

VALKÍRIA LUÍSA BORSA PIROLI

**ADUBAÇÃO SULFATADA E BORATADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE
MANDIOCA DE MESA**

**Botucatu
2022**

VALKÍRIA LUÍSA BORSA PIROLI

**ADUBAÇÃO SULFATADA E BORATADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE
MANDIOCA DE MESA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp, Campus
Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia(Agricultura)

Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

Botucatu

2022

P671a Piroli, Valkíria Luísa Borsa
Adubação sulfatada e boratada de cobertura em cultivares de
mandioca de mesa / Valkíria Luísa Borsa Piroli. -- Botucatu,
2022
105 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Adalton Mazetti Fernandes

1. Cultivares de mandioca. 2. Adubação. 3. Produtividade. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

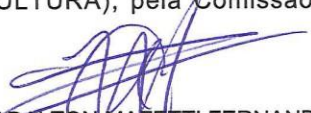
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ADUBAÇÃO SULFATADA E BORATADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE MANDIOCA DE MESA

AUTORA: VALKIRIA LUISA BORSA PIROLI

ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



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



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Pesquisador Dr. MARCO ANTÔNIO SEDREZ RANGEL (Participação Virtual)
Pesquisa e Desenvolvimento / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Botucatu, 28 de julho de 2022

Aos meus pais
Edson Luís Piroli e Adriana Borsa

Ao Sasuke Hashimitsu

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, campus Botucatu, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais – CERAT.

Agradeço as políticas públicas educacionais que possibilitaram minha educação desde a graduação.

Ao meu querido orientador desta jornada Adalton Mazetti Fernandes, por me guiar durante este caminho, não poupando esforços, nem tempo para que este trabalho fosse concluído. Agradeço a todo conhecimento transmitido, pela paciência e pelos momentos de descontração. Deixo aqui o meu muito obrigada.

Também agradeço a todos os demais professores da pós-graduação que contribuíram para meu crescimento profissional.

Ao meu orientador da graduação, Lucas da Silva Domingues, sendo ele fundamental para a minha chegada até aqui.

A todos os funcionários do CERAT que colaboraram para a conclusão deste trabalho.

Ao Elder, por estar junto em todos os momentos, auxiliando, não medindo esforços para que eu tivesse todo o necessário. Ao Luíz, por sempre estar presente, auxiliando nas análises e também não medindo esforços para que tudo fosse possível. Agradeço a todos os demais funcionários que foram tão importantes para este trabalho, Débora, Danilo, Juliana.

Aos colegas desta jornada, que estiveram sempre ao meu lado, durante todo o processo, Ricardo, Rudieli, Póliton, Jason e Fabrício. Serei eternamente grata a todos vocês, saibam que foram parte dos pilares desta dissertação.

Agradeço a Cooperativa Agroindustrial de Ubirajara, e toda a equipe por cederem o espaço, a área, e gentilmente fornecerem o que fosse necessário para o trabalho ser executado. Ao pesquisador Marco Antonio Sedrez Rangel e toda equipe de desenvolvimento dos materiais genéticos da EMBRAPA que cederam as ramas das cultivares em estudo (BRS 399 e BRS 396).

Agradeço eternamente a minha especial amiga, Mônica Córdoba Figueroa, por ter sido a melhor pessoa a cruzar meu caminho em Botucatu. Saiba que foi fundamental para a execução deste trabalho, desde os momentos de descontração até os conselhos que levarei para a vida.

Agradeço também ao meu companheiro, Guilherme Isawa Faria, pelos cafés-da-manhã, pelos momentos alegres, pelas tristezas compartilhadas e pela nossa vida. Agradeço ao nosso filho de quatro patas que sempre alegrou nossas vidas, marcando profundamente mesmo com uma curta estadia conosco. Juntamente, agradeço a Kali e Kiara, pelo amor incondicional.

À minha família por me permitir, incentivar, dar forças e me animar durante esse caminho. Aos conselhos que me deram e por terem acreditado em mim. Vocês serão sempre minha base e meu motivo de maior orgulho e força para seguir em frente. Victória Helena Borsa Piroli e Vinícius Adriano Borsa Piroli, vocês são os melhores irmãos que alguém poderia pedir, agradeço por suas vidas.

A todos os demais que indiretamente deram seu contributo para a concretização deste trabalho, o meu muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem em suas raízes grande acúmulo de amido e é utilizada como alimentação humana. No Brasil, a produtividade da cultura é baixa, podendo ser maior com uso de tecnificação em relação a novas cultivares e manejo da adubação. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade das raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca de mesa submetidas a adubação sulfatada ou boratada de cobertura em condições de solo arenoso. Foram instalados dois experimentos de campo em julho de 2020, ambos em delineamento blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 5x3, composto por cinco cultivares de mandioca de mesa [IAC 576-70 (padrão), BRS 399, BRS 396, Palito e Precoce] e três níveis de adubação sulfatada (0, 22 e 44 kg ha⁻¹) ou boratada (0, 1, 2 kg ha⁻¹) de cobertura. Os experimentos foram conduzidos na cidade de Ubirajara, SP, em propriedade particular pertencente a Cooperativa Agroindustrial de Ubirajara (CAU). A mandioca foi colhida com 12 meses de ciclo (junho de 2021). Os resultados obtidos no experimento com enxofre (S) indicaram que a adubação sulfatada de cobertura não aumentou os teores de S na folha diagnóstica da mandioca cultivada em solo arenoso com baixa-média disponibilidade inicial de S. A cultivar IAC 576-70 não respondeu positivamente à adubação sulfatada de cobertura. A aplicação de 22 kg ha⁻¹ de S em cobertura aumentou a produtividade total e comercial das cultivares Palito e Precoce, mas nas cultivares BRS 399 e BRS 396 as produtividades aumentaram até os 44 kg ha⁻¹ S. As maiores produtividades comerciais ocorreram na cultivar BRS 399 com a dose de 44 kg ha⁻¹ S e na cultivar Palito com a dose de 22 kg ha⁻¹ S. A adubação sulfatada não interferiu na qualidade das raízes da mandioca e as raízes de todas as cultivares cozinharam num período de 20-24 minutos. Para o experimento com adubação boratada, concluiu-se que os teores de B na folha diagnóstica da mandioca aumentaram com a adubação boratada de cobertura. As cultivares BRS 396 e Precoce não responderam a adubação boratada em termos de produtividade total. A aplicação de 2 kg ha⁻¹ de B aumentou a produtividade total das cultivares BRS 399 e IAC 576-70, mas na cultivar Palito a dose ótima de B foi de 1 kg ha⁻¹. Apesar da adubação boratada de cobertura ter aumentado em 2,6 min o tempo de cozimento das raízes, todas elas cozinharam em menos de 24 min e o fornecimento de B não interferiu nos outros parâmetros de qualidade das raízes.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*; produtividade de raízes; diagnose nutricional; cozimento; processamento.

ABSTRACT

Cassava's roots have great amount of starch and it is used as staple food. In Brazil, the cassava crop productivity is low, but can be improved with technification uses, like new cultivars and fertilization management. The aim for this study was to evaluate the agronomic behavior and tuberous root quality from five table cassava's cultivars, placed on sulfur or borate cover fertilization in sandy soil conditions. Two field trials were installed in July of 2020, both in randomized block design, with factorial scheme 5x3, being five table's cassava cultivars [IAC 576-70 (standard), BRS 399, BRS 396, Palito and Precoce] and three cover content of sulfate fertilization (0, 22 e 44 kg ha⁻¹) or borate (0, 1, 2 kg ha⁻¹). Both trials were placed in Ubirajara's city, SP, in a private farm from Agroindustrial Cooperative from Ubirajara (CAU). Cassava was harvest with 12 months growing season (June from 2021). The results from sulfur (S) trial show that the sulfur fertilization did not increase the content of S in the diagnostic leave from cassava cultivated under sandy soil with low-medium initial S availability. IAC 576-70 cultivar didn't positively respond to cover sulfur fertilization. Cover application of 22 kg ha⁻¹ of S increased Palito and Precoce cultivar's total and commercial productivity, but BRS 399 and BRS 396 cultivars increased total and commercial productivity until 44 kg ha⁻¹ S. Greatest commercial productivity was from BRS 399 cultivar, with the dose, 44 kg ha⁻¹ S, and in Palito cultivar with 22 kg ha⁻¹ S dose. Sulfur fertilization didn't interfered in cassava's root quality, and all the cultivars 's roots cooked in the time of 20 to 24 minutes. In Borate fertilization trials, the B content in diagnostic leave increased with cover borate fertilization. BRS 396 and Precoce cultivars didn't respond to borate fertilization in terms of total productivity. The application of 2 kg ha⁻¹ B increase the total productivity from BRS 399 and IAC 576-70 cultivars, but in Palito cultivar, the best doses was 1 kg ha⁻¹. Although the cover borate fertilization increased the cooking time in 2,6 min, all the roots cooked in under 24 min, and the B supply didn't interfere on other root quality parameters.

Key words: *Manihot esculenta*; tuberous root productivity; nutritional diagnosis; cooking time; processing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Precipitação pluvial (barras), temperaturas máximas (linhas grossas) e mínimas (linhas finas) na área experimental durante o período de condução dos experimentos em Ubirajara-SP. Os momentos do plantio, emergência, adubação de cobertura, coleta de folhas diagnósticas e colheita estão indicados na Figura.33
- Figura 2 – Peso fresco das raízes antes (a) e após (b) a lavagem + descascamento, e rendimento de processamento (c) de raízes de cinco cultivares de mandioca.....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm antes do plantio da mandioca	36
Tabela 2 - Teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose decinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.....	43
Tabela 3 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o teor de B na folha diagnose da mandioca.....	45
Tabela 4 - Número de hastes, altura e população de plantas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.....	46
Tabela 5 - Componentes da produção e produtividade de raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	48
Tabela 6 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para a produtividade total e comercial	49
Tabela 7 - Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira e índice de colheita (IC) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.....	51
Tabela 8 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o acúmulo de MS nas cepas, raízes tuberosas e planta inteira	52
Tabela 9 - Teores de S (g kg^{-1}) na parte aérea, cepas e raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	54
Tabela 10 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para os teores de S na parte aérea e cepas	55
Tabela 11 - Acúmulo de S (kg ha^{-1}) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	56
Tabela 12 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o acúmulo de S na cepa	57
Tabela 13 - Eficiência de uso de S para a produtividade de raízes frescas (EUS- PRF), para a produção de MS de raízes tuberosas (EUS-PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUS-PMSPL) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	58
Tabela 14 - Teores de MS, amido e proteína, tempo de cozimento (TC), textura das raízes antes e após o cozimento de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	60

Tabela 15 - Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC) de raízes de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada	65
Tabela 16 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC).....	66
Tabela 17 - Teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada	68
Tabela 18 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para o teor de Mn na folha diagnose da mandioca	70
Tabela 19 - Número de hastes, altura e população de plantas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada	71
Tabela 20 - Componentes da produtividade e produtividade de raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada	73
Tabela 21 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para a produtividade comercial.	74
Tabela 22 - Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira e índice de colheita (IC) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.....	76
Tabela 23 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para o acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e planta inteira	77
Tabela 24 - Teores de B (mg kg^{-1}) na parte aérea, cepas e raízes tuberosas de cincocultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.....	79
Tabela 25 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para os teores de B na parte aérea, cepas e raízes tuberosas.....	80
Tabela 26 - Acúmulo de B (g ha^{-1}) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.....	81
Tabela 27 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para os acúmulos de B na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira	82
Tabela 28 - Eficiência de uso de B para a produtividade de raízes frescas (EUB-PRF), para a produção de MS de raízes tuberosas (EUB-PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUB-PMSPL) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada	84
Tabela 29 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para eficiência de uso do B para a produção de MS de raízes tuberosas (EUB-PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUB-PMSPL).	85

Tabela 30 - Teores de MS, amido e proteína, tempo de cozimento (TC), textura das raízes antes e após o cozimento de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada	86
Tabela 31 - Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC) de raízes de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.....	91

