2022; BRITO, 2006, FOLONI et al., 2013).

O potássio (K) é considerado o elemento essencial no cultivo da batata-doce, pois, além de ser o segundo nutriente mais extraído pela planta (ECHER et al., 2009a), contribui para o aumento da produtividade e qualidade de suas raízes. Ao participar da ativação de enzimas, osmorregulação e síntese de proteínas, o K melhora a resistência das plantas de batata-doce à seca, assim como ao ataque de pragas e doenças, além de potencializar a fotossíntese e a respiração (MOHANKTIMAR et al., 2000; LEBOT, 2009) garantindo ganhos na produção.

Apesar da grande importância do K para a produtividade e qualidade das raízes tuberosas da batata-doce, a quantidade disponível nos solos brasileiros é geralmente insuficiente para nutrir adequadamente as plantas e, por isso, o mesmo deve ser fornecido através da aplicação de fertilizantes (MALAVOLTA, 2004).

Contudo, ao propor o uso de fertilizantes no cultivo da batata-doce é necessário garantir a eficiência no uso do nutriente (RIETRA et al., 2017), pois a aplicação excessiva de K pode comprometer a absorção de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelas plantas, devido ao efeito da diluição e da inibição competitiva. Além disto, pode provocar a salinização da rizosfera, reduzir o potencial osmótico e prejudicar a absorção de íons, aumentando as perdas de K por lixiviação (ROSOLEM et al., 2010).

A eficiência do uso de nutrientes pode ser dividida em dois grupos de fatores relacionados à planta: a eficiência de absorção e a eficiência de utilização (SWIADER et al., 1994). A eficiência de absorção de K é a relação da absorção de nutrientes e o suprimento de K e envolve parâmetros morfológicos como o comprimento e a densidade de raízes, a presença de pelos radiculares (WANG e CHEN, 2012), atividade fisiológica das raízes, que compreende a afinidade de absorção de K ou a

capacidade das plantas alterarem sua disponibilidade na rizosfera (BROUDER e CASSMAN, 1990).

A eficiência de utilização do K é a capacidade relativa das plantas produzirem quantidades máximas de matéria seca ou produtividade econômica para cada unidade de K acumulada (RENGEL e DAMON, 2008) e está baseada na translocação efetiva de K entre organelas, células e órgãos, na capacidade de usar outros íons como substitutos de K e direcionar assimilados para as partes colhidas (RENGEL e DAMON, 2008).

Estudos realizados por George et al. (2002), envolvendo a variação genotípica relacionada à absorção e a eficiência do uso de K em batata-doce, mostraram uma correlação positiva entre a concentração e o acúmulo de K na biomassa das plantas e na raiz tuberosa, que, além disto, apresentaram maior produtividade dessas raízes quando utilizadas doses de 144 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de sulfato de potássio.

Portanto, conhecer a eficiência de absorção e uso de potássio pela batata-doce na melhoria da aplicação da adubação desse elemento é fundamental para potencializar sua absorção e, conseqüentemente, melhorar a qualidade, a produtividade e evitar danos provocados pelo excesso de adubação.

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar a produtividade de raízes, a absorção e exportação de nutrientes pela batata-doce em resposta a adubação potássica em condições distintas de disponibilidade de K no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Potássio no solo e na planta

No solo, o K pode ser encontrado em quatro formas, como íon (K^+) livre na solução do solo, como K trocável, como K não trocável e como K estrutural (RENGEL e DAMON, 2008). A concentração de K^+ na solução da maioria dos solos situa-se entre 0,1 e 1 mM. Este representa apenas 0,1 a 0,2% do K total do solo, dos quais 1 a 2% são K^+ trocáveis, 1 a 10% são K^+ não-trocável associado nas entre camadas das argilas especialmente do tipo 2:1, como a vermiculita, e 90% a 98% está presente como K-mineral (ASKEGAARD et al., 2003; RENGEL e DAMON, 2008; WHITE e KARLEY, 2010).

O K da solução do solo pode ser reabastecido por fontes de K trocável e não trocável (KEMMLER e HOBST, 1986, ASKEGAARD et al., 2003; CURI et al., 2005). O K^+ livre, é a forma como as plantas absorvem esse nutriente. A quantidade de K^+ na solução necessária para o crescimento das plantas depende da espécie e do seu desenvolvimento. O teor de K, na solução do solo pode variar de 0,2 a 50 mg L⁻¹, alcançando valores superiores em solos fertilizados, e depende das características química e mineralógicas dos solos (MEURER et al., 2018).

Antes do processo de absorção do K presente na solução do solo, é necessário que ocorra o contato entre o K e as raízes. Os principais mecanismos de transporte do K da solução do solo até a raiz, são o fluxo de massa (com a água se movendo até a raiz da planta) e a difusão ao longo de um gradiente de concentração, causado pela diferença de concentração entre a raiz e a rizosfera (MEURER, 2006; MARSCHNER, 2012). A difusão é influenciada fortemente pela umidade do solo (MEURER, 2006; PRADO, 2008; MEURER et al., 2018). Os mecanismos de contato entre os íons e raízes apenas refletem a disponibilidade dos elementos para as plantas. A absorção somente é dada através da entrada de um elemento em sua forma iônica ou molecular, no espaço intracelular por meio de uma membrana (MALAVOLTA, 2006).

O K^+ na solução existe em equilíbrio com as fases trocável, não trocável e mineral. Ao contrário do N e P, o K não é incorporado na estrutura da planta; portanto, o K não está ligado a formas orgânicas, e por isso é rapidamente liberado de volta para o solo a partir de resíduos de culturas e raízes. O K trocável é fracamente

adsorvido pelas superfícies das partículas do solo e pode repor rapidamente o K em solução (MENGEL e KIRKBY, 1987; WOLDE, 2016).

O K não trocável ou “fixo” é retido dentro de camadas de argila por fortes ligações que tornam o nutriente inacessível às plantas, entretanto o K não trocável pode sofrer intemperismo lentamente e ser liberado a curto, médio e longo dos prazos, por exemplo, em colheitas sucessivas (PAL et al., 2001a, 2002; MEURER, 2006). A liberação do K estrutural na solução do solo só pode ser efetuada pelo intemperismo dos minerais de argila, por isso, é um processo extremamente lento, sem efeito perceptível durante um único ciclo da cultura (PAL et al., 2001b).

O K é bastante permeável nas membranas plasmáticas, e isto o torna facilmente absorvido e transportado a longa distância pelo xilema e pelo floema. Grande parte do K total da planta está na forma solúvel (mais de 75%), portanto, a sua redistribuição é bastante fácil no floema. Desta forma, sob condições de baixo suprimento de K pelo meio, o elemento é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas e para as regiões de crescimento. Assim, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas velhas (FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012).

O K, é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, sendo que este elemento, apesar de não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, está relacionado com vários processos metabólicos (ECHER et al., 2009a; TAIZ et al., 2017). Dentre eles, o K atua na ativação de mais de 60 enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, na osmose, na manutenção da pressão de turgor, regula a abertura e fechamento dos estômatos e atua no balanceamento das trocas aniônicas (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Outra função chave do K, é a ativação das ATPases no bombeamento de prótons ligadas à membrana. O K está relacionado também com incremento na absorção de N, síntese de proteínas e amidos. Além disso, o K pode diminuir a incidência de doenças de plantas e reduzir estresses abióticos, particularmente causados pelo frio (MENGEL e KIRKBY, 1987; ISHERWOOD, 2000; FAGERIA, 2009; MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017; MEURER et al., 2018).

Vários fatores podem afetar a absorção de K pelas raízes das plantas como a concentração do K no solo, a idade da planta e da raiz, as interações entre os íons, teor de oxigênio (O₂) na rizosfera, temperatura, entre outros (PRADO, 2008; MEURER et al, 2018).

Plantas deficientes em K, possuem crescimento retardado e o transporte líquido de K das folhas mais maduras e dos caules é aumentado (FAGERIA, 2009). Sob deficiência severa, esses órgãos tornam-se com manchas necróticas (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017). Quando o suprimento de K é abundante, pode ocorrer o "consumo de luxo" de K, e é perceptível nos tecidos vegetativos e órgãos reprodutivos. Esse excesso de K merece muita atenção, pois pode interferir na absorção e na disponibilidade fisiológica de Mg e Ca e, assim, induzir deficiências de Mg e Ca (MEURER, 2006; ROSOLEM, 2010; MARSCHNER, 2012).

Estimativas sugerem que serão necessários 10 kg de K, para produzir 1000 kg de matéria seca de raiz tuberosa de batata-doce (GEORGE et al., 2002), portanto, para suprir essa necessidade da cultura é fundamental a aplicação de fertilizantes potássicos.

No entanto, o manejo incorreto da adubação potássica pode elevar o teor desse nutriente, isto pode resultar em solos desbalanceados e salinos, principalmente quando se usa o cloreto de potássio, devido à alta concentração de cloro, conforme os resultados encontrados por Araújo et al. (2012), onde o solo originalmente era pobre em K, e passou para a faixa de teor alto do nutriente em apenas um cultivo com o incremento da adubação potássica.

Uma das formas de melhorar o manejo da adubação potássica seria torná-lo mais eficiente, para isso, as plantas utilizam de dois mecanismos: a eficiência de absorção e a eficiência de uso.

A eficiência de absorção de K (EAK) é determinada pela capacidade das plantas absorver K sob condição de baixa disponibilidade no solo (SAMAL et al., 2010), enquanto que a eficiência de uso do K (EUK) é definida pela capacidade de produção de matéria seca ou rendimento por unidade de K^+ adquirido (WANG et al., 2015; MEURER et al., 2018). Ambas as eficiências estão interligadas e se diferem quanto às espécies e aos genótipos (EL DESSOUGI, 2002; GEORGE et al., 2002; RENGEL e DAMON, 2008; WANG et al., 2015).

As características das plantas que determinam a EAK e EUK são ligadas à morfologia das raízes e ao sistema de transporte. A morfologia das raízes é importante, sobretudo, na EAK do solo e está relacionada à arquitetura de raiz, à capacidade de absorção, a associação com fungos micorrízicos ou com bactérias solubilizadoras de K, e também a capacidade de mobilizar K não trocável pela

exsudação das raízes de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (RENGEL e DAMON, 2008; MEURER et al., 2018; YAGHOUBI KHANGHAHI et al., 2018).

As avaliações EUK são úteis para diferenciação de espécies de plantas, genótipos e cultivares, para habilidade em absorver e utilizar o nutriente para a máxima produtividade (MITRA, 2017). Diferenciam-se principalmente quanto: ao particionamento e redistribuição de K nos níveis celular e planta inteira; à substituição de K por outros íons; ao particionamento de recursos para o produto econômico (BALIGAR et al., 2001; RENGEL e DAMON, 2008; WANG et al., 2015).

A absorção e utilização de K estão intimamente relacionadas com o crescimento das plantas e a formação de raízes de armazenamento da batata-doce (TANG et al., 2014).

A eficiência de absorção do K é proporcionada pelo maior desenvolvimento das raízes, consequentemente maior produtividade para a batata-doce (TOGARI, 1950; VILLORDON et al., 2014). A morfologia das raízes de batata-doce é modificada quando submetidas às condições favoráveis e de deficiência de K (LIU et al., 2017). Wang et al. (2017), em condições de campo, indicaram que o aumento da aplicação de K aumentou significativamente a diferenciação das raízes adventícias para as raízes fibrosas e das raízes tuberosas. Estas características da raiz, juntamente com K adicionado, são benéficas para a formação inicial das raízes tuberosas e do incremento no número de raízes tuberosas por planta, além do aumento da biomassa e da produtividade.

O uso de fertilizantes como K aumenta a produtividade de batata-doce devido ao aumento do número de raízes por planta e da matéria seca delas (BOURKE, 1985; WANG et al., 2015). Diferenças na produção de biomassa, partição de matéria seca e relações fonte-dreno foram determinadas usando genótipos de batata-doce com diferentes eficiências de uso de K em condições de campo (TANG et al., 2015; WANG et al., 2017). Porém, foi observada uma correlação negativa entre essa eficiência e a produtividade de batata-doce (WANG et al., 2017). Também a eficiência do uso de K aumentou a qualidade da batata-doce na melhoria das propriedades físicas e químicas do amido, além de que genótipos com deficiência de K apresentaram menores tamanhos dos grânulos médios e o seu volume (TANG et al., 2017).

Sob condições de baixa fertilidade do solo, a eficiência de utilização de nutrientes tem sido mais relevante do que a eficiência de absorção (MOLL et al., 1982; SANFORD e MACKOWN, 1986). No entanto, estudos demonstram que ambas as

eficiências são fundamentais para a diminuição das doses de adubação potássica para níveis que ainda ocorra produção econômica (PRADO, 2008; WANG et al., 2016).

2.2 Demanda nutricional da batata-doce

A absorção de nutrientes é bem eficiente pela batata-doce, devido ao seu sistema radicular amplo, ramificado e profundo (FILGUEIRA, 2008). Além disso, é uma planta que demanda uma grande quantidade de nutrientes para atingir as maiores produtividades. Essas quantidades de nutrientes absorvidas variam conforme as cultivares, o tipo de solo, clima, ciclo da cultura e principalmente a produtividade (MONTES, 2013; RÓS et al., 2015). A batata-doce, como as culturas tuberosas, demandam nutrientes no início do seu ciclo devido à elevada taxa de crescimento e o ciclo curto, que varia entre 90 a 150 dias (SBCS, 2004; SILVA et al., 2008).

A extração de nutrientes do solo não ocorre da mesma forma ao longo do ciclo da planta. Na prática, a curva de extração de nutrientes ao longo do tempo de cultivo (marcha de absorção) segue a do crescimento da planta (acúmulo de matéria seca), sendo dividida em três fases, ou seja, uma fase inicial de absorção lenta de nutrientes, seguida por uma fase com elevada taxa de absorção até atingir o ponto máximo de absorção, e depois, uma fase de pequeno declínio na absorção de nutrientes que vai até a planta completar o ciclo de produção (PRADO, 2008; PEIXOTO et al., 2011)

Na batata-doce, cultivar Canadense, Echer et al. (2009a) observaram uma absorção reduzida da maioria dos nutrientes na fase inicial da cultura. O Fe é absorvido quase completamente, 80%, até aos 85 dias após o plantio (DAP), e em seguida ocorre uma maior absorção da maioria dos nutrientes (N, P, K, Ca, B, Cu e Zn) entre os 85 DAP até a colheita. Já na fase final (colheita), a absorção de nutrientes é diminuída e cerca de 50 % ou mais dos nutrientes ficam retidos na parte aérea e podem retornar ao solo com restos culturais.

As quantidades dos nutrientes exportados pelas raízes de batata-doce estão presentes na Tabela 1. Verifica-se que os nutrientes N e K são os mais exportados pela batata-doce e o Fe é o micronutriente mais demandado. Corrêa et al. (2018) constataram que os nutrientes responderam de forma diferente conforme as doses de K e o parcelamento, obtendo valores de extração de macronutrientes pela batata-doce, que atenderam a seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > Mg > P > S$.

De acordo com van de Fliert e Braun (2001), para cada tonelada de raiz produzida de batata-doce são extraídos do solo de 5 a 6 kg de K, de 3 a 5 kg de N e de 0,6 a 1 kg de P. Todavia, Paulo (2013) afirma que para a produção de 13 a 15 t ha⁻¹ de batata-doce, a cultura extrai do solo de 60 a 113 kg de N, de 20 a 45,7 kg de P₂O₅, de 100 a 236 kg de K₂O, de 31 a 35 kg de CaO e de 11 a 13 kg de MgO. Se na colheita for aproveitado além das raízes tuberosas, também a parte aérea das plantas a exportação de nutrientes pode aumentar em 50%, com isso pode exaurir as reservas de K disponíveis no solo (RÓS et al., 2015). Também se mantiver a cultura por mais tempo no campo após o período ideal de colheita, no qual as raízes tuberosas estão na faixa considerada comerciais por Silva e Lopes (1995) entre 80 a 800g de peso fresco, haverá acúmulo desnecessário de MS nas raízes tuberosas e de nutrientes principalmente de N e K, e em solos com deficiências desses nutrientes pode contribuir para a redução da fertilidade (ECHER et al., 2015).

Tabela 1 – Produtividade (t ha⁻¹), quantidade de macronutrientes (kg ha⁻¹) e micronutrientes (g ha⁻¹) exportadas pela colheita de raízes tuberosas de batata-doce por vários autores

Fonte	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Ercher et al. (2009)	24	129	16	81	23	7,5	9,8	84	52	61	136	82
Ferreira, 2017	20	57	9	54	16	4	3	-	52	717	42	51
O' Sullivan et al. (1997)	25	55	13	125	7	6	4	50	40	125	50	7,5
FAO (2006)	10	23	12	31	4,1	4,3	5,2	110	170	490	110	59
Miranda et al. (1995)	30	129	50	257	-	-	-	-	-	-	-	-

O K é essencial para a batata-doce, pois afeta a produção de matéria seca das raízes tuberosas devido ao incremento da atividade da fotossíntese líquida pela área foliar (FUJISE e TSUNO, 1962). Ademais, o K participa no aumento do turgor das células, provoca o alongamento das raízes, por ser um elemento móvel tem grande capacidade de se translocar por toda a planta, também participa da síntese de amidos e proteínas, além de ser responsável por processos metabólicos ligados à sua respiração e fotossíntese (JIAN-WEI et al., 2001; LEBOT, 2009). Em condições de deficiência de K, a batata-doce é altamente vulnerável às condições adversas de crescimento (TANG et al., 2014). Quando a deficiência de K ocorre durante o crescimento inicial da batata-doce, o número de ramos e folhas, a biomassa e a área foliar por planta diminui significativamente, prejudicam diretamente a produtividade (NING et al., 2013). LEBOT (2009) relata que a deficiência de K tem um efeito maior

na produtividade de raízes do que as deficiências de N e P. Por outro lado, o excesso de K pode aumentar o potencial osmótico e a absorção de água, reduzindo os teores de matéria seca e de amido das raízes tuberosas, comprometendo a sua qualidade (REIS JÚNIOR e FONTES, 1999).

2.3 Interação do K com a absorção de nutrientes

A interação de nutrientes é influenciada por fatores como concentração de nutrientes, temperatura, intensidade de luz, aeração do solo, umidade do solo, pH do solo, arquitetura da raiz, taxa de transpiração e respiração da planta, idade da planta e taxa de crescimento, espécies vegetais e concentração de nutrientes internos das plantas (FAGERIA, 2001; ROSOLEM, 2005; PRADO, 2008). À medida que a interação ocorre, as mudanças são iniciadas no interior das células, que pode se manifestar por meio de mudanças nas taxas de respiração, fotossíntese, divisão e expansão celular (utilização e translocação de carboidratos e ácidos orgânicos). A influência líquida dessas interações e processos produz o rendimento final de uma cultura (FAGERIA, 2001).

Interações com nutrientes podem ser de três tipos: antagonismo, inibição e sinergismo. O antagonismo ocorre quando um nutriente diminui a absorção de outro. Por exemplo, as relações entre K-Mg e K-Ca, pois quando forem maiores os valores de Mg e Ca no solo, menor será a disponibilidade de K (RAIJ, 1982).

A interação também pode ser de inibição, competitiva ou não competitiva. Na inibição competitiva eles disputam o mesmo canal de absorção, diminuindo a absorção dos que estiverem em menor concentração na solução do solo, geralmente ocorrendo com íons de valência semelhantes (Ca^{2+} e Mg^{2+} ; Fe^{2+} e Mn^{2+} ; K^+ e Na^+). Na inibição não competitiva os nutrientes não disputam o mesmo canal de absorção, porém a presença de um determinado nutriente diminui a absorção de outro. Um exemplo disso é quando o excesso de K e Ca na solução do solo induzem a deficiência de Mg. Já o sinergismo ocorre quando um nutriente aumenta a absorção de outro, por exemplo, o Ca em maiores concentrações aumenta a absorção de vários cátions e ânions presente no solo (MALAVOLTA, 2006; PRADO, 2008; SILVIA e TREVISAM 2015; CARDOSO, 2018).

Deste modo, o K pode aumentar a eficiência de uso de outros nutrientes pelas plantas, particularmente de N (ISHERWOO, 2000; ROSOLEM, 2005; PRADO, 2008).

Baligar et al. (2001) constataram que baixas aplicações de N resultaram em baixas concentrações de K no tecido da planta, enquanto altas aplicações de N resultaram em alta concentração de K. Isso se deve ao fato do K contribuir para o transporte de N, pois o K funciona como contraíon, favorecendo o transporte do nitrato pelo xilema até a parte aérea.

Além disso, a presença do K na parte aérea, transporta o malato para as raízes, favorecendo a absorção ativa do nitrato pelas raízes (FAGERIA, 2001; PRADO, 2008). Tsuno e Fujise (1968) verificaram que a aplicação de N e K quando combinados se mostrou mais eficiente em aumentar a produtividade da batata-doce do que quando foi realizada somente a adubação com K. Também, a adubação combinada de N e K em cobertura (120 kg ha^{-1} de N e K_2O) apresentou uma redução significativa da quantidade de batata-doce impróprias para a comercialização, ou seja, inferior ao peso de 80 g (FOLONI et al., 2013). Em batata doce, o uso do N e K proporcionou aumento de produtividade, em que o N contribuiu com aumento médio na massa das raízes e o K aumentou o número de raízes (BOURKE, 1985). A proporção entre K e N para a batata-doce foi estabelecida por van de Fliert e Braun (2001), com maior resposta no desenvolvimento das raízes quando se usou a relação 3:1 de K:N. Em condições brasileiras de solos com textura média com teor inicial de $0,8 \text{ mmolc dm}^3$ de K, as maiores produtividade da bata-doce foram atingidas com adubações de coberturas combinadas com $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ mais $120 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ (FOLONI et al., 2013).

Por outro lado, o K pode inibir a absorção de outros nutrientes, como é o caso do Ca e Mg, e isso é explicado pelo efeito da diluição proposto por Rosolem (2005). Porém, se os teores de K forem elevados, poderá haver danos na produção pela intensificação do efeito da diluição (SILVA e TREVISAN, 2015). Também existe um efeito de inibição competitiva entre esses íons, que o aumento nas doses de K e Ca induzem a deficiência de Mg nas plantas. Porém, o excesso de Mg não inibe a absorção de K, pois o K por ser um nutriente de menor carga e de menor grau de hidratação, atravessa a membrana plasmática rapidamente diminuindo a absorção dos outros cátions (PRADO, 2008). A presença do Mn nas raízes tem um efeito pequeno na absorção do K, porém interfere na absorção do Mg (MARSCHENER, 2012). Já a interação que ocorre entre Ca e Mg é antagônica, onde o excesso de um prejudica a absorção de outro (PRADO, 2008). GRIMME et al. (1977) e NICHOLAIDES et al. (1985), ao estudarem a adubação potássica em batata-doce,

verificaram que os aumento nas doses de K proporcionaram menores concentrações de Ca e Mg nos tecidos, devido ao efeito antagonista provocado pelo K sobre o Ca.

Com relação a interação do K com micronutrientes, sabe-se que o K apresenta um efeito sinérgico com o boro (B). Estudos com B e de K em batata-doce demonstraram que a máxima produtividade de 27,7 t ha⁻¹ foi resultante da utilização de 2 kg ha⁻¹ de B, em associação com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de K₂O (ECHER et al., 2009b). Rosolem (2005) cita que em muitos casos a absorção ou utilização do Cu, Mn e Zn são aumentadas com a presença do K. Fato este comprovado por El-Baky et al. (2010), que ao utilizarem a adubação potássica com a aplicação foliar de zinco em batata-doce, apresentaram maiores valores de crescimento, produção e qualidade das raízes tuberosas quando o K e Zn foram aplicados nos níveis mais altos. Fageria (2001) enfatiza que a aplicação de K reduz a toxidez de Fe nas plantas.

Para uma adubação eficiente, é necessário compreender as interações dos nutrientes, para que se possa manejá-las. Existe um campo muito vasto a ser descoberto sobre as interações dos nutrientes. Algumas interações são pouco estudadas, sendo necessárias mais pesquisas sobre elas para podermos encontrar um ponto de equilíbrio e obter maior produtividade e qualidade, economia de fertilizantes e menores impactos ambientais, tornando nossos cultivos cada vez mais sustentáveis (PRADO, 2008; CARDOSO, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos um experimento em casa de vegetação e três experimentos em condições de campo. Os experimentos de campo foram conduzidos no município de Braúna-SP, na área de um produtor rural (21°32' S; 50° 13' W e 391 m de altitude) e São Manuel-SP, na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas (22°77' S; 48° 34' W e 740 m de altitude). Já o experimento de casa de vegetação foi conduzido no Centro de Raízes e Amidos Tropicais em Botucatu-SP (22°50' S; 48° 25' W e 772 m de altitude). Os solos das áreas de Braúna e São Manuel são classificados como Latossolos de textura arenosa (ROSSI, 2017).

3.1 Experimento de campo

Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm para determinação das características químicas de acordo com metodologia descrita por Raij et al. (2001). Foram conduzidos três experimentos em solos arenosos, com diferentes teores iniciais de K, ou seja, em Braúna foi conduzido um experimento em solo com baixo ($\leq 0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e outro médio ($0,8\text{-}1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) teor de K (Tabela 2) e em São Manuel foi conduzido um experimento, em solo com alto teor de K ($> 1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 2).

O clima de Braúna, é classificado como Aw (segundo a classificação de Köppen), clima tropical com estação seca, e em São Manuel é classificado como Cfa (segundo a classificação de Köppen), clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA et al., 2009).

Não foi realizada nenhuma irrigação durante a condução dos experimentos. Os valores das temperaturas mínima e máxima do ar e da precipitação pluvial observados durante o período de condução dos experimentos são apresentados na Figura 1.

Em cada experimento, o delineamento foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. No esquema fatorial 1+2x3. Os tratamentos foram representados por duas épocas de aplicações das doses de potássio [1- o K foi parcelado com metade das doses no momento do plantio e o restante em cobertura aos 40 dias após o plantio (DAP) (2ap)] e [2- três aplicações de potássio no plantio, aos 40 e aos 90 DAP (3 ap)] combinadas com três doses de K_2O (60, 120 e 240 kg ha^{-1}), além da testemunha

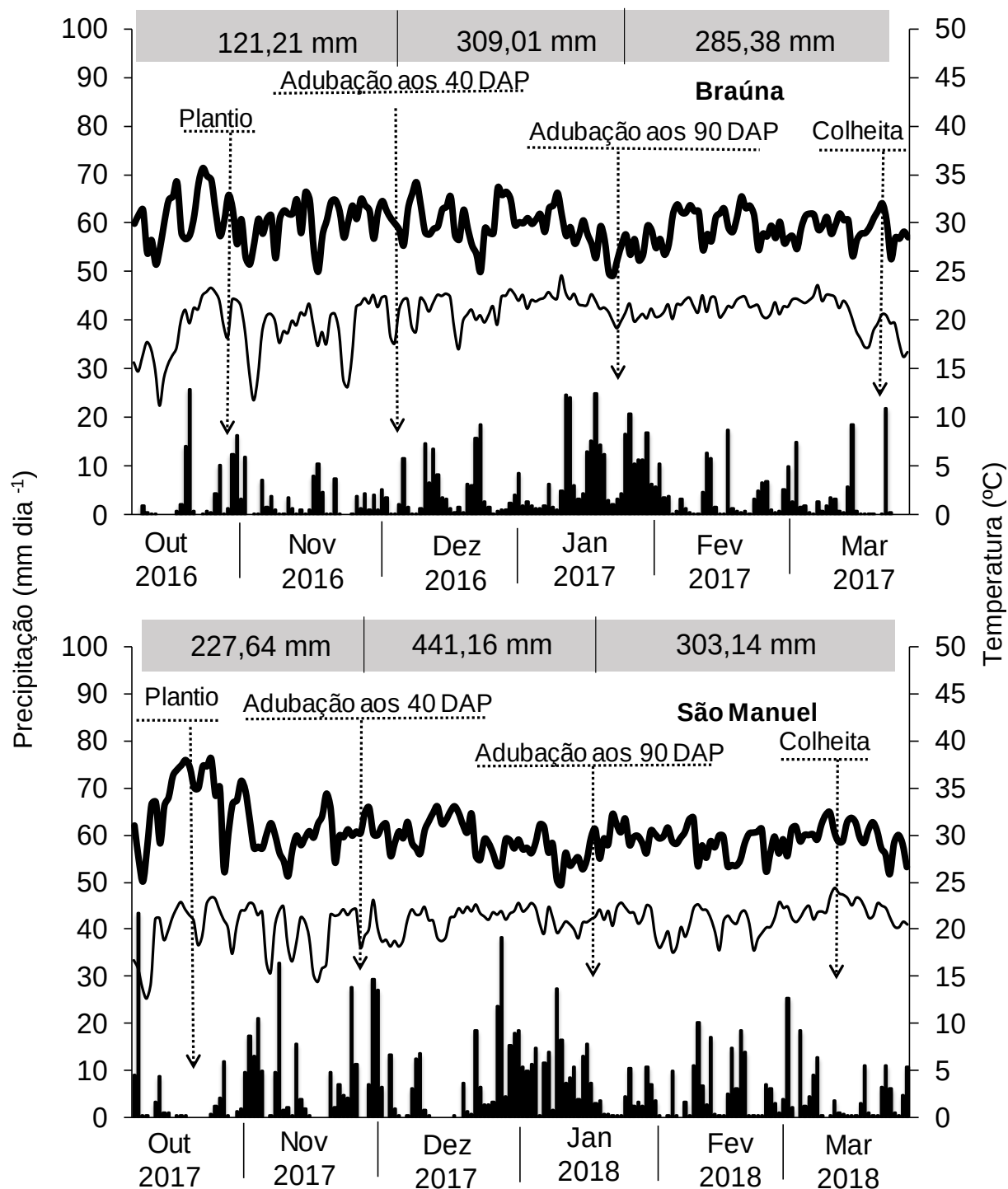
sem K. O K foi fornecido como KCl e as doses foram aplicadas conforme os tratamentos descritos. As parcelas foram compostas por quatro fileiras de plantas de cinco metros de comprimento. A área útil de cada parcela foi representada pelas duas linhas centrais, excluindo 0,5 m em cada extremidade da parcela.