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	CULTURA DA MANDIOCA	23
2.2	CULTIVARES DE MANDIOCA DE MESA.....	24
2.3	DEMANDA NUTRICIONAL NA CULTURA DA MANDIOCA	26
2.3.1	<i>Enxofre na planta</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Boro na planta</i>	<i>29</i>
2.4	ENXOFRE E BORO NO SOLO	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....	33
3.2	CULTIVARES.....	34
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	34
3.4	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	35
3.5	AVALIAÇÕES	37
3.5.1	<i>Diagnose foliar</i>	<i>37</i>
3.5.2	<i>Número de hastes, altura e população final de plantas.....</i>	<i>38</i>
3.5.3	<i>Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas</i>	<i>38</i>
3.5.4	<i>Acúmulo de MS na parte aérea, cepas e raízes tuberosas e na planta inteira e índice de colheita</i>	<i>38</i>
3.5.5	<i>Teor, acúmulo, exportação e eficiência de uso de S e B.....</i>	<i>39</i>
3.5.6	<i>Tempo de cozimento das raízes tuberosas e textura crua e cozida.....</i>	<i>40</i>
3.5.7	<i>Teor de matéria seca (MS), amido e proteína nas raízes tuberosas</i>	<i>40</i>
3.5.8	<i>Rendimento operacional e de produto processado</i>	<i>40</i>
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	EXPERIMENTO COM ADUBAÇÃO SULFATADA.....	42
4.1.1	<i>Diagnose foliar</i>	<i>42</i>
4.1.2	<i>Avaliações fitotécnicas</i>	<i>45</i>
4.1.2.1	<i>Número de hastes, altura e população final de plantas.....</i>	<i>45</i>
4.1.2.2	<i>Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas</i>	<i>47</i>
4.1.2.3	<i>Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita</i>	<i>50</i>
4.1.4	<i>Teor, acúmulo e eficiência de S</i>	<i>53</i>
4.1.5	<i>Avaliações de qualidade de raiz e rendimento operacional.....</i>	<i>59</i>
4.1.5.1	<i>Teor de matéria seca, amido, proteína, tempo de cozimento, textura crua e cozida de raízes</i>	<i>59</i>

4.1.5.2	Rendimento de processamento e de produto processado	63
4.2	EXPERIMENTO COM ADUBAÇÃO BORATADA.....	67
4.2.1	<i>Diagnose foliar</i>	67
4.2.2	<i>Avaliações fitotécnicas</i>	70
4.2.2.1	Número de hastes, altura e população final de plantas	70
4.2.2.2	Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas 72	
4.2.2.3	Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita 75	
4.2.4	<i>Teor, acúmulo e eficiência de uso do nutriente de B</i>	78
4.2.5	<i>Avaliações de qualidade de raiz e rendimento operacional</i>	86
4.2.5.1	Teor de matéria seca, amido, proteína, tempo de cozimento, textura crua e cozida de raízes 86	
4.2.5.2	Rendimento de processamento e de produto processado	89
5	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem como centro de origem a América do Sul. Suas raízes apresentam grande acúmulo de amido e servem tanto para alimentação humana quanto animal, sendo uma importante fonte de carboidratos nos países em desenvolvimento. No Brasil, a produtividade média da mandioca ainda é baixa, e a produção nacional pouco evoluiu neste século, diferente do que ocorreu em alguns países Asiáticos e Africanos (FAOSTAT, 2022). O cultivo de mandioca no Brasil é realizado visando atender a demanda do mercado para comercialização *in natura*, ou mandioca de mesa, bem como para a produção de farinha e fécula, em que se cultiva as chamadas mandiocas de indústria. Na mandioca de mesa a colheita é feita durante um ciclo menor de cultivo (8 a 14 meses), e o formato das raízes é um fator importante para a comercialização.

No estado de São Paulo a cultivar mais plantada é a IAC 576-70, porém esta cultivar é antiga e foi lançada na década de 70 (LEONEL; FERNANDES; FRANCO, 2015). No entanto, ainda é o material considerado referência em termos de produtividade e qualidade, e ainda é utilizado pelos produtores rurais apesar de novos lançamentos já existirem. Algumas novas cultivares de mandioca de mesa foram lançadas pela EMBRAPA, tais como BRS 399 e BRS 396, as quais possuem características promissoras em termos de produtividade e qualidade de raízes. Além das cultivares desenvolvidas pelos Centros de Pesquisa e Universidades, há também uma área de cultivo considerável com variedades locais selecionadas pelos próprios agricultores.

Independente da cultivar, as exigências do mercado em termos de produtividade e qualidade das raízes vem crescendo e por isso a tecnificação do cultivo se torna necessária, especialmente em relação ao manejo da adubação. Há uma crença popular de que a mandioca pode ser cultivada em solos marginais, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. No entanto, nessas condições a produtividade da mandioca é muito baixa, porque trata-se de uma cultura que absorve e exporta grandes quantidades de nutrientes do solo.

O enxofre (S) não é o macronutriente mais absorvido pela cultura da mandioca, mas trata-se de um nutriente essencial para o desenvolvimento da planta uma vez que ele atua na síntese e na composição de proteínas e na maioria das vezes este elemento não é incluído na fertilização da cultura. A deficiência de S

causa redução no porte da planta e suas folhas apresentam amarelecimento. Novos tecidos podem apresentar deficiência e deformidades e as plantas terão baixo teor de aminoácidos importantes como cistina e metionina, diminuindo o seu valor nutricional.

Quanto aos micronutrientes, a maioria dos estudos indicam que a mandioca é exigente em zinco (Zn), mas o boro (B) também é um micronutriente importante para as plantas, porque possui uma relação com a integridade das paredes celulares e é responsável pela lignificação das mesmas (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). A deficiência de B dificulta a formação de novos tecidos, uma vez que ele faz parte da divisão celular, e na sua deficiência as plantas tornam-se mais frágeis e quebradiças, comprometendo a formação de raízes. Contudo, são poucos os estudos que avaliaram a resposta da mandioca a adubação sulfatada e boratada. No entanto, como a mandioca tradicionalmente é cultivada em solos arenosos e com baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC), a perda desses nutrientes por lixiviação pode ocorrer e comprometer a produtividade da mandioca.

Dessa forma, buscou verificar se a adubação sulfatada ou boratada de cobertura influenciam nos componentes de produção, produtividade e nos parâmetros de qualidade de raízes de mandioca.

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade das raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca de mesa submetidas à adubação sulfatada e boratada de cobertura em condições de solo arenoso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) é a sexta cultura em termos de importância, mundial ficando atrás apenas do trigo, milho, arroz, batata e cevada (LEBOT, 2009), sendo considerada a principal fonte de carboidratos para milhões de pessoas nos países em desenvolvimento.

As cultivares de mandioca podem ser classificadas como de mesa ou de indústria. As mandiocas de mesa possuem menores teores de ácido cianídrico (HCN) em suas raízes e são destinadas ao mercado de comercialização *in natura* (OLIVEIRA et al., 2012). Os autores citados apontam que as mandiocas destinadas para uso industrial têm maiores teores de HCN nas raízes, passam por processamento e são utilizadas para produção de fécula ou farinha. Raízes de mandioca com menos de 50 mg kg⁻¹ de HCN (raiz fresca) são consideradas “mandiocas mansas” (mandioca de mesa) e raízes de mandioca com mais de 100 mg kg⁻¹ de HCN (raiz fresca) são consideradas “mandiocas bravas” (mandioca de indústria) e podem ser consumidas somente após passar por processamento (COURSEY, 1973).

A cultura da mandioca tem como centro de origem a América do Sul, mas atualmente ela é cultivada em inúmeros países tropicais ao redor do mundo. Isso ocorreu porque a mandioca se adapta bem a solos de áreas marginais e também por possuir grande flexibilidade no ciclo de cultivo, podendo permanecer no campo por até 36 meses (LEBOT, 2009). Com isso, a produção mundial de mandioca aumentou consideravelmente passando de 176 milhões de toneladas em 2000 para 302 milhões de toneladas em 2020 (FAOSTAT, 2022). Em termos de evolução da produção, a mandioca ficou atrás apenas do milho, mas apresentou uma taxa de crescimento global de mais de 50% desde o início do século (VILPOUX; GUILHERME; CEREDA, 2017). As maiores produções de mandioca estão concentradas nos continentes Africano, cujo maior produtor é a Nigéria; no continente Asiático, em que a Tailândia é o maior país produtor; e na América do Sul que tem o Brasil como sendo o responsável pela grande maioria da produção de raízes (LEBOT, 2009; FAO, 2018).

O continente Africano apresentou uma expansão na produção de mandioca desde 1965 quando a produção africana passou de 35 milhões de toneladas para aproximadamente 128 milhões de toneladas em 2020 (FAOSTAT, 2022). Na Ásia, a produção era de 21 milhões de toneladas em 1965 e atingiu 80 milhões de toneladas em 2020 (FAOSTAT, 2022). No entanto, essa expansão não ocorreu na América do Sul e a produção Sul-Americana nos últimos 4 anos foi similar à da década de 1965, variando entre 25 e 30 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2022). Neste cenário, o Brasil ainda é o maior produtor das Américas sendo responsável por aproximadamente 70% de toda a mandioca produzida neste continente (FAOSTAT, 2022).

Em 2019, a produção brasileira de mandioca foi de aproximadamente 20 milhões de toneladas e o estado de São Paulo foi o maior produtor da região Sudeste, com a produção de 1 milhão de toneladas (IBGE, 2019), demonstrando assim, a importância deste estado brasileiro no cenário de produção.

2.2 Cultivares de mandioca de mesa

O possível centro de origem da cultura da mandioca é o Brasil, e por causa disso, já foram catalogados mais de 3 mil acessos distintos (OTSUBO; MERCANTE, MARTINS, 2002). Os autores ainda citam que no mundo há mais de 8.500 acessos, sendo que destes 7.500 estão na América Latina. Isso representa uma diversidade genética a ser explorada, com grande oportunidade para o Brasil na área de melhoramento e desenvolvimento de novas cultivares.

No entanto, atualmente poucos são os programas voltados ao desenvolvimento de novas cultivares. No estado de São Paulo a maioria das cultivares plantadas são antigas, como é o caso da cultivar IAC 576-70, desenvolvida na década de 1970 (LEONEL; FERNANDES; FRANCO, 2015). Nos últimos anos a EMBRAPA desenvolveu e lançou algumas cultivares com potencial produtivo promissor, como é o caso das cultivares BRS 399 e BRS 396. Ambas são cultivares de mesa e que possuem características desejáveis tanto para o produtor quanto para o consumidor final.

De acordo com Fialho e Vieira (2013), a seleção de cultivares deve ao máximo possuir características desejáveis pelo produtor e também pelo consumidor final, além de serem seguras e com baixo teor de ácido cianídrico. Devem ser altamente produtivas, possuir resistência a pragas e patógenos, uma arquitetura

favorável a mecanização, raízes com pedúnculo curto visando facilitar a separação das mesmas, serem ao máximo lisas, possuírem boa distribuição, uniformidade e tamanho comercial, além de alta durabilidade. Também é importante para o consumidor final que o cozimento seja rápido e que as raízes tenham sabor e coloração agradáveis. Dentre tantos requisitos se torna necessário o lançamento de novas cultivares afim de acompanhar as exigências de mercado para a cultura se manter competitiva e viável ao produtor.

Com isso, estudos ainda são necessários sobre a resposta de cultivares em relação à sua capacidade de desempenho agrícola exigido pelos produtores, assim como exigências sensoriais do consumidor final no caso da mandioca de mesa. Essas demandas específicas são regionalizadas, e no caso do estado de São Paulo, o padrão se torna a cultivar IAC 576-70 (MEZETTE et al., 2009).

Apesar de ser uma cultivar antiga os estudos aprofundados sobre as características citadas ainda são poucos. Oliveira e Moraes (2009), em estudo com a cultivar IAC 576-70, observaram que a cultura apresenta melhor resposta produtiva tanto para o produtor quanto para o consumidor final (medida através do descascamento da entre casca) entre o 9º e o 10º mês, sendo que sua produtividade final nessa fase variou de 40 a 50 t ha⁻¹. Mendonça et al. (2020), também estudaram a cultivar IAC 576-70 em Minas Gerais e observaram produtividade inferior, de 30 t ha⁻¹, no entanto o tempo de cozimento ficou abaixo dos 30 minutos.

Apesar do bom desempenho produtivo e de cozimento, a cultivar IAC 576-70, no entanto, não apresenta qualidade nutricional satisfatória ao ser comparada com outras cultivares já lançadas. Fuhrmann et al. (2019), comparando a cultivar IAC 576-70 com clones, observaram que o teor de carotenoides chegava a ser 50% menor. O teor de carotenoides também é uma exigência de mercado na atualidade, uma vez que são fundamentais para aumentar a qualidade nutricional das raízes, por ser o precursor da vitamina A (VILPOUX; GUILHERME; CEREDA, 2017). Dessa maneira, os programas de melhoramento genético na cultura da mandioca buscam selecionar materiais genéticos com essa característica desejável (MEZETTE et al., 2009).