Tabela 2 – Características químicas e granulométricas dos solos das áreas dos experimentos nas profundidades 0 a 0,2 m após a correção do solo

Característica	Locais		
	Braúna		São Manuel
	Baixo K	Médio K	Alto K
pH (CaCl ₂)	5,0	5,3	4,9
M.O (g dm ⁻³)	13	9	11
P resina (mg dm ⁻³)	18	25	12
SO ₄ (mg dm ⁻³)	16	11	2
K (mmol _c dm ⁻³)	0,7	1,4	3,0
Ca (mmol _c dm ⁻³)	13	16	6
Mg (mmol _c dm ⁻³)	3	6	2
H + AL (mmol _c dm ⁻³)	17	15	13
CTC (mmol _c dm ⁻³)	33	38	23
SB (mmol _c dm ⁻³)	17	23	11
V%	50	61	55
B (mg dm ⁻³)	0,33	0,36	0,24
Cu (mg dm ⁻³)	0,4	0,5	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	35	51	14
Mn (mg dm ⁻³)	4,8	6,3	7,0
Zn (mg dm ⁻³)	1,0	1,1	0,9
Areia (g/kg)	803	756	803
Argila (g/kg)	138	144	125
Silte (g/kg)	59	100	73

O preparo do solo para a implantação do experimento foi realizado de forma convencional com as operações de gradagem e aração. Posteriormente, foram levantadas leiras com cerca de 30 cm de altura, no espaçamento de 1,45 m entre elas.

Figura 1 – Precipitação pluvial diária (barras), temperaturas máximas (linha grossa) e mínimas (linha fina) nas áreas experimentais no período de outubro de 2016 a março de 2018. As épocas de plantio, adubação aos 40 e aos 90 DAP e colheita da batata-doce também são mostradas. DAP = dias após o plantio



O levantamento das leiras foi realizado de forma mecanizada, utilizando-se equipamento acoplado ao trator para levantar as leiras e realizar a adubação de base com fósforo (P) e nitrogênio (N). A dose de N e P da adubação de plantio foi definida com base na análise de solo e nas recomendações técnicas para a cultura na região, desta forma a adubação de base foi realizada com 124 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 17 kg ha⁻¹ de N. Como fontes de N e P foram utilizados os fertilizantes ureia e superfosfato triplo, respectivamente. O K foi aplicado em sulco aberto no topo das leiras já construídas, aplicando-se metade das doses de K₂O estipuladas em cada tratamento. Como fonte de K, foi utilizado o fertilizante cloreto de potássio.

Em seguida, foi realizado os plantios da batata-doce nas datas 22/10/2016 e 13/10/2017 em Braúna e São Manuel, respectivamente. A cultivar Canadense foi plantada, no espaçamento de 0,30 m entre ramas-semente no topo das leiras, estas foram oriundas de plantios jovens, retiradas do ápice da planta com cerca de 25 a 30 cm de comprimento.

A adubação de cobertura foi realizada aos 40 DAP com 30 kg ha⁻¹ de N e o restante das doses de K aos 40 e 90 DAP estabelecidas em cada tratamento, utilizando-se os fertilizantes sulfato de amônio e KCl. Nas adubações de cobertura, os fertilizantes foram aplicados no topo das leiras em filete contínuo, cerca de 8-10 cm distante da base das plantas.

Durante a condução dos experimentos foram realizadas o controle de plantas daninhas, doenças e pragas.

A colheita da batata-doce foi realizada aos 152 e 151 dias após o plantio, em Braúna e São Manuel, respectivamente. Nesse período, normalmente, a cultivar Canadense apresenta maior proporção de raízes tuberosas com tamanho ideal para comercialização.

3.1.1 Avaliações

3.1.1.1 Diagnose foliar

A avaliação do estado nutricional da batata-doce, foi realizada de acordo com Lorenzi et al. (1997), que consistiu da coleta de folha totalmente expandida do ápice das ramas aos 60 DAP. Após a coleta, as folhas foram secas em estufa a 65 °C por

72 horas e moídas para determinação dos teores de macro e micronutrientes de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

3.1.1.2 Quantidade de matéria seca (MS), teores de macro e micronutrientes nas partes da planta e absorção de nutrientes pela planta

Na data da colheita, foram coletadas na área útil de cada parcela, a parte aérea e as raízes tuberosas das plantas contidas em duas linhas de 1,5 m (± 10 plantas). Após coletada, a parte aérea das plantas e as raízes tuberosas foram pesadas (massa fresca) e uma subamostra de cada parte vegetal foi retirada, lavada, pesada e submetida à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 h. Após secas, tanto as amostras de parte aérea como de raízes tuberosas foram pesadas para a obtenção da quantidade de MS acumulada. Assim, foi calculado o acúmulo de MS na parte aérea e nas raízes tuberosas, considerando a população de plantas. A MS da planta inteira foi obtida mediante a soma das quantidades de MS acumuladas na parte aérea e nas raízes tuberosas. As amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm e em seguida as amostras foram utilizadas para a determinação dos teores de macro e micronutrientes de acordo com a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Com os dados de acúmulo de MS e os teores de cada nutriente foram calculadas as quantidades de macro e micronutrientes acumuladas em cada parte da planta e na planta inteira.

3.1.1.3 Produtividade total

A produtividade total das raízes foi obtida pela pesagem das raízes tuberosas frescas presentes nas duas linhas centrais de 1,5 m (± 10 plantas) de cada parcela e os valores foram convertidos para Mg ha^{-1} .

3.1.1.4 Teor e exportação de macro e micronutrientes pelas raízes tuberosas

Após a determinação da produtividade, amostras de raízes tuberosas foram coletadas, lavadas, pesadas (massa fresca), fatiadas, secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 96 h e pesadas (matéria seca). Após a secagem,

as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Depois de moídas, as amostras foram submetidas à análise do teor de macro e micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997). As quantidades de nutrientes exportadas foram calculadas multiplicando-se a concentração de nutrientes pela quantidade de MS acumulada nas raízes tuberosas.

3.2 Experimento de casa de vegetação

Foi coletado solo na camada de 0 a 20 cm de um Latossolo de textura arenosa proveniente de São Manuel-SP da Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrônomicas) (Tabela 03). Foi feita a correção do solo para aumentar a saturação de base a 60% um mês antes do plantio com a aplicação de 7 g de calcário dolomítico por vaso. Os níveis iniciais considerados médio e alto de K no solo foram criados a partir de um solo com baixo teor de K, mediante a aplicação de fertilizante potássico, após a correção e cerca de um mês antes do plantio, com a aplicação de 11 e 204 mg dm^{-3} de K (KCL), respectivamente.

O experimento em casa de vegetação foi instalado em vasos de 25 L, contendo solo descrito.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5x6 com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco épocas de coleta (35, 60, 85, 110 e 150 DAP) combinadas com 6 níveis de K no solo [1 – solo com baixo teor de K e sem aplicação de K (B-K0), 2 – solo com baixo teor de K e com aplicação de K (B-K100), 3 – solo com médio teor de K e sem aplicação de K (M-K0), 4 – solo com médio teor de K e com aplicação de K (M-K100), 5 – solo com alto teor de K e sem aplicação de K (A-K0), 6 – solo com alto teor de K e com aplicação de K (A-K100)]. Os níveis baixo, médio e alto de K corresponderam aos teores aproximados de 0,7, 1,5 e 3,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

O Clima de Botucatu, é classificado como Cwa, segundo a classificação internacional de Koppen (CUNHA et al., 2009), que significa clima temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e do mês mais quente superior a 23°C.

Os dados de umidade relativa e temperaturas máximas e mínima do ar dentro da casa de vegetação foram monitorados através de um Datalogger (Figura 2).

A quantidade de K aplicada nos tratamentos que receberam K (B-K100, M-K100 e A-K100) foi de 100 mg dm^{-3} de K (equivalente a 240 kg ha^{-1} de K_2O). Cada parcela experimental foi composta por um vaso de 25 L, contendo uma planta.

Tabela 3 – Características químicas e granulométricas dos solos após a correção e criação dos diferentes níveis de K antes da adubação de plantio da batata-doce em condição de casa-de-vegetação

Característica	Baixo K	Médio K	Alto K
pH (CaCl_2)	5,7	5,1	4,6
M.O (g dm^{-3})	9	12	11
P resina (mg dm^{-3})	28	25	29
SO_4 (mg dm^{-3})	18	14	20
K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,48	1,83	3,74
Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	18	14	15
Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	7	7	8
H + AL ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	15	15	18
CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	40	38	45
SB ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	25	23	27
V%	63	60	60
B (mg dm^{-3})	0,07	0,11	0,15
Cu (mg dm^{-3})	0,9	0,8	0,8
Fe (mg dm^{-3})	17	17	21
Mn (mg dm^{-3})	5,5	4,2	7,3
Zn (mg dm^{-3})	0,9	0,6	0,8
Areia (g/kg)	858	858	852
Argila (g/kg)	111	111	116
Silte (g/kg)	31	31	32

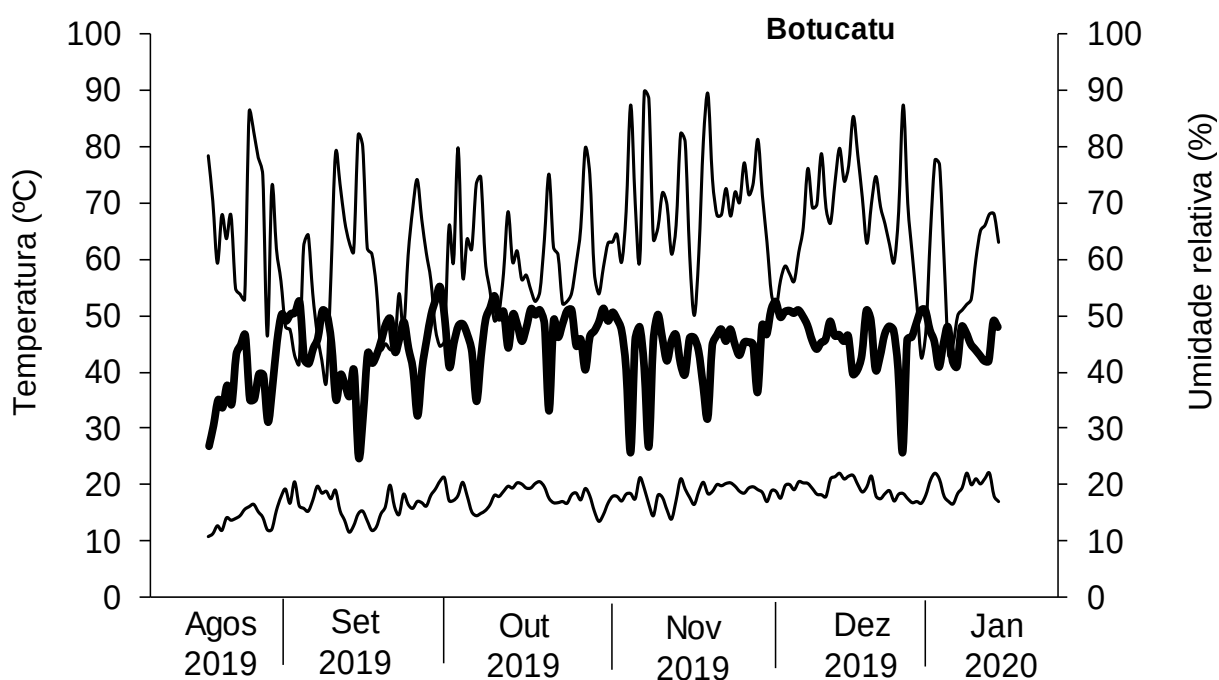
A adubação de plantio foi realizada com 40 mg dm^{-3} de N (ureia) e 150 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples) em todos os tratamentos e também com 50 mg dm^{-3} de K (KCl) nos tratamentos B-K100, M-K100 e A-K100. Na adubação de plantio todos os adubos foram incorporados ao solo com ajuda de uma betoneira. No plantio utilizou-se ramas de 30-40 cm retiradas de plantio jovem a partir do ápice das plantas da cultivar canadense.

A adubação de cobertura foi realizada aos 40 DAP com 40 mg dm^{-3} de N (ureia) em todos os tratamentos, além de 50 mg dm^{-3} de K nos tratamentos B-K100, M-K100, A-K100. Quando observou a deficiência de boro e magnésio aplicou $12,5 \text{ mg}$

vaso⁻¹ de B aos 75 DAP (equivalente a 0,5 mg dm⁻³ de B), além de aplicar de 25 mg dm⁻³ de Mg aos 42, 52 e ao 78 DAP. Como fonte de K, B e Mg utilizou o cloreto de potássio, ácido bórico e sulfato de magnésio, respectivamente.

O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas para a cultura. A irrigação foi feita por gotejamento diariamente para manter a umidade do solo e a colheita da batata-doce foi realizada conforme os tratamentos.

Figura 2 – Umidade relativa do ar (linha superior), temperaturas máximas (linha intermediária) e mínimas do ar (linha inferior) registrados dentro da casa de vegetação nos anos de 2019 a 2020. Botucatu SP



3.2.1 Avaliações realizadas aos 35, 60, 85, 110 e 150 DAP

3.2.1.1 Diagnose foliar aos 60 DAP

A avaliação do estado nutricional da batata-doce, foi realizada de acordo com Lorenzi et al. (1997), que consistiu da coleta de folha totalmente expandida do ápice das ramas aos 60 DAP. Após a coleta, as folhas foram secas em estufa a 65 °C por

72 horas e moídas para determinação dos teores de macro e micronutrientes de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

3.2.1.2 Número de folhas, área foliar e comprimento da rama

Todas as folhas de cada planta dos vasos foram coletadas e contadas, em seguida a área foliar foi determinada com um integrador de área foliar de bancada LICOR, modelo 3100C. A rama principal foi medida com ajuda de uma trena e os dados apresentados em centímetros.

3.2.1.3 Superfície, comprimento e diâmetro radicular

Após a colheita das plantas o sistema radicular absorvente foi lavado com água deionizada e foi determinada a massa fresca (MF) das raízes. Em seguida, as raízes foram amostradas de acordo com a metodologia de Goubran e Richards (1979) e analisadas quanto ao comprimento, diâmetro médio, e superfície radicular utilizando o Scanner WinRhizo, que utiliza o princípio o método proposto por Tennant (1975). Após a determinação dessas variáveis as amostras utilizadas foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C por 72 h, e pesadas para a determinação da MS. Com os dados de MS da amostra utilizada para essas determinações e a MS do restante do sistema radicular, foram estimados o comprimento e a superfície radicular de todo o sistema radicular das plantas.

3.2.1.4 Produtividade da raiz tuberosa, acúmulo de MS na parte aérea, raízes absorventes, raízes tuberosas, na planta inteira

As raízes tuberosas foram pesadas individualmente para determinação da massa média de raízes tuberosas e produtividade. A produtividade total foi obtida a partir do somatório de todas as raízes tuberosas da planta.

A matéria seca de raízes foi avaliada conforme descrito no item anterior 3.1.1.2. Nas demais partes da planta a MS foi obtida após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até massa constante. Os resultados referentes ao acúmulo de matéria seca pela batata-doce foram expressos em g planta⁻¹.

3.2.1.5 Absorção e exportação de nutrientes

Após a secagem, o material foi pesado, moído e submetido à análise dos teores de nutrientes (Malavolta et al., 1997). A absorção de nutrientes foi calculada pela multiplicação da concentração de nutrientes pela MS de cada parte da planta e, em seguida, somou-se as quantidades de todos os nutrientes acumuladas nos diferentes tecidos das plantas. A exportação de nutrientes foi considerada como a quantidade de nutrientes acumulada nas raízes tuberosas.

3.2.1.6 Teor de K trocável no solo, pH do solo e condutividade elétrica do solo

Em cada época de coleta, uma amostra de solo de cada vaso foi coletada e seca naturalmente. Em seguida a amostra foi peneirada (malha de 2 mm) e determinou-se o teor de K trocável (RAIJ et al., 2001). O pH do solo foi analisado de acordo com Raij et al. (2001) e a condutividade elétrica foi analisada a partir da pasta de saturação.

3.3. Análise estatística

Os dados dos experimentos de campo foram submetidos à ANOVA separadamente por tipo de solo (teor de K). As médias referentes aos parcelamentos foi analisada pelo teste LSD a 5% de probabilidade, excluindo o tratamento testemunha (sem aplicação de K), enquanto os efeitos das doses de K₂O foram avaliados por análise de regressão. Para a análise de regressão, o tratamento testemunha foi considerado como dose zero. Quando houve efeito significativo das doses de potássio, foram ajustadas equações de regressão às diversas variáveis, sendo feita a escolha dos modelos de regressão de acordo com a significância do teste F e com os valores do coeficiente de determinação (R²).

No experimento de casa de vegetação os dados coletados foram submetidos a ANOVA. As médias do fator níveis/fornecimento de K foram separadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade, enquanto os efeitos das épocas de colheita foram avaliados por análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimentos de Campo

Os teores de N e P nas folhas não foram influenciados pelos fatores estudados, e os valores médios obtidos foram de 40,8 e 4,0 g kg⁻¹ de N e P no solo com baixo teor de K, 35,8 e 3,8 g kg⁻¹ de N e P no solo com médio teor de K, e 37,3 e 3,2 g kg⁻¹ de N e P no solo com alto teor de K (Tabela 4). Estes teores ficaram dentro da faixa considerada como adequada para a batata-doce. Feltran et al. (2022), cujos valores de referência para essa cultura são de 33-50 g kg⁻¹ de N e 2,3-5,0 g kg⁻¹ de P. Já os teores de Ca foram influenciados apenas pelo fator parcelamento nos solos com baixo e alto teor de K, enquanto que o teor foliar de S foi afetado pelo parcelamento apenas no solo com baixo teor de K (Tabelas 4). Por sua vez, os teores de K apresentaram efeito isolado de dose de K apenas nos solos com baixo e médio teor de K. Os teores foliares de Mg foram afetados pelas doses de K apenas no solo com baixo teor do elemento (Tabela 4).

Quando se cultivou a batata-doce em solo com baixo teor de K, os teores de Ca e S nas folhas foram maiores quando a adubação potássica foi realizada em 3 aplicações (Tabela 4). No solo com médio teor de K não houve diferenças entre os parcelamentos estudados (Tabela 4). Porém, no solo com alto teor de K, o teor foliar de Ca no tratamento que recebeu o K parcelado em 2 vezes foi maior do que no tratamento em que o K foi parcelado em 3 vezes (Tabela 4). Em todos os solos, os teores de Ca e S na folha diagnose ficaram abaixo da faixa considerada adequada para a batata-doce (FELTRAN et al., 2022), que é de 7,0-12 g kg⁻¹ de Ca e 4,0-7,0 g kg⁻¹ de S, respectivamente. Já os teores foliares de Mg ficaram inferiores a faixa de 3,0 a 12 g kg⁻¹ de Mg, considerada adequada (FELTRAN et al., 2022), apenas no solo com baixo teor inicial de K. Contudo, os valores de saturação por bases em todos os solos ficaram entre 50 e 61%, ou seja, próximo ao valor de 60% estabelecido como adequado para cultura por Feltran et al. (2022).

Por sua vez, os teores iniciais de S no solo dos experimentos conduzidos em Braúna (baixo e médio teor de K) estavam altos (> 10 mg dm⁻³) (MATTOS JR et al., 2022a) em oposição ao solo do experimento de Botucatu (alto teor de K) que apresentou teores baixos de S (< 5,0 mg dm⁻³) (MATTOS JR et al., 2022a) (Tabela 2).

Mesmo assim, não foi possível visualizar nenhum sintoma de deficiência desses nutrientes nas folhas da batata-doce.

Tabela 4 – Teores de macronutrientes (g kg⁻¹) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

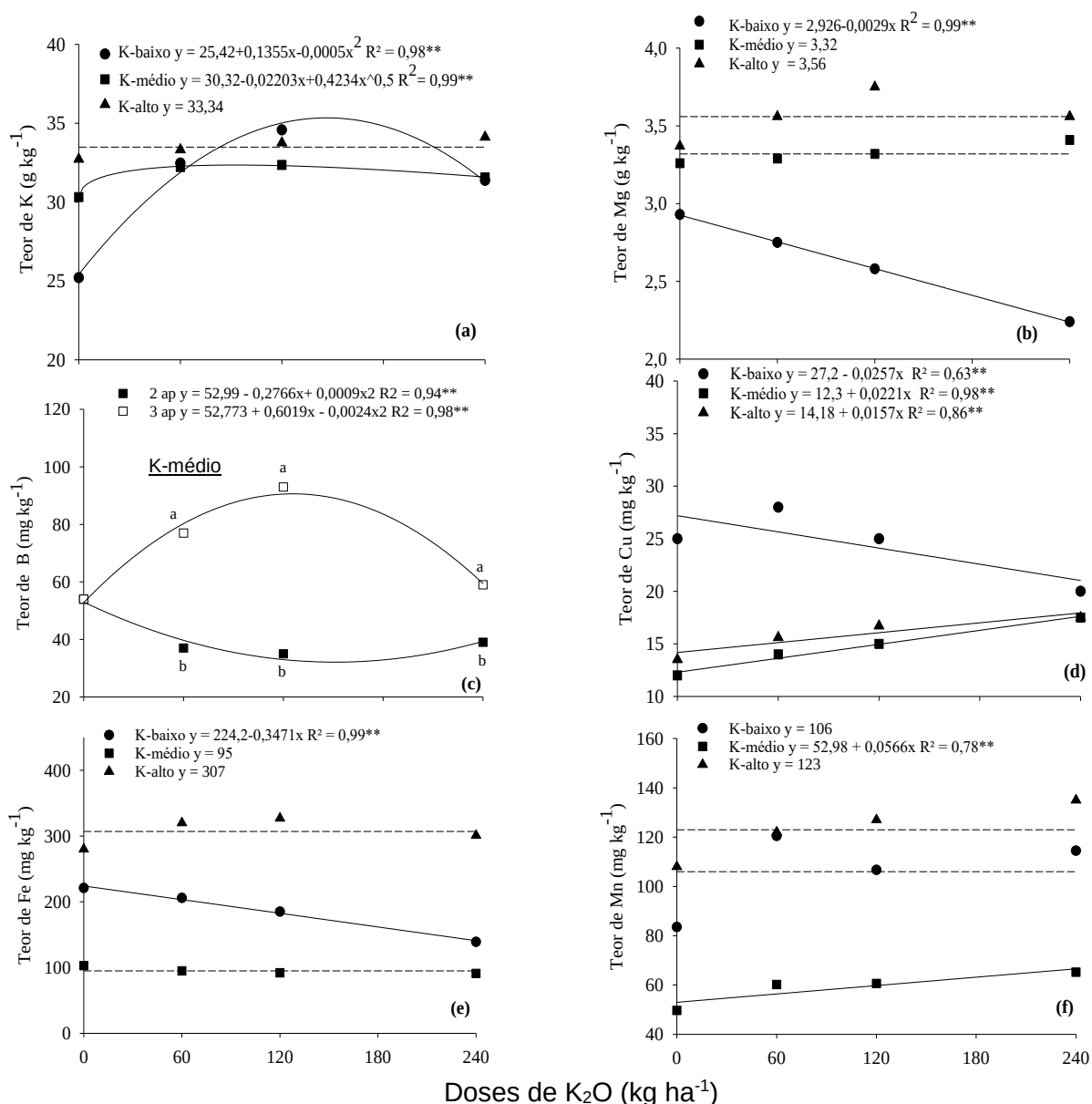
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Baixo K (Braúna)						
2 ap*	42,0a	3,9a	32,9a	4,2 b	2,4a	3,1b
3 ap	39,5a	4,0a	32,8a	4,8 a	2,7a	3,4a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	0,0335	NS	0,0433
Dose K (K)	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)						
2 ap	35,8a	3,8a	33,4a	4,1a	3,3a	3,3a
3 ap	35,8a	3,8a	30,7a	4,4a	3,4a	3,6a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	NS	0,0224	NS	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)						
2 ap	36,4a	3,2a	33,8a	4,0a	3,7a	2,5a
3 ap	38,2a	3,2a	33,7a	3,5b	3,5a	2,5a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	0,0311	NS	NS
Dose K (K)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

No solo com baixo teor de K, a adubação potássica aumentou em 36% os teores de K na folha diagnose até o valor máximo de 35 g kg⁻¹ de K, o qual foi obtido com a dose estimada de 136 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3a). Já no solo com teor médio de K, os teores foliares de K ajustaram-se a um modelo de raiz quadrada, em que a dose de 92 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionou os teores máximos de 32 g kg⁻¹ de K. No solo com alto teor inicial de K, a adubação potássica não interferiu nos teores foliares de K, apresentando o teor médio de 33 g kg⁻¹ de K. Haja vista, que os teores iniciais presente no solo (Tabela 2) para o solo com alta disponibilidade inicial de K (> 3,0 mmolc dm⁻³; Mattos Jr. et al., (2022b); Feltran et al., (2022) supriu as necessidades da

batata-doce). No solo com alto teor de K, os teores de K nas folhas da batata-doce ficaram dentro da faixa adequada para a cultura que é de 30-60 g kg⁻¹ de K (FELTRAN et al., 2022), independentemente da aplicação ou não de K. Porém, nos solos com baixo e médio teores de K, os teores foliares de K estiveram dentro da faixa adequada para a cultura apenas quando se aplicou pelo menos 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Figura 3 – Teores de K (a), Mg (b), B (c) Cu (d), Fe (e) e Mn (f) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



De acordo com Wang et al. (2020) a aplicação de K aumenta os teores foliares de K ao longo do desenvolvimento da planta e aumenta o teor de N nas folhas por volta dos 50 a 100 DAP, mas a aplicação de K pode reduzir os teores foliares de N após os 100 DAP. Foloni et al. (2013) estudaram o efeito da dose de N e K na batata-doce cv. Canadense em solo de textura média e com teor inicial de $0,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^3$ de K. Esses autores obtiveram teores foliares que variam de $14\text{-}37 \text{ g kg}^{-1}$ de N e $8,5\text{-}13,6 \text{ g kg}^{-1}$ de K, com aplicação das doses de 71 kg ha^{-1} de N e 92 kg ha^{-1} de K_2O . Em estudo realizado por Cecílio Filho et al. (2016), em solo com baixo teor de K ($0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), os teores foliares de $44,6 \text{ g kg}^{-1}$ de K na cv. Beauregard foram obtidos com a aplicação da dose de 100 kg ha^{-1} de K_2O . Estudos geralmente mostram que aumentos nas doses aplicadas de K_2O causam aumento nas concentrações foliares de K (SILVA, 2013; CARDOSO, 2018).

Apenas no solo com baixo teor inicial de K, a adubação potássica reduziu linearmente os teores foliares de Mg até a dose máxima estudada (Figura 3b), mas nos solos com médio e alto K a adubação potássica não interferiu nos teores foliares de Mg, mesmo com o solo apresentando teores similares de disponibilidade de Mg (Tabela 2). Somente o teor de Mg nas folhas das plantas cultivadas no solo com baixo teor de K ficou abaixo do nível preconizado por Feltran et al. (2022), que é de $3\text{-}12 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg. Os teores de Mg (Tabela 2) presentes nos três solos são considerados médios ($5 - 8 \text{ mg dm}^{-3}$) (MATTOS Jr. et al., 2022a). Porém, apenas no solo com baixo teor de K, a adubação potássica diminuiu os teores foliares de Mg e mesmo na dose zero de K os teores foliares de Mg das plantas cultivadas neste solo já eram deficientes ($<3,0 \text{ mg kg}^{-1}$) (FELTRAN et al., 2022).

Com relação aos micronutrientes, os teores de B nas folhas da batata-doce não foram afetados pelos tratamentos nos solos com baixo e alto teor de K, mas no solo com médio teor de K houve efeito de interação parcelamento x dose (Tabela 5). A adubação potássica parcelada em duas aplicações reduziu em 40% o teor de B nas folhas até a dose estimada de 32 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 3c). Porém, quando o K foi parcelado em 3 vezes, houve um crescimento de 65% nos teores foliares de B até o valor máximo de 96 mg kg^{-1} com a aplicação da dose estimada de 125 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 3c). Assim, em todos os tratamentos que receberam K, os teores foliares de B foram maiores quando a adubação potássica foi parcelada em três vezes. Em geral, em todos os solos os teores de B estavam baixos ($<0,20 \text{ mg dm}^{-3}$) (BOARETTO et al., 2022), mas apenas nas plantas cultivadas no solo com médio teor inicial de K e que

receberam o K parcelado em duas vezes verificou-se teores foliares de B abaixo da faixa considerada adequada para a cultura que é de 45-75 mg kg⁻¹ (FELTRAN et al., 2022).

Tabela 5 – Teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) na folha diagnose da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baixo K (Braúna)					
2 ap*	59,9a	21,2b	190,4a	117,2a	122,3b
3 ap	59,5a	28,2a	163,3a	110,7a	145,9a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	0,0126	NS	NS	0,0272
Dose K (K)	NS	0,0472	< 0,001	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)					
2 ap	37,2b	14,3b	98,3a	56,3b	51,1a
3 ap	76,6a	17,0a	86,7a	67,7a	33,8b
ANOVA					
Parcelamento (P)	< 0,001	< 0,001	NS	< 0,001	< 0,001
Dose K (K)	< 0,001	< 0,001	NS	< 0,001	NS
PxK	< 0,001	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)					
2 ap	59,4a	16,2a	307,7a	122,6a	24,5b
3 ap	60,2a	17,1a	324,7a	133,3a	30,7a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	0,0262
Dose K (K)	NS	0,106	NS	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD (P≤0,05). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

Os teores foliares de Cu foram afetados pelos fatores isolados nos solos com baixo e médio teor de K e pelas doses de K no solo com alto teores de K (Tabela 5). Nos solos com baixo e médio teores de K a aplicação do fertilizante potássico parcelado em três vezes proporcionou maiores teores de Cu nas folhas do que o parcelamento em apenas duas vezes. A adubação potássica reduziu linearmente os teores foliares de Cu no solo com baixo teor de K, mas nos solos com médio e alto teor de K, houve aumento linear nos teores foliares de Cu com a aplicação de K (Figura 3d). Nos solos com médio e alto teor de K, os teores foliares de Cu

permaneceram dentro da faixa adequada para a cultura (10-20 mg kg⁻¹) (FELTRAN et al., 2022) em todas as doses de K aplicadas, mas no solo com baixo teor de K, os teores foliares de Cu ficaram acima da faixa adequada para a cultura nas doses de K inferiores a 240 kg ha⁻¹. De acordo com Rosolem (2005), a absorção de Cu pode ser aumentada com as doses de K, mas neste estudo isso só ocorreu quando a disponibilidade inicial de K no solo era de média a alta.

O teor de Fe nas folhas foi afetado apenas pelas doses de K no solo com baixo teor do elemento, sem haver efeito dos tratamentos (Tabela 5). A adubação potássica diminuiu linearmente em 37% os teores foliares de Fe no solo com baixo teor de K (Figura 3e). Somente no solo com teor médio de K o teor de Fe nas folhas ficou dentro da faixa considerada como adequada (40-100 mg kg⁻¹ de Fe) (FELTRAN et al., 2022), enquanto que nos outros solos os teores foliares de Fe ficaram acima desta faixa. Mesmo assim não foi possível visualizar sintomas aparentes de toxidez de Fe nas folhas. Fernandes et al. (2020), ao estudarem a absorção e remoção de nutrientes pela batata-doce em resposta a adubação verde, nas mesmas condições edafoclimáticas do presente estudo, encontraram valores acima de 200 mg kg⁻¹ de Fe nas folhas. A toxidez provocada pelo Fe nas plantas pode ser reduzida com a aplicação de K (FAGERIA, 2001).

O teor de Mn na folha diagnose foi afetado pelos fatores principais somente no solo com médio teor de K (Tabela 5). A aplicação de K fracionada em 3 vezes aumentou o teor de Mn nas folhas em comparação a aplicação parcelada em apenas duas vezes. No solo com médio teor de K, a adubação potássica aumentou o teor de Mn nas folhas de forma linear (Figura 3f). Em todos os solos os teores foliares de Mn permaneceram dentro da faixa adequada para a cultura por Feltran et al. (2022) que é de 40-250 mg kg⁻¹ de Mn.

O teor foliar de Zn apresentou efeito isolado somente do fator parcelamento nos três solos (Tabela 5). O teor de Zn na folha diagnose foi maior quando o K foi parcelado em 3 aplicações nos solos com baixo e alto teores iniciais K (Tabela 5), mas no solo com médio teor inicial de K ocorreu o contrário e obteve-se teores maiores de Zn no tratamento com duas aplicações de K (Tabela 5). Os teores foliares de Zn no solo com baixo teor de K ficaram acima da faixa considerada adequada para a cultura por Feltran et al. (2022) que é de 20-50 mg kg⁻¹ de Zn, enquanto nos solos com teores médio e alto de K os teores foliares de Zn ficaram dentro da faixa considerada adequada por esses mesmos autores. No entanto, não foi observado nenhum sintoma

aparente de toxidez de Zn nas folhas. Além disso, o excesso de Zn pode induzir a deficiência severa de Fe na planta (FERNANDES e RIBEIRO, 2020). El-Baky et al. (2010) encontraram interações positivas entre K e Zn, e verificaram que a adubação potássica e a aplicação foliar do Zn na batata-doce responderam positivamente as doses crescente de K e Zn.

A produtividade total de raízes tuberosas foi afetada pelos fatores isolados (parcelamento e dose) no solo com baixo teor de K e pelas doses de K nos outros dois solos (Tabela 6).

Tabela 6 – Produtividade total de raízes tuberosas ($t\ ha^{-1}$) e acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, raiz tuberosa e na planta inteira ($t\ ha^{-1}$) de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

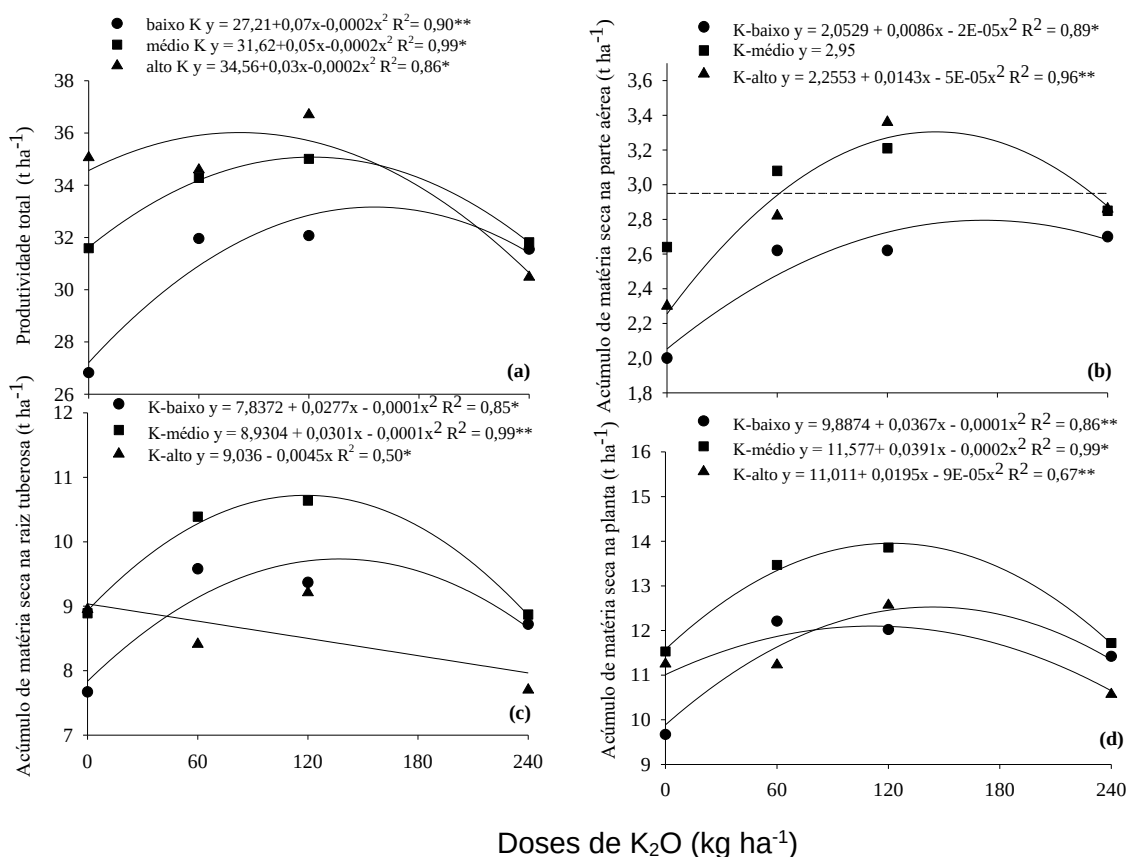
Tratamentos	Produtividade total	Acúmulo de matéria seca		
		Parte aérea	Raiz tuberosa	Planta inteira
Baixo K (Braúna)				
2 ap *	30,5b	2,8a	8,8a	11,6a
3 ap	33,2a	2,5a	9,7a	12,2a
ANOVA				
Parcelamento (P)	0,0366	NS	NS	NS
Dose K (K)	< 0,001	< 0,001	0,0308	0,0234
PxK	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)				
2 ap	35,0a	2,9a	10,4a	13,3a
3 ap	32,5a	3,2a	9,5a	12,7a
ANOVA				
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	0,0045	NS	0,0050	0,0131
PxK	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)				
2 ap	33,7a	2,7a	8,5a	11,2a
3 ap	34,2a	3,3a	8,4a	11,7a
ANOVA				
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	0,0195	0,0219	0,0332	0,0289
PxK	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

No solo com baixo teor de K, a produtividade total de raízes tuberosas no tratamento em que o K foi parcelado em três vezes foi maior do que no tratamento em

que houve apenas duas aplicações de K (Tabela 6), demonstrando a importância da aplicação parcelada em mais vezes, especialmente em solos deficientes em K. Em relação às doses de K, as produtividades totais máximas de 34, 35 e 36 t ha⁻¹ ocorreram quando foram aplicados 191, 142 e 89 kg ha⁻¹ de K₂O, nos solos com baixo, médio e alto teor de K, respectivamente (Figura 4a). Apesar do solo com alto teor de K apresentar a maior produtividade em relação aos demais, percebe-se que doses acima de 89 kg ha⁻¹ de K₂O apresentou um declínio da produtividade total, e ao usar a dose máxima do estudo este solo apresentou com uma produtividade menor que os demais. Com isso, nos solos com altos teores de K deve-se ter bastante cuidado ao aplicar doses altas de potássio para que a produtividade não diminuísse. Estas doses foram superiores às doses de K₂O sugeridas por Peressin et al. (2022), que seriam de 140, 80 e 20 kg ha⁻¹ de K₂O para solos com baixo, médio e alto teores de K, respectivamente, visando obter uma produtividade de raízes superior a 20 t ha⁻¹.

Figura 4 – Produtividades total das raízes tuberosas frescas (a), acúmulo de matéria seca na parte aérea (b), na raiz tuberosa (c) e na planta (d) da batata-doce em resposta a doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01



Diversos trabalhos demonstram que a batata-doce é altamente responsiva a adubação potássica em solos tropicais com baixa fertilidade (BYJU e GEORGE, 2005; BRITO et al., 2006; RÓS et al., 2014, CECILIO FILHO et al., 2016). Em solos com médio teor de K inicial, Foloni et al. (2013), verificaram que a maior produtividade foi obtida com a associação de 100 kg ha⁻¹ de N mais 120 kg ha⁻¹ de K₂O. Corrêa et al. (2018), em solos com alta disponibilidade inicial de K, encontraram produtividades totais variando de 32,3 e 32,9 t ha⁻¹ com uso de 74,1 e 58,3 kg ha⁻¹ de K₂O quando o K foi aplicado todo no plantio ou parcelado com 25 % da dose no plantio e 75% em cobertura, respectivamente. Em outros estudos a maior produtividade total de raízes de 27,5 e 31,0 t ha⁻¹ foi obtida quando o K foi aplicado todo aos 30 ou 60 DAP, respectivamente (DA SILVA et al, 2022).

Ao estudar o efeito da adubação potássica em diferentes genótipos de batata-doce de polpa alaranjada, Varela (2017), obteve rendimentos máximos totais de 50,8 e 49,1 t ha⁻¹ com as doses de 82,95 e 81,54 kg ha⁻¹ de K₂O para as cultivares Erica e Lourdes, respectivamente. A produtividade da batata-doce é significativamente reduzida quando há deficiência de potássio, por outro lado, quando se tem grande quantidade de K nas folhas, resulta em maior produtividade nas raízes tuberosas (KAREEM, 2013). O potássio participa diretamente da translocação dos fotoassimilados das folhas para as raízes tuberosas, promove alongamento das raízes devido ao efeito osmótico (NICHOLAIDES et al.,1985; MARSHHNER 2012; PUSHPALATHA et al., 2017), além disso, colabora no aumento da produtividade das raízes tuberosas uma vez que aumenta o número de raízes e a matéria seca das raízes tuberosas (BURKE, 1995; EL-BAKY et al., 2010).

Os acúmulos da matéria seca (MS) da parte aérea, raiz tuberosa e na planta inteira foram afetados somente pelo efeito da dose de K nos três solos, exceto no solo com médio teor de K o acúmulo de MS na parte aérea não foi afetado pelos tratamentos (Tabela 6). Nos solos com baixo e alto teor de K o acúmulo de MS na parte aérea aumentou até os valores máximos de 2,8 e 3,3 t ha⁻¹ com a aplicação das doses de 173 e 143 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 4b). Por sua vez o solo com teor médio de K, a MS da parte aérea não foi influenciada pela aplicação de K e foi em média de 2,9 t ha⁻¹.

Nas raízes tuberosas da batata-doce cultivada nos solos com teor baixo e médio teor de K, constatou-se aumento no acúmulo de MS até as doses de 139 e 151 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4c). Já no solo com alto teor de K, houve uma resposta linear

decrecente em que com a dose máxima aplicada reduziu-se o acúmulo de MS nas raízes de 9,0 t ha⁻¹ para 7,7 t ha⁻¹ (Figura 4c). Segundo Woolfe (1992), a batata-doce apresenta teor médio de matéria seca em torno de 30%, mas esse valor pode variar muito dependendo da variedade, tipo de solo, clima e técnicas de cultivo.

Na planta inteira houve aumento quadrático no acúmulo de MS com os máximos acúmulos de 13,3, 13,5 e 12,1 t ha⁻¹ ocorrendo com a aplicação das doses estimadas de 184, 98 e 108 ha⁻¹ de K₂O para os solos com baixo, médio e alto teor de K, respectivamente (Figura 4d). Ferreira (2017) observou que a parte aérea é o terceiro órgão que teve mais acúmulo de matéria seca, logo após as raízes totais e comerciais, e a parte aérea apresentou um acúmulo máximo de matéria seca igual a 135,89 g. m⁻² aos 118 dias após o transplântio. O acúmulo de matéria seca na parte aérea é menor do que na raiz, uma vez que, após o surgimento das raízes tuberosas elas se tornam os principais drenos metabólicos dos fotoassimilados produzidos na parte aérea (CONCEIÇÃO et al., 2004).

Em outros estudos a aplicação do fertilizante potássico aumentou a matéria fresca e seca da raiz tuberosa da batata-doce, devido ao incremento do número de raízes tuberosas e, em menor proporção, a massa média das raízes tuberosas (WANG et al., 2015, 2016). Porém, neste estudo o aumento na MS das raízes não ocorreu quando o solo já apresentava alta disponibilidade de K. Zhao et al. (2018), obtiveram maiores acúmulos de matéria seca nas raízes tuberosas quando se aplicou 180 kg ha⁻¹ de K₂O.

A produtividade da batata-doce está relacionada com o maior acúmulo de matéria seca da planta. Por sua vez, alguns estudos verificaram que quando se aplicou cerca 70-300 kg ha⁻¹ de K₂O¹ houve maior acúmulo de matéria seca nas plantas de batata-doce e também incrementos da área foliar (EL-BAKY et al., 2010; ZHANG et al., 2017; CORRÊA et al., 2018; PUTRA e EDY, 2018; WANG, et al., 2020; GAO, et al., 2021). Outros estudos mostraram que quando o potássio foi aplicado todo no plantio, houve maiores acúmulos de matéria seca na planta, o que também contribuiu para maiores distribuições de fotoassimilados para as raízes (ZHANG et al., 2017; CORRÊA et al., 2018). Além disso, a baixa concentração de KCl pode afetar o processo de formação dos assimilados, e entende-se que essa assimilação é a energia que será utilizada para três atividades da planta, sendo elas: fonte de energia para o crescimento; reserva de alimento e produtividade da planta (PUTRA e EDY, 2018).

4.1.1 Teor de nutrientes nas partes da planta, absorção e exportação de nutrientes

O teor de N na parte aérea não foi influenciado por nenhum dos fatores estudados em nenhum dos solos (Tabela 7). O teor de P na parte aérea apresentou efeito isolado de parcelamento apenas no solo com alto teor de K, sendo obtidos maiores teores de P na parte aérea quando as plantas de batata-doce receberam a aplicação do K parcelada em duas vezes.

Tabela 7 – Teores de macronutrientes (g kg⁻¹) na parte aérea da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Baixo K (Braúna)						
2 ap*	11,4a	1,9a	14,5a	5,3b	2,3a	1,3a
3 ap	11,4a	1,9a	11,7b	7,7a	2,3a	1,2b
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	< 0,001	< 0,001	NS	0,0446
Dose K (K)	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)						
2 ap	10,4a	2,7a	14,6a	7,1a	3,6a	2,1a
3 ap	11,1a	2,5a	14,6a	6,1b	3,0b	1,9a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	0,0402	0,0147	NS
Dose K (K)	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)						
2 ap	19,2a	2,2a	22,7b	4,5a	3,5a	1,9a
3 ap	17,2a	1,9b	26,89a	4,3a	3,4a	1,8a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	0,0423	< 0,001	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	NS	< 0,001	0,1007	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS

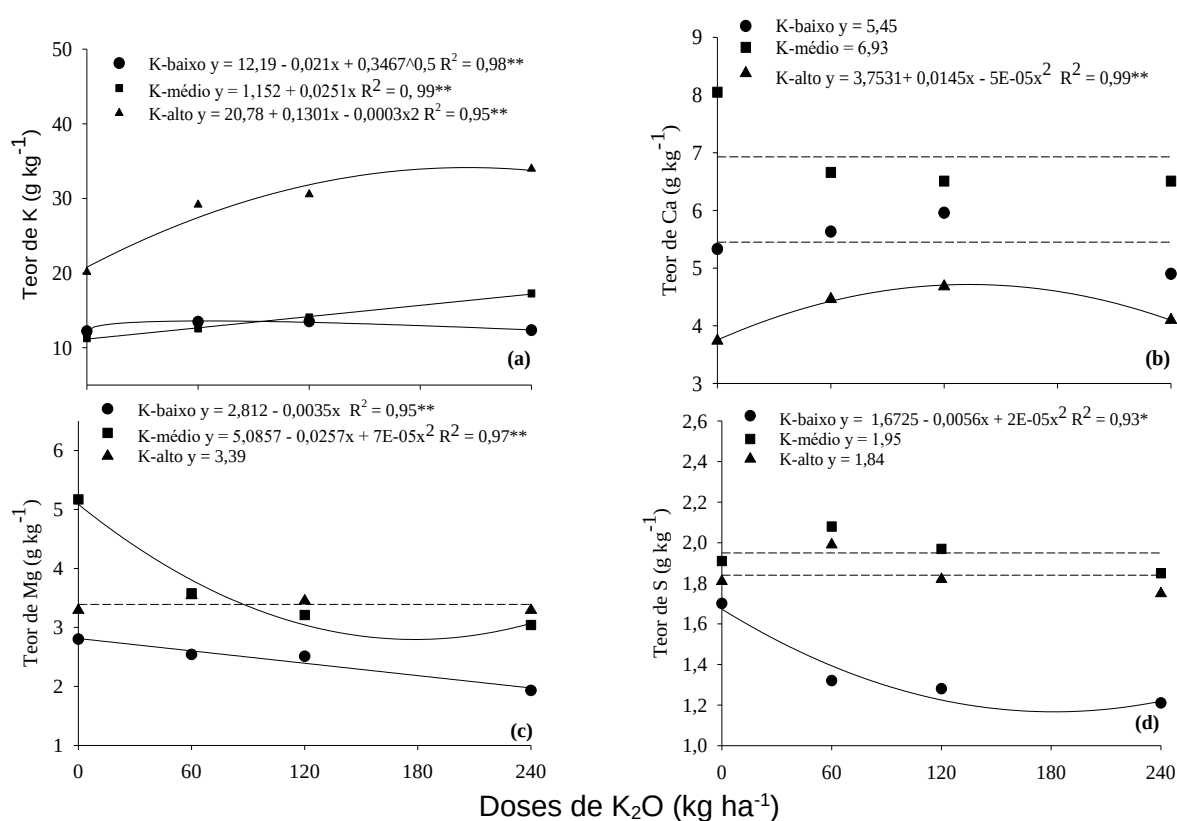
*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

Os teores de K na parte aérea foram influenciados pelos fatores isolados nos solos com baixo e alto teor de K e pelas doses de K no solo com médio teor de K (Tabela 7). No solo com baixo teor de K, observou-se maior teor de K na parte aérea

quando o K foi parcelado em duas aplicações, mas no solo com alto teor de K verificou-se o contrário, ou seja, os maiores teores ocorreram quando a aplicação foi parcelada em três vezes. A adubação potássica aumentou de forma linear o teor de K na parte aérea das plantas do solo com teor médio de K, e proporcionou incrementos no teor de K da parte aérea até as doses estimadas de 64 e 217 kg ha⁻¹ de K₂O nos solos com baixo e alto teor de K, respectivamente (Figura 5a).

Ao estudar as relações interespecíficas de sete genótipos de batata-doce com doses de potássio, Wang et al. (2015) constataram que para todos os tratamentos, os pecíolos apresentaram as maiores concentrações de K, variando em média de 6,29 g kg⁻¹ a 12,43 g kg⁻¹ nas quatro doses de K estudada. As folhas apresentaram a segunda maior concentração de K. As hastes apresentaram a menor concentração de K em comparação com outras partes da parte aérea, mas suas concentrações foram maiores do que as das raízes tuberosas.

Figura 5 – Teores de K (a), Ca (b), Mg (c) e S (d) na parte aérea da batata-doce em resposta a doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01



Nos solos com baixo e médio teor de K apenas o fator parcelamento influenciou os teores de Ca na parte aérea, mas no solo com alto teor de K, houve efeito do fator dose sobre esta variável (Tabela 7). O teor de Ca na parte aérea das plantas do solo com baixo teor de K foi maior no tratamento que recebeu o K parcelado em três vezes, mas no solo com médio teor de K os maiores teores de Ca na parte aérea ocorreram no tratamento com a aplicação de K parcelada em apenas duas vezes (Tabela 7). A adubação potássica aumentou em 28% o teor de Ca da parte aérea das plantas cultivadas no solo com alto teor de K, cujos aumentos ocorreram até a dose estimada de 146 ha^{-1} de K_2O (Figura 5b).

O teor de Mg na parte aérea das plantas foi afetado pelos fatores isolados no solo com médio teor de K, pelas doses de K no solo com baixa disponibilidade do nutriente, mas não foi afetado pelos tratamentos no solo com alto teor de K (Tabela 7). No solo com médio teor de K a aplicação de K de forma parcelada em duas vezes proporcionou teores de Mg na parte aérea maiores do que quando ocorreu o parcelamento em três vezes. Além disso, a adubação potássica reduziu linearmente os teores de Mg na parte aérea das plantas do solo com baixo teor de K, e promoveu a redução de 46% do teor de Mg da parte aérea no solo com médio teor de K até a dose estimada de 184 kg ha^{-1} de K_2O (Figuras 5c).

De acordo com Fageria (2001, 2014), quando a combinação de nutrientes resulta em uma resposta de crescimento menor do que o controle, a interação é negativa. Com base nisso, pode-se inferir que as relações K-Mg são ditas antagonistas. O antagonismo entre os nutrientes de plantas é uma situação pelo qual um excesso de um nutriente diminui a absorção de outros considerados essenciais para as plantas, e foi descrito que a aplicação excessiva da quantidade de K neutraliza ou impede a absorção de Mg (JAKOBSEN, 2009, FAGERIA, 2006). De acordo com RIETRA et al. (2017) a oferta de K teve um efeito negativo no conteúdo de Mg das culturas, mas o conteúdo de K das culturas não foi afetado.

O teor de S na parte aérea da batata-doce foi afetado pelos fatores principais no solo com baixo teor de K, mas nos outros solos não houve efeito dos tratamentos sobre esta variável (Tabela 7). No solo com baixo teor de K, quando o K foi parcelado em duas vezes o teor de S na parte aérea foi maior do que quando o parcelamento foi realizado em 3 aplicações. No entanto, a adubação potássica no solo deficiente em K diminuiu em 23% o teor de S na parte aérea da batata-doce até dose estimada de 140 kg ha^{-1} de K_2O (Figuras 5d).

Em relação aos teores de micronutrientes na parte aérea da batata-doce, observa-se que os teores de B foram influenciados pelo fator parcelamento no solo com baixo teor de K, pelo fator dose no solo com alto teor de K e pela interação parcelamento x dose no solo com médio teor de K (Tabela 8). No solo com baixo teor de K, a aplicação de K parcelada em três vezes proporcionou teores de B na parte aérea mais elevados do que o parcelamento em duas vezes (Tabela 8). No solo com alto teor de K a adubação potássica aumentou o teor de B na parte aérea até a dose estimada de 183 kg ha⁻¹ de K₂O, e reduziu nas maiores doses de K₂O (Figura 6a). Contudo, no solo com médio teor de K, a adubação potássica não alterou os teores de B na parte aérea das plantas quando o K foi parcelado em duas aplicações, mas quando o K foi parcelado em três aplicações houve incrementos lineares no teor de B na parte aérea das plantas de batata-doce (Figura 6b).

Tabela 8 – Teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) na parte aérea da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baixo K (Braúna)					
2 ap*	18,3b	14,6b	121,1b	96,8a	12,0b
3 ap	21,5a	23,0a	195,4a	80,8b	14,7a
ANOVA					
Parcelamento (P)	0,0118	< 0,001	< 0,001	0,0224	0,0179
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	NS	0,0138
PxK	NS	NS	< 0,001	NS	NS
Médio K (Braúna)					
2 ap	18,2b	13,8b	57,5a	52,1a	26,5a
3 ap	30,5a	16,1a	57,5a	39,8b	28,4a
ANOVA					
Parcelamento (P)	< 0,001	0,0167	NS	< 0,001	NS
Dose K (K)	0,1040	< 0,001	NS	NS	NS
PxK	< 0,001	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)					
2 ap	22,1a	12,5a	157,6a	113,4a	12,6b
3 ap	22,1a	11,3b	184,7a	100,7b	18,0a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	0,0468	NS	< 0,001	< 0,001
Dose K (K)	0,0447	NS	NS	< 0,001	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	0,0230

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD (P≤0,05). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

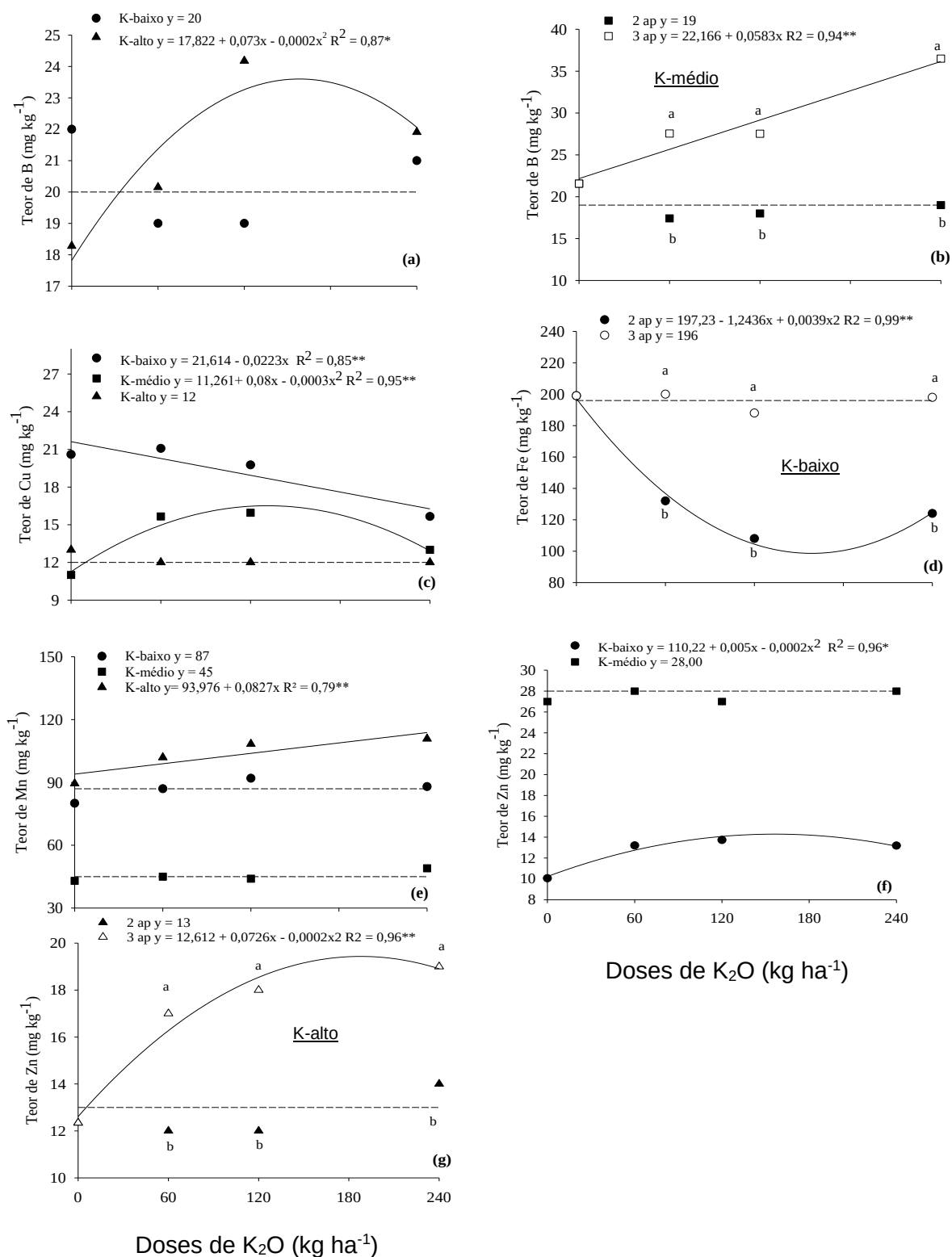
Os teores de Cu na parte aérea da batata-doce foram influenciados pelos fatores isolados nos solos com baixo e médio teor de K e pelo fator parcelamento no solo com alto teor de K (Tabela 8). Nos solos com baixo e médio teor inicial de K o parcelamento da adubação potássica em três aplicações proporcionou teores de Cu na parte aérea maiores do que a aplicação parcelada em apenas duas vezes (Tabela 8). Porém, no solo com alto teor inicial de K ocorreu o contrário e os maiores teores de Cu foram observados nos tratamentos com o parcelamento do K em duas aplicações.

A adubação potássica reduziu linearmente o teor de Cu na parte aérea das plantas do solo com baixo teor de K (Figura 6c). Porém, no solo com médio teor de K a adubação potássica aumentou em 47% o teor de Cu na parte aérea das plantas até a dose estimada de 133 ha^{-1} de K_2O (Figura 6c).

Nos solos com médio e alto teor de K os tratamentos estudados não afetaram os teores de Fe da parte aérea, mas no solo com baixo teor de K houve efeito de interação (Tabela 8). No solo com baixo teor de K, o parcelamento da adubação potássica em duas aplicações reduziu os teores de Fe na parte aérea da batata-doce até a dose de 159 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 6d), mas quando o K foi parcelado em três aplicações não houve efeito da aplicação de K sobre os teores de Fe na parte aérea. Portanto, nos tratamentos que receberam K os teores de Fe na parte aérea foram maiores quando se parcelou o K em três vezes.

Nos solos com baixo e médio teor de K houve efeito do parcelamento sobre os teores de Mn na parte aérea, mas no solo com alto teor de K houve efeitos de ambos os fatores principais (Tabela 8). Em todos os solos os teores de Mn na parte aérea da batata-doce foram maiores quando a aplicação de K foi parcelada em três vezes, se comparado ao tratamento com duas aplicações. No solo com alto teor de K, a adubação potássica aumentou linearmente os teores de Mn na parte aérea da batata-doce (Figura 6e). O teor de Zn foi afetado pelos fatores isolados no solo com baixo teor de K e pela interação parcelamento x dose no solo com alto teor de K (Tabela 8). No solo com baixo teor de K, os teores de Zn na parte aérea das plantas foram maiores quando a aplicação do K foi realizada em três vezes. Porém, neste solo a adubação potássica aumentou o teor de Zn na parte aérea até a dose estimada de 110 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 6f).

Figura 6 – Teores de B (a, b), Cu (c), Fe (d), Mn (e) e Zn (f, g) na parte aérea de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



No solo com alto teor de K, a adubação potássica parcelada em três vezes não interferiu nos teores de Zn na parte aérea, mas quando o K foi parcelado em 2 vezes a aplicação de K aumentou os teores de Zn na parte aérea até a dose de 182 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 6g). Assim os teores de Zn na parte aérea das plantas que receberam o K em três aplicações foram maiores do que nos tratamentos com duas aplicações.