As cultivares BRS 399 e 396 já foram lançadas com a preocupação de terem teor de carotenoides maiores, sendo que a BRS 396 apresentou 11,53 µg g⁻¹ (EMBRAPA, 2015). A cultivar BRS 399 apresentou boa produção de raízes em

pesquisa conduzida por Mendonça et al. (2020), sendo superior às demais cultivares avaliadas, além de ter apresentado bom tempo de cozimento. As cultivares BRS 399 e 396 também apresentaram bom desempenho no campo e alta aceitabilidade por parte dos produtores da região do Distrito Federal (VIEIRA et al., 2018).

2.3 Demanda nutricional na cultura da mandioca

A cultura da mandioca é considerada por alguns autores como sendo esgotante e degradadora do solo, o que não é uma verdade absoluta. De acordo com Howeler (2002), as quantidades de alguns nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), extraídas pela mandioca são, na verdade, menores do que às aquelas extraídas por culturas como o milho por exemplo. No entanto, a mandioca é uma cultura bem adaptada para crescer em condições de solos marginais, ácidos e em condições de disponibilidade muito baixa de nutrientes no solo (HOWELER, 1991). Essa capacidade da mandioca crescer em solos marginais está relacionada com o fato de ser um cultivo de ciclo longo e não apresentar picos de demanda de nutrientes tão acentuados como ocorre em outras culturas de ciclo curto (CONCEIÇÃO, 1987).

A absorção de nutrientes pela planta de mandioca tende a ser muito variável e ela aumenta com o incremento no nível de produtividade, sendo o contrário também verdadeiro (HOWELER, 2002). Estudos feitos nas condições brasileiras indicam que para a produção de uma tonelada de raízes tuberosas a cultura da mandioca absorve em torno de 4,8-7,6 kg de N, 0,4-0,8 kg de P, 3,7-4,8 kg de K, 2,8-4,0 kg de Ca, 0,9-1,1 kg de Mg, 0,3-0,6 kg de S (LORENZI; GALLO; MALAVOLTA, 1981), 1,1-7,7 g de Cu, 58-76 g de Fe, 10,3-13,7 g de Mn e 8,3-12,7 g de Zn (FERNANDES et al., 2017; SILVA; TREVIZAM, 2015). Já em termos de exportação de nutrientes, cada tonelada de raízes remove do solo aproximadamente 1,8-2,4 kg de N, 0,2-0,3 kg de P, 1,6-1,8 kg de K, 0,6-0,7 kg de Ca, 0,3-0,4 kg de Mg, 0,1 kg de S (LORENZI; GALLO; MALAVOLTA, 1981), 0,9-4,0 g de Cu, 32-48 g de Fe, 1,9-2,7 g de Mn e 4,6-6,0 g de Zn (SILVA; TREVIZAM, 2015; FERNANDES et al., 2017). Os nutrientes mais extraídos e exportados pela cultura da mandioca são o K e o N (LORENZI; GALLO; MALAVOLTA, 1981), e a deficiência de cada um deles pode afetar negativamente a produtividade de raízes.

2.3.1 Enxofre na planta

O enxofre (S) é um elemento indispensável para as plantas, considerado um macronutriente importante. Para Haneklaus et al. (2007), este é o elemento com uso mínimo que proporciona a máxima produção e qualidade. O elemento é vital para o metabolismo das plantas, faz parte da composição de proteínas, enzimas e vitaminas (HAWKESFORD, 2007). Por compor proteínas, o S é o constituinte básico de alguns aminoácidos, como a cistina, a qual é convertida em metionina, sendo importante para os seres humanos.

A absorção e assimilação de S e N pelas plantas é fortemente dependente e interrelacionada e cita-se que a proporção adequada de N:S na planta é de 20:1 (HANEKLAUS et al., 2007). Os indícios de deficiência de S são representados basicamente pela redução interna das taxas de S, porém também é observado um aumento do N, assim como nitratos e aminas, como consequência do desbalanço N:S (BIMBRAW, 2008). A síntese da cistina é importante por ser a responsável por relacionar e balancear o fluxo das vias de assimilação do N e S (WARRILOW; HAWKESFORD, 1998).

Como o S é um elemento imóvel nas plantas os sintomas são primeiro vistos nas folhas jovens; no entanto, um diagnóstico visual de deficiência pode ser complexo, já que os sintomas não são específicos (HANEKLAUS et al., 2007). Na mandioca a deficiência de S caracteriza-se por uma clorose ou amarelecimento uniforme das folhas (LOZANO et al., 1983). Contudo, os autores apontam que esses sintomas não se restringem aos tecidos novos, sendo observado à campo carência de S nas porções inferiores e medianas da planta.

Em plantas de Canola, Malhi (2005) afirma que as folhas jovens apresentam amarelecimento, deformidade e encarquilhamento e os caules uma coloração púrpurea. Haneklaus et al. (2007) afirmam que, além de reduzir a produção e a qualidade nutricional de algumas culturas, a falta de S também afeta a saúde das plantas e a eficiência do uso do N. A dose de 150 kg S ha⁻¹ proporcionou máxima eficiência do uso do N, aumentando em até 40% a sua absorção pela cultura da canola (SCHNUG, HANEKLAUS, MURPHY, 1993). Dessa forma, o uso da adubação sulfatada em conjunto com a nitrogenada é capaz de proporcionar máximo benefício para as culturas.

Mais de 95% do S encontrado no solo está ligado à matéria orgânica, sendo que outras fontes naturais de S incluem os dejetos de animais, a água e a atmosfera (LOPES, 1998; VITTI; LIMA; CICARONE, 2006). As fontes minerais de S que normalmente são usadas na agricultura compreendem o sulfato de amônio, o S elementar (S_2), S combinado com micronutrientes, sulfato de potássio e gesso agrícola (PATEL; KADIVALA; PATEL, 2019). A escolha da fonte dependerá do local, disponibilidade dos nutrientes e também da cultura.

Em espécies oleaginosas, nas quais o maior interesse é a produção do óleo, o S é um elemento muito importante, já que favorece a qualidade destes produtos (PATEL; KADIVALA; PATEL, 2019). Os autores supracitados mencionam que neste tipo de cultura, a qualidade e a produção são levadas em conta. O S favorece tanto na formação dos órgãos de armazenamento, quanto na síntese do óleo. Em amendoim (*Arachis hypogea* L.), a aplicação de 40 kg ha^{-1} de S aumentou em 6% o teor de óleo dos grãos em comparação ao controle que não recebeu S. O uso do S também resultou em maior número de vagens, altura de planta e nódulos nas raízes (NAIKNAWARE; PAWAR; MURUMKAR, 2015).

No trigo, a produção e a qualidade de pão fabricado, são influenciados pela adubação sulfatada, pois a massa se torna mais dura e menos elástica sem o nutriente (HAGEL, 2005). O S é importante nas cadeias peptídicas e estabiliza as estruturas das proteínas para a formação do pão (HANEKLAUS et al., 2007). Järvan et al. (2017), estudando durante cinco anos a influência do S na cultura do trigo, observaram aumento do índice de glúten com a adubação sulfatada, além de aumento da produtividade de grãos em 18%. O glúten é importante na massa por promover volume e aeração e a falta de S nas plantas de trigo reduz esse volume (HANEKLAUS et al., 2007).

Em culturas tuberosas o elemento também é importante por melhorar a qualidade do tubérculo. Eppendorfer e Eggum (1994) estudaram a cultura da batata em vasos e observaram que a falta de S reduziu o conteúdo de amido e aumentou as taxas de nitrato nos tubérculos. Sharma et al. (2011) verificaram em quatro variedades de batata que a aplicação de 45 kg ha^{-1} de S proporcionou a máxima produtividade de tubérculos, cujo aumento foi relacionado a uma melhor distribuição de fotoassimilados nas plantas.

Na batata doce, por exemplo, a produtividade de raízes comerciais é maior quando se utiliza sulfato de amônio ao invés de ureia (ALVES et al., 2009). Em

beterraba, a adubação combinada de N e S aumentou a matéria seca e fresca das raízes tuberosas (OLIVEIRA et al., 2017b). Na mandioca o S está entre os cinco elementos mais absorvidos e acumulados nas raízes (HOWELER, 2002). As plantas com falta de S podem apresentar sintomas como redução da altura e amarelecimento das folhas, sendo mais observada essas situações em solos lixiviados (CONCEIÇÃO, 1987). Quando adubada corretamente, o acúmulo de S nos tecidos da planta de mandioca pode aumentar em até 5 kg ha⁻¹, sendo que a maior parte do S se acumulada nos tecidos aéreos da planta (HOWELER, 2002). A demanda da mandioca por S pode variar, porém recomenda-se aplicar entre 10 a 20kg ha⁻¹ de S na cultura (CRASWELL; ASHER; SULLIVAN, 1996). A fonte de S pode não alterar a produtividade da mandioca, porém estudos realizados por Howeler (2002) mostraram que o sulfato de potássio se mostrou mais eficaz para aumentar a produtividade da cultura.

A aplicação de sulfato de potássio (K₂SO₄), que fornece aproximadamente 18% de S (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006), também aumentou características como peso, comprimento e diâmetro de raízes de mandioca em estudo realizado por Ali e Abd-Elkader (2014).

Panitnok et al. (2013) estudaram os efeitos das aplicações foliares combinadas de S e outros nutrientes na cultura da mandioca e verificaram que a aplicação foliar de S+Mg aumentou o número de raízes por planta, enquanto a aplicação de S+Zn+Mg aumentou o peso fresco dos caules da planta. Contudo, estes autores apontam para variação nas respostas entre as cultivares.

2.3.2 Boro na planta

O boro (B) é essencial para as plantas, e desempenha uma série de funções, sendo considerado um elemento multifuncional (WIMMER et al., 2019). Uma série de desordens podem ser causadas pela deficiência de boro, muito relacionado ao transporte e distribuição do mesmo (GUPTA, 2007). O B é essencial para o alongamento e crescimento das raízes porque ele atua no alongamento e divisão celular exercendo uma função estrutural (GUPTA; SOLANKI, 2013; SALEEM et al., 2011; KIRKBY; RÖMHELD, 2007; GUPTA, 2007). Gupta e Solanki (2013), também afirmam que o B é importante para estrutura e função da parede celular. Além disso, o B apresenta uma relação direta com o conteúdo de açúcar e seu transporte na planta (GUPTA, 2007). Uma série de outros relatos sobre a importância do B para

proteínas, aminoácidos, hormônios e formação de flores e produção de sementes também são descritos (GUPTA, 2007; GUPTA; SOLANKI, 2013; SALEEM et al., 2011).

Kaisher et al. (2010), em estudo com feijão moyashi (*Vigna radiata* L. Wilczek) observaram que adubação de 5 kg ha⁻¹ de B proporcionou aumento do conteúdo de proteína nas plantas. Na cultura da soja, Yamagishi e Yamamoto (2012), observaram que a falta de B em plantas cultivadas em vasos causou baixo teor de matéria seca e número de nódulos, comprometendo assim a produtividade das plantas.

Em girassol, o B influencia não apenas na fecundação dos capítulos, o que promove aumento do número de grãos, mas também no conteúdo de óleo dos mesmos (ALVES et al., 2020). Estes autores apontam que ocorre grande flutuação varietal, sendo algumas cultivares mais sensíveis à deficiência de B do que outras. No girassol, a demanda por B durante o início do estágio reprodutivo é alta, pois o B influencia diretamente na viabilidade do pólen e no crescimento do tubo polínico (KRUDNAK; WONPRASAID; MACHIKOWA, 2013). Estes autores observaram que a dose de 9,4 kg ha⁻¹ de B foi a mais eficiente em garantir a viabilidade polínica em duas cultivares de girassol.

Nas culturas tuberosas, em que os tubérculos e raízes tuberosas são as partes comercialmente mais importantes, o B também desempenha papel importante. Na beterraba, a falta do elemento pode causar distúrbio conhecido como “mal do coração”, comprometendo a qualidade da raiz (GUPTA, 2007). Na batata-doce, pode ocorrer o aparecimento de pontos pretos no interior do tubérculo ou o rachamento dos mesmos (BYJU; NEDUNCHEZHIAN; NASKAR, 2007; GUPTA, 2007). Na cultura da batata, o B influencia na produção, formato e coloração de tubérculos (LENKA; DAS, 2019) e a aplicação de B em conjunto com Zn pode aumentar o acúmulo de proteína nos tubérculos, além de aumentar a produtividade final (SARKER et al., 2020).