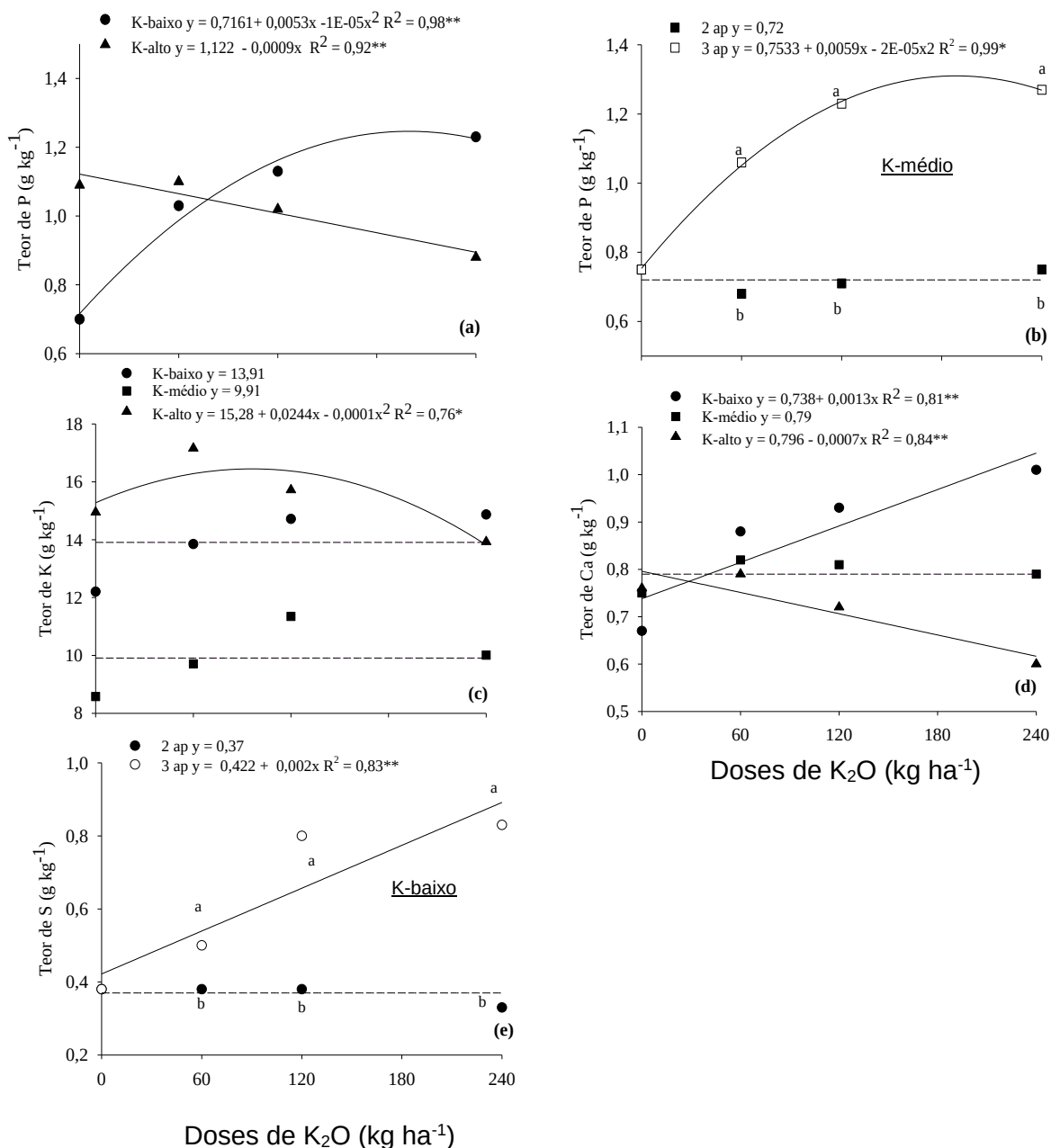
Os teores de N e Mg na raiz tuberosa não foram afetados por nenhum dos fatores estudados nos três solos avaliados (Tabela 9). Os teores de P foram afetados pelas doses de K nos solos com baixo e alto teor de K e pela interação parcelamento x dose no solo com médio teor de K (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de macronutrientes (g kg⁻¹) na raiz tuberosa da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Baixo K (Braúna)						
2 ap*	4,9a	1,1a	14,5a	0,8b	0,4a	0,4b
3 ap	4,3a	1,2a	12,1b	1,1a	0,5a	0,7a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	0,0337	< 0,001	NS	< 0,001
Dose K (K)	NS	< 0,001	NS	< 0,001	NS	0,0191
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	< 0,001
Médio K (Braúna)						
2 ap	5,0a	0,7b	10,7a	0,8a	0,6a	0,3a
3 ap	4,5a	1,2a	11,2a	0,9a	0,5a	0,3a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	< 0,001	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	0,0248	NS	NS	NS	NS
PxK	NS	0,0146	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)						
2 ap	3,9a	1,0a	15,5a	0,7a	0,5a	0,3a
3 ap	4,3a	1,0a	15,7a	0,7a	0,5a	0,3a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	0,0153	0,0196	0,0333	NS	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD (P≤0,05). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

Figura 7 – Teores P (a, b), K (c), Ca (d) e S (e) nas raízes tuberosas de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



No solo com baixo teor de K a adubação potássica aumentou em 73% o teor de P nas raízes tuberosas até a dose de 199 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 7a). Porém, no solo com alto teor de K a fertilização potássica reduziu linearmente o teor de P das

raízes tuberosas (Figura 7a). Já no solo com médio teor de K, houve aumento no teor de P das raízes tuberosas somente quando o K foi parcelado em três vezes e os aumentos ocorreram até a dose de 148 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 7b). No tratamento em que o K foi parcelado em duas vezes a adubação potássica não interferiu nos teores de P das raízes tuberosas, e os teores permaneceram menores do que no tratamento com mais parcelamentos.

Os teores de K nas raízes tuberosas foram influenciados pelos fatores parcelamento no solo com baixo teor de K e pelas doses de K no solo com alto teor de K (Tabela 9). No solo com baixo teor de K a adubação potássica parcelada em duas vezes proporcionou teores de K nas raízes maiores do que quando o K foi parcelado em três aplicações. Já no solo com alto teor de K, a adubação potássica incrementou o teor de K na raiz tuberosa até a dose estimada de 122 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 7c).

Os teores de Ca das raízes tuberosas foram afetados pelos fatores principais no solo com baixo teor de K e pelas doses de K no solo com alto teor de K (Tabela 9). No solo com baixo teor de K, o teor de Ca das raízes tuberosas foi maior quando o potássio foi parcelado em três vezes (Tabela 9). Neste solo, a adubação potássica aumentou linearmente o teor de Ca da raiz tuberosa, mas no solo com alto teor de K a aplicação de K reduziu linearmente o teor de Ca das raízes (Figuras 7d).

Os teores de S nas raízes tuberosas foram afetados pela interação dos fatores estudados no solo com baixo teor de K, mas nos outros solos não houve efeito dos tratamentos sobre esta variável (Tabela 9). A adubação potássica não interferiu nos teores de S das raízes tuberosas quando o K foi parcela em duas vezes, mas quando o K foi parcelado em três vezes a adubação potássica aumentou linearmente os teores de S das raízes tuberosas (Figura 7e). Dessa forma, os tratamentos que receberam três aplicações de K apresentaram teores de S nas raízes maiores do que nos tratamentos com dois parcelamentos, especialmente nas doses de K maiores que 60 kg ha^{-1} de K_2O .

Os teores de B nas raízes tuberosas foram afetados pelo parcelamento no solo com baixo teor de K e pelos fatores principais no solo com médio teor de K (Tabela 10). No solo com baixo teor de K a aplicação de K parcelada em três vezes proporcionou maiores teores de B nas raízes, mas no solo com médio teor de K ocorreu o contrário. A adubação potássica reduziu linearmente os teores de B nas raízes das plantas cultivadas no solo com médio teor de K disponível (Figura 8a).

Houve efeito dos fatores principais sobre os teores de Cu das raízes tuberosas no solo com baixo teor de K, e efeito apenas das doses de K sobre esta variável no solo com alto teor de K (Tabela 10). A aplicação de K parcelada em três vezes aumentou o teor de Cu das raízes no solo com baixa disponibilidade de K, mas o incremento das doses de K reduziu linearmente os teores de Cu das raízes (Tabela 10; Figura 8b). No solo com alto teor de K, a adubação potássica diminuiu em 31% o teor de Cu das raízes tuberosas até a dose estimada de 161 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 8b).

Tabela 10 – Teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) na raiz tuberosa da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baixo K (Braúna)					
2 ap*	12,6b	6,2b	53,4a	11,9a	10,8a
3 ap	13,4a	9,5a	63,1a	13,6a	10,4a
ANOVA					
Parcelamento (P)	0,0370	< 0,001	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	0,0167	NS	0,0385	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)					
2 ap	17,2a	10,0a	42,0a	12,5a	18,5a
3 ap	27,7b	9,9a	36,0a	10,9b	20,5a
ANOVA					
Parcelamento (P)	< 0,001	NS	NS	0,067	NS
Dose K (K)	0,0242	NS	0,0257	NS	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)					
2 ap	12,6a	5,2a	67,3a	16,3a	8,0b
3 ap	12,6a	5,2a	42,1b	16,6a	11,4a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	NS	0,1061
PxK	NS	NS	0,1024	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

O teor de Fe das raízes tuberosas foi afetado pelas doses de K no solo com médio teor de K e pela interação no solo com alto teor de K (tabela 10). No solo com médio teor de K a adubação potássica aumentou em 20% o teor de Fe na raiz tuberosa até a dose estimada de 102 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 8c). Porém, no solo com alto teor

de K, a aplicação de K parcelada em três vezes reduziu em 50% o teor de Fe da raiz tuberosa até a dose estimada de 102 kg ha⁻¹ de K₂O, mas no parcelamento em duas vezes não houve efeito da adubação potássica sobre esta variável (Figura 8d).

Os teores de Mn nas raízes tuberosas foram afetados pelas doses de K no solo com baixo teor de K e pelo parcelamento do K no solo com médio teor de K (Tabela 10). A aplicação de K parcelada em duas vezes proporcionou teores de Mn maiores nas raízes das plantas do solo com médio teor de K quando comparado ao tratamento com três parcelamentos. No solo com baixo teor de K, a adubação potássica aumentou linearmente os teores de Mn nas raízes tuberosas (Figura 8c).

Quanto aos teores de Zn nas raízes, observa-se que houve efeito das doses de K nos solos com baixo e médio teor de K, mas no solo com alto teor de K houve efeito de ambos os fatores principais (Tabela 10). No solo com alto teor de K, o teor de Zn nas raízes da batata-doce foi maior no tratamento em que o K foi parcelado em três vezes. Porém, as doses de K reduziram os teores de Zn nas raízes em 36 e 60% até as doses estimadas de 171 e 298 kg ha⁻¹ de K₂O nos solos com baixo e alto teor de inicial K (Figura 8f). No entanto, no solo com médio teor de K a redução nos teores de Zn das raízes proporcionada pela adubação potássica ocorreu de forma linear com o aumento das doses de K (Figura 8f).

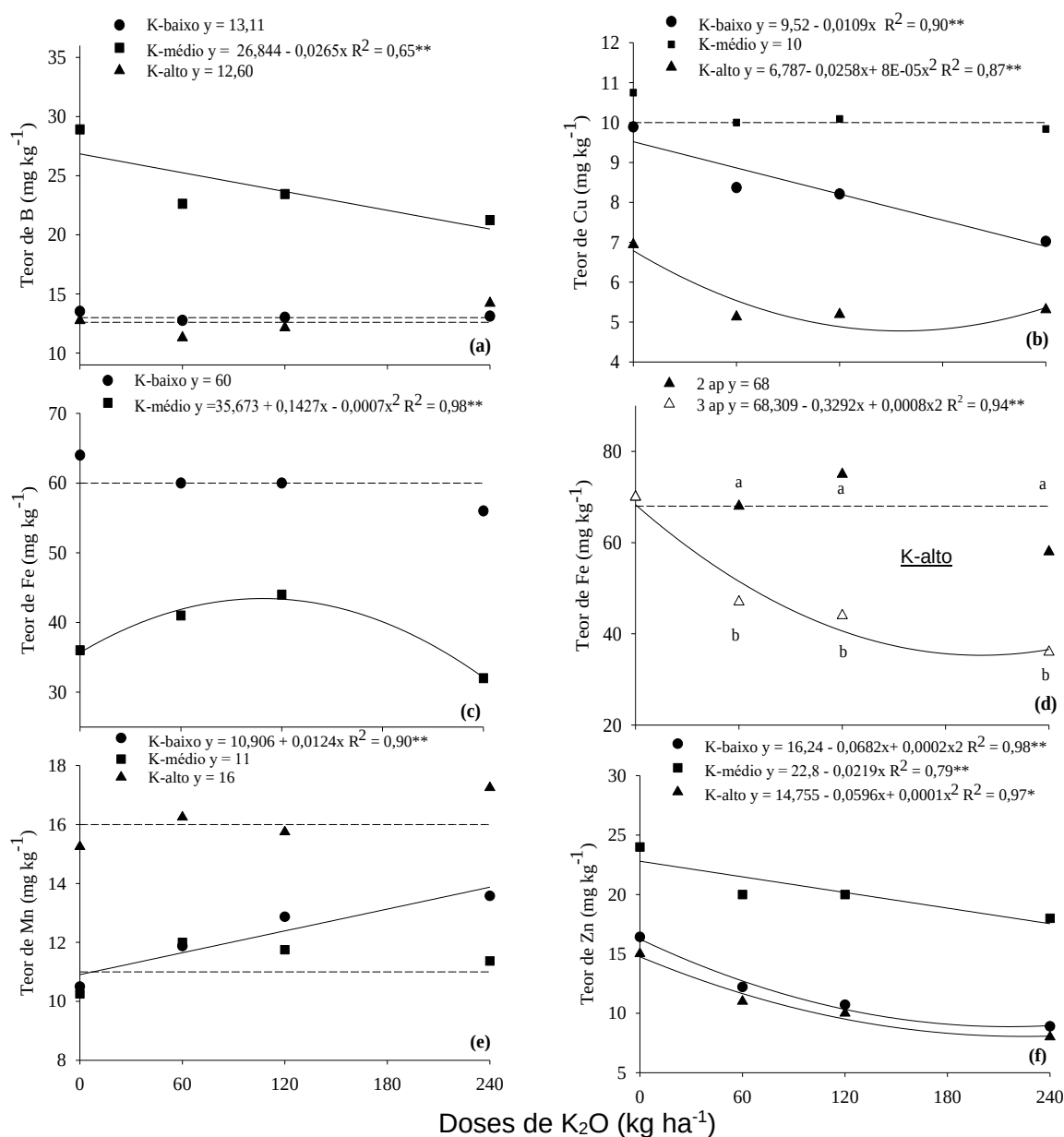
Ao estudar o teor de amido e o rendimento de álcool em batata-doce em função da fonte e doses de K, Silva (2013), encontrou para os teores de K na raiz valores de 14,35 g kg⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de K₂O para o clone UGA118 e de 17,43 g kg⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ para o clone UGA119, além de que obtiveram correlação positiva entre o teor da raiz com o teor da folha.

Os valores médios dos teores de nutrientes na raiz tuberosa encontrados no presente trabalho foram menores que os teores da parte aérea. O teor de potássio do caule e da folha de batata-doce foi maior que o da raiz, além de que nessas partes da planta houve aumentos significativos do teor de K com a adubação potássica (HEPENG et al., 2016).

A maioria dos valores de teores de nutrientes na raiz tuberosa, encontrados no presente trabalho estão abaixo dos valores encontrados por Fernandes et al. (2020), com exceção do K, Cu e Zn, em que teores neste estudo estão acima dos encontrado por esses autores. Considerando que estes autores trabalharam com a mesma cultivar do presente estudo (Canadense), relacionaram os teores da raiz com a

adubação verde. Isto pode estar relacionado com as maiores precipitações que apresentou após a aplicação da adubação potássica (Figura 1).

Figura 8 – Teores de B (a), Cu (b), Fe (c, d), Mn (e), e Zn (f) na raiz tuberosa de batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



As quantidades de N e P absorvidas foram afetadas pelas doses de K nos solos com baixo e alto teor de K, mas no solo com médio teor de K a absorção de N não foi

afetada pelos tratamentos e a absorção de P foi afetada por ambos os fatores principais (Tabela 11).

No solo com alto teor de K, a absorção de N pelas plantas aumentou até a dose estimada de 143 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto no solo com baixo teor de K houve aumento na absorção de N até a dose de estimada de 138 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9a). No solo com médio teor de K a adubação potássica não interferiu na absorção de N, cujos valores médios foram de 78 kg ha⁻¹, enquanto nos solos com baixo e alto teor de K a absorção máxima de N foi de 77 e 95 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 9a).

Tabela 11 – Quantidades de macronutrientes absorvidas (kg ha⁻¹) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Baixo K (Braúna)						
2 ap*	74,4a	14,9a	165,6a	21,6b	10,0a	7,0b
3 ap	70,9a	16,0a	147,6a	30,4a	10,1a	9,6a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001
Dose K (K)	0,0289	< 0,001	< 0,001	< 0,001	NS	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	< 0,001
Médio K (Braúna)						
2 ap	81,8a	15,3b	154,0a	29,1a	16,6a	9,4a
3 ap	77,1a	19,1a	152,2a	27,1a	14,6a	9,2a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	< 0,001	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	NS	0,0151	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)						
2 ap	85,4a	14,5a	195,2a	18,8a	13,7a	7,2b
3 ap	93,4a	14,7a	220,7a	20,0a	15,7a	8,5a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	NS	0,0459
Dose K (K)	< 0,001	0,0163	< 0,001	< 0,001	NS	0,0386
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

No solo com médio teor inicial de K a absorção de P foi maior quando o K foi parcelado em três vezes (Tabela 11). Além disso, nos solos com baixo, médio e alto teor de K, a fertilização potássica aumentou a absorção de P até as doses estimadas

de 166, 132, 66 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 9b). Isto também foi observado por Zhao et al. (2018) que aplicação de 180 kg ha⁻¹ de K₂O promoveu maiores absorções de N e P pela batata-doce.

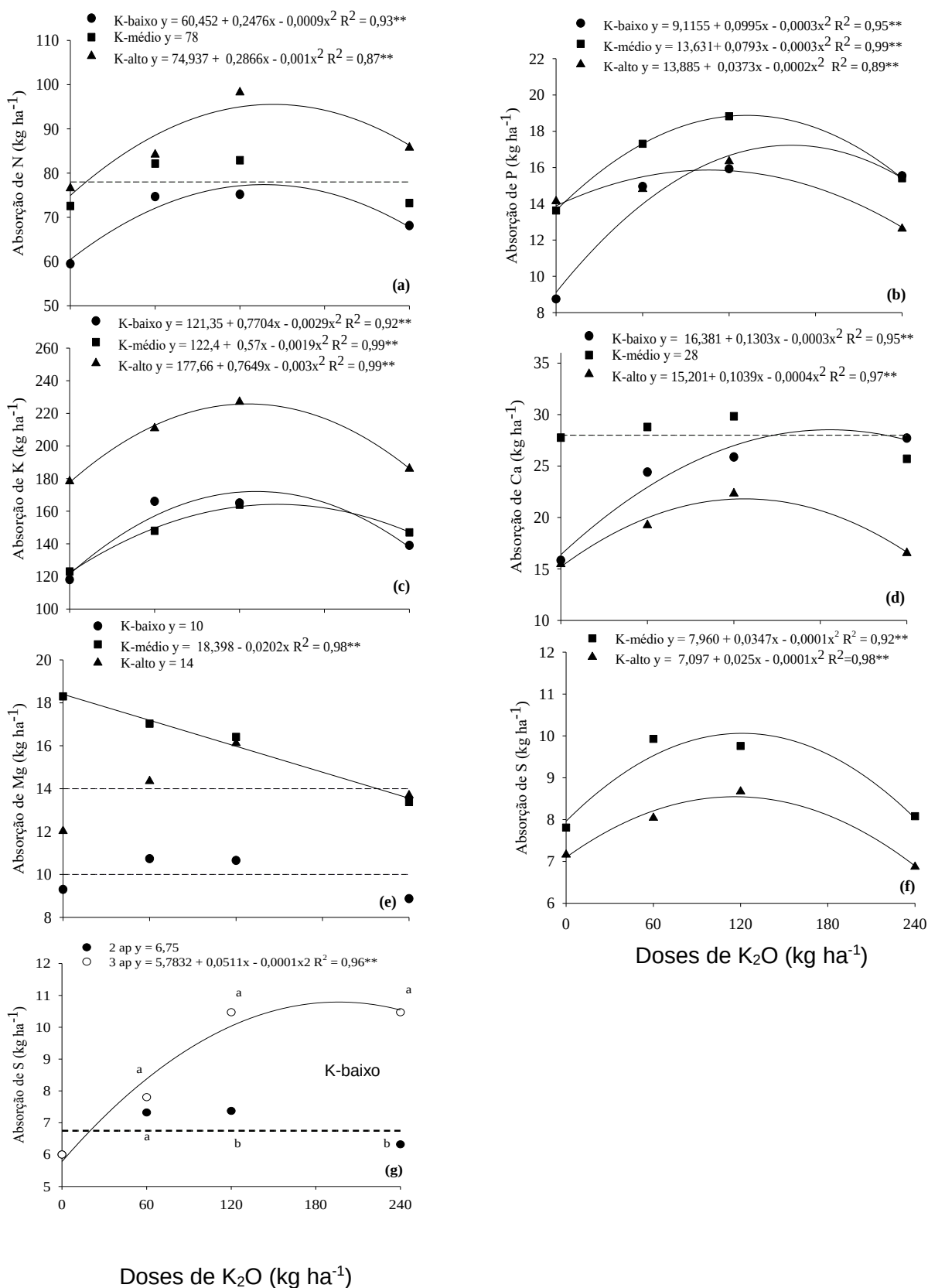
A absorção de K foi afetada apenas pelas doses de K em todos os solos (Tabela 11). Em todos os solos estudados a aplicação de K aumentou as quantidades de K absorvidas até as doses estimadas de 133, 150 e 127 kg ha⁻¹ de K₂O, nos solos com baixo, médio e alto teor inicial de K, respectivamente (Figura 9c). As quantidades máximas de K absorvidas foram de 173, 165 e 226 kg ha⁻¹ de K para os solos com baixo, médio e alto teor de K, respectivamente. Em outros estudos, o acúmulo total de K aumentou em 28,9-126,8% com o aumento da adubação potássica em comparação com a testemunha (WANG et al., 2020). A absorção de K está diretamente relacionada com o aumento da produtividade e na melhoria da formação das raízes tuberosas (BOURKE, 1985; LU et al., 2001).

Houve efeito dos fatores principais sobre a absorção de Ca no solo com baixo teor de K e das doses de K no solo com alto teor de K (Tabela 11). No solo com baixo teor de K, a absorção de Ca foi maior quando o K foi parcelado em três vezes em comparação quando se aplicou em duas vezes. No entanto, a aplicação de K aumentou a absorção de Ca até as doses estimadas de 217 e 130 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente nos solos com baixo e alto teor inicial de K (Figura 9d).

A absorção de Mg foi afetada pelas doses de K no solo com médio teor de K, mas nos outros solos não houve efeito dos fatores estudados (Tabela 11). No solo com médio teor de K, a fertilização potássica reduziu linearmente a absorção de Mg (Figura 9e). Nos solos com baixo e alto teor de K a absorção de Mg foi em média de 10 e 14 kg ha⁻¹. Diversos trabalhos tiveram respostas para a adubação potássica que permitiu maiores acúmulos de K e N, além de promover a absorção de Mg e diminuir a absorção de Ca pela batata-doce (MENG et al., 2016; WANG et al., 2020).

A absorção de S pela batata-doce foi afetada pela interação dos fatores estudados no solo com baixo teor de K, pelas doses de K no solo com médio teor de K e por ambos os fatores isoladamente no solo com alto teor de K (Tabela 11). No solo com alto teor de K, a aplicação de K parcelada em três vezes aumentou a absorção de S em relação a aplicação fracionada em apenas duas vezes. Contudo, houve aumento na absorção de S pela batata-doce até as doses estimadas de 174 e 125 kg ha⁻¹ de K₂O nos solos com médio e alto teores de K, respectivamente (Figura 9f).

Figura 9 – Quantidades absorvidas de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f, g) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



Em contrapartida, no solo com baixo teor de K a aplicação de K parcelada em três vezes aumentou em 113% a absorção de S até a dose estimada de 256 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 9g). Porém, a adubação potássica não interferiu na absorção de S quando o K foi parcelado em duas vezes, e dessa forma, as plantas absorveram mais S quando se aplicou doses maiores que 60 kg ha⁻¹ de K₂O parceladas em três vezes.

No solo com baixo teor de K a absorção de B foi afetada pelo fator parcelamento, mas no solo com médio teor de K houve efeito de interação (Tabela 12). A aplicação de K em três vezes aumentou a absorção de B pelas plantas de batata-doce no solo com baixo teor de K. No solo com médio teor de K a absorção de B também foi maior quando o K foi parcelado em três vezes especialmente nas doses acima de zero (Figura 10a).

Tabela 12 – Quantidades de micronutrientes absorvidas (g ha⁻¹) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baixo K (Braúna)					
2 ap*	161,0b	96,7b	812,0b	374,9a	128,6b
3 ap	184,5a	151,1a	1107,9a	340,8a	168,2a
ANOVA					
Parcelamento (P)	0,0282	< 0,001	< 0,001	NS	< 0,001
Dose K (K)	NS	NS	NS	< 0,001	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	0,0390
Médio K (Braúna)					
2 ap	234,4b	145,4a	605,1a	282,9a	270,1a
3 ap	360,2a	145,8a	535,7a	227,7b	288,1a
ANOVA					
Parcelamento (P)	< 0,001	NS	NS	0,0270	NS
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	NS	NS
PxK	0,0186	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)					
2 ap	166,0a	78,8a	1009,2a	446,0a	103,3b
3 ap	177,7a	81,0a	960,6a	470,1a	156,1a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	< 0,001
Dose K (K)	NS	NS	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	0,0306

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD (P≤0,05). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

No solo com médio teor de K a adubação potássica também aumentou a absorção de B até a dose estimada de 114 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 10a), mas quando o K foi aplicado em duas vezes a adubação potássica não interferiu na absorção de B.

A absorção de Cu e Fe foi afetada pelo parcelamento no solo com baixo teor de K, pelas doses de K no solo com médio teor de K, e no solo com alto teor de K houve efeito das doses de K apenas sobre a absorção de Fe (Tabela 12). No solo com baixo teor de K a absorção de Cu e Fe foi maior quando o K foi aplicado de forma parcelada em três vezes. No solo com médio teor de K, a adubação potássica aumentou a absorção de Cu até a dose estimada de 119 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 10b). Porém, a absorção de Fe foi aumentada até as doses de 115 e 104 kg ha^{-1} de K_2O nos solos com médio e alto teor de K, respectivamente (Figura 10c). Os níveis de Fe absorvidos foram altos como os obtidos por Fernandes et al. (2020), que encontram valores absorvidos de Fe acima de 2800 g ha^{-1} nas mesmas condições climáticas, solo e cultivar do presente estudo.

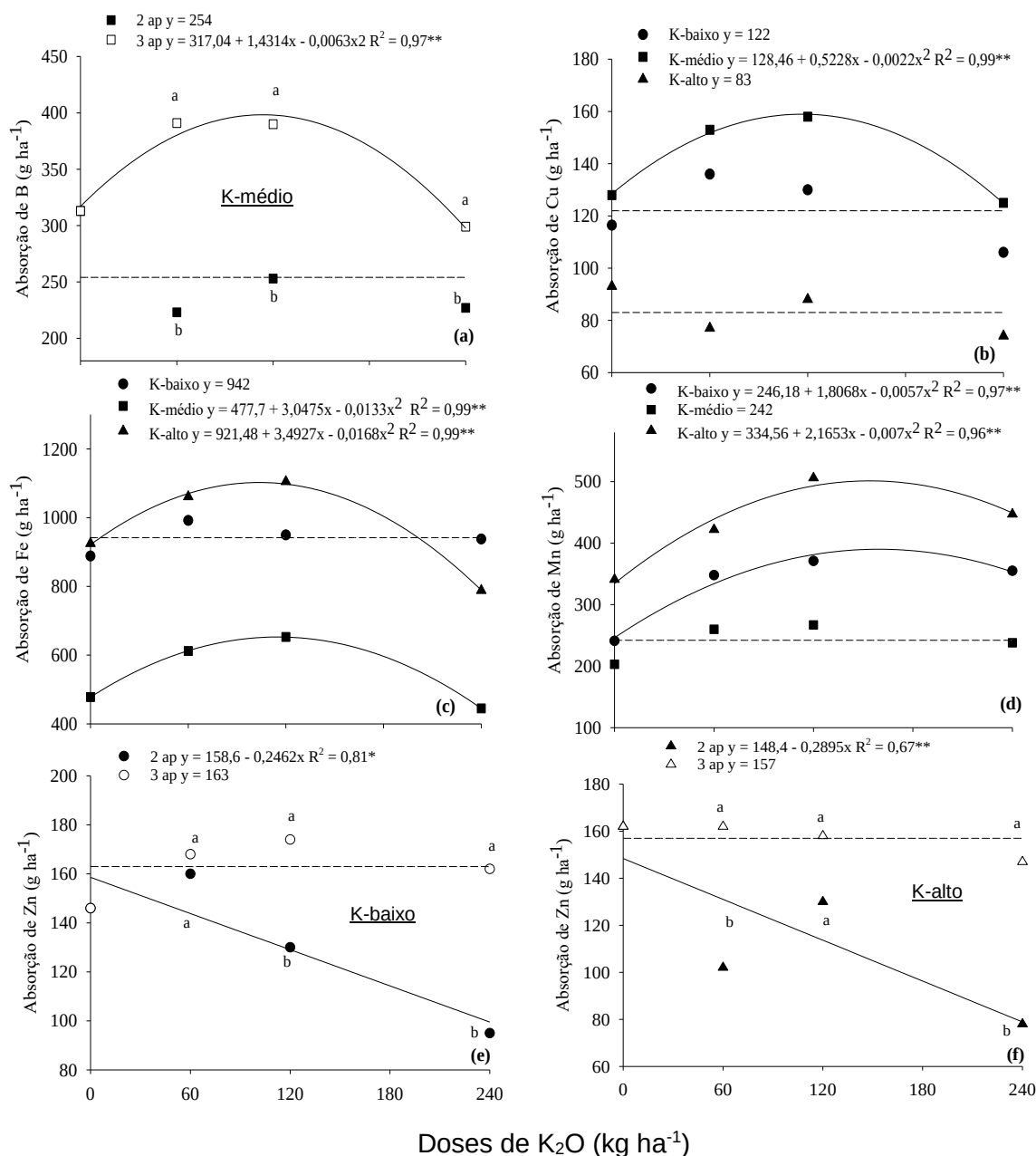
A absorção de Mn foi influenciada pelas doses de K nos solos com baixo e alto teor de K e pelo parcelamento no solo com médio teor de K (Tabela 12). No solo com médio teor de K a aplicação de K parcelada em 2 vezes aumentou a absorção de Mn em relação ao tratamento com 3 parcelamentos. A absorção do Mn apresentou incrementos no solo com baixo teor de K até a dose estimada de 158 kg ha^{-1} de K_2O , enquanto no solo com alto teor de K a máxima absorção de Mn ocorreu com a dose estimada 155 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 10d).