Na mandioca a deficiência de B se manifesta principalmente nas zonas de crescimento e nas raízes (LOZANO et al., 1983). Segundo os autores, as plantas de mandioca com deficiência do elemento serão de porte menor, apresentarão folhas pequenas e com pecíolo curto. Podendo ainda as raízes laterais não se desenvolverem e o ápice radicular morrer. Os autores ainda distinguem a deficiência de B a partir de pontos necróticos nos caules e pecíolos que podem exsudar uma

substância gomosa e evoluir para uma necrose na região. Contudo, segundo Howeler (2002) para a mandioca os micronutrientes, de maneira geral, não causam grande influência sobre a produtividade quando a cultura se encontra bem suprida com macronutrientes. Em contradição, Silva et al. (2014) relata que os micronutrientes aumentam a produtividade da cultura da mandioca, podendo promover bons resultados.

Segundo Howeler (2002) a mandioca é resistente a baixa disponibilidade de B no solo, a qual não afeta a produtividade da cultura. Conceição (1987) aponta que doses baixas, de 1 a 2 kg ha⁻¹ de B já são suficientes para suprir a demanda. Os níveis ótimos de concentração de B nas folhas são de 23 µg g⁻¹ (LEBOT, 2009). Porém, poucos são os estudos com o uso de B na cultura da mandioca, mesmo sabendo que este nutriente é importante para o desenvolvimento de folhas e ápices foliares (JOHN et al., 2016) e para a síntese de carboidratos e a produção de tubérculos (LENKA; DAS, 2019).

2.4 Enxofre e Boro no solo

O S é absorvido pelas plantas na forma de sulfato (SO⁴⁻), enquanto que o B é na forma de ácido bórico ou borato (H₃BO₃), mas também em complexos com Ca ou ligados a compostos orgânicos solúveis (SUNIL et al., 2017; DECHEN et al., 2018; VITTI et al., 2018). Tanto o S quanto o B são facilmente encontrados na matéria orgânica do solo, dessa forma, solos lixiviados, muito arenosos e com baixo teor de matéria orgânica podem apresentar deficiência dos elementos (FUENTES-LARA et al., 2019; JORDAN; ENSMINGER, 1959).

Aproximadamente 95% do S encontra-se na matéria orgânica do solo, dessa maneira o revolvimento do solo e a retirada constante das plantas, acaba por favorecer a degradação da matéria orgânica e dessa maneira, a redução dos estoques de S no solo (FUENTES-LARA et al., 2019; VITTI; OTTO; SAVIETO, 2015). Assim, a incorporação de fontes sulfatadas é recomendada para suprir essa demanda. No entanto, a principal maneira de repor o elemento no solo é através de forma inorgânica, sulfatos, porém, nesta forma o S é facilmente lixiviado e também adsorvido pelos colóides do solo, dependendo sua dessorção do pH, menor o pH maior será a adsorção do elemento (FUENTES-LARA et al., 2019; JORDAN; ENSMINGER, 1959). Em solos tropicais, que são mais intemperizados, é mais

comum observar baixas quantias de S no perfil explorado pelas raízes, por causa da mobilidade do elemento no perfil (VITTI; OTTO; SAVIETO, 2015).

O S, assim como o N, passa por processos de decomposição, muito afetados pelos microrganismos do solo (SUNIL et al., 2017). Os processos responsáveis pelas transformações do elemento são mineralização, imobilização e oxidação (SUNIL et al., 2017). O processo de oxirredução do elemento é representado pela oxidação do sulfeto (encontrado em solos mal drenados) ou S elementar em sulfato, ocorrendo com a redução do pH do solo e a redução do sulfato em sulfeto com a elevação do pH do solo (VITTI et al., 2018). Os autores ressaltam que o processo de oxidação é dependente de microrganismos, e estes, dependem da temperatura e umidade do solo. Ainda citam que a mineralização do S, assim como a do N, também será dependente da relação C:S, sendo formado o sulfato, somente quando o teor de S na Matéria Orgânica (MO) exceder a necessidade alimentar dos microrganismos do solo.

O B é encontrado em minerais silicatados, adsorvido pelos argilominerais, e na MO (DECHEN et al., 2018). A disponibilidade do elemento é dependente de vários fatores, como por exemplo o pH, sendo reduzida sua disponibilidade quando acima de 6,5 (SUNIL et al., 2017).

O B é um elemento que percola no solo, especialmente em solos tropicais e ácidos. Assim como o S, o B também pode lixiviar com facilidade para zonas além do alcance das raízes, e isso ocorre porque o B é um elemento solúvel em água. Por ser solúvel, o B pode apresentar deficiência em solos arenosos de regiões tropicais chuvosas ou sob irrigação constante (GUPTA; SOLANKI, 2013). Solos com aplicações de calcário excessivo, também tendem a percolar e apresentar deficiência (GOLDBERG, 1997).

O baixo teor de MO no solo também pode resultar em deficiência de B, já que esta fração orgânica libera o elemento para a solução do solo (DEAR; WEIR, 2004). Diferente dos demais elementos, o B possui um ciclo no solo simples, e sua disponibilidade depende da reação de adsorção (GOLDBERG, 1997). A rocha de formação também afeta o nível de B no solo, por isso solos arenosos tendem a apresentar deficiência desse micronutriente (GOLDBERG, 1997).

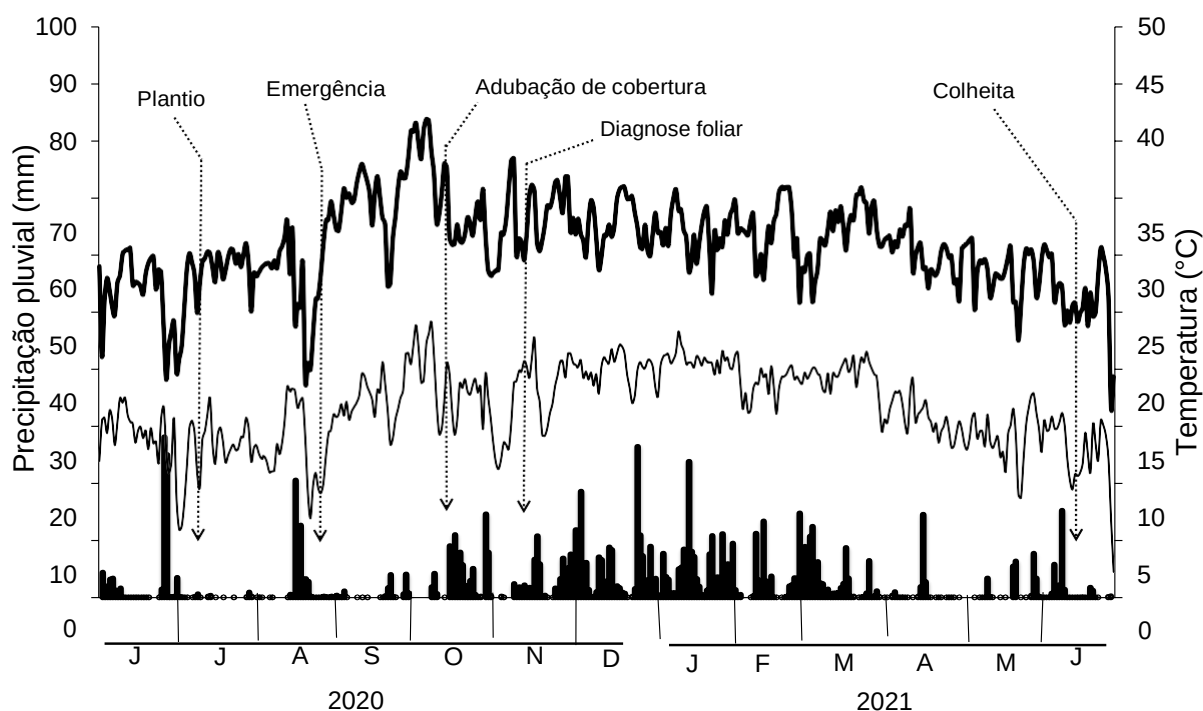
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e localização dos experimentos

Foram conduzidos dois experimentos no período de julho de 2020 a junho de 2021, sendo um experimento com adubação sulfatada e outro com adubação boratada de cobertura. Em cada experimento foram avaliadas as cultivares IAC 576-70 (padrão), BRS 396, BRS 399, Palito e Precoce.

Os experimentos foram conduzidos no município de Ubirajara, SP (22° 30' 30.6" S 49° 39' 44.9" W), localizada em propriedade particular pertencente a Cooperativa Agroindustrial de Ubirajara (CAU). Segundo a classificação de Koppen o clima da região é do tipo Cfa. O solo tem predomínio de Argissolo Vermelho- Amarelo ou Vermelho, com textura arenosa/média e relevo suave (ROSSI, 2017). As temperaturas máximas e mínimas e a precipitação pluvial ocorridas durante a condução da pesquisa estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluvial (barras), temperaturas máximas (linhas grossas) e mínimas (linhas finas) na área experimental durante o período de condução dos experimentos em Ubirajara-SP. Os momentos do plantio, emergência, adubação de cobertura, coleta de folhas diagnósticas e colheita estão indicados na Figura



3.2 Cultivares

As cultivares utilizadas foram IAC 576-70, BRS 399, BRS 396, Precoce e Palito, sendo as duas últimas cultivares locais, e amplamente cultivadas pelos agricultores. A cultivar “Precoce” apresenta ciclo precoce, plantas de porte baixo, com ramificação compacta e alta produtividade de raízes. A cultivar Palito apresenta baixo número de hastes por planta (cerca de uma) e porte alto, o que facilita a colheita de ramas e o plantio mecanizado.

A cultivar IAC 576-70 é antiga, porém com alto padrão culinário e aceitabilidade, devido à alta produtividade e ao baixo tempo de cozimento de suas raízes. Sua colheita pode ser a partir do 9º mês, e sua expectativa de produtividade é de mais que 22 t ha⁻¹. Possui polpa amarelada, alto teor de carotenos e película marrom. Apesar de seu principal destino ser o consumo *in natura*, também pode ser utilizada para produção de fécula, já que possui alto teor de matéria seca (IAC, 2021).

A cultivar BRS 396, lançada em 2015 pela EMBRAPA, permite a colheita a partir do 7º mês após o plantio, possui a coloração da polpa amarelada e alto teor de carotenoide, importante precursor da vitamina A, bom tempo de cozimento e características favoráveis ao consumo, como ausência de fibras. Possui boa produtividade (entre 25 e 40 t ha⁻¹), facilidade de colheita e tolerância média a bacteriose e resistência ao superalongamento (EMBRAPA, 2015).

A cultivar BRS 399, lançada em 2015 pela EMBRAPA, apresenta precocidade, possibilitando a colheita a partir dos sete meses, polpa com coloração amarelada e bom tempo de cozimento. Também apresenta arquitetura de planta mais favorável a colheita e produtividade média a alta (entre 17 e 57 t ha⁻¹), possui polpa amarelada, alto teor de carotenoides e película marrom. A cultivar também apresenta resistência às principais doenças que acometem a cultura, tais como bacteriose e superalongamento (EMBRAPA, 2014).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 5 x 3, com quatro repetições. Nos dois experimentos, o fator A foi representado pelas cultivares de mandioca de mesa (IAC 576-70, BRS 396, BRS 399, Palito e Precoce), e o fator B foi representado pelos níveis de S ou de

B. No experimento com S, os níveis foram 0, 22 e 44 kg ha⁻¹ de S, enquanto no experimento com B os níveis foram 0, 1 e 2 kg ha⁻¹ de B. Cada parcela possuía quatro linhas de 4 m de comprimento. No total foram 60 parcelas por experimento. As plantas foram espaçadas de 1,1 m entre linha e 0,75 m entre plantas.

3.4 Instalação e condução dos experimentos

A área experimental havia sido cultivada com mandioca na safra anterior. Em junho de 2020, antes da implantação da cultura, foi coletado solo da área experimental nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm para análise química. O solo foi peneirado (peneira de 2 mm), seco ao ar (terra fina seca ao ar) e em seguida submetido as análises químicas (pH, M.O., P, S, K, Ca, Mg, H+Al, CTC, V%, B, Cu, Fe, Mn, Zn) de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

A área não recebeu calagem devido a saturação por bases estar dentro da faixa indicada para a cultura da mandioca, que é de 50% (Tabela 1) (LORENZI et al., 1997). Os teores de S nas camadas de 0-20 e 20-40 eram considerados baixos (<4 mg dm⁻³) e médios (5-10 mg dm⁻³), respectivamente; enquanto os teores de B eram baixos (<0,20 mg dm⁻³) nas duas camadas (RAIJ et al., 1997).

O solo dos experimentos foi preparado de forma convencional com as seguintes operações: uma gradagem aradora, uma aração com arado de disco ($\pm$ 20 cm de profundidade) e uma gradagem leve. Em ambos os experimentos, a adubação de base foi realizada com 264 kg ha⁻¹ do formulado 4-30-10 + 7% de Ca + 3% de S. Dessa forma, aplicou-se na adubação de plantio 11 kg ha⁻¹ de N, 79 kg ha⁻¹ P₂O₅, 26 kg ha⁻¹ K₂O, 18 kg ha⁻¹ Ca e 8 kg ha⁻¹ S.

Tabela 1 - Características químicas do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm antes do plantio da mandioca

Características da análise de solo	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (CaCl ₂)	4,9	4,6
MO (g dm ⁻³)	11	10
P (mg dm ⁻³)	5	3
S (mg dm ⁻³)	3	6
K (mmol _c dm ⁻³)	1,03	0,64
Ca (mmol _c dm ⁻³)	10,5	5,5
Mg (mmol _c dm ⁻³)	7,5	3,5
CTC (mmol _c dm ⁻³)	32	24
V (%)	57	37
B (mg dm ⁻³)	0,15	0,2
Cu (mg dm ⁻³)	0,3	0,3
Fe (mg dm ⁻³)	11	5,5
Mn (mg dm ⁻³)	8,1	6,5
Zn (mg dm ⁻³)	1,1	0,3

O plantio foi realizado de forma mecanizada no dia 10 de julho de 2020 com plantadora-adubadora de mandioca, modelo Bazuca II da marca Planticenter®. Foram utilizadas ramas retiradas do terço médio de plantas sadias com aproximadamente 12 meses de idade. A profundidade de plantio aproximada foi de 10 cm, no espaçamento de 1,1 m entre linhas e 0,75 entre plantas sendo cada parcela constituída por quatro linhas e 4 m de comprimento.

A emergência da cultura ocorreu em 26 de agosto de 2020, aos 47 dias após o plantio (DAP). Em 15 de outubro de 2020, aos 98 DAP, foi realizada as adubações de cobertura com os nutrientes em estudo (S e B) e os demais nutrientes.

No experimento com S, foi utilizada como fonte o sulfato de amônio (22% de S e 20% N). Em todos os tratamentos foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de N. Porém, como a fonte de S continha N, na dose zero de S, todo o N (40 kg ha⁻¹ de N) foi fornecido na forma de nitrato de amônio (32% de N). Na dose com 22 kg ha⁻¹ de S, metade do N foi fornecido como sulfato de amônio (20 kg ha⁻¹ de N) e metade como nitrato de amônio (20 kg ha⁻¹ de N), enquanto na maior dose de S (44 kg ha⁻¹) todo o N foi suprido como sulfato de amônio (40 kg ha⁻¹ de N). Além disso, todas as parcelas receberam a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, 60% de K₂O), 1,0 kg ha⁻¹ de B (ácido bórico, 17% de B) e 2,0 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco, 20% de

Zn e 16% de S). Assim, as adubações de base e cobertura forneceram no total: 51 kg ha⁻¹ de N, 79 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 86 kg ha⁻¹ de K₂O, 18 kg ha⁻¹ de Ca, 8 kg ha⁻¹ de S (no plantio), 1 kg ha⁻¹ de B, 2 kg ha⁻¹ de Zn e as diferentes doses de S em cobertura.

No experimento com B, foi utilizado como fonte o ácido bórico (17% de B). Todas as parcelas também receberam a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N e 44 kg ha⁻¹ de S (sulfato de amônio, 20% de N e 22% de S), 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio, 60% K₂O) e 2 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco, 20% de Zn e 16% de S). As quantidades totais de nutrientes aplicadas (plantio + cobertura) foram: 51 kg ha⁻¹ de N, 79 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 86 kg ha⁻¹ de K₂O, 18 kg ha⁻¹ de Ca, 52 kg ha⁻¹ de S, 2 kg ha⁻¹ de Zn, e as doses de B em cobertura.

Em ambos experimentos a adubação de cobertura foi realizada aplicando os fertilizantes na superfície do solo e aproximadamente a 10 cm da base das plantas. Para essa operação, foi calculada e pesada as quantidades de fertilizantes contendo micronutrientes por tratamento e adicionou-se areia lavada e seca em estufa ao volume pesado. Em seguida, a mistura foi homogeneizada, e mediante pesagem, preparou-se saquinhos plásticos contendo uma mistura (formulado) com as quantidades de cada fertilizante a ser aplicada por 4 m de linha de cada parcela. A mistura foi homogeneizada nos saquinhos por agitação antes de ser aplicada em cada parcela no campo.

O controle fitossanitário e o controle de plantas daninhas foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura na região e critérios adotados pelo produtor. A colheita da mandioca foi realizada no dia 17 de junho de 2021 (11,4 meses após o plantio; 295 dias após a emergência).

3.5 Avaliações

3.5.1 Diagnose foliar

Em 14 de novembro de 2020, aos 82 dias após emergência (DAE) foram realizadas amostragens das folhas retirando-se o limbo da folha mais jovem totalmente expandida (LORENZI et al., 1997), de 20 folhas de cada unidade experimental de ambos os experimentos para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn de acordo com metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.5.2 Número de hastes, altura e população final de plantas

No dia da colheita foi determinado o número de hastes e a altura de plantas em duas (02) plantas da área útil de cada parcela. O número de hastes por planta foi determinado mediante contagem e a altura das plantas foi quantificada com o auxílio de uma trena (fita graduada) a partir da superfície do solo até o ponto mais alto da planta. A população final de plantas foi obtida a partir da contagem de número de plantas em 4 m de comprimento das duas linhas centrais de cada unidade experimental.

3.5.3 Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

Na colheita, foram removidas as plantas presentes nos 3 m centrais da área útil de duas linhas de cada parcela (± 8 plantas). As plantas foram divididas em parte aérea, cepas e raízes. Em duas plantas de cada parcela foram determinados o comprimento e o diâmetro médio das raízes tuberosas. O comprimento médio das raízes foi determinado com auxílio de uma régua graduada e o diâmetro médio foi determinado com paquímetro digital (150 mm MTX) na região do terço médio das raízes. Em seguida, as raízes de todas as plantas foram contadas e classificadas em comercial (definiu-se como raízes comerciais aquelas maiores que 40 mm e sem defeitos comerciais, por não haver uma padronização definida) e não comercial. Posteriormente, as raízes foram pesadas e o seu peso médio calculado dividindo-se o peso total pelo número total de raízes de cada parcela. A produtividade total e comercial de raízes foi calculada multiplicando-se o peso obtido por planta pela população final de plantas.

3.5.4 Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, cepas e raízes tuberosas e na planta inteira e índice de colheita

Após a colheita e separação das partes das plantas (parte aérea, cepas e raízes tuberosas) (item 3.5.3.), todas as partes das plantas da área útil das parcelas foram pesadas separadamente (peso fresco). Em seguida, amostras representativas de cada parte das plantas foram separadas e secas em estufa com circulação forçada de ar à 65 °C por 96 h. Após secas, as amostras foram novamente pesadas (peso seco) e o acúmulo de matéria seca (MS) nas partes da planta calculado

considerando o acúmulo de MS por planta e a população final de plantas. O acúmulo de MS na planta inteira foi obtido pela soma das quantidades de MS acumuladas em todas as partes da planta.

O índice de colheita (IC) foi calculado utilizando a equação proposta por Sagrilo et al. (2002), em que:

$$IC = \frac{MSRA}{MSPL} \quad (1)$$

MSRA: é a quantidade de MS acumulada nas raízes tuberosas ($t\ ha^{-1}$); MSPL: é a quantidade de MS acumulada na planta inteira ($t\ ha^{-1}$).

3.5.5 Teor, acúmulo, exportação e eficiência de uso de S e B

As amostras secas obtidas no item 3.5.4. foram moídas em moinho de aço inox e as amostras dos experimentos com S e B avaliadas quanto aos teores de S e B, respectivamente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As quantidades de S e B acumuladas em cada parte da planta foram calculadas considerando os teores nas partes da planta e as quantidades de MS acumuladas. As quantidades de S e B extraídas pela mandioca foram obtidas pela soma das quantidades acumuladas em cada parte da planta, enquanto a exportação de S e B foi considerada como a quantidade acumulada nas raízes tuberosas.

As eficiências de uso de S (EUS) e de B (EUB) foram calculadas de acordo a metodologia adotada por Fernandes e Soratto (2013):

a) eficiência de uso de B ou S para a produtividade de raízes tuberosas frescas

Essa eficiência foi calculada através da relação: produtividade total de raízes frescas/quantidade total de S ou B absorvida pela planta.

b) eficiência de uso de B ou S para a produção de MS da planta

Essa eficiência foi calculada através da relação: quantidade total de MS produzida pela planta/quantidade total de S ou B absorvida pela planta.

c) eficiência de uso de B ou S para a produção de MS de raízes tuberosas

Essa eficiência foi calculada através da relação: quantidade total de MS de raiz tuberosa produzida /quantidade total de S ou B absorvida pela planta.

3.5.6 Tempo de cozimento das raízes tuberosas e textura crua e cozida

O tempo de cozimento (TC) das raízes foi determinado utilizando-se cilindros com aproximadamente 6 cm de comprimento retirado da parte mediana de três raízes comerciais de cada parcela, as quais foram descascadas e imersas em 1.000 ml de água em ebulição. O ponto ideal de cozimento foi obtido com a utilização de um garfo de aço inoxidável, considerando o limite máximo para cozimento o tempo de 30 minutos (LORENZI, 1994).

As mesmas amostras utilizadas para determinar o tempo de cozimento, antes e depois de cozidas foram submetidas ao teste de firmeza com uso de texturômetro (TA.XT Plus Texture Analyser) com ponta de prova SMS P/2N e velocidade de penetração de $2,5 \text{ mm s}^{-1}$. A leitura foi expressa em força Newton (N).

3.5.7 Teor de matéria seca (MS), amido e proteína nas raízes tuberosas

Para a determinação dos teores de MS, as amostras das raízes foram lavadas, desintegradas, pesadas (peso fresco) e desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas para se obter o teor de MS, e em seguida, foram moídas. O teor de amido foi determinado nas amostras secas a partir de metodologia de Somogy- Nelson (SOMOGY, 1945), sendo lidos em espectrofotômetro a 535 nm. O teor de proteína foi determinado na matéria seca através do N total por metodologia micro Kjeldahl com a utilização de fator de 6,25 para conversão do N em proteína bruta. De posse dos dados os teores de amido e proteína foram convertidos para teores na matéria fresca.

3.5.8 Rendimento operacional e de produto processado

Essa avaliação foi realizada apenas para avaliar possíveis diferenças entre as cultivares, ou seja, sem considerar os tratamentos de adubação de cobertura. Para isso, foram colhidas 10 caixas de raízes tuberosas de aproximadamente 28 kg de cada cultivar juntando-se amostras de raízes das quatro repetições. As caixas foram pesadas com as raízes (raízes sujas), e posteriormente, as raízes foram lavadas em lavador descascador (raízes lavadas) e descascadas manualmente. A retirada da entrecasca das raízes (descascamento) foi feita adotando-se os critérios da Cooperativa, no qual o descasque é manual utilizando facas sem ponta, através de

um serviço terceirizado por famílias locais. Em seguida, as raízes descascadas (polpa) foram novamente pesadas e com a diferença entre os pesos das raízes sujas, lavadas e descascadas, calculou-se o rendimento de processamento para cada cultivar de mandioca. O rendimento de produto processado foi calculado para cada cultivar considerando o rendimento de processamento e as produtividades totais comerciais. Com isso, obteve-se o rendimento de produto processado a partir de todas as raízes (produtividade total) e a partir de raízes com diâmetro maior que 40 mm (produtividade comercial).