A absorção de Zn pela batata-doce foi afetada pela interação entre os fatores estudados nos solos com baixo e alto teor de K, sem haver efeito dos tratamentos no solo com médio teor de K (Tabela 12). Tanto no solo com baixo como com alto teor de K, a aplicação de K fracionada em duas vezes reduziu linearmente a absorção do Zn pelas plantas de batata-doce (Figuras 10e e 10f). No entanto, quando o K foi parcelado em três aplicações, a adubação potássica não interferiu na absorção de Zn.

Assim, no presente estudo a média geral encontrada da ordem decrescente dos macronutrientes foi de $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ e dos micronutrientes foi de $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$ para a absorção da planta de batata-doce. Quando se compara a absorção dos macronutrientes pelos diferentes tipos de solo, apresentaram a mesma absorção geral para todos. Entretanto, houve diferenças ao se comparar a ordem decrescente de absorção dos micronutrientes. No solo com baixo teor de K a ordem

de maior absorção foi: Fe > Mn > B > Cu > Zn, enquanto no solo com teor médio de K a ordem foi Fe > B > Zn > Mn > Cu. Já no solo com alto teor de K, obteve-se a seguinte ordem de maior absorção Fe > Mn > B > Cu > Zn. Para maioria das hortaliças tuberosas o K é o nutriente mais exigido pelas plantas (FILGUEIRA, 2008) e o N é o segundo nutriente mais absorvido, seguido pelo Ca (ECHER, 2015; RÓS et al., 2015).

Figura 10 – Quantidades absorvidas de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e, f) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



Nos solos com alto níveis de K, quando o potássio foi parcelado possibilitou incrementos lineares da absorção de N, P, K, Ca, Mg e S e apresentaram como a ordem decrescente de extração para os macronutrientes absorvidos pela planta de $K > N > Ca > Mg > P > S$ (CORRÊA et al., 2018), obtendo assim, como no presente estudo o K como mais absorvido.

Com exceção do Fe, todos os valores encontrados para a absorção da planta no presente estudo estão abaixo dos valores obtidos por Echer et al. (2009). Os resultados da extração dos micronutrientes diferenciaram do presente estudo, no qual ocorreu a seguinte ordem decrescente $Mn > B > Zn > Fe > Cu$. Essa diferença de extração observadas nos estudos supracitados pode estar relacionado com a diferença das condições de crescimento ou biomassa da planta (FERNANDES et al., 2020).

O K tem efeito da interação sinérgica sobre o N e P, isso implica dizer que os resultados mostram que fornecimento de K pode melhorar significativamente a absorção de N e P pela batata-doce, e consistentes com resultados da literatura (BALIGAR et al., 2001; JIA et al., 2016; CORRÊA, et al., 2018; PUSHPALATHA, et al., 2018; WANG et al. 2018). Além disso, o uso do K aumenta a eficiência da utilização dos micronutrientes Cu, Zn e Mn (ROSOLEM, 2005; ECHER et al., 2009b; EL-BAKY et al., 2010; SINGH et al., 2017; IPNI, 2022).

A exportação de N foi afetada pelos fatores principais apenas no solo com médio teor de K (Tabela 13). Quando a adubação potássica foi parcelada em duas aplicações a exportação de N foi maior do que quando houve mais parcelamentos. Ainda no solo com médio teor de K a exportação de N aumentou com a adubação potássica até a dose de estimada de 119 kg ha^{-1} de K_2O (Figuras 11a).

A exportação de P foi afetada pelas doses de K em todos os solos e apenas no solo com médio teor de K houve efeito do parcelamento sobre esta variável (Tabela 13). No solo com médio teor de K a exportação de P foi maior quando o K foi parcelado em 3 vezes. No entanto, a adubação potássica aumentou a exportação de P nos solos com baixo e médio teor de K até as doses estimadas de 181 e 134 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente (Figura 11b). Porém, no solo com alto teor de K, a exportação de P diminuiu linearmente com o incremento da adubação potássica (Figura 11b).

A exportação de K pelas raízes da batata-doce foi afetada apenas pelo efeito das doses de K nos três solos (Tabela 13). Nos solos com baixo e médio teor de K a

adubação potássica aumentou a exportação de K até as doses estimadas de 129 e 130 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 11c). No entanto, no solo com alto teor de K, a exportação de K diminuiu linearmente com a adubação potássica (Figura 11c).

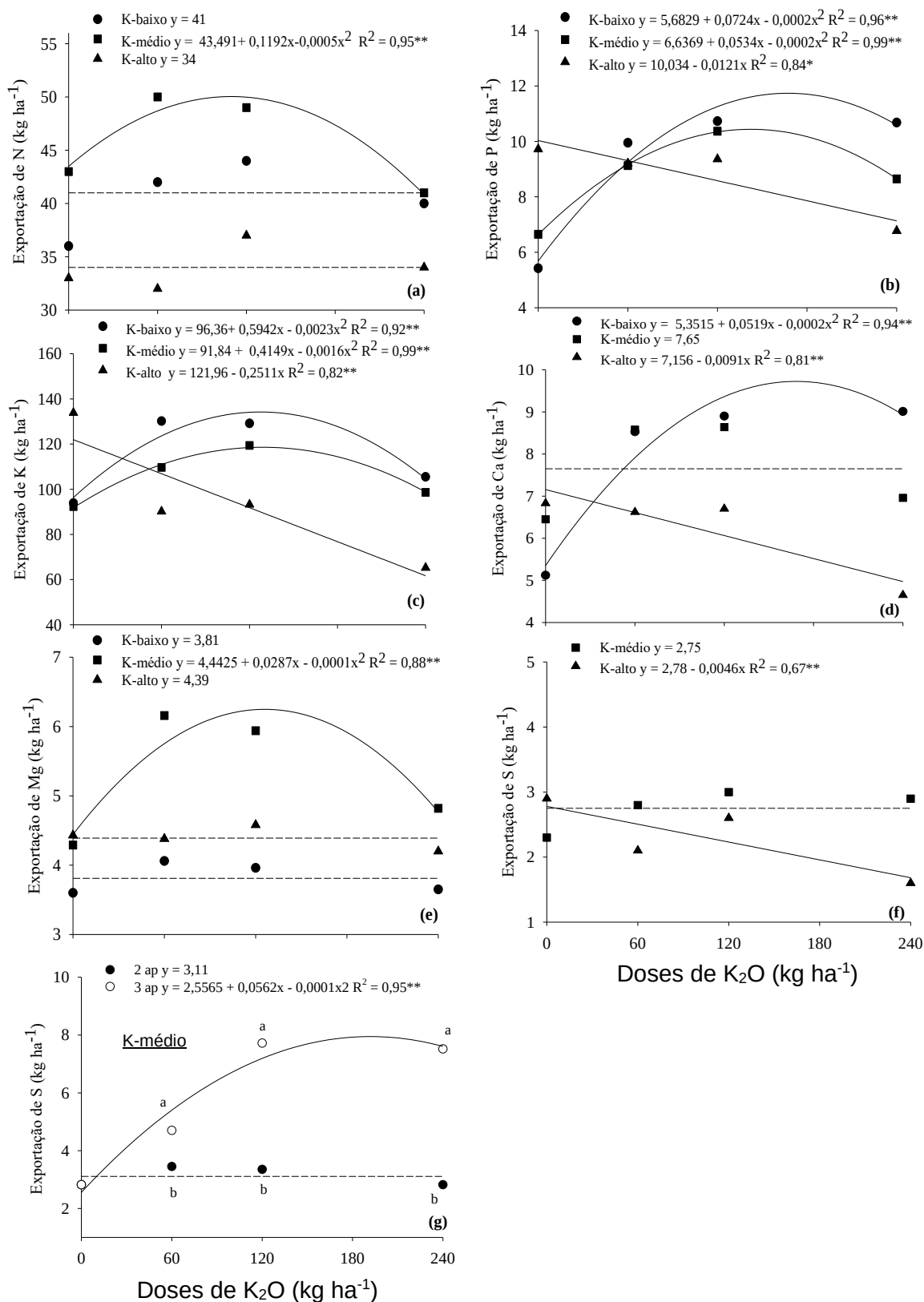
Tabela 13 – Quantidades de macronutrientes (kg ha⁻¹) exportadas pelas raízes tuberosas da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Baixo K (Braúna)						
2 ap*	42,6a	9,7a	125,4a	6,8b	3,4a	3,2b
3 ap	41,8a	11,3a	117,9a	10,9a	4,3a	6,6a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	< 0,001	NS	< 0,001
Dose K (K)	NS	< 0,001	0,0161	< 0,001	< 0,001	< 0,001
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	< 0,001
Médio K (Braúna)						
2 ap	51,4a	7,5b	111,9a	8,1a	6,1a	3,3a
3 ap	42,4b	11,3a	106,6a	8,1a	5,2b	3,2a
ANOVA						
Parcelamento (P)	< 0,001	< 0,001	NS	NS	0,0137	NS
Dose K (K)	0,0293	< 0,001	0,0280	NS	< 0,001	NS
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)						
2 ap	33,1a	8,6a	132,9a	6,2a	4,2a	2,2a
3 ap	35,7a	8,3a	131,5a	5,7a	4,5a	2,5a
ANOVA						
Parcelamento (P)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	0,0109	NS	0,0253
PxK	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

Houve efeito dos fatores principais sobre a exportação de Ca no solo com baixo teor de K e sobre a exportação de Mg no solo com médio teor de K (Tabela 13). Além disso, as doses de K afetaram a exportação de Ca no solo com alto teor de K e a exportação de Mg no solo com baixo teor de K. A exportação de Ca na batata-doce cultivada em solo com baixo teor de K foi maior quando o K foi parcelado em três aplicações. Porém, no solo com médio teor de K houve maior exportação de Mg quando a adubação potássica foi aplicada em duas vezes.

Figura 11 – Quantidades exportadas de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), e S (f, g) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



A adubação potássica aumentou a exportação de Ca até a dose estimada de 130 kg ha⁻¹ de K₂O no solo com baixo teor de K, mas no solo com alto teor de K ela reduziu linearmente a exportação de Ca (Figura 11d). No solo com médio teor de K, a exportação de Mg foi aumentada pela adubação potássica até a dose estimada de 144 kg ha⁻¹ de K₂O (Figuras 11e).

A exportação do B foi afetada pelo parcelamento no solo com baixo teor de K e por ambos os fatores principais no solo com médio teor de K (Tabela 14). Nos solos com baixo e médio teor de K a exportação de B foi maior quando a aplicação do K foi parcelada em três vezes. Por outro lado, no solo com médio teor de K a adubação potássica reduziu linearmente a exportação de B pelas raízes da batata-doce (Figura 12a). A exportação de Cu foi afetada pelo parcelamento no solo com baixo teor de K e pelas doses de K no solo com alto teor de K (tabela 14). No solo com baixo teor de K a exportação de Cu foi maior quando o K foi parcelado em três aplicações. Porém, no solo com alto teor de K, a adubação potássica reduziu a exportação de Cu até a dose estimada de 200 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 12b).

A exportação de Fe foi afetada pelo parcelamento no solo com baixo teor de K, pelas doses de K no solo com médio teor de K e pela interação no solo com alto teor de K (tabela 14). No solo com baixo teor de K, a exportação de Fe foi maior quando a adubação potássica foi parcelada em três aplicações. Contudo, a adubação potássica aumentou a exportação de Fe até a dose estimada de 114 kg ha⁻¹ de K₂O, no solo com médio teor de K (Figura 12c). Já no solo com alto teor inicial de K o parcelamento da adubação potássica em três aplicações não interferiu na exportação de Fe, mas quando o K foi dividido em duas vezes a adubação potássica incrementou a exportação de Fe até a dose estimada de 87 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 12d).

Houve efeito significativo dos fatores principais sobre a exportação de Mn nos solos com baixo e médio teor de K (Tabela 14). No solo com baixo teor de K a exportação de Mn foi maior quando o K foi parcelado em três vezes, mas no solo com médio teor de K ocorreu o inverso. Nos solos com baixo e médio teores de K, a adubação potássica aumentou a exportação de Mn até as doses estimadas de 167 e 127 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 12e).

Tabela 14 – Quantidades de micronutrientes (kg ha⁻¹) exportadas pelas raízes tuberosas da batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo

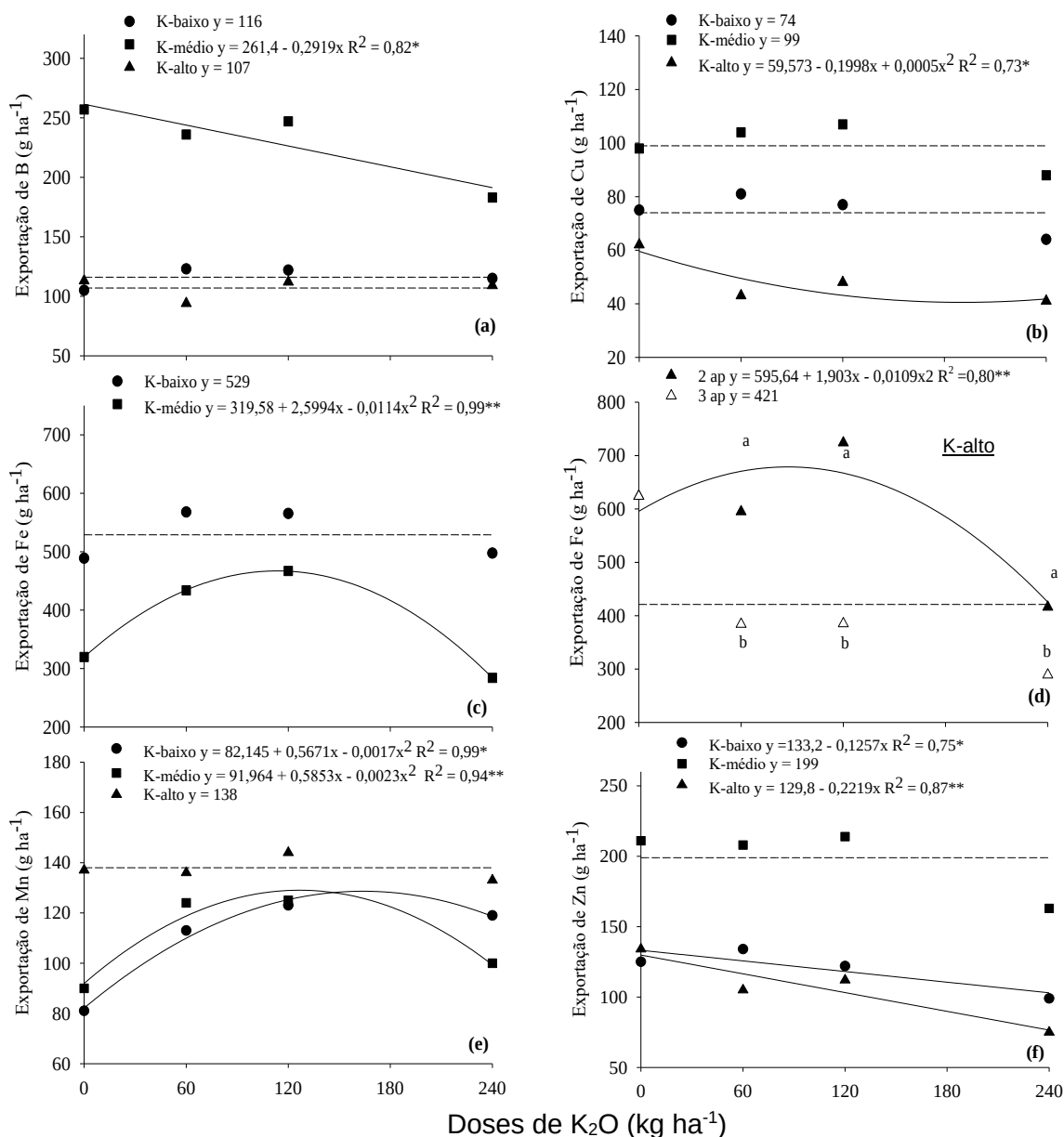
Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Baixo K (Braúna)					
2 ap*	109,6b	54,8b	471,8b	103,3b	95,2b
3 ap	130,5a	93,5a	615,4a	133,4a	142,0a
ANOVA					
Parcelamento (P)	0,0423	< 0,001	0,0242	< 0,001	< 0,001
Dose K (K)	NS	NS	NS	0,045	0,0477
PxK	NS	NS	NS	NS	NS
Médio K (Braúna)					
2 ap	179,5b	104,5a	436,6a	130,1a	191,8a
3 ap	264,9a	95,3a	353,4a	102,9b	197,5a
ANOVA					
Parcelamento (P)	< 0,001	NS	NS	< 0,001	NS
Dose K (K)	0,0329	NS	< 0,001	< 0,001	0,0289
PxK	NS	NS	NS	NS	NS
Alto K (São Manuel)					
2 ap	104,5a	44,7a	578,3a	137,8 ^a	69,53b
3 ap	105,9a	43,6a	352,8b	138,2 ^a	96,2a
ANOVA					
Parcelamento (P)	NS	NS	< 0,001	NS	0,0406
Dose K (K)	NS	< 0,001	< 0,001	NS	< 0,001
PxK	NS	NS	0,0152	NS	NS

*2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP; Valores seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de LSD ($P \leq 0,05$). NS: não significativo. ^(P) A análise foi realizada sem o zero. ^(K) A análise foi realizada com o zero.

A exportação de Zn foi afetada pelos fatores isolados dose e parcelamento nos solos com baixo e alto teor de K e pelas doses de K no solo com médio teor de K (Tabela 14). A aplicação de K parcelada em três vezes aumentou a exportação de Zn em comparação a sua aplicação em apenas duas vezes tanto nos solos com baixo como com alto teor de K. Nestes solos a adubação potássica reduziu linearmente a exportação de Zn pelas raízes tuberosas da cultura da batata-doce (Figura 12f).

Assim, como média geral dentre os solos, a exportação de nutrientes seguiu a ordem decrescente de $K > N > Ca > P > Mg > S$ e para micronutriente $Fe > Mn > B > Zn > Cu$. Houve diferença na exportação dos micronutrientes entre os solos, em que no solo com baixo teor de K apresentou: $Fe > Mn > B > Cu > Zn$, por sua vez, no solo com médio teor de K teve maiores exportações de $Fe > B > Zn > Mn > Cu$ e no solo com alto teor de K foi de $Fe > Mn > B > Cu > Zn$.

Figura 12 – Quantidades exportadas de B (a), Cu (b), Fe (c, d), Mn (e) e Zn (f) pela batata-doce em resposta ao parcelamento e doses de adubação potássica em três condições de disponibilidade de K no solo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. 2ap: parcelamento em duas aplicações, sendo plantio e 40 DAP; 3ap: parcelamento em três aplicações, sendo plantio, 40 DAP e 90 DAP



Como o K foi o nutriente com maior concentração nas raízes (Tabela 8), suas quantidades exportadas foram significativamente superiores às dos demais nutrientes (Tabelas 13 e 14). Resultado semelhante em que o K foi elemento mais extraído pela batata-doce foi observado por Thumé et al. (2013) em que a adubação potássica

proporcionou maior exportação de K pelas raízes foi encontrado a seguinte ordem decrescente de extração pela planta $K > N > Ca > P > Mg > S$.

A maioria dos valores obtidos para a exportação de nutrientes pela raiz da batata-doce para os macronutrientes do presente estudo estão abaixo dos relatados por Echer et al. (2009), com exceção do K. Contudo, quando se compara os micronutrientes, todos os valores encontrados estão acima dos referidos autores. Essas diferenças podem estar relacionadas com os maiores teores de nutrientes nas raízes das plantas do presente estudo, além do maior acúmulo de matéria seca na raiz que variou entre 7,7 a 11,2 t ha⁻¹ nos solos estudados, em comparação com cerca de 6,3 t ha⁻¹, obtido por Echer et al. (2009).

Outros autores verificaram que o N é o elemento mais exigido pela planta de batata-doce (ECHER et al. 2009; FERREIRA, 2017). Assim como nesse estudo em que a adubação potássica não aumentou a remoção de alguns nutrientes, Fernandes et al. (2020) observaram esse mesmo comportamento com a adubação nitrogenada. Já Njoku et al. (2001) observaram que o nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais críticos para a produção de batata-doce. A produção de batata-doce é regulada pelos níveis de N e pela disponibilidade do K, que permite assim aumentar a capacidade do dreno (raiz tuberosa) e fotossíntese (COSTANTINE, 2016).

O potássio estimula o crescimento vigoroso das partes vegetativas para interceptação da radiação solar e fotossíntese, além de desempenhar um papel de catalisador nos processos metabólicos, contribui na translocação dos fotoassimilados para as raízes tuberosas da batata-doce, para a batata inglesa e a mandioca (WANG et al. 2018; LEBOT, 2009). Essas culturas têm alta demanda de K porque as folhas, caules, tubérculos e raízes tuberosas geralmente removem quantidade substancial de K do solo (FERNANDES, 2010; COSTANTINE, 2016; GAZOLA, 2017).

Estes resultados evidenciam a necessidade de adequar o manejo da adubação principalmente com os micronutrientes, em relação a disponibilidade inicial do potássio, uma vez que respondeu de forma diferente na absorção e na exportação destes.

4.2 Experimento de Casa de Vegetação

4.2.1 Diagnose foliar

Os maiores teores de N na folha diagnóstica da batata-doce foram observados nos solos com alto teor de K (A-K0 e A-K100), enquanto os menores teores foliares de N ocorreram nos solos com baixo teor de K (B-K0 e B-K100) (Tabela 15). Nos demais solos os teores foliares de N foram intermediários. Nota-se que nos solos com alto teor de K os teores foliares de N acima da faixa de 33 a 50 g kg⁻¹ de N proposta como adequada por Feltran et al. (2022), mas nos demais tratamentos os teores de N permaneceram dentro da faixa adequada para a cultura.

Tabela 15 – Teores de macronutrientes e micronutrientes na folha diagnose da batata doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K

Variáveis	Tratamentos ⁽¹⁾					
	B-K0	M-K0	A-K0	B-K100	M-K100	A-K100
Teor de N (g kg ⁻¹)	34c	45bc	54ab	40c	42bc	59a
Teor de P (g kg ⁻¹)	3,8a	3,3b	3,7ab	3,5ab	3,5ab	3,6ab
Teor de K (g kg ⁻¹)	6d	23c	28b	28b	33a	33a
Teor de Ca (g kg ⁻¹)	18a	6,6bc	6,8b	7,4b	5,5bc	4,4c
Teor de Mg (g kg ⁻¹)	8,5a	3,8b	3,71b	4,2b	3,4bc	2,42c
Teor de S (g kg ⁻¹)	3,4a	3,2ab	2,8b	2,9ab	2,1c	2,3c
Teor de B (mg kg ⁻¹)	20a	22a	15b	22a	15b	15b
Teor de Cu (mg kg ⁻¹)	5,7bc	9,3a	4,4c	4,4c	6,6b	6,0ab
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)	156a	159a	133a	154a	147a	98b
Teor de Mn (mg kg ⁻¹)	82bc	86bc	93ab	74c	110a	95ab
Teor de Zn (mg kg ⁻¹)	114ab	107ab	95b	146a	117ab	130ab

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste LSD ($p \leq 0,05$).

⁽¹⁾ B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K.

No tratamento B-K0 o teor de P na folha diagnóstica foi maior do que no tratamento M-K0, mas ele não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 15). Em todos tratamentos os teores foliares de P ficaram dentro da faixa adequada para a cultura da batata-doce que é de 2,3-5,0 g kg⁻¹ de P (FELTRAN et al., 2022).

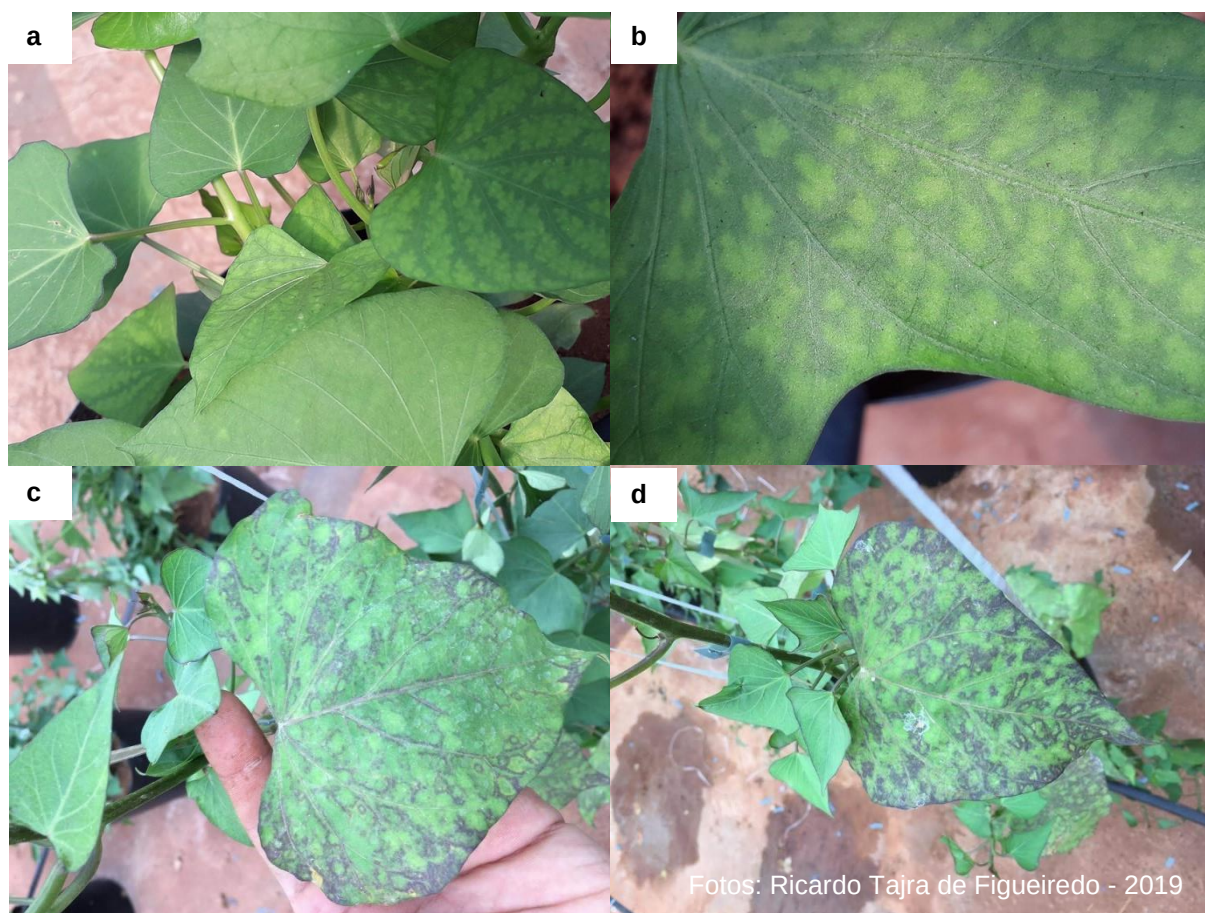
Os maiores teores foliares de K ocorreram nos tratamentos M-K100 e A-K100, enquanto os tratamentos A-K0 e B-K100 apresentaram teores intermediários de K nas folhas e os menores teores foliares de K ocorreram nos tratamentos B-K0 e M-K0 (Tabela 15). Apenas nos tratamentos com médio e alto teor de K e que receberam aplicação de K (M-K100 e A-K100) os teores foliares de K ficaram dentro da faixa considerada como adequada para a batata-doce (30-60 g kg⁻¹ de K) (FELTRAN et al., 2022), enquanto nos demais tratamentos os teores foliares desse elemento ficaram abaixo da faixa adequada. Os teores de K encontrados nas folhas é resultado da

disponibilidade do nutriente no solo e das circunstâncias de absorção pelas raízes (TAIZ et al., 2017; BATISTA et al., 2018).

Os teores foliares de Ca e Mg foram maiores no tratamento B-K0, enquanto os menores teores de Ca e Mg ocorreram nas folhas do tratamento do solo com alto teor de K e que recebeu a adubação potássica (A-K100) (Tabela 15). Isso se deve ao efeito antagônico do K, que compete pelo sítio de absorção desses íons (RAIJ, 1982; MALAVOLTA, 2006; CARDOSO, 2018). A faixa de teores de Ca e Mg considerados como adequados são de 7,0-12 g kg⁻¹ para o Ca e de 3-12 g kg⁻¹ de Mg (FELTRAN et al., 2022). Portanto, em todos os tratamentos nos solos de média e alta disponibilidade de K os teores de Ca ficaram abaixo da faixa de suficiência. Vale destacar que foi realizada a calagem antes da implantação do experimento para elevar a saturação por bases a 60 % e que nos três solos a saturação da CTC por Ca era de 33-45% (Tabela 3), e mesmo assim os teores de Ca nas folhas ficaram deficientes quando a disponibilidade de K no solo esteve entre média e alta. Em contrapartida os teores de Mg só ficaram abaixo da faixa de suficiência nas plantas cultivadas no solo com alta disponibilidade de K e que recebeu adubação potássica (A-K100), no qual as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência (Figura 13). Vale ressaltar também que os teores iniciais de Mg presente nos solos eram considerados como médios (Tabela 3) (MATTOS Jr et al., 2022a). Em função da ocorrência de deficiência visual de Mg foram realizadas três aplicações com 25 mg dm⁻³ de Mg aos 42, 52 e 78 DAP utilizando a fonte sulfato de magnésio.

O teor de S na folha diagnose das plantas do tratamento BK-0 foi maior do que A-K0, M-K100 e A-K100, mas sem diferir dos demais tratamentos (Tabela 15). Em todos os tratamentos os teores foliares de S ficaram abaixo da faixa de suficiência proposta por Feltran et al. (2022), que é de 4,0 a 7,0 g kg⁻¹ de S, apesar dos teores iniciais de S dos solos estarem altos (> 10 mg dm⁻³; FELTRAN et al., 2022). Contudo, não se constatou sintomas visuais de deficiência de S nas plantas.

Figura 13 – Detalhe das folhas das plantas do tratamento com alto teor inicial de K e fertilizado com 100 mg dm⁻³ de K (A-K100) apresentando sintomas visuais de deficiência de Mg num estágio inicial da clorose internerval apresentando nervuras em verde escuro (a-b) e numa fase mais avançada evoluindo para a necrose internerval dos tecidos (c-d)



Nos tratamentos B-K0, M-K0 e B-K100 o teor foliar de B foi maior do que nos tratamentos A-K0, A-K100 e M-K100, os quais não diferiram entre si (Tabela 15). Esses resultados indicam que nos solos com alta disponibilidade de K e no solo com média disponibilidade de K que recebeu aplicação de K via fertilizante, os teores foliares de B foram menores do que nos tratamentos em que a disponibilidade inicial de K no solo era menor. Porém, em todos os tratamentos os teores foliares de B ficaram abaixo da faixa de suficiência de 45 a 75 mg kg⁻¹ de B proposta por Feltran et al. (2022) e os teores iniciais de B nos solos estudados eram baixos (<0,20 mg dm⁻³) (BOARETTO et al., 2022) (Tabela 3). Dessa forma, como foi constatado sintomas visuais de deficiência de B nas plantas (Figura 14), realizou-se a adubação complementar com 12,5 mg vaso⁻¹ de B (0,5 mg dm⁻³ de B) aos 75 DAP (logo após o

resultado da diagnose foliar) utilizando como fonte o ácido bórico. De acordo com O'Sullivan et al. (1997), a deficiência de Ca também pode resultar na morte da ponta das ramas e raízes, mas no caso da deficiência de Ca, as folhas jovens abaixo da ponta da rama desenvolvem uma necrose que se espalha na lâmina foliar a partir das margens laterais da folha. Já no caso da deficiência de B, a necrose das folhas em expansão é incomum e as folhas jovens podem tornar-se espessas, enrugadas, quebradiças ou mesmo cloróticas.

O maior teor de Cu foliar ocorreu no tratamento M-K0 e o menor nos tratamentos A-K0 e B-K100, e nos outros tratamentos os teores foliares de Cu foram intermediários (Tabela 15). Em todos os tratamentos os teores foliares de Cu ficaram abaixo da faixa de suficiência (10 a 20 mg kg^{-1} de Cu) (FELTRAN et al., 2022), apesar da disponibilidade inicial de Cu no solo ter sido considerada média-alta ($\geq 0,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (BOARETTO et al., 2022) (Tabela 3) e não ter sido verificado sintomas visuais de deficiência de Cu nas plantas.

Figura 14 – Detalhe dos sintomas de deficiência de B com morte da ponta da rama principal (gema apical) e com as folhas em expansão apresentando-se cloróticas e sem haver necrose das bordas foliares como ocorre na deficiência de Ca



Apenas no tratamento A-K100 o teor foliar de Fe foi inferior aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si (Tabela 15). No entanto, apenas neste tratamento (A-K100) os teores foliares de Fe ficaram dentro da faixa adequada para a cultura (40 a 100 mg kg^{-1} de Fe; Feltran et al., 2022), enquanto nos demais tratamentos os teores foliares desse elemento ficaram acima da faixa de suficiência, o que pode

estar relacionado a alta disponibilidade inicial de Fe nos solos ($>12 \text{ mg dm}^{-3}$) (MATTOS JR. et al., 2022) (Tabela 3).

O teor foliar de Mn foi maior nos tratamentos dos solos com alta disponibilidade de K (A-K0 e A-K100) e do solo com média disponibilidade de K que recebeu a aplicação de K (M-K100), enquanto os menores teores de Mn ocorreram no tratamento K-K100 (Tabela 15). Apesar das variações entre os tratamentos, os teores foliares de Mn em todos os tratamentos permaneceram dentro da faixa de suficiência para a batata-doce ($40 \text{ a } 250 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn) (FELTRAN et al., 2022).

Os teores foliares de Zn diferiram apenas entre o tratamento B-K100 e o tratamento A-K0, sendo obtidos os maiores teores no tratamento B-K100 e os menores no tratamento A-K0 (Tabela 15). Vale destacar que apesar dos teores iniciais de Zn nos solos serem médios, os teores foliares de Zn da batata-doce mantiveram-se acima da faixa considerada como adequada para a cultura, que é de $20 \text{ a } 50 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn (FELTRAN et al., 2022).

Em geral, os resultados deste estudo mostraram a disponibilidade excessiva de K pode diminuir os teores foliares de Ca e Mg nas folhas da batata-doce, mesmo em solos com adequada disponibilidade de Ca e Mg.

4.2.2 Crescimento, acúmulo de MS e produtividade de raízes tuberosas

O aumento do número de folhas foi crescente até 150 dias após o plantio (DAP) no tratamento B-K0, mas nos outros tratamentos o número de folhas por planta aumentou substancialmente até os 85 DAP e depois se estabilizou (Figura 15a). Sendo assim, o tratamento B-K0 apresentou o maior número de folhas que os demais no final do ciclo. Vale destacar que do plantio até os 85 DAP a disponibilidade inicial e o fornecimento de K não interferiu no número de folhas por planta. Estudos com a mesma cultivar do presente trabalho, em campo encontraram valores máximos de número de folhas entre 90 e 120 DAP (RIBEIRO, 2020 e GUEDES, 2021). O número de folha de batata-doce pode variar entre 30 a 600 folhas por planta ao longo do ciclo (SOMDA et al., 1991).

Nos primeiros 35 DAP o crescimento das ramas foi maior, e na maioria dos tratamentos as ramas pararam de crescer em comprimento a partir dos 60 DAP, exceto nos tratamentos B-K0, M-K0 e M-K100, em que houve crescimento das ramas

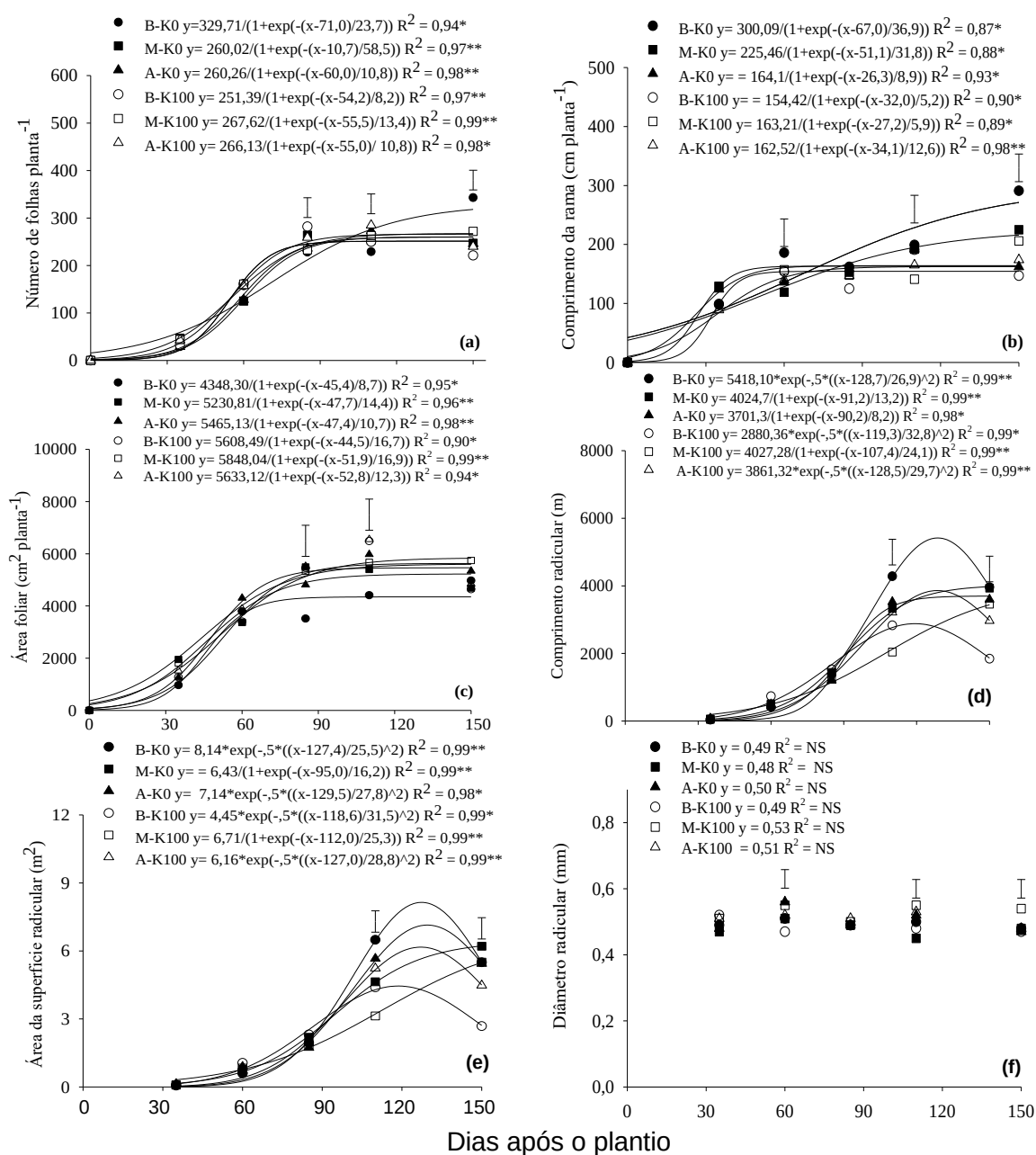
até o final do ciclo (Figura 15b). Portanto, no final do ciclo, o maior comprimento das ramas ocorreu no tratamento B-K0 e os menores nos tratamentos B-K100, A-K0 e A-K100. Os tratamentos M-K0 e M-K100 apresentaram ramas com comprimento intermediário. Esses resultados indicam que sob condições deficientes de K no solo as plantas de batata-doce, em geral, tendem a emitir ramas mais compridas e com maior número de folhas (Figuras 15a e 15b).

Durante o cultivo da batata-doce no período das águas em solos com baixo e médio teores de K, cerca de 0,57 e 0,91 mmol_c dm⁻³, respectivamente, verificou que o maior comprimento da rama aconteceu entre os 65 e 85 DAP (RIBEIRO, 2020). Outros estudos mostraram que a aplicação do potássio, possibilitou o aumento do comprimento das ramas, na expansão foliar, número das folhas especialmente durante os estágios de crescimento da batata-doce (UWAH et al., 2013; DUBUYA et al., 2017); além de aumentar as raízes tuberosas, bem como a produtividade das raízes comerciais (DUBUYA et al., 2017).

A área foliar (Figura 15c) das plantas de batata-doce aumentou em todos os tratamentos desde o plantio até os 85 DAP e manteve-se relativamente constante até o final do ciclo (Figuras 15c). Contudo, o tratamento B-K0 foi o que apresentou menor área foliar que os demais, principalmente no período entre 85 e 110 DAP (Figura 15c). Esses resultados indicam que plantas de batata-doce deficiente em K podem até ter ramas mais compridas e com maior número de folhas, mas as folhas são de menor tamanho, o que reflete em menores valores de área foliar por planta (Figura 15a-c). Ao estudar o crescimento de genótipos de batata-doce de polpa alaranjada, branca e creme, em solos com cerca de 5,5 mmol_c dm⁻³ de K, considerado alto, Guedes (2021) obteve a maior área foliar com a cultivar 'Canadense' aos 70 DAP. Conceição et al. (2005), estudando as cultivares 'Abobora' e 'Da Costa', obtiveram áreas foliares crescentes até os 150 dias após o transplante para ambas as cultivares.

Por sua vez, a área foliar foi crescente até 60 ou 80 DAP e em seguida diminuiu para as cultivares 'ESAM 1', 'ESAM 2', 'ESAM 3', 'Branca do Rio de Janeiro' e 'Califórnia' (CÂMARA et al., 2017). Estudo feito por Trehan et al. (2009), mostrou que a aplicação de K aumentou o comprimento da rama, o vigor da cultura, e a expansão foliar, particularmente nas fases iniciais de crescimento da cultura da batata-doce, ou seja, resultados similares ao do presente estudo em que a expansão foliar foi maior nos tratamentos com maior disponibilidade de K (Figuras 15a e 15c).

Figura 15 – Número de folhas por planta (a), comprimento da rama principal (b), área foliar por planta (c), comprimento de raízes absorventes por planta (d), superfície de raízes absorventes por planta (e) e diâmetro médio de raízes absorventes (f) da batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; NS: não significativo pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K



O aumento da área foliar favorece a processo fotossintético com a máxima eficiência entre a absorção de luz e a conversão em reservas para o crescimento da

raiz tuberosa (SOMDA; KAYS 1990; NAIR; NAIR, 1995; LOPES, 2021). Contudo, muita área foliar estimula o crescimento vegetativo da batata-doce, além de provocar o auto sombreamento, devido ao aumento da MS da parte aérea em detrimento da MS das raízes tuberosas (ECHER e FERNANDES, 2021; LIMA, 2022).

As raízes absorventes apresentaram crescimento constante em comprimento desde o plantio até por volta dos 120-130 DAP nos tratamentos B-K0, B-K100 e A-K100 (Figura 15d). Aos 110 DAP os maiores comprimentos radiculares ocorreram no tratamento B-K0 e os menores nos tratamentos B-K100 e M-K100. Porém, no final do ciclo os maiores comprimentos radiculares ocorreram nos tratamentos B-K0 e M-K0 e os menores nos tratamentos B-K100 e A-K100. Portanto, nota-se que, em geral, no solo deficiente em K e sem nenhum suprimento dele (B-K0) as plantas de batata-doce apresentaram raízes absorventes mais compridas do que nos tratamentos com maior disponibilidade de K (Figura 15a). Liu et al. (2017), avaliando dois genótipos de batata-doce, um sensível a deficiência de K e outro tolerante, verificaram que sob deficiência de K o comprimento da raiz e a área superficial do genótipo sensíveis ('Ningzishu 1') foram reduzidos em maior proporção do que no genótipo tolerante ('Xushu 32').

A superfície radicular aumentou do plantio até os 110 DAP nos tratamentos B-K0, A-K0, B-K100 e A-K100, enquanto nos tratamentos M-K0 e M-K100 ela aumentou até no final do ciclo (Figura 15e). Em geral, aos 110 DAP a maior superfície radicular ocorreu no tratamento B-K0 e a menor no tratamento M-K100. Contudo, no final do ciclo os valores de superfície radicular não diferiram entre os tratamentos B-K0, M-K0, A-K0 e M-K100, mas foram maiores do que no tratamento B-K100. O tratamento M-K100 apresentou valores intermediários de superfície radicular no final do ciclo. Tais resultados indicam que em geral os tratamentos sem suplementação de K via fertilizante (B-K0, M-K0 e A-K0) apresentaram uma tendência de ter maior superfície radicular de absorção na fase final do ciclo da cultura. O aumento da densidade radicular no solo pode ajudar a diminuir a concentração de K na solução da rizosfera, o que acelera a difusão do K para a raiz e estimula a liberação de K não trocável do solo (ZÖRB et al., 2014). Um sistema radicular maior geralmente tem maior aquisição de K do solo.

Os dados de diâmetro radicular não se ajustaram a nenhum modelo de regressão, mantendo-se relativamente inalterados durante todo o ciclo da batata-doce (Figura 15f). Porém, aos 60 DAP o tratamento A-K0 apresentou raízes absorventes mais grossa do que o tratamento B-K100. Aos 110 DAP as raízes absorventes no

tratamento M-K100 eram mais grossas do que no tratamento M-K0, ao ponto que no final do ciclo o tratamento M-K100 manteve um padrão de raízes mais grossas que os demais tratamentos. Em geral, o suprimento de K teve mais efeito sobre o comprimento e a superfície radicular do que sobre o diâmetro médio das raízes, uma vez que os comportamentos do comprimento e da área superficial de raízes foi similar entre os tratamentos. Contudo, Liu et al. (2017), mostraram que a proporção de raízes finas ($\varnothing < 0,5$ mm) e raízes espessas ($\varnothing > 1,0$ mm) da cultivar 'Xushu 32' (tolerante a deficiência de K) aumenta significativamente sob condição de deficiência de K. De acordo com Liu et al. (2017), o diâmetro radicular é classificado em raízes finas ($<0,5$ mm), raízes médias (0,5 - 1,0mm) e raízes grossas ($>1,0$ mm), ou seja, este estudo mostrou que o sistema radicular absorvente da cultivar Canadense é composto por raízes de diâmetro fino e médio.

As plantas de batata-doce produzem raízes adventícias com proliferação de raízes laterais que podem inchar ou engrossar para formar estruturas localizadas de armazenamento de carboidratos à medida que o crescimento avança (LEWTHWAITE e TRIGGS, 2009; VILLORDON et al., 2014). Por outro lado, quando se tem raízes adventícias com raízes laterais subdesenvolvidas e o tecido estelar lignificado reduz a formação de raízes tuberosas (ausência do inchaço). Sendo assim, a formação de raízes adventícias é fundamental para a formação de raízes de armazenamento ou tuberosa (VILLORDON et al., 2014). Por sua vez, as raízes tuberosas de batata-doce podem iniciar atividades meristemáticas e produzir brotos e raízes do órgão de armazenamento (FIRON et al., 2009).

Segundo Villordon et al. (2009), as raízes adventícias iniciadas dentro de 7 dias após o plantio (DAP) representaram 86% da produção final de raiz tuberosa da batata-doce 'Beauregard' sob certas condições. Togari (1950), constatou que as variáveis ambientais e de manejo dentro dos primeiros 20 DAP influenciaram a atividade adventícia do câmbio radicular na batata-doce e a taxa de iniciação da raiz tuberosa, que por sua vez determinou a produtividade. Nesse período, é fundamental para que se tenha uma maior sobrevivência das ramas transplantadas que as condições ambientais como a precipitação e a umidade inicial do solo sejam ideais (VILLORDON et al, 2012; GAJANAYAKE et al., 2013 ; THOMPSON et al., 2017).

Um estudo em hidroponia com três genótipos de batata-doce, sendo um com baixa eficiência de uso do K ('Ji22'), um com alta eficiência de absorção de K ('Nan88') e outro com alta eficiência de uso do K ('Xu28'), mostrou que o comprimento das raízes

de diâmetros finos ($<0,25$ mm) e médios ($0,25-0,5$ mm) foi significativamente menor para as plantas deficientes em K do que para as plantas suficientes em K de todos os genótipos (WANG et al., 2018).

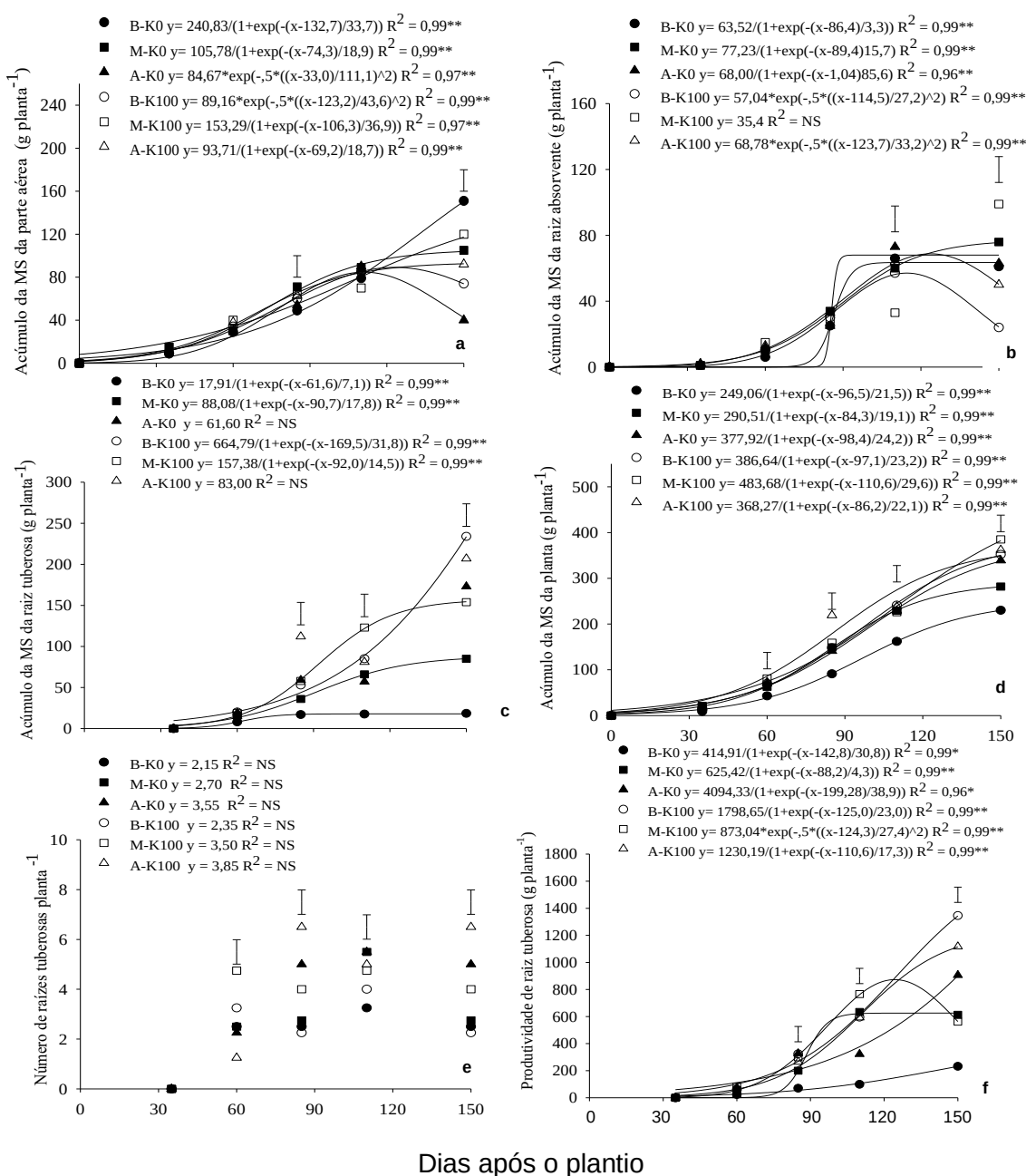
Na parte aérea, o acúmulo de MS aumentou até os 110 DAP no tratamento A-K0 e até os 130 DAP no tratamento B-K100, mas depois diminuíram (Figura 16a). Até ao 110 DAP praticamente não houve diferença entre os tratamentos em relação ao acúmulo de MS na parte aérea. Aos 150 DAP (final do ciclo) o maior acúmulo de MS na parte aérea foi observado no tratamento B-K0 e os menores acúmulos no tratamento A-K0. Nos demais tratamentos o acúmulo de MS na parte aérea das plantas apresentou valores intermediários. O aumento na MS da parte aérea até o final do ciclo pode estar relacionado com as condições ótimas de temperatura, luz e umidade no interior da casa de vegetação (Figuras 2).

O acúmulo de MS nas raízes absorventes aumentou até o final do ciclo nos tratamentos M-K100 e M-K0 e até os 110 DAP nos outros tratamentos (Figura 16b). Porém, nos tratamentos B-K100 e A-K100 houve redução significativa na biomassa de raízes absorventes entre os 110 e 150 DAP. Aos 110 DAP o maior acúmulo de MS de raízes absorventes ocorreu no tratamento A-K0 e o menor no tratamento M-K100. No entanto, no final do ciclo, o tratamento M-K100 acumulou as maiores quantidades de MS nas raízes absorventes e o tratamento B-K100 apresentou os menores acúmulos, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores intermediários de acúmulo de MS neste órgão da planta.

Na raiz tuberosa o acúmulo de MS aumentou expressivamente até o final do ciclo em todos os tratamentos com maiores níveis de disponibilidade de K, apesar dos dados do solo com alto teor de K não terem se ajustados a nenhuma equação de regressão (Figura 16c). A partir dos 85 DAP todos os tratamentos com maior disponibilidade de K passaram a acumular maior quantidade de MS nas raízes tuberosas que o tratamento B-K0, ou seja, deficiente em K. No final do ciclo os maiores acúmulos de MS nas raízes tuberosas ocorreram nos tratamentos B-K100, A-K100, A-K0 e M-K100, enquanto o menor acúmulo ocorreu no tratamento B-K0. O tratamento M-K0 apresentou acúmulos intermediários de MS nas raízes tuberosas. Esses resultados indicam que mesmo em solo com maior disponibilidade inicial de K a suplementação de K via fertilizante é fundamental para aumentar o acúmulo de biomassa nas raízes tuberosas, pois mesmo em solo com média disponibilidade inicial

de K se não houver aplicação adicional de K o acúmulo de MS nas raízes tuberosas fica comprometido.

Figura 16 – Quantidade de MS acumulada na parte aérea (a), raízes absorventes (b), raízes tuberosas (c) e na planta inteira (d), número (e) e produtividade de raízes tuberosas por planta (f) da batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; NS: não significativo pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K



Estudos anteriores com a cultivar 'Canadense' mostraram que o maior crescimento da raiz tuberosa ocorreu entre os 115 e 130 DAT em condições de campo em um solo com alto teor de K ($2,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (ECHER et al., 2009). Estudos com clones de batata-doce de polpa alaranjada em solos com $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, considerado alto, obtiveram os maiores acúmulos da MS na raiz tuberosa durante a fase final do ciclo (LOPES, 2021). É notável que a partir dos 110 DAP alguns tratamentos tais como A-K0 e B-K100 apresentaram redução na MS de parte aérea e aumento da MS de raiz tuberosa (Figuras 18a e 18c). Isso se deve principalmente porque a raiz tuberosa passa a ser o principal dreno das plantas de batata-doce após a tuberização.

Na planta inteira, a quantidade de MS acumulada até os 60 DAP foi pequena, pois as raízes tuberosas ainda estavam na fase inicial de desenvolvimento (Figura 16c-d). Depois dessa época, a quantidade de MS acumulada na planta inteira aumentou até no final do ciclo, sendo que as plantas do tratamento B-K0 foram as que acumularam as menores quantidades de MS. No final do ciclo, o tratamento M-K0 apresentou acúmulo intermediário de MS na planta inteira, enquanto os maiores acúmulos ocorreram nos tratamentos M-K100, A-K100, B-K100 e A-K0 (Figura 16d).

Esses resultados implicam que a aplicação do K no estágio hipertrófico da raiz de armazenamento (na segunda metade do estágio de crescimento) pode melhorar o desenvolvimento da parte aérea e das raízes tuberosas. De acordo com Pérez-Pazos et al. (2021), o acúmulo excessivo de biomassa foliar resultou na diminuição da produção de raízes tuberosas. Isso se confirma com os resultados obtidos desse presente estudo ao comparar o tratamento B-K0 que apresentou menor acúmulo de MS nas raízes tuberosas e maior acúmulo de MS na parte aérea (Figuras 18a-c). Pois, os assimilados que seriam translocados para as raízes tuberosas foram transferidos para emissões de novas folhas e crescimento das ramas.

O início da formação das raízes tuberosas ocorreu aos 60 DAP (Figura 16d). Porém, os dados de número de raízes tuberosas por planta não se ajustaram a nenhum modelo de regressão. Apesar da variação entre as épocas de coleta nota-se que, em média, havia maior presença de raízes tuberosas nos tratamentos dos solos com alta disponibilidade de K (A-K0 e A-K100), enquanto os menores números de raízes tuberosas por planta foram obtidos nos solos com baixa e média disponibilidade de K que não receberam adubação potássica (B-K0 e M-K0). O número de raízes tuberosas e sua massa estão diretamente relacionados com produtividade de raízes tuberosas (LIU et al., 2015). O K é fundamental para a batata-doce, pois favorece o

crescimento das raízes tuberosas por aumentar a fotossíntese líquida, o transporte de sacarose e promover a atividade de enzimas relacionadas ao desenvolvimento das raízes tuberosas (FUJISE e TSUNO, 1962; LIU et al., 2013; WANG et al., 2017).

Resultados neste estudo mostraram que apesar da batata-doce manter o desenvolvimento foliar e das ramas sob condição de deficiência de K, ela não consegue emitir o mesmo número de raízes tuberosas que as plantas crescidas sob condições de maior disponibilidade de K. As raízes tuberosas são consideradas os principais drenos da batata-doce e para sua melhor formação requer fotoassimilados que são produzidos e transferidos das folhas (fonte) para as raízes em desenvolvimento (RAVI e INDIRA, 2010; RIBEIRO, 2020). Contudo, se a planta estiver deficiente em K não é garantia que o bom desenvolvimento foliar resulte em maior formação de raízes tuberosas.

A produtividade de raízes tuberosas foi crescente a partir dos 85 DAP até o final do ciclo, exceto nos tratamentos do solo com médio teor de K em que a produtividade máxima foi obtida por volta dos 110 DAP (Figura 16f). No final do ciclo, as maiores produtividades de raízes tuberosas ocorreram nos tratamentos B-K100 e A-K100, seguidos do tratamento A-K0. Os tratamentos do solo com médio teor de K (M-K0 e M-K100) apresentaram produtividades intermediárias, enquanto as menores produtividades ocorreram no tratamento com baixo teor de K e que não recebeu adubação potássica (B-K0) (Figura 16f).

Estudos com clones de batata-doce de polpa alaranjada em solos com alto teor de K, mostraram que a maior produtividade total de raiz tuberosa variou entre 3,7 a 37,8 t ha⁻¹ no período entre 60 a 120 DAP, respectivamente, para o clone 'IAC-484' (LOPES, 2021). A aplicação de K estimula o acúmulo de K na batata-doce e aumenta a produtividade das raízes tuberosas porque tem um impacto substancial na distribuição e acúmulo de matéria seca nas raízes tuberosas (SHI et al., 2002; NING et al., 2012; WANG et al., 2017). No entanto, a aplicação excessiva de K resulta na absorção desnecessária de K pela batata-doce, o que diminui a taxa de utilização de K (FOLONI et al., 2013).