3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância separadamente por experimento, utilizando-se o *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2010). As médias dos tratamentos com adubação de S ou B em cobertura foram separadas pelo teste LSD ($p \leq 0,05$). Para a avaliação de rendimento operacional, como juntou-se as repetições de cada cultivar, não foi realizada a análise estatística

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento com adubação sulfatada

4.1.1 Diagnose foliar

A diagnose foliar é realizada entre os 3 a 4 meses após o plantio devido ao requerimento máximo que a cultura tem nessa fase do crescimento, variando, no entanto com o tecido avaliado (HOWELER; CADAVID, 1983). No presente estudo os macronutrientes não apresentaram interferência do fator nível de S, havendo apenas efeito principal do fator cultivar para os teores foliares de P, K, Ca e Mg (Tabela 2). O N não foi afetado por nenhum dos fatores estudados, porém os valores desse nutriente encontram-se adequados (LORENZI et al., 1997).

Os menores teores de P foram verificados nas cultivares da EMBRAPA, BRS 399 e BRS 396, com 3,6 e 3,5 g kg⁻¹ respectivamente. No entanto, ambos são considerados adequados para a cultura, sendo as referências entre 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ para Oliveira (2004) e 2,0 a 5,0 g kg⁻¹ para Lorenzi et al. (1997).

Os teores de K encontram-se entre 14,4 e 15,8 g kg⁻¹, sendo a única variedade com diferença do teor de K a BRS 399. Para Lorenzi et al. (1997) e também Oliveira (2004), os valores são considerados adequados, por estarem entre 10 a 20 g kg⁻¹.

Foram observadas nas cultivares da EMBRAPA os maiores teores de Ca e Mg para os dois elementos. No entanto, o teor de Ca está abaixo do ideal para a cultura, que é de 5 a 15 g kg⁻¹ para Lorenzi et al. (1997). Dessa maneira, o não suprimento adequado da demanda pelo elemento pode causar consequências para a cultura por ser importante para inúmeros processos. O Ca está entre os cinco nutrientes mais extraídos pela mandioca e, segundo Cadavid (2012), para uma produção de 15 t ha⁻¹, a planta extrai 20,4 kg ha⁻¹ de Ca com as raízes. A falta desse nutriente pode reduzir o crescimento das plantas e as folhas mais jovens são deformadas, comprometendo a fotossíntese (CADAVID, 2012). O teor de Mg na cultivar Precoce é mais baixo, com 2,8 g kg⁻¹, mas ainda está de acordo com Lorenzi et al. (1997), com valores de referência entre 2 e 5 g kg⁻¹.

Tabela 2 - Teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	54,0 a	3,6 b	15,8 a	4,0 a	3,2 a	2,1 a
BRS 396	55,5 a	3,5 b	14,4 b	4,2 a	3,1 ab	2,5 a
Palito	53,0 a	4,0 a	14,6 b	2,9 b	3,0 ab	2,2 a
Precoce	55,0 a	4,0 a	15,0 b	2,3 b	2,8 c	2,2 a
IAC 576-70	56,3 a	3,9 a	14,6 b	2,5 b	3,0 bc	2,3 a
<i>Níveis de S</i>						
Baixo	54,4 a	3,8 a	14,8 a	3,2 a	3,0 a	2,2 a
Médio	55,5 a	3,8 a	14,8 a	3,1 a	3,0 a	2,3 a
Alto	54,4 a	3,8 a	15,1 a	3,2 a	3,1 a	2,3 a
ANOVA ($P>F$)						
	Probabilidade de F					
Cultivar (C)	ns	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,0074	ns
Níveis de S (S)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	57,2 a	8,5 a	98,2 b	332,0 b	78,2 b	
BRS 396	54,1 a	8,3 a	108,5 a	391,5 a	87,8 a	
Palito	46,8 ab	9,0 a	102,6 ab	193,6 c	79,6 ab	
Precoce	37,9 b	8,4 a	99,6 b	190,2 c	56,0 c	
IAC 576-70	49,7 a	7,6 a	96,7 b	184,4 c	76,2 b	
<i>Níveis de S</i>						
Baixo	32,6 c	8,2 a	100,8 a	262,3 a	76,9 a	
Médio	47,2 b	8,5 a	100,9 a	265,8 a	75,1 a	
Alto	67,6 a	8,4 a	101,7 a	246,9 a	74,6 a	
ANOVA ($P>F$)						
	Probabilidade de F					
Cultivar (C)	0,015	ns	0,0039	<0,0001	<0,0001	
Níveis de S (S)	<0,0001	ns	ns	ns	ns	
C x S	0,022	ns	ns	ns	ns	

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O S não foi afetado pelas cultivares ou pelos níveis de S aplicados, porém, é observado que os teores ficaram todos entre 2,1 e 2,5 g kg^{-1} , valores esses abaixo dos propostos por Lorenzi et al. (1997) e também Oliveira (2004), que são de 3-4 g kg^{-1} . Vale destacar que o fertilizante utilizado no plantio forneceu 8 kg ha^{-1} de S e que a adubação sulfatada de cobertura foi realizada aos 51 DAE, ou seja, um mês antes da coleta das folhas diagnósticas (82 DAE). Portanto, este estudo mostrou que mesmo fornecendo 52 kg ha^{-1} de S (8 kg no plantio + 44 kg em cobertura) os teores

foliares deste nutriente ficaram abaixo da faixa considerada como adequada para a cultura (LORENZI et al., 1997; OLIVEIRA, 2004).

Baixos teores de S causam consequências para as plantas, especialmente para a cultura da mandioca, que é muito consumida por suas características nutricionais e valor biológico. O S é responsável pela síntese de proteínas, cistina e metionina além de ser o precursor de vitaminas, como por exemplo, a vitamina A (COLEMAN, 1966). Deficiências do nutriente são visualizadas no campo como as do N, sendo comum inclusive observar falta de ambos em conjunto. Esses dois nutrientes possuem sinergismo e se conectam através da união das rotas metabólicas (SILVA; TREVIZAM, 2015). Por isso, a falta de um irá interferir na do outro, e com isso é possível que o N possa vir apresentar deficiência, caso o S não apresente um teor adequado. A relação de N:S nos tecidos vegetais é de maneira geral de 10:1, mas pode variar entre espécies vegetais (REIN; SOUSA, 2004). Seguindo essa taxa, o valor de S no atual experimento está bem abaixo do adequado. O S é absorvido pelas plantas majoritariamente pela forma de sulfato. No Brasil, o S nos solos encontra-se em grande parte na forma orgânica, dessa maneira, não prontamente absorvível pelas plantas (REIN; SOUSA, 2004). Por isso, a adubação com o elemento é recomendada.

Em relação aos micronutrientes, apenas o teor de Cu não apresentou efeito dos tratamentos estudados (Tabela 2), estando esse dentro dos valores adequados de 5 – 25 mg kg⁻¹ (LORENZI et al., 1997). Houve efeito do fator cultivar para os teores de Fe, Mn e Zn. Os teores de Fe e Zn encontram-se dentro do adequado para a diagnose foliar segundo o mesmo autor. No entanto, o teor de Mn está acima do limite para a cultura de 25 a 100 mg kg⁻¹, sendo no caso das cultivares da EMBRAPA mais que o dobro do recomendado. O teor de B apresentou interação dos fatores estudados (Tabela 2).

O teor foliar de B no nível baixo de S não diferiu entre as cultivares (Tabela 3). No nível médio de S as cultivares Precoces e IAC 576-70 apresentaram os menores teores foliares de B, mas no nível alto de S a cultivar BRS 399 apresentou teores foliares de B maiores do que nas cultivares BRS 396, Palito e Precoces. A adubação sulfatada não alterou os teores foliares de B da cultivar Precoces, mas nas outras cultivares a adubação sulfatada aumentou o teor foliar de B. A cultivar BRS 399 apresentou o maior teor de B no nível alto de S, sendo considerado tóxico (HOWELER, 1996). Os valores referências para esse nutriente estão entre 15 a 50

mg kg⁻¹ (LORENZI et al., 1997). Dessa forma, não só a cultivar BRS 399 apresenta teores acima dos valores recomendados, mas também as cultivares BRS 396 e Palito quando aplicado um nível médio e alto de S e a IAC 576-70 quando em nível alto de S. O excesso de B na planta pode causar pontos necróticos nas pontas das folhas, conforme Cadavid (2012). Porém, esses sintomas fitotóxicos não foram observados em nenhuma cultivar.

O B e o S, no entanto, quando aplicados em conjunto, trouxeram benefícios para a cultura da batata (SINGH et al., 2018). Os autores observaram aumento na clorofila e, conseqüentemente, na atividade fotossintética das plantas. O B sozinho não é capaz de promover aumentos de produtividades, desempenhando um papel complementar (KLIKOCKA, 2020). No entanto quando aplicado juntamente com o S, aumentam o teor de B nas partes da planta e também na produtividade e teor de amido (SINGH et al., 2018; KLIKOCKA, 2020).

Tabela 3 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o teor de B na folha diagnose da mandioca.

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
BRS 399	38,4 aB	47,1 abcB	86,3 aA
BRS 396	35,4 aB	68,0 aA	64,8 bcA
Palito	28,1 aB	53,1 abA	59,4 cA
Precoce	34,6 aA	32,3 cA	46,7 cA
IAC 57670	26,5 aB	41,6 bcB	81,0 abA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

4.1.2 Avaliações fitotécnicas

4.1.2.1 Número de hastes, altura e população final de plantas

O número de hastes, a altura de plantas e também a população de plantas não apresentaram interação cultivar x níveis de S, havendo apenas efeito principal de cultivar (Tabela 4). Para Kaisher et al. (2010), em feijão moyashi (*Vigna radiata* L. Wilczek) o S influenciou o número de hastes por planta até a dose de 30 kg ha⁻¹.

A maior altura de plantas foi vista para a cultivar Palito, com 3,8 m, enquanto que a Precoce, foi a mais baixa, 2,3 m, não diferindo da cultivar BRS 396, que apresentou 2,5 m (Tabela 4). Para Zeb e Jan (2021), na cultura do gergelim, o S, até a dose de 40 kg ha⁻¹ aumentou a altura das plantas. Já para a mandioca, Ngongi, Howeler e Macdonald (1976), comparando aplicação de cloreto de potássio e sulfato de potássio, perceberam que o segundo também promoveu aumento na altura das plantas. Porém, não se manteve nos dois locais testados, demonstrando que o ambiente também pode influenciar nessa característica.

Tabela 4 - Número de hastes, altura e população de plantas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Hastes por planta (no.)	Altura de plantas (m)	População final de plantas (plantas ha ⁻¹)
<i>Cultivar</i>			
BRS 399	1,9 b	3,0 b	9091 c
BRS 396	1,7 bc	2,5 c	8144 e
Palito	1,3 d	3,8 a	10700 a
Precoce	2,4 a	2,3 c	10608 b
IAC 576-70	1,6 cd	3,0 b	8775 d
<i>Níveis de S</i>			
Baixo	1,7 a	2,8 a	9464 a
Médio	1,9 a	3,0 a	9460 a
Alto	1,7 a	2,9 a	9470 a
ANOVA (<i>P>F</i>)		<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de S (S)	ns	ns	ns
C x S	ns	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A população final de plantas foi afetada apenas pelas cultivares (Tabela 4). Todas apresentaram valores de população de plantas abaixo do esperado, que era de aproximadamente 12.121 plantas ha⁻¹. Entretanto, os valores obtidos estão na média de população de plantas utilizadas de 5 a 10 mil plantas ha⁻¹ (COCK, 1985; SILVA et al., 2013). A cultivar BRS 396 apresentou 33% menos plantas que o esperado, enquanto que a IAC 576-70 apresentou população de plantas 28% abaixo do esperado. Uma baixa população de plantas em mandioca de mesa, além de possuir maiores chances de serem infestadas com plantas competidoras, também

possuirão menor acúmulo de matéria seca total, afetando diretamente o rendimento (COCK, 1985).

4.1.2.2 Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

Dentre os componentes que afetam a produtividade da cultura da mandioca, apenas o peso médio foi influenciado pela interação dos fatores estudados (Tabela 5). O número de raízes não foi influenciado pela interação, apenas a cultivar interferiu nesta variável. Neste experimento, o número de raízes ficou entre 7,9 para a cultivar Precoce, e 11,5 na cultivar IAC 576-70. Em média a mandioca pode produzir de 9 a 14 raízes por planta (COCK et al., 1979). No entanto, para os autores um grande número de raízes não é considerado sinônimo de boa produtividade, já que as raízes podem ser mais leves, e conseqüentemente, serão menos produtivas.