4.2.3 Absorção e exportação de nutrientes pela batata-doce

A absorção de N em todos os tratamentos aumentou deste o plantio até os 85 DAP e depois manteve-se relativamente estável até o final do ciclo, indicando que as

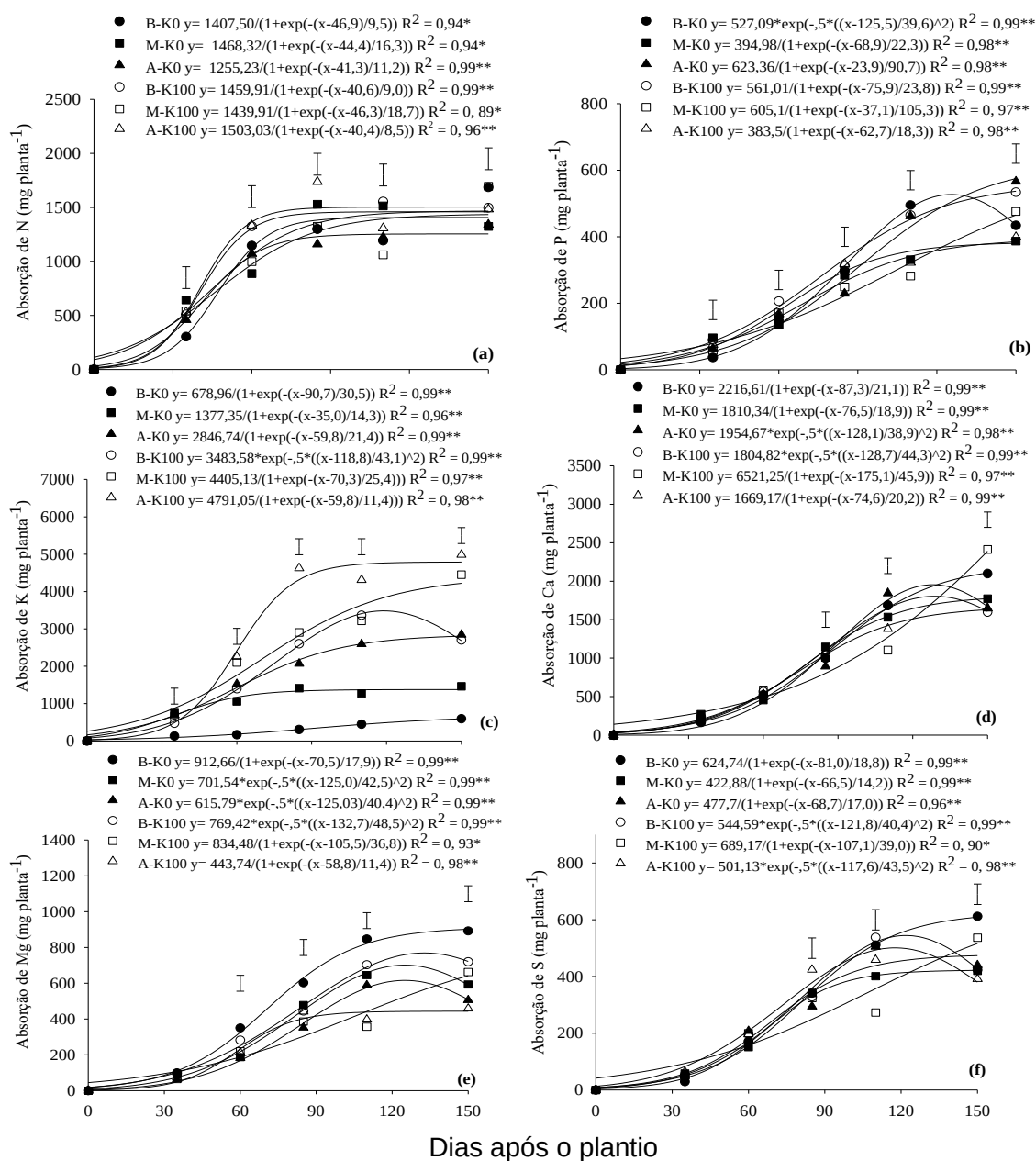
plantas absorveram todo o N que necessitavam cerca de 65 dias antes de finalizar o ciclo (Figura 17a). Em geral, aos 85 DAP a maior absorção de N ocorreu no tratamento A-K100 e a menor no tratamento A-K0, mas no final do ciclo os maiores valores de absorção de N ocorreram no tratamento M-K0, ou seja, com média disponibilidade inicial de K e não fertilizado com K. Isso mostra que é preciso ter uma boa disponibilidade de K no solo para haver maior absorção de N pelas plantas de batata-doce.

Com relação ao K, a sua absorção aumentou até o final do ciclo nos tratamentos M-K100, A-K0, e B-K0, enquanto nos tratamentos A-K100 e M-K0 a absorção de K se estabilizou a partir dos 85 DAP (Figura 17c). As plantas do tratamento B-K100 atingiram a absorção máxima de K aos 110 DAP e depois a absorção de K diminuiu neste tratamento. No final do ciclo, os tratamentos que mais absorveram K foram aqueles dos solos com alta e média disponibilidade inicial de K e que receberam fertilização potássica (A-K100 e M-K100), e as plantas que menos absorveram K foram as dos solos com baixo e médio teor de K que não receberam suplementação potássica (B-K0 e M-K0). No solo com baixo teor de K que recebeu K via adubação (B-K100) e no solo com alto teor de K que não recebeu aplicação de K (A-K0) as quantidades de K absorvidas pelas plantas foram intermediárias. Estudos realizados em um experimento com deficiência de K com sete genótipos de batata-doce, mostraram que o maior acúmulo de K entre todos os genótipos ocorreu aos 100 DAP, e após esse período diminuiu em diferentes graus de desenvolvimento da batata-doce (DONG WANG et al., 2015).

A absorção de P, Ca, Mg e S em todos os tratamentos aumentaram durante o ciclo e atingiram os valores de máxima absorção entre 110 e 150 DAP (Figura 17b-f). Nota-se que no final do ciclo, os tratamentos que mais absorveram P foram aqueles dos solos com alto teor de K e sem suplementação potássica e do solo com baixo teor de K e fertilizado com K (A-K0 e B-K100) (Figura 17b). No momento da colheita os tratamentos que tinham absorvido mais Ca e S eram os tratamentos do solo deficiente em K e não fertilizado com K (B-K0) e do solo com médio teor de K e fertilizado com 100 mg dm⁻³ de K (M-K100) (Figuras 19e-f). No caso do Mg ocorreu o contrário, desde os 60 DAP até o final do ciclo, o tratamento que mais absorveu Mg foi o tratamento do solo deficiente em K e sem fertilização potássica (B-K0), ao ponto que o tratamento com alto teor de K e fertilizado com K (A-K100) cessou sua absorção de Mg depois dos 85 DAP (Figura 17e). Assim, no final do ciclo as menores absorções de Mg

ocorreram nos tratamentos com alta disponibilidade inicial de K, mesmo com esses tratamentos tendo apresentado elevados acúmulos de MS. Isso indica que o excesso de K diminuiu a absorção de Mg pelas plantas de batata-doce, demonstrando assim novamente o efeito antagônico (JAKOBSEN, 1993).

Figura 17 – Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) absorvidas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K

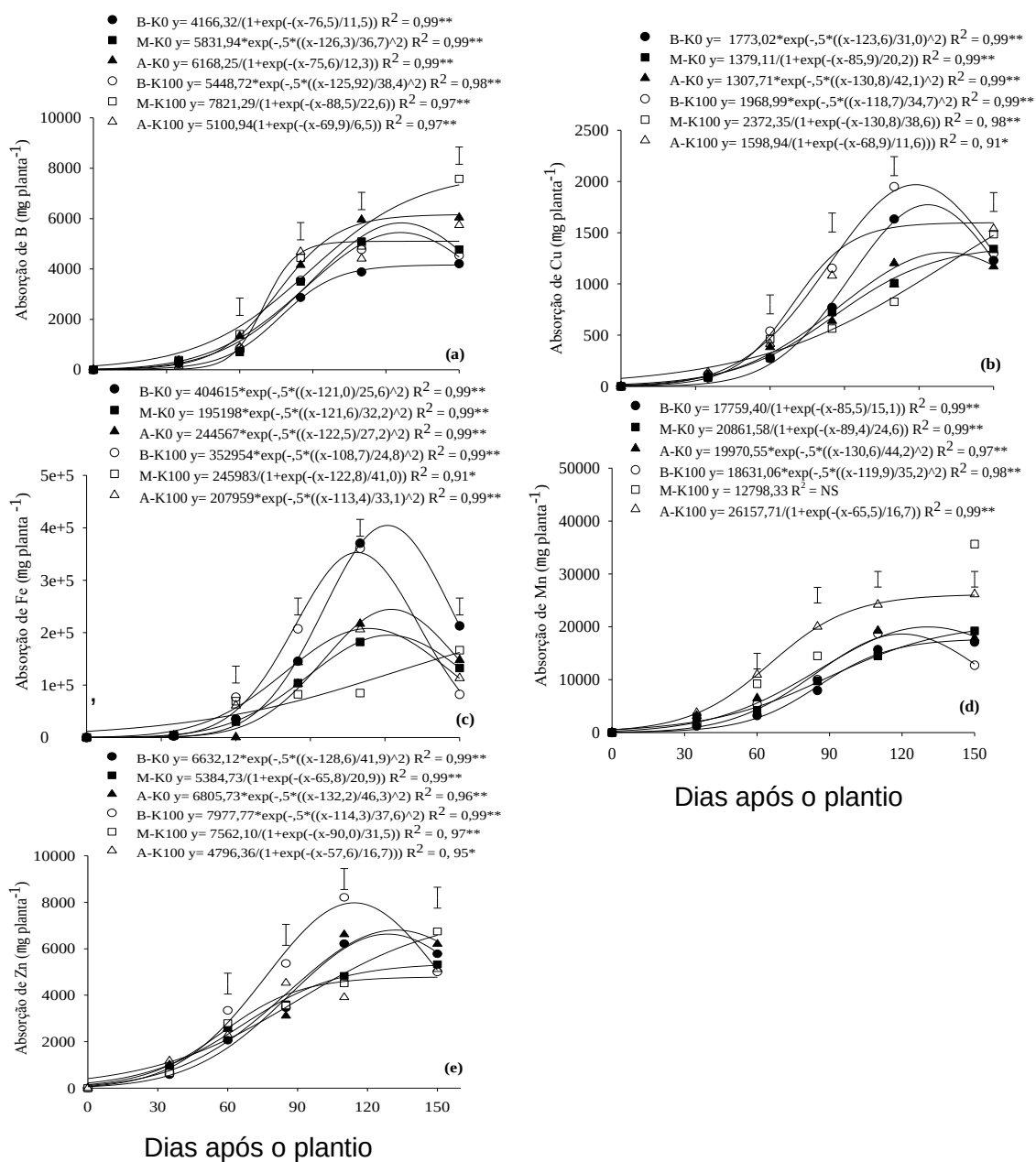


A absorção de B pelas plantas aumentou ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas e na maioria dos tratamentos a cultura atingiu a absorção máxima de B entre 110 e 150 DAP, exceto no tratamento A-K100 em que as plantas atingiram um pico de absorção aos 85 DAP e não absorveram mais B nas fases mais tardias do ciclo (Figura 18a). Em geral, o tratamento em solo com baixo teor de K e sem fertilização potássica (B-K0) absorveu as menores quantidades de B, enquanto as maiores absorções de B ocorreram nas plantas cultivadas no solo com médio teor inicial de K e fertilizado com K (M-K100).

A absorção de Cu, Mn e Zn também aumentou durante o ciclo de desenvolvimento das plantas e atingiu o pico de máxima absorção entre os 110 e 150 DAP (Figuras 20b,d,e). Nas fases intermediárias do ciclo as maiores absorções de Cu ocorreram nos tratamentos B-K100, A-K100 e B-K0, mas no final do ciclo houve maior acúmulo de Cu nas plantas dos tratamentos A-K100 e M-K100, ou seja, nos solos com média e alta disponibilidade de K e que receberam fertilização potássica. No caso do Mn, desde os 60 até os 150 DAP o tratamento A-K100 foi o que apresentou as maiores absorções de Mn, enquanto no final do ciclo as menores absorções de Mn ocorreram no tratamento B-K100, sendo que os demais tratamentos absorveram quantidades intermediárias de Mn (Figura 18d). Quanto ao Zn, sua absorção aumentou até os 110 DAP no tratamento B-K100, mas depois diminuiu. Nos outros tratamentos a absorção de Zn aumentou até próximo aos 150 DAP (Figura 18e). Na fase intermediária do ciclo o tratamento B-K100 apresentou as maiores absorções de Zn. Porém, no final do ciclo as maiores absorções de Zn ocorreram no tratamento M-K100 e as menores do tratamento B-K100.

A absorção de Fe apresentou um padrão diferente do demais micronutrientes. Nos tratamentos dos solos com baixa disponibilidade de K (B-K0 e B-K100) verificou os maiores valores de absorção de Fe aos 110 DAP, mas a absorção de Fe diminuiu expressivamente nos períodos seguintes (Figura 18c). Já no tratamento M-K100 a absorção de Fe aumentou continuamente até o final do ciclo. Nos outros tratamentos (M-K0, A-K0 e A-K100) os maiores valores de absorção de nutrientes ocorreram aos 110 DAP, mas as quantidades absorvidas nesse período eram intermediárias.

Figura 18 – Quantidades de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) absorvidas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K



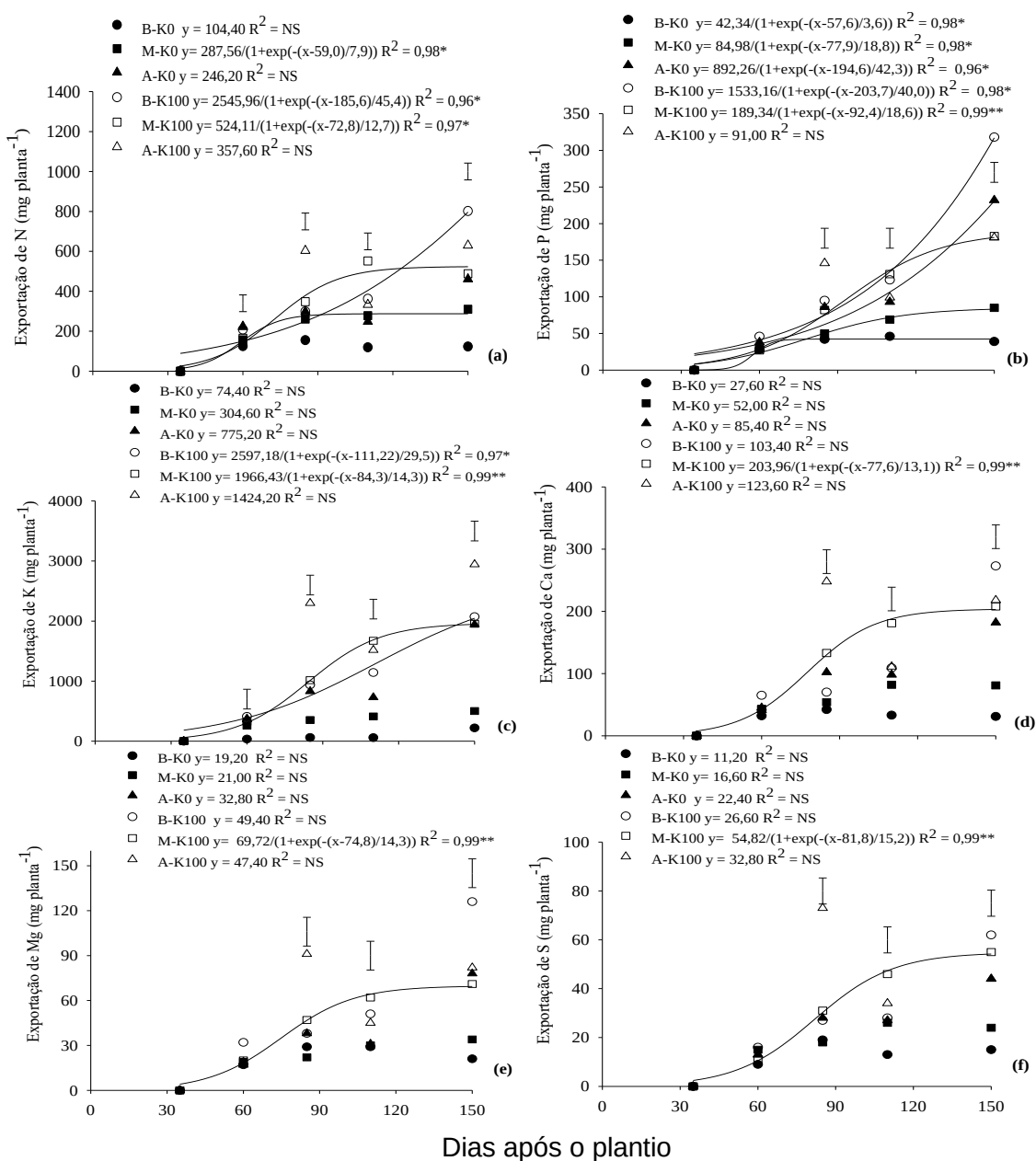
Os resultados desse estudo, mostraram que a elevada disponibilidade de K no solo promove aumentos na absorção de Mn pela cultura da batata-doce, mas quando

se analisa as quantidades de nutrientes absorvidas até o final do ciclo, constata-se que a fertilização potássica em solos com teores médios de K pode ser suficiente para promover uma absorção adequada de B, Cu e Zn. Além disso, como a absorção de Fe nas fases intermediárias do ciclo foram nos tratamentos dos solos com baixo teor de K foram maiores do que nos outros solos, infere-se que a alta disponibilidade de K no solo pode diminuir a absorção de Fe pela batata-doce. Desta forma, as maiores absorções obtidas de macronutrientes na batata-doce foram de: $K > N > Ca > Mg > S > P$ e de micronutrientes foram: $Fe > Mn > Zn > B > Cu$.

Em geral, a exportação de macronutrientes aumentou ao longo do ciclo de desenvolvimento da batata-doce, especialmente nos tratamentos em que a disponibilidade de K no solo era maior (Figura 19). Na colheita final os maiores valores de exportação de N, P, Ca, Mg e S foram observados no tratamento do solo com baixo teor de K e que recebeu fertilização potássica (B-K100). Em contrapartida, as menores exportações de macronutrientes ocorreram nos tratamentos não fertilizados com K dos solos com baixo e médio teor de K (B-K0 e M-K0). No caso do K, o tratamento A-K100 apresentou os maiores valores de exportação, seguido dos tratamentos B-K100, M-K100 e A-K0. Isso mostra que a adubação potássica aumentou os teores de K das raízes tuberosas, o que refletiu em elevada exportação de K no solo com alto teor de K e fertilizado com K. Já para os outros macronutrientes, nota-se que o maior valor de exportação no tratamento B-K100 é resultado da maior quantidade de MS acumulada nas raízes tuberosas das plantas desse tratamento (Figura 16c)

De acordo com George et al. (2002), o acúmulo de K nas raízes representa 65% do total acumulado, tendo as folhas com uma representação de 10,5% e o caule com 18,17%. Considerando que a aplicação de K desempenha um papel significativo na distribuição e acúmulo de matéria seca nas raízes tuberosas (SHI et al., 2002), e que seu fornecimento também estimula o acúmulo de K em batata-doce e aumenta a produção das raízes tuberosas (LI et al., 2015; NING et al., 2012; WANG et al., 2018), sua aplicação em quantidades adequadas é fundamental. Dosagens adequadas de potássio em espécies produtoras de raízes tuberosas promovem a formação e o transporte de carboidratos, melhoram a absorção de nitrogênio e a produção de raízes comerciais (FILGUEIRA, 2008).

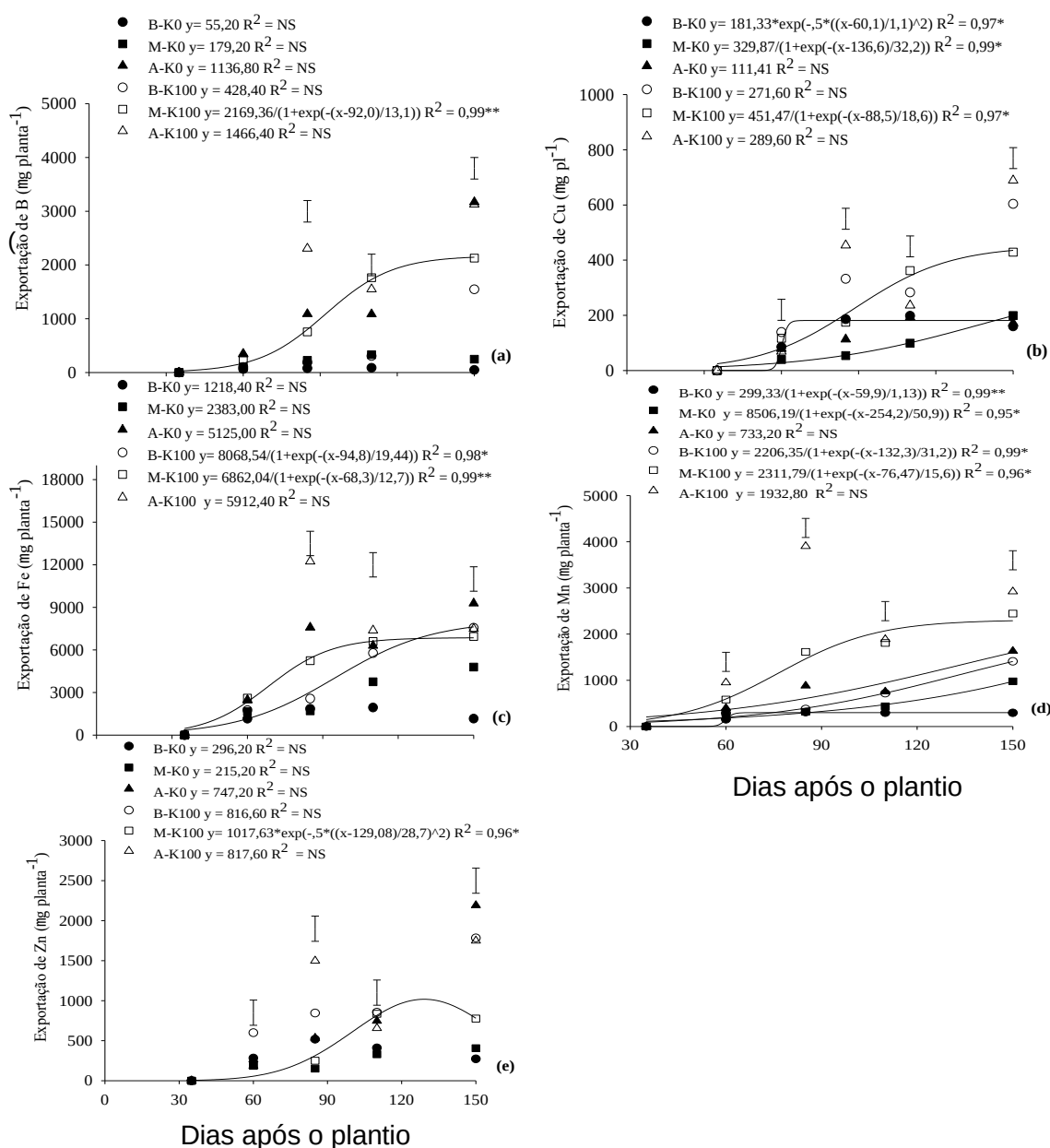
Figura 19 – Quantidades de N (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e) e S (f) exportadas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K



Em relação a exportação de micronutrientes a maioria dos dados não se ajustaram a modelos de regressão (Figura 20). Contudo, nota-se que houve aumento

na exportação de micronutrientes em função do aumento na idade das plantas até atingir a época de colheita. Em geral, os tratamentos não fertilizados com K e que tinham solos com baixo e médio teores de K (B-K0 e M-K0) apresentaram as menores exportações de micronutrientes no período entre 110 e 150 DAP.

Figura 20 – Quantidades de B (a), Cu (b), Fe (c), Mn (d) e Zn (e) exportadas pela batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K



Na fase final do ciclo, as maiores exportações de B, Fe e Zn ocorreram no tratamento A-K0 e os tratamentos M-K100 e B-K100 exportaram quantidades intermediárias de B e Fe (Figuras 22a, c, e). A maior exportação de Cu ao final do ciclo ocorreu nos tratamentos A-K100 e B-K100, mas no caso do Mn os tratamentos A-K100 e M-K100 apresentaram os maiores valores de exportação desde os 110 DAP até o final do ciclo (Figuras 22b, d). Esses resultados indicam que a elevada disponibilidade de K no solo não resulta necessariamente em maior exportação de micronutrientes, uma vez que os tratamentos dos solos com baixo e alto teor de K e fertilizados com K (B-K100 e A-K100) que acumularam as maiores quantidades de MS nas raízes tuberosas não foram os tratamentos que exportaram as maiores quantidades de B, Fe e Zn (Figuras 22a, c, e). Contudo, os resultados deste estudo mostraram que para os micronutrientes Cu e Mn o aumento na disponibilidade de K no solo incrementou as exportações desses nutrientes, tendo em vista que o tratamento A-K100 que produziu as maiores biomassas de raízes tuberosas também exportaram as maiores quantidades de Cu e Mn (Figuras 22b, d). No geral as maiores exportações obtidas de micronutrientes foram: Fe>Mn > B> Zn >Cu.

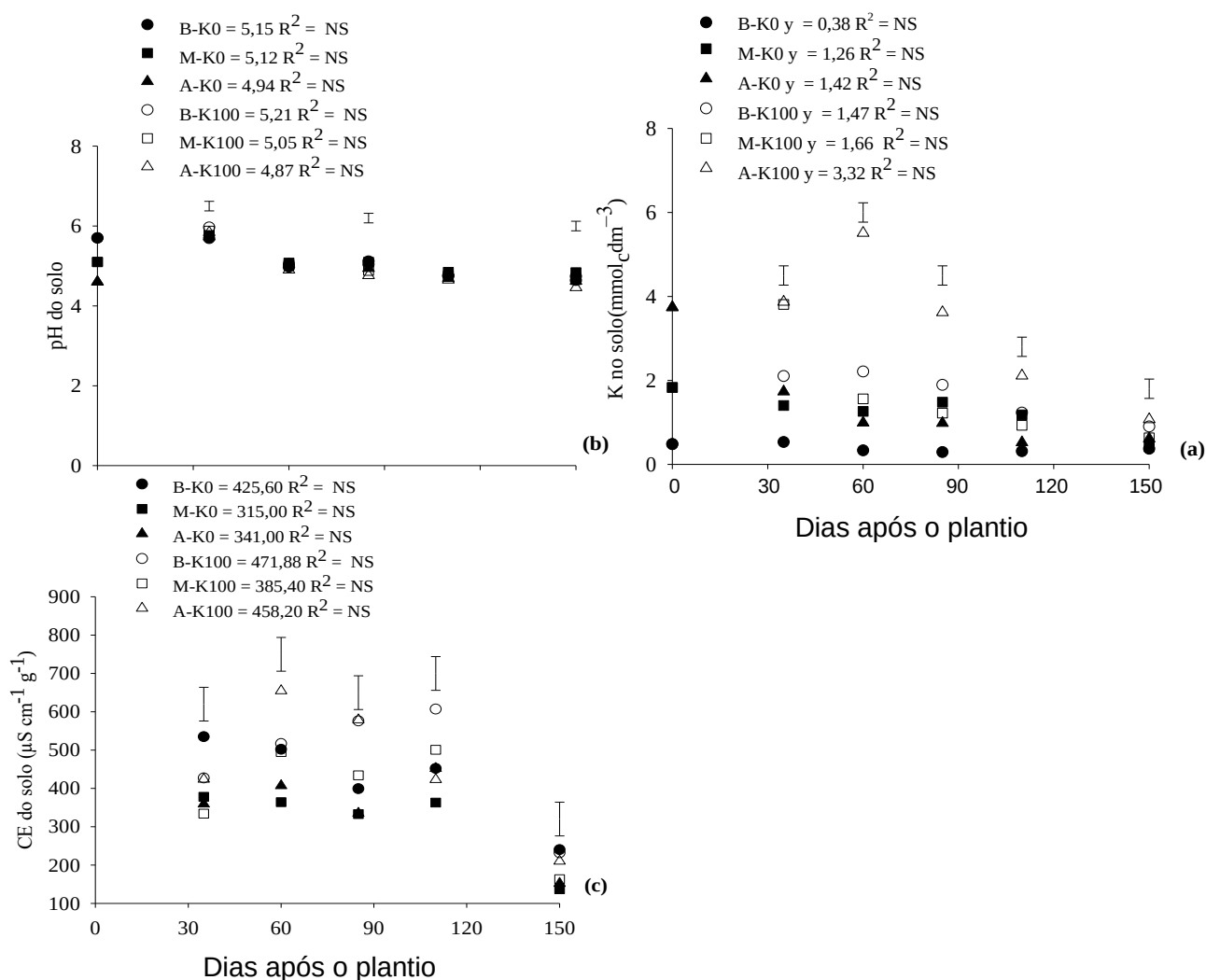
4.2.4 Teor de K trocável no solo, pH do solo e condutividade elétrica do solo

O pH, o teor de K e a condutividade elétrica do solo não se ajustaram a modelos de regressão (Figura 21). A adubação potássica pouco interferiu no pH do solo, tendo sido observado uma pequena redução no pH do solo de todos os tratamentos a partir dos 35 DAP (Figura 21a). Destaca-se que os valores de pH encontrados estavam adequados para o desenvolvimento da batata-doce, a qual se adapta a solos com pH levemente ácidos ou neutros, ou seja, produz na faixa de pH de 4,5 a 7,5, sendo a faixa ideal entre 5,6 e 6,5 (MIRANDA et al., 1995; LEBOT, 2009; PERESSIN et al., 2014, FELTRAN, 2022).

A análise inicial de K no solo indicou teores de 0,48, 1,83 e 3,74 mmol_c dm⁻³ antes do plantio da batata-doce para os solos com baixo, médio e alto teor de K, respectivamente (Figura 21b). No período entre 35 e 85 DAP, nota-se que os maiores teores de K disponível no solo ocorreram nos tratamentos que receberam a aplicação de K via fertilizante, mas depois dos 60 DAP como a absorção de K do solo pelas plantas aumentou houve uma tendência de redução da disponibilidade de K,

principalmente nos tratamentos com maiores teores de K disponível (em que houve maior absorção) e no final do ciclo os teores de K ficaram muito próximos entre todos os tratamentos, apesar da superioridade dos tratamentos que receberam o fertilizante potássico.

Figura 21 – Valores de pH (a), teor de K trocável (b), e condutividade elétrica (c) dos solos cultivados com batata-doce em resposta a disponibilidade de K no solo e a aplicação de K ao longo do ciclo. NS: não significativo; Barras verticais indicam o valor de DMS pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). B-K0, M-K0, A-K0: solos com baixo, médio e alto teor de K e sem aplicação de K; B-K100, M-K100, A-K100: solos com baixo, médio e alto teor de K e com aplicação de 100 mg dm⁻³ de K.