Andrade et al. (2014) em três cultivares diferentes observaram peso de raízes maior que o presente estudo. Possivelmente por terem um número de raízes entre três e cinco. Os autores também observaram que as cultivares com maior número de raízes apresentavam menor diâmetro, corroborando com o presente estudo. Oliveira et al. (2017), com aplicação de N em doses altas de até, 330 kg ha⁻¹ observaram um número de raízes de 8 a 8,6, sendo esses, adequados para a cultura. Os autores apontam que número e o comprimento das raízes não definirão produtividade na cultura da mandioca, uma vez que esses parâmetros podem ser compensados em diâmetro.

O diâmetro das raízes não foi afetado pelos fatores estudados, apenas o comprimento apresentou efeito das cultivares, sendo a Palito com raízes mais compridas. A cultivar BRS 399 juntamente com a BRS 396 são as menos compridas, mas são as mais pesadas. Figueiredo et al. (2014), encontrou uma correlação de 60% entre matéria fresca de raiz e diâmetro sendo esses os principais determinantes para a produtividade. Com a cultivar IAC 576-70, os autores obtiveram um comprimento médio de 35 cm e entre 45 e 50 mm de diâmetro. Neste estudo, o comprimento das cultivares ficou abaixo, com média de 26 cm, assim como o diâmetro que apresentou valores entre 39,3 mm e 40,9 mm.

Tabela 5 - Componentes da produção e produtividade de raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Raízes tuberosas			Peso médio	Produtividade de raízes	
	Número	Comprimento	Diâmetro		Total	Comercial
	(no. pl ⁻¹)	(cm)	(mm)	(g)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	10,6 a	22,5 b	39,3 a	324,6 a	28,3 ab	24,7 ab
BRS 396	10,4 ab	25,6 b	40,0 a	340,4 a	25,2 bc	22,3 bc
Palito	11,2 a	30,0 a	40,9 a	249,7 b	28,9 a	26,1 a
Precoce	7,9 b	26,4 ab	39,5 a	267,6 b	20,9 d	19,3 c
IAC 576-70	11,5 a	26,2 ab	39,6 a	247,3 b	22,5 cd	19,7 c
<i>Níveis de S</i>						
Baixo	9,3 a	25,4 a	39,8 a	277,6 a	22,6 b	19,9 b
Médio	10,6 a	26,9 a	39,4 a	296,4 a	25,8 a	23,3 a
Alto	11,0 a	26,2 a	40,3 a	283,8 a	27,0 a	24,1 a
<i>ANOVA (P>F)</i>				<i>Probabilidade de F</i>		
Cultivar (C)	0,04	0,012	ns	<0,0001	0,0001	0,0002
Níveis de S (S)	ns	ns	ns	ns	0,0074	0,0032
C x S	ns	ns	ns	0,0006	0,0005	0,0003

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O S na forma de sulfato de amônio (mesma fonte usada neste experimento) aumentou o número de tubérculos de batata-doce quando utilizada a dose de 80 kg ha⁻¹ (ALVES et al., 2009). Por também conter N na composição dessa fonte de nutriente, os componentes e a produtividade final são influenciados também pelo N. Esse nutriente, possui importância para a formação da parte aérea, desenvolvimento foliar e quando em doses adequadas pode aumentar a produtividade das plantas (HOWELER, 2002). Na batata, Klikocka (2020) relatou que 50 kg ha⁻¹ de S resultaram em 27 t ha⁻¹ de tubérculos, duas toneladas a mais que o controle. No presente estudo a produtividade total de mandioca também aumentou com a aplicação de S, passando de 22,6 t ha⁻¹ para 27,0 t ha⁻¹.

O peso médio de raízes e as produtividades total e comercial foram influenciados pela interação dos fatores estudados (Tabela 5). O peso médio das raízes não aumentou com aplicação das doses de S para a cultivar BRS 399 (Tabela 6). Porém, o nível médio resultou em pior desempenho nesta cultivar, sendo o alto e o baixo com os efeitos mais expressivos para essa variável. As cultivares Precoce e IAC 576-70 não obtiveram resposta a aplicação de S em relação ao peso médio das

raízes. Já a cultivar Palito, a maior dose aplicada resultou no pior desempenho da cultivar, sendo o nível médio e o baixo iguais. A cultivar BRS 396, aumentou o peso de raízes com a aplicação do nível médio de S, em 44%. Singh et al. (2018) observaram em tubérculos de batata incremento de peso de tubérculos com aplicação de S. As batatas tratadas com S na base pesavam 141 g a mais que o controle não tratado.

Tabela 6 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o peso médio, produtividade total e comercial

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
Peso médio (g)			
BRS 399	387,3 aA	264,7 bB	321,8 abB
BRS 396	272,0 bB	392,1 aA	357,3 aA
Palito	237,2 bAB	289,0 bA	222,9 cB
Precoce	268,2 bA	270,5 bA	264,1 bcA
IAC 57670	223,4 bA	265,7 bA	252,9 cA
Produtividade total (t ha ⁻¹)			
BRS 399	25,3 aB	23,3 bB	36,4 aA
BRS 396	21,7 abB	22,5 bB	31,5 abA
Palito	26,5 aB	33,1 aA	27,0 bcAB
Precoce	18,8 bB	25,1 bA	19,0 dAB
IAC 57670	20,9 abA	25,3 bA	21,3 cdA
Produtividade comercial (t ha ⁻¹)			
BRS 399	22,0 abB	21,2 bB	30,9 aA
BRS 396	17,4 bB	19,9 bB	29,5 aA
Palito	25,1 aAB	29,6 aA	23,7 bB
Precoce	17,1 bB	23,5 bA	17,4 cB
IAC 57670	18,0 bA	22,1 bA	19,1 bcA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A produtividade total foi aumentada nas cultivares BRS 396 e BRS 399 quando aplicado o nível alto de S (Tabela 6). O fornecimento do nível médio de S aumentou a produtividade total das cultivares Palito e Precoce. Em contrapartida, na cultivar IAC 576-70 a adubação sulfatada não alterou significativamente a produtividade total de raízes. No nível baixo de S, a menor produtividade total ocorreu na cultivar Precoce, enquanto no nível médio de S a cultivar mais produtiva foi a Palito. No nível alto de S a produtividade total das cultivares BRS 399 e BRS 396 foi maior do que nas outras cultivares. O K₂SO₄ na cultura da mandioca aumentou a produtividade das raízes de 10 para 14 t ha⁻¹ quando aplicado cinco parcelas do fertilizante (ALI; ABD-ELKADER, 2014). Na batata, o K₂SO₄ também

contribuiu para aumentar a produtividade de tubérculos de 24,6 t ha⁻¹ para 63,6 t ha⁻¹ (MOHAMED et al., 2020). Porém, no presente estudo nem todas as cultivares de mandioca responderam a adubação sulfatada.

A produtividade comercial é representada apenas pelas raízes maiores que 40 mm visando o comércio *in natura*. A adubação sulfatada aumentou a produtividade comercial das cultivares da EMBRAPA (BRS 399 e BRS 396) até o maior nível de S, mas na cultivar Precoce houve aumento na produtividade comercial apenas até o nível médio de S (Tabela 6). As cultivares Palito e IAC 576- 70 não responderam a adubação sulfatada em termos de produtividade comercial. No nível médio de S a cultivar Palito foi a que apresentou maior produtividade comercial. Porém, no nível alto de S as cultivares BRS 399 e BRS 396 foram as que apresentaram as maiores produtividades comerciais.

Porém, vale destacar que a produtividade comercial não engloba o ramo de processamento da mandioca. A CAU não exige raízes com diâmetro pré- determinado, já que a empresa realiza o descascamento e a pré-cozão das mesmas, tornando-as uma massa para serem vendidas na forma de chips ou toletes.

4.1.2.3 Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita

Houve efeito de interação dos níveis de S com as cultivares para o acúmulo de MS nas cepas, raízes e planta inteira (Tabela 7). Já para a MS da parte aérea e o IC as diferenças foram apenas para as cultivares. Na parte aérea a cultivar com maior acúmulo é a BRS 399 com 9,2 t ha⁻¹ de MS. Por haver maior MS nessa parte da planta, essa cultivar apresenta o menor IC (0,44). A cultivar Palito apresentou o maior IC (0,65), uma vez que acumulou mais MS nas raízes (11,2 t ha⁻¹).

Tabela 7 - Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira e índice de colheita (IC) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Acúmulo de MS (t ha ⁻¹)				IC
	Parte aérea	Cepas	Raízes tuberosas	Planta inteira	
<i>Cultivar</i>					
BRS 399	9,2 a	0,8 bc	10,1 ab	20,1 a	0,44 c
BRS 396	5,3 c	0,7 c	9,3 b	15,3 b	0,60 ab
Palito	4,6 c	1,0 a	11,2 a	16,8 b	0,65 a
Precoce	5,5 bc	0,9 ab	9,0 b	15,4 b	0,60 ab
IAC 576-70	6,7 b	0,8 b	9,0 b	16,5 b	0,53 bc
<i>Níveis de S</i>					
Baixo	6,0 a	0,7 b	8,7 b	15,4 b	0,55 a
Médio	6,4 a	0,9 a	10,0 a	17,4 a	0,56 a
Alto	6,3 a	0,9 a	10,4 a	17,7 a	0,57 a
ANOVA (<i>P>F</i>)		<i>Probabilidade de F</i>			
Cultivar (C)	<0,0001	0,0006	0,05	0,0001	0,0018
Níveis de S (S)	ns	<0,0001	0,0319	0,0098	ns
C x S	ns	0,0042	0,0079	0,0103	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A MS distribuída nas diferentes partes da planta é relacionada ao IC (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010). Os autores relatam que a redução da MS na parte aérea de cultivares mais baixas não diminui o teor de MS das raízes, e como resultado, essas apresentam maior IC. Apesar da cultivar Palito não ser considerada baixa (Tabela 4), esta possui habito de crescimento apical, logo é comum que esta apresente apenas uma haste e não engalhe. O menor IC é visto na cultivar BRS 399, a qual possui a maior massa seca na parte aérea. Algumas cultivares, como possivelmente a BRS 399, possuem habito de crescimento de ramos terminais, e por isso gastam muita energia no crescimento da parte aérea até os 10 meses (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010). A parte aérea (folhas e hastes) possui preferência na assimilação dos carboidratos e somente quando em excesso são transferidos para as raízes (COCK et al., 1979). Essas características, no entanto, não indicam que a cultivar irá produzir menos, apenas que sua energia será alocada primeiro para os galhos, fazendo com que seu ciclo seja mais tardio (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010).

O acúmulo de MS nas cepas teve um incremento nas cultivares BRS 396 e 399 à medida que o nível de S fornecido aumentou até a maior dose (Tabela 8). O

maior acúmulo de MS nas cepas foi observado na cultivar Palito no nível médio de S, com $1,35 \text{ t ha}^{-1}$. Nas raízes o padrão segue o da MS na cepa, sendo as cultivares da EMBRAPA com maiores incrementos de MS nessa parte quando utilizado um nível alto de S. A cultivar Palito obteve seu melhor desempenho com um nível médio de S, produzindo $12,9 \text{ t ha}^{-1}$ de MS nas raízes. Da mesma maneira é observado maior acúmulo de MS nas raízes da cultivar Palito no nível médio de S, concluindo que a dose de 22 kg ha^{-1} de S é benéfica para a MS e também para a produtividade (Tabela 6) nessa cultivar. O acúmulo de MS na planta inteira foi maior na cultivar BRS 399 em um alto nível de S, produzindo 23 t ha^{-1} .

Tabela 8 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o acúmulo de MS nas cepas, raízes tuberosas e planta inteira.

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
MS de cepas (t ha^{-1})			
BRS 399	0,6 abB	0,8 bcAB	0,9 aA
BRS 396	0,5 bB	0,6 cB	0,9 aA
Palito	0,8 aB	1,35 aA	0,9 aB
Precoce	0,7 abB	1,0 bA	1,0 aA
IAC 57670	0,8 aA	0,8 bcA	0,8 aA
MS Raízes tuberosas (t ha^{-1})			
BRS 399	9,0 aB	8,1 bB	13,2 aA
BRS 396	7,5 aB	8,4 bB	12,1 aA
Palito	10,3 aA	12,9 aA	10,4 abA
Precoce	8,0 aA	10,7 abA	8,2 bA
IAC 57670	8,5 aA	10,1 abA	8,3 bA
MS da planta inteira (t ha^{-1})			
BRS 399	19,2 aB	18,1 aB	23,0 aA
BRS 396	13,4 bB	14,2 bB	18,2 bA
Palito	15,9 abB	19,5 aA	15,0 bB
Precoce	13,2 bB	17,9 aA	15,1 bAB
IAC 57670	15,2 bA	17,3 abA	17,0 bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Segundo Conceição (1987), o acúmulo de MS nas raízes é o mais importante componente que diz respeito a produtividade, por ser o principal interesse de acúmulo de fotoassimilados na planta. Figueiredo et al. (2014) encontraram valores de acúmulo de MS nessa parte da planta entre 12 e 14 t ha^{-1} . Enesi et al. (2022) ao estudar três cultivares de mandioca, observaram que os acúmulos de MS diferiram entre cultivares, apresentando aos 9 meses de colheita, $5,5$, $5,8$ e $6,8 \text{ t ha}^{-1}$. Todos

os valores encontrados no presente estudo foram superiores aos dos autores supracitados, podendo estar relacionado ao uso de adubação com S, a fonte utilizada ou ser característica varietal.