Principalmente entre os 60 e 110 DAP, a condutividade elétrica do solo nos tratamentos que receberam aplicação do fertilizante potássico foi maior do que nos tratamentos sem aplicação de K (Figura 21c). Contudo, no final no ciclo os valores de condutividade elétrica diminuíram e tornaram-se semelhantes entre os tratamentos.

O principal fertilizante potássico utilizado no Brasil é o cloreto de potássio (KCl), que possui elevado índice de salino, o que causa impacto na pressão osmótica da solução iônica (ALCARDE et al., 1998; MALAVOLTA, 2006). Altas doses desse fertilizante reduzem o crescimento das plantas devido à toxicidade ocasionada pelo cloro, porque o KCl contém 47% de cloro, que também é um nutriente da planta, e aumenta a salinidade na região rizosfera (ECHER, 2009b).

A batata-doce possui uma resistência mediana à salinidade do solo (1,5 mS/cm), mas em regiões costeiras ou áreas agrícolas irrigadas, em regiões com baixa precipitação e alta evaporação, os sais podem se acumular perto das raízes devido à água da irrigação ou à ascensão do lençol freático. Os sintomas típicos de toxidez provocado pela salinidade, são lesões necróticas profundas em folhas mais velhas, seguidas de rápida senescência e morte das folhas (FERREIRA, 2021).

5 CONCLUSÃO

a) Condições de campo

O parcelamento da adubação potássica em três épocas se mostrou mais eficiente no aumento da produtividade nos solos com baixa disponibilidade inicial de K, além de que, foi superior na absorção e remoção na maioria dos nutrientes em condições de campo. Já em solos com média e alta disponibilidade inicial o parcelamento da adubação potássica em duas vezes é o mais indicado.

A resposta da cultura da batata-doce ao fertilizante potássico aplicado ao solo com baixa disponibilidade de K foi maior do que nos solos mais férteis.

A adubação potássica aumentou o crescimento da planta, a MS da parte aérea e a produtividade das raízes nos solos com baixa, média e alta disponibilidade de K no solo em até as doses de 191, 142 e 89 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

A diagnose foliar para a maioria dos nutrientes se mostrou adequadas em que a adubação potássica interferiu apenas na redução dos teores de Mg no solo com baixa fertilidade e na redução do Ca e S de todos os solos estudados.

Aumentos na absorção de N, P, Ca, S, Cu, Fe, Mn, B e na exportação de N, P, Mg e Mn foram proporcionados pela adubação potássica. O excesso da adubação potássica reduziu a absorção de Mg e Zn, além de reduzir a exportações de B, Cu e Zn. Em solos com alta disponibilidade de K a adubação diminuiu a exportação de Ca e S.

b) Condições de casa de vegetação

O crescimento vegetativo da batata-doce foi até o final do ciclo de todos os tratamentos em que o tratamento B-K0 foi o que apresentou maior número de folhas, comprimento da rama resultou no maior acúmulo da MS da parte aérea. Além de que esse tratamento obteve a maior área da superfície e comprimento radicular.

Esse favorecimento da formação vegetativa do tratamento B-K0 interferiu na formação da raiz tuberosa, uma vez que este tratamento apresentou a menor produtividade e acúmulo de MS na raiz.

As raízes foram formadas a partir dos 60 DAP, a maior absorção e exportação dos nutrientes foi entre os 85 a 110 DAP.

A adubação potássica aumentou a absorção de N, Ca, B, Fe, Mn e Zn e diminuiu a absorção de Mg e S.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 43p, 1998.
- ARAÚJO, H.S.; de QUADROS, B.R.; CARDOSO, A. I.I., ; CORRÊA, C.V Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 469-475, 2012.
- ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J.; OLESEN, J.E. Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. **Soil Use and Management**, v.19, n.2, p.96-103, 2003.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 32, n. 7-8, p. 921-950, 2001.
- BATISTA, M.A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, LO.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, cap.4, p.113-162, 2018.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas** (Noções Básicas). Jaboticabal: FUNEP, 41 p. 2003.
- BOARETTO, R.M; QUAGGIO, J.A; MELLIS, E.V; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In: CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; MATTOS J.R.D; BOARETTO, R.M; VAN RAIJ, B (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo (IAC) Campinas (SP), p.121-129, 2022.
- BOURKE, R.M. Influence of nitrogen and potassium fertilizer on growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in Papua New Guinea. **Field Crops Research**, v. 12, p. 363-375, 1985.
- BROUDER, S.M.; CASSMAN, K.G. Root development of two cotton cultivars in relation to potassium uptake and plant growth in a vermiculitic soil. **Field Crops Research**, v. 23, n. 3-4, p. 187-203, 1990.
- BRITO, C. H. D.; OLIVEIRA, A. P. D. U.; ALVES, A. U.; DORNELES, C. S.; dos SANTOS, J. F.; NÓBREGA, J. P. Produtividade da batata-doce em função das doses de K₂O em solo arenoso. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 320-323, 2006.
- CÂMARA, F.A.; GRANGEIRO, L.C.; DOMBROSKI, J.L.; FREITAS, R.M.; FREITAS, F.C., NEGREIROS, M.Z. Crescimento de cultivares de *Ipomoea batatas* oriundas de rebentos produzidas de forma convencional e in vitro. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, n. 2, p. 363-372, 2017.

CARDOSO, S.S. **Rendimento e qualidade de batata-doce em função de doses e fontes de K₂O**. 46f. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba. AREIA, 2018.

CECÍLIO FILHO, A.B.; NASCIMENTO, S.; SILVA, A.S.; VARGAS, P.F. Desempenho agrônomo de batata-doce sob diversos níveis de K. **Horticultura Brasileira**, p. 588-592, 2016.

CONCEIÇÃO, M.K.da.; LOPES, N.F.; FORTES, G.R.de.L. Partição de Matéria Seca entre Órgãos de Batata-Doce (*Ipomoea Batatas* (L.) Lam), Cultivares Abóbora e Da Costa. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 313 - 316, 2004.

CORRÊA, C.V.; GOUVEIA, A.M.D.S.; LANNA, N.D.B.L.; TAVARES, A.E.B.; MENDONÇA, V.Z.; CAMPOS, F.G.; EVANGELISTA, R.M.; The split application of potassium influence the production, nutrients extraction, and quality of sweet potatoes. **Journal of plant nutrition**, v. 41, n. 16, p. 2048-2056, 2018.

COSTANTINE, M.K. **Response of sweet potato (*Ipomoea batatas*) to organic and inorganic fertilizers in loamy sand soil at Tumbi, Tabora, Tanzania**. Tese de Doutorado. Sokoine University of Agriculture, 2016.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, p. 71-86, 2005.

DA SILVA, L.D.; OLIVEIRA, A.P.D.; CRUZ, J.M.D.L.; SOUSA, V.F.D. O.; SILVA, A.J.D.; SILVA, M.C.D Sweet potato yield in response to different potassium sources and splitting of fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, p.527-532, 2022.

DONG WANG, J.I; WANG, H.; ZHANG, Y.; ZHOU, J.; CHEN, X. Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. **Field Crops Research**, v. 170, p. 76-82, 2015.

ECHER, F.R.; CRESTE, J.; DE LA TORRE, E.J.R. **Nutrição e adubação da batata-doce**. Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista. 94p, 2015.

ECHER, F.R.; DOMINATO, J.C.; CRESTE, J.E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura brasileira**, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009a.

ECHER, F.R.; DOMINATO, J.C.; CRESTE, J.E.; SANTOS, D.H. Fertilização de cobertura com boro e potássio na nutrição e produtividade da batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 171- 175, 2009b.

ECHER, F.R.; FERNANDES, A.M. **Nutrição na batata-doce**. Brasília: Embrapa Hortaliças, Sistema de Produção da Batata-doce. 2021. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_lifecycle=0&p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaof6_1ga1ceportlet&p_p_col_count=1&p_p_> Acesso em Ago/2021.

EL DESSOUGI, H.; CLAASSEN, N.; STEINGROBE, B.. Potassium efficiency mechanisms of wheat, barley, and sugar beet grown on a K fixing soil under controlled conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.165, n.6, p. 732-737, 2002.

EL-BAKY, A.; AHMED, A.A.; EL-NEMR, M. A.; ZAKI, M.F. Effect of potassium fertilizer and foliar zinc application on yield and quality of sweet potato. **Research Journal of Agriculture & Biological Sciences**, v. 6, n. 4, p. 386-394, 2010.

EMBRAPA,. Pesquisa desenvolve batatas-doces coloridas. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-denoticias/noticia/66747199/pesquisa-desenvolve-batatas-doces-coloridas-e-biofortificadas>>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

FAGERIA, N.K **The use of nutrients in crop plants**. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009.

FAGERIA, N.K.,. **Nitrogen management in crop production**. CRC press. 2014.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of plant nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FAO – Food and Agriculture Organization of the Unitates Nations. **Near East fertilizer-use manual**. Rome, Italy, FAO, 164.p, 2006.

FELTRAN, J.C; PERESSIN, 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 J.R.D; BOARETTO, R.M ; VAN RAIJ, B (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônômico (IAC) Campinas (SP), p 314-317, 2022.

FERNANDES, A.M. **Crescimento, produtividade, acúmulo e exportação de nutrientes em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 144.f Dissertação de Mestrado, Programa da Pós Graduação em Agricultura, UNESP, Botucatu, São Paulo, 2010.

FERNANDES, A.M.; ASSUNÇÃO, N.S.; RIBEIRO, N.P.; GAZOLA, B.; SILVA, R.M.D. Nutrient uptake and removal by sweet potato fertilized with green manure and nitrogen on sandy soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 2020.

FERNANDES, A.M.; RIBEIRO, N.P. Mineral nutrition and fertilization of sweet potato. **Científica**, v. 48, n. 4, p. 325-338, 2020.

FERREIRA, M.A.M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes na cultura da batata-doce**. 2017. 51 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2017.

FERREIRA, M.E. **Batata-doce**. Manual de Boas Práticas Agrícolas. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. (INIAV, I.P.). 286.p, 2021.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV. 421 p. 2008.

FIRON, N; LABONTE, D; VILLORDON, A.; MCGREGOR, C., KFIR; Y., Pressman, E Botany and physiology: storage root formation and development. In: The sweetpotato. Springer, Dordrecht, p.13-26, 2009.

FOLONI, J.S.S.; CORTE, A.J.; CORTE, J.R.N.; ECHER, F.R.; TIRITAN, C.S. Adubação de cobertura na batata-doce com doses combinadas de nitrogênio e potássio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 117-126, 2013.

FUJISE, K.; TSUNO, Y Studies on the Dry Matter Production of Sweet Potato: I. Photosynthesis in the sweet potato with special reference to measuring of intact leaves under natural conditions. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 31, n. 2, p. 145-149, 1962.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K.R.; SHANKLE, M.W.; ARANCIBIA, R. A Early-season soil moisture deficit reduces sweetpotato storage root initiation and development. **HortScience**, v. 48, n. 12, p. 1457-1462, 2013

GAZOLA, B **Produtividade e cozimento da mandioca cultivar IAC 576-70 em resposta à adubação potássica em solo arenoso**. 93.p Dissertação de Mestrado, Programa da Pós Graduação em Agricultura, UNESP, Botucatu, São Paulo. 2017.

GEORGE, M. S.; LU, G.; ZHOU, W. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Field Crops Research**, v. 77, n. 1, p. 7-15, 2000.

GOUBRAN, F. H.; RICHARDS, D. The estimation of root length in samples and sub-samples. **Plant and Soil**, v. 52, n. 1, p. 77-83, 1979.

GRIMME, H., BRAUNSCHWEIG, L.C.V., NEMETH, K. Potassium, calcium and magnesium interaction in relation to uptake and yield,. **Natural resources and development** Inst. Fur Wissenschaftliche Zusammenarbeit, Tübingen Landhau. v.. 5,. p. 84-94, 1977.

GUEDES, P.T.P **Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de clones de batata-doce de polpa alaranjada, branca e creme**. 72.p Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu-SP.2021.

HEPENG, QI; XIA, A; YUAN, L; GUOPENG, Z; JIDONG, W; YONGCHUN, Z. Effect of potassium application rate on sweet potato yield and potassium absorption and utilization. **Jiangsu Agricultural Journal** v.32, n1, p1-6, 2016.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA- Disponível em :<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em 20 de agos. de 2022.

IPNI, Potassium Interactions with Other Nutrients Disponível em: <[https://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/DD30AA083C1F782A8525798000820361/\\$FILE/Better%20Crops%201998-3%20p12.pdf](https://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/DD30AA083C1F782A8525798000820361/$FILE/Better%20Crops%201998-3%20p12.pdf)>. Acesso em 2 de jan de 2022.

JAKOBSEN, S.T. Interaction between plant nutrients: III. Antagonism between potassium, magnesium and calcium. **Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences**, v. 43, n. 1, p. 1-5, 1993.

JIA, Z.; MA, P.; BIAN, X.; GUO, X.; XIE, Y.,. Effects of different phosphorus application rates on dry matter accumulation and N, P, K absorption and utilization in sweetpotato. **Southwest China Journal of Agricultural Sciences**, v.29, n. 6, p.1358-1365. 2016.

JIAN-WEI, L.; FANG, C.; YOU-SHENG, X.; YUN-FAN, W.; DONG-BI, Sweet potato response to potassium. **Better Crops International**, v. 15, n. 1, p. 10, 2001.

KAREEM, I. **Fertilizer treatment effects on yield and quality parameters of sweet potato (*Ipomoea batatas*)**. 2013.

LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams, and aroids**. Wallingford : CABI, (Crop Production Science in Horticulture, 17). 432 p, 2009.

LIMA, C.L.R.F **Variáveis de crescimento e desenvolvimento em acessos de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 79.p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2022.

LIU, H.; SHI, C.; ZHANG, H.; WANG, Z.; CHAI, S. Effects of potassium on yield, photosynthate distribution, enzymes' activity and ABA content in storage roots of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, p. 735-743, 2013.

LIU, M.; ZHANG, A.J.; CHEN, X.G.; JIN, R.; LI, H.M.; TANG, Z.H. Effects of potassium deficiency on root morphology, ultrastructure and antioxidant enzyme system in sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) during early growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 9, p. 211, 2017.

LIU, Y.; YANG, S.; SHI, Y.; LIU, Q. Effects of potassium chloride on growth characteristics and yield of sweet potato. **Acta Agricultura e Boreali-Sinica**. v.3, 2015.

LOPES, D.C. **Caracterização do desenvolvimento de clones de batata-doce de polpa alaranjada** 64.P. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP. 2021.

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van., CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas. p. 221-229, 1997.

MALAVOLTA, E. Potássio: absorção, transporte e redistribuição na planta. **Informações Agrônômicas**, v. 108, p. 1-16, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 638p. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Revista Atual. Piracicaba: POTAFOS, 319 p, 1997.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Academic press, 3 ed. Elsevier, 649. p, 2012.

MATTOS JR, A; BOARETTO, R.M; QUAGGIO, J.A. Cálcio, magnésio e enxofre. In: CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; MATTOS J.R.D; BOARETTO, R.M ; VAN RAIJ, B (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico (IAC) Campinas (SP), p.113-120, 2022a.

MATTOS JR, A; BOARETTO, R.M; QUAGGIO, J.A. Potássio. In: CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; MATTOS J.R.D; BOARETTO, R.M ; VAN RAIJ, B (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico (IAC) Campinas (SP), p.106-112, 2022b.

MENG, W; ZENGGUO, F; BIN, L; LUSHENG, Z; JUNLIANG, L Effects of Combined Application of Nitrogen and Potassium Fertilizer on Yield and Quality of Fresh-eating Sweet Potato in Soil with High Fertility **Acta Agricultura and Boreali-Sinica**, v.31,n.5, p.:199-2014.2016.

MENGEL, K.; KIRKBY,E.A **Princípios de Nutrição Vegetal** . Berna, Suíça: International Potash Institute.1987.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S.R, SANTOS, L,A, editores. **Nutrição Mineral de Plantas**. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 281-298, 2006.

MEURER, E.J.; TIECHER, T.; MATTIELLO, G. XII POTÁSSIO. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S.R, SANTOS, L, A, editores. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.429-464, 2018.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ. (Coleção Plantar). 94 p, 1995.

MITRA, G Essential plant nutrients and recent concepts about their uptake. In: NAEEM, M.; ANSARI, A.A.; GILL, S.S. (Ed.). **Essential plant nutrients: uptake, use efficiency, and management**. Springer, 2017.

MOHANKTIMAR, C.R.; NAIR, G.M.; GEORGE, J.; RAVINDRAN, C.S.; RAVI, V. **Production technology of tuber crops**. - CTCRI, Trivandrum, India. 2000.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.562-564, 1982.

MONTES, S.M.N.M **Cultura da batata-doce: do plantio à comercialização. Campinas**. Instituto Agronômico, 80.p, 2013.

NAIR, G. M.; NAIR, V. M. Influence of irrigation and fertilizers on the growth attributes of sweet potato. **Journal of Root Crops**, v. 21, n. 1, p. 17-23, 1995.

NING, Y.; CAO, B.; ZHU, L.; ZHANG, Y.; WANG, J.; XU, X.; MA, H Effects of potassium application rates on dry matter accumulation, dry matter distribution, and potassium efficiency of sweet potato. **Jiangsu Journal of Agricultural Sciences**, v. 28, n. 2, p. 320-325, 2012.

NING, Y.W.; MA, H.B.; XU, X.J., WANG, J.D.; ZHANG, H.; XU, J.P.; ZHANG, Y.C. Effects of deficiency of N, P, or K on growth traits and nutrient uptakes of sweetpotato at early growing stage. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 46, n. 3, p. 486-495, 2013.

NJOKU, J.C.; OKPARA, D.A.; ASIEGBU, J.E. Growth and yield responses of sweet potato to inorganic nitrogen and potassium in a tropical ultisol. **Nigeria Agricultural Journal**, v. 32, 2001.

O'SULLIVAN, J.N.; ASHER, C.J.; BLAMEY, F.P.C. **Nutrient disorders of sweet potato**. ACIAR, Monograph nº48, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, 136 p, 1997.

PAL, Y.; GILKES, R.J.; WONG, M.T.F. Mineral sources of potassium to plants for seven soils from south-western Australia. **Soil Research**, v. 40, n. 8, p. 1357-1369, 2002.

PAL, Y.; GILKES, R.J.; WONG, M.T.F. Mineralogy and potassium release from some Western Australian soils and their size fractions. **Soil Research**, v. 39, n. 4, p. 813-822, 2001a.

PAL, Y.; GILKES, R.J.; WONG, M.T.F. Soil factors affecting the availability of potassium to plants for Western Australian soils: a glasshouse study. **Soil Research**, v. 39, n. 3, p. 611-625, 2001b.

PAULO, E.M. Nutrição e adubação In: MONTES, S. M. N. M **Cultura da batata-doce: do plantio à comercialização. Campinas.** Instituto Agronômico, 80.p, 2013.

PEIXOTO, C.P.; CRUZ, T.V.; PEIXOTO, M.F.S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PERESSIN, V.A; FELTRAN, J.C.. In: AGUIAR, A.T.E. et al. (editores). **Boletim 200**. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: IAC. p. 59-61. 2014.

PERESSIN, V.A; FELTRAN, J.C; RÓS, A.B; FERNADES. A.M. Batata-doce (*Ipomoea batatas*). In: CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; MATTOS, J.R, D; BOARETTO, R.M; VAN RAIJ, B (ed.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agronômico (IAC) Campinas (SP), p.329-331, 2022.

PÉREZ-PAZOS, J.V.; ROSERO, A.; MARTÍNEZ, R., PÉREZ, J.; MORELO, J.; ARAUJO, H.; BURBANO-ERAZO, E Influence of morpho-physiological traits on root yield in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) genotypes and its adaptation in a sub-humid environment. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. 109703, 2021.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. Editora UNESP, 407.p, 2008.

PUSHPALATHA, M.; VAIDYA, P. H.; ADSUL, P. B. Effect of graded levels of nitrogen and potassium on yield and quality of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Internacional Journal of Current Microbiology Applied Sciences**. v.6, n.5 p.1689-1696, 2017.

PUSHPALATHA, M.; VAIDYA, P. H.; SUNIL, B. H.; ADSUL, P. B. Influence of graded levels of nitrogen and potassium on root rhizosphere soil properties and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas*. L.) in vertisols of Maharashtra. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 3, p. 2883-2886, 2018.

PUTRA, G.M.; EDY, S.N. Effect of potassium application on growth and yield of sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* L.). **Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences**, v. 83, n. 11, 2018.

RAIJ, B. van. Disponibilidade de potássio em solos do Brasil. In: Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Londrina. **Anais...** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa. p. 67-76, 1982.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 285p. 2001.

RAVI, V.; INDIRA, P. Crop physiology of sweetpotato. **Horticultural reviews**, v. 23, p. 277-338, 2010.

REIS JÚNIOR, R.D.A.; FONTES, P.C.R. Morfologia e partição de assimilados na batateira em função de época de amostragem e de doses de potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 795-799, 1999.

RENGEL, Z.; DAMON, P.M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiologia Plantarum**, v. 133, n. 4, p. 624-636, 2008.

RIBEIRO, N.P. Resposta da batata-doce a adubação nitrogenada associada ao uso de Placobutrazol. 82.p Tese (doutorado). Faculdade de Ciências Agronômica (UNESP). Botucatu-SP, 2020.

RIETRA, R.P.; 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.

RÓS, A.B.; FERNANDES, A.M.; MONTES, S.M.N.M.; FISCHER, I.H.; LEONEL, M.; FRANCO, C.M.L; Batata-doce (*Ipomoea batatas*). Em: LEONEL, M.; FERNANDES, A.M.; FRANCO, C.M.L. (Org.). **Culturas amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa**. 1 ed. Botucatu - SP. Indústria gráfica GR e editora Ltda. p. 15-96, 2015.

ROSOLEM, C.A. Interação do potássio com outros íons. **Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS**, p. 239-260, 2005.

ROSOLEM, C.A.; SGARIBOLDI, T.; GARCIA, R.A.; CALONEGO, J.C. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 41, n. 16, p. 1934-1943, 2010.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: Revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, v.1, 118p, 2017.

SAMAL, D.; KOVAR, J. L.; STEINGROBE, B.; SADANA, U. S.; BHADORIA, P. S.; CLAASSEN, N. Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with a mechanistic model. **Plant and Soil**, v. 332, n. 1-2, p. 105-121, 2010.

SANFORD, D.A. Van.; MACKOWN, C.T. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v.72, p.152- 163, 1986.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 400 .p, 2004.

SHI, C.Y.; WANG, Z.L.; ZHAO, B.Q.; GUO, F.F.; YU Effect of potassium nutrition on some physiological characteristics and yield formation of sweet potato. **Plant Nutri. Fert. Sci**, v. 8, p. 81-85, 2002.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A. (Org.). Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Brasília: Embrapa Hortaliças. 18p. 1995.

SILVA, G.S.P. **Concentração de amido e estimativa de rendimento de álcool em batata-doce cultivada com diferentes fontes e doses de potássio**. 76f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia)- Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, Universidade Estadual do Centro Oeste Paraná, Guarapuava, 2013.

SILVA, J.B.C. da; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Batata-doce** (*Ipomoea batatas*). 2008.Brasília: EMBRAPA HORTALIÇAS.(Sistemas de Produção, 6) Versão Eletrônica. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa>> Acesso em: 17 de jun. 2019.

SILVA, M.L.S.; TREVISAN, A.R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. *Informações agrônomicas*, nº 149, p. 10-16, 2015.

SINGH, P.; ARAVINDAKSHAN, K.; MAURYA, I. B.; SINGH, J.; SINGH, B., SHARMA, M. K Effect of potassium and zinc on growth, yield and economics of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cv. CO-34. **Journal of Aplied and Natural Science**, v. 9, n. 1, p. 291-297, 2017.

SOMDA, Z. C.; MAHOMED, M.T.M.; KAYS, S. J Analysis of leaf shedding and dry matter recycling in sweetpotato. **Journal of plant nutrition**, v. 14, n. 11, p. 1201-1212, 1991.

SOMDA, Z.C; KAYS, S.J. Sweet potato canopy morphology: Leaf distribution. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 1, p. 39-45, 1990.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TANG, Z. H.; ZHANG, A. J.; WEI, M.; CHEN, X. G.; LIU, Z. H.; LI, H. M.; DING, Y. F. Physiological response to potassium deficiency in three sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) genotypes differing in potassium utilization efficiency. **Acta physiologiae plantarum**, v.37.n.8, p.184. 2015.

TANG, Z., ZHANG, Y.; WEI, M.; CHEN, X.; SHI, X.; ZHANG, A.; DING, Y. Screening and evaluation indicators for low potassium-tolerant and potassium efficient sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) varieties (lines). **Acta Agronomica Sinica**, v. 40, n. 3, p. 542-549, 2014.

TANG, Z.; ZHANG, A.; CHEN, X.; JIN RONG, LIU, M.; LI, H.; DING, Y. Starch Physico-Chemical Properties and Their Difference in Three Sweetpotato (*Ipomoea batatas*(L.) Lam) Genotypes Under Low Potassium Stress[J]. **Scientia Agricultura Sinica**, v.50, n.3, p.513-525, 2017.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **The Journal of Ecology**, p. 995-1001, 1975.

THOMPSON, W.B.; SCHULTHEIS, J.R.; CHAUDHARI, S.; MONKS, D.W.; JENNINGS, K.M.; GRABOW, G. L. Covington'Sweetpotato Plant Survival and Yield Response to Preplant Irrigation, Planting Depth, and Transplant Size. *HortTechnology*, v. 27, n. 6, p. 824-830, 2017.

THUMÉ, M. A.; DIAS, L. E.; SILVEIRA, M. A.D.; ASSIS, I. R.D. Níveis críticos foliares de nutrientes de três cultivares de batata-doce, selecionados para a produção de etanol. **Revista Ceres**, v. 60, p. 863-875, 2013.

TOGARI, Y. A study of tuberous root formation in sweet potato. **Bull. Nat. Agr. Exp. Station**, v. 68, p. 1-96, 1950.

TREHAN, S.P.; PANDEY, S.K.; BANSAL, S.K. Potassium nutrition of potato crops. **The Indian Scenario**, v. 19, p. 2-9, 2009.

TSUNO, Y.; FUJISE, K Studies on the dry matter production of sweet potato X. An explanation of the determination of dry matter percentage in tuber with the viewpoint of nutrient conditions and dry matter production. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 37, n. 1, p. 12-16, 1968.

UWAH, D.F.; UNDE, U.L.; JOHN, N.M.; UKOHA, G.O. Growth and yield response of improved sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.)) varieties to different rates of potassium fertilizer in Calabar, Nigeria. **Journal of agricultural Science**, v. 5, n. 7, p. 61, 2013.

van de FLIERT, E.; BRAUN, A. R. **Escuela de campo de agricultores para el manejo integrado del cultivo de camote**: guía de campo Y manual técnico. Bogor, Indonesia: CIP, 106 p, 2001.

VARELA, D.J. **Efeito da combinação de doses de potássio e variedades no rendimento e qualidade da batata-doce de polpa alaranjada (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 112.f Tese de Doutorado. Universidade Eduardo Mondlane. 2017.

VILLORDON, A. Q.; GINZBERG, I.; FIRON, N. Root architecture and root and tuber crop productivity. **Trends in plant science**, v. 19, n. 7, p. 419-425, 2014.

VILLORDON, A.; LABONTE, D.; SOLIS, J.; FIRON, N. Characterization of lateral root development at the onset of storage root initiation in

'Beauregard'sweetpotato adventitious roots. **HortScience**, v. 47, n. 7, p. 961-968, 2012.

VILLORDON, A.Q, LA BONTE, D.R, FIRON, N., KFIR, Y., Characterization of adventitious root development in sweetpotato. **HortScience**, v. 44, n. 3, p. 651-655, 2009.

WANG, J. D.; WANG, H. Y.; XU, X. J.; NING, Y. W.; ZHANG, Y. C., ZHOU, J. M.; CHEN, X. Q. 2016. Different responses to potassium stress between sweet potato genotypes with high and low potassium use efficiencies. **Soils**, v.48, n.1, p.1-6. 2016.

WANG, J.; ZHU, G., DONG, Y.; ZHANG, H.; RENGEL, Z., AI, Y; ZHANG, Y.,. Potassium starvation affects biomass partitioning and sink–source responses in three sweet potato genotypes with contrasting potassium-use efficiency. **Crop and Pasture Science**, v.69, n.5, p.506-514. 2018.

WANG, J.D.; WANG, H.Y.; ZHANG, Y.C.; ZHOU, J.M.; CHEN, X.Q.; WANG, J.D.; WANG, H.Y.; ZHANG, Y.C.; ZHOU, J.M.; CHEN, X.Q. Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. **Field Crops Research**, v.170, p.76-8, 2015.

WANG, L.; CHEN, F. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.175, n.2, p.303-308, 2012.

WANG, S.; LI, H.; LIU, Q.; HU, S.; SHI, Y. Nitrogen uptake, growth and yield response of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) To Potassium Supply. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 2, p. 175-185, 2020.

WANG, S.Y.; LI, H.; LIU, Q.; SHI, Y.X. Effect of potassium application on root growth and yield of sweet potato and its physiological mechanism. **Acta Agron. Sin**, v. 43, p. 1057-1066, 2017.

WHITE, P.J; KARLEY, A.J Potassium. In: Hell, R; Mende, I R-R (eds) **Cell biology of metals and nutrients**. Springer, Berlin, pp 199–224, 2010.

WOLDE, Z.A Review on Evaluation of Soil Potassium Status and Crop Response to Potassium Fertilization. **Journal of Environment and Earth Science**. v.6, n.8, p. 38-44, 2016.

WOOLFE, J.A **Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge University Press, 1992.

YAGHOUBI KHANGHAHI, M.; PIRDASHTI, H.; RAHIMIAN, H.; NEMATZADEH, G.A.; GHAJAR SEPANLOU, M. Nutrient use efficiency and nutrient uptake promoting of rice by potassium solubilizing bacteria (KSB). **Cereal Research Communications**, v. 46, n. 4, p. 739-750, 2018.

ZHANG, B; SHI, C; LIU, H; REN, G.; SUN, Z. Potassium basal application is beneficial to the formation of sweet potato root tuber yield. **Journal of Plant Nutrition and Fertilizers** , v. 23, n. 1, p. 208-216, 2017.

ZHAO, F; LIU, Q; DU, Z; SHI, Y. Effects of potassium application on yield and nutrient utilization of purple sweet potato." **North China Agricultural Journal**. v.33, n.5, p.226-231. 2018.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E Potassium in agriculture—status and perspectives. **Journal of plant physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.