Sharma et al. (2011), na cultura da batata observaram incremento no teor de MS nos tubérculos até a dose de 45 kg ha⁻¹ de S. Os autores atribuem esse aumento ao fato de o nutriente fazer parte da síntese de proteínas e amido por isso tende a aumentar o acúmulo de carboidratos.

4.1.4 Teor, acúmulo e eficiência de S

Houve interação dos fatores estudados para o teor de S na parte aérea e nas cepas, enquanto que nas raízes é visto apenas efeito principal de cultivar e níveis de S (Tabela 9).

Nas raízes, as cultivares Palito e IAC 576-70 foram as com maiores teores do elemento analisado; a Precoce com menor teor e as demais não apresentaram diferenças entre si (Tabela 9). Já para os níveis de S, o fornecimento dos níveis médio e o alto de S elevaram os teores de S nas raízes, porém sem diferenciarem entre si. Burns et al. (2012), para 14 cultivares de mandioca cultivadas em Moçambique, relataram teor de S nas raízes entre 0,2 e 0,5 g kg⁻¹, valores estes, próximos aos encontrados no presente estudo. Marchim et al. (2020), na cultivar de mandioca Japonesinha, com aplicação de Mn mais S na base, também observaram teores de S na raiz semelhantes aos encontrados no atual estudo para o nível baixo de S.

Tabela 9 - Teores de S em MS (g kg^{-1}) na parte aérea, cepas e raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Parte aérea	Cepa	Raiz
<i>Cultivar</i>			
BRS 399	2,0 b	0,62 e	0,18 bc
BRS 396	1,7 b	0,80 d	0,19 bc
Palito	2,8 a	1,10 b	0,22 a
Precoce	2,1 b	1,24 a	0,16 c
IAC 576-70	2,9 a	0,94 c	0,21 ab
<i>Níveis de S</i>			
Baixo	1,8 c	0,71 b	0,1 b
Médio	2,4 b	1,00 a	0,2 a
Alto	2,8 a	1,10 a	0,2 a
ANOVA ($P>F$)		<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	0,0013
Níveis de S (S)	<0,0001	<0,0001	0,0001
C x S	0,0077	0,0053	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na parte aérea, é possível verificar que apenas a cultivar IAC 576-70 não apresentou aumento do teor de S conforme aumentou o nível de fornecimento de S (Tabela 10). As cultivares Palito e Precoce em nível médio e alto de fornecimento de S não apresentaram diferença entre as duas doses de S aplicadas. Burns et al. (2012) verificaram teores de S em folhas de mandioca entre 2,9 e 5,7 g kg^{-1} , ou seja, valores próximos aos do presente estudo. Segundo Howeler e Cadavid (1983), a concentração de S nas folhas é maior do que nos caules e maior que nas raízes. Porém, Cadavid (2012) refere que após 12 meses de cultivo, a concentração do elemento é maior nos caules do que nas folhas. Ambos autores concordam sobre a concentração de S nas raízes ser menor, podendo esse ser um motivo de não haver efeito dos níveis de S nessa parte da planta no presente estudo. Howeler e Cadavid (1983), ainda ressaltam que o comportamento do elemento não varia muito ao longo do ciclo de cultivo, sendo as maiores concentrações de S nas folhas mais velhas e mesmo no final de 12 meses, as raízes não apresentam incremento do teor do elemento.

Em estudo com a cultura do trigo Hrivna, Kotkova e Buresova (2015), em estágios diferentes da cultura, relataram uma queda no teor de S, na planta inteira com aplicação do nutriente em dois anos seguidos de cultivo. Em folhas da cultura

da batata, Moinuddin e Umar (2004) observaram um aumento do teor de S à medida que se aumentou a dose do elemento.

Tabela 10 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para os teores de S em MS na parte aérea e cepas.

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
		Parte aérea (g kg ⁻¹)	
BRS 399	1,4 bB	1,9 bcB	2,9 bcA
BRS 396	1,3 bB	1,5 cB	2,4 cdA
Palito	1,8 bB	3,2 aA	3,5 aA
Precoce	1,7 bB	2,4 bA	2,1 dAB
IAC 57670	2,6 aA	3,1 aA	3,1 abA
		Cepas (g kg ⁻¹)	
BRS 399	0,42 bB	0,68 cA	0,75 dA
BRS 396	0,74 aA	0,75 cA	0,89 cdA
Palito	0,75 aB	1,36 aA	1,10 bA
Precoce	0,90 aC	1,25 aB	1,60 aA
IAC 57670	0,77 aB	1,00 bAB	1,10 bcA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Para as cepas, o teor de S também aumentou conforme o nível de S aplicado, exceto na cultivar BRS 396 (Tabela 10). A cultivar Precoce foi a que concentrou o maior teor de S no nível mais alto aplicado, sendo que neste mesmo nível para a parte aérea, o valor foi menor. É provável, que a dose de 22 kg ha⁻¹ de S faça com que as cultivares apresentem maior teor do elemento em diferentes partes da planta. A mandioca também pode apresentar uma partição de fotoassimilados, e possivelmente de nutrientes, não balanceada caso apresente mudanças na fertilidade do solo (EL-SHARKAWY, 2004).

O acúmulo de S em todas as partes da planta foi influenciado pelos fatores principais, sendo vista interação dos fatores apenas para as cepas (Tabela 11). Na parte aérea, as cultivares BRS 399 e IAC 576-70 acumularam mais S do que as demais, enquanto que nas raízes a exportação mais significativa foi pela cultivar Palito. A cultivar Precoce foi a que menos retirou S pelas raízes, com 1,4 kg ha⁻¹. O acúmulo na planta inteira, representa o quanto foi retirado do elemento do solo com a planta, podendo esse ser retornado para o local, através das camadas de folhas que permanecem, ou não. As cultivares IAC 576-70 e BRS 399 foram as que absorveram as maiores quantidades de S do local de cultivo, com valores de 22,5 kg

ha⁻¹ e 21,3 kg ha⁻¹, respectivamente. A adubação sulfatada promoveu um aumento no acúmulo de S em todas as partes da planta, à medida que aumentou o nível de S aplicado. Sendo máximo o acúmulo no nível alto de aplicação do S, aumento em mais de 60% na planta inteira.

Tabela 11 - Acúmulo de S (kg ha⁻¹) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Parte aérea	Cepas	Raízes tuberosas	Planta inteira
<i>Cultivar</i>				
BRS 399	19,0 a	0,5 c	1,9 b	21,3 a
BRS 396	8,9 b	0,5 c	1,7 bc	11,2 c
Palito	12,8 b	1,1 a	2,5 a	16,5 b
Precoce	11,7 b	1,2 a	1,4 c	14,4 bc
IAC 576-70	19,8 a	0,8 b	1,9 b	22,5 a
<i>Níveis de S</i>				
Baixo	10,5 b	0,5 b	1,4 b	12,4 b
Médio	15,1 a	1,0 a	2,0 a	18,1 a
Alto	17,7 a	1,0 a	2,2 a	21,0 a
ANOVA (<i>P>F</i>)		Probabilidade de <i>F</i>		
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de S (S)	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C x S	ns	0,0001	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O S está entre os macronutrientes importantes para as plantas e, inclusive para a mandioca (CADAVID, 2012). O nutriente é absorvido pela planta durante todo o ciclo de cultivo, sendo acumulado de maneira crescente pelas folhas até os quatro meses, e então passando a acumular mais nos caules (HOWELER; CADAVID 1983).

Cadauid (2012) relata que há diferenças entre as quantidades extraídas do nutriente por cultivar, sendo de 32 para 51 kg ha⁻¹ pela planta toda em dois clones de mandioca. Janket et al (2021), testando um clone e duas cultivares de mandioca também observaram diferença entre a absorção do S pelas plantas. Os autores ainda estudaram duas épocas de plantio (entre abril e junho e outubro a novembro), apresentando a primeira época maiores acúmulos do nutriente.

Se considerar uma tonelada de produção de raízes a cultura irá exportar 0,36 kg t⁻¹ de S (LEONEL; FERNANDES; FRANCO, 2015). Para esse mesmo valor de produção, a planta inteira irá retirar do solo 42 kg ha⁻¹ do nutriente (CADAVID, 2012). Janket et al (2021) observaram que aos nove MAP as cultivares e o clone estudados apresentaram maior taxa de absorção de S, ficando entre 25,8% e 31,7% de S absorvido pelas raízes. Srek, Hejcman e Kunzová et al. (2010), na cultura da batata, verificaram exportação pelos tubérculos entre 3 a 7 kg ha⁻¹.

O comportamento do acúmulo de S nas cepas conforme aplicação de S (Tabela 12), é similar ao encontrado no teor de S (Tabela 10). A cultivar BRS 399 foi a que menos acumulou o nutriente nesta parte da planta seguida da BRS 396 (Tabela 11). A cultivar Palito, na dose de aplicação de 22 kg ha⁻¹, apresentou o maior acúmulo de S, sendo esse o maior valor entre as cultivares.

Tabela 12 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para o acúmulo de S na cepa.

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
	Cepas (kg ha ⁻¹)		
BRS 399	0,2 bB	0,5 cAB	0,7 bA
BRS 396	0,4 abB	0,5 cAB	0,8 bA
Palito	0,6 aC	1,8 aA	1,0 bB
Precoce	0,6 aC	1,3 bB	1,6 aA
IAC 57670	0,6 aA	0,8 cA	0,9 bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A formação da cepa ocorre devido a maneira como a planta é propagada, através das maniva-sementes. Essa parte é responsável por nutrir a planta no início do ciclo e sua tendência é reduzir os teores de nutrientes e carboidratos, uma vez que esses são fornecidos para as novas raízes e caules formados (ALVES, 2002). Dessa maneira, é esperado que essa parte da planta apresente menores teores de nutrientes, inversamente proporcional ao das raízes. Exemplificando, a cultivar Palito, cujas cepas em nível médio de S apresentaram 1,8 kg ha⁻¹ de acúmulo de S, representa um acúmulo maior que o desejado, já que esse valor corresponde a 72% do acumulado de S nas raízes. Ao compará-la com a cultivar BRS 399, em um mesmo nível de S é verificado que as cepas representam 26% do acumulado de S nas raízes.

As eficiências de uso do S (EUS) não foram influenciadas pela interação dos fatores estudados, havendo significância para os efeitos dos fatores principais (Tabela 13). É verificado que as eficiências de uso do S para a produção de raízes frescas (EUS-PRF) e de MS da planta (EUS-PMSPL) foram maiores na cultivar BRS 396. Já para a eficiência de uso do S para a produção de MS de raízes tuberosas (EUS-PMRT), as cultivares BRS 396, Palito e Precoce apresentam maiores valores de EUS-PMRT do que as cultivares BRS 399 e IAC 576-70. Os níveis de S apresentam comportamento igual, sendo o nível mais baixo o mais eficiente para o uso do S. O aumento no fornecimento de S diminuiu as eficiências de uso do S até o nível intermediário. Isso ocorreu porque ao fornecer um nível médio ou alto de S houve uma redução na conversão do elemento em tonelada de raiz fresca, MS na raiz e na planta inteira.

Tabela 13 - Eficiência de uso de S para a produtividade de raízes frescas (EUS-PRF), para a produção de MS de raízes tuberosas (EUS-PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUS-PMSPL) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Cultivares	EUS-PRF	EUS-PMSRT	EUS-PMSPL
<i>Cultivar</i>	(t de raiz fresca kg de S absorvido ⁻¹)	(t de MS de raiz kg de S absorvido ⁻¹)	(t de MS da planta kg de S absorvido ⁻¹)
BRS 399	1,4 cd	0,5 b	1,0 b
BRS 396	2,3 a	0,8 a	1,4 a
Palito	1,9 b	0,7 a	1,0 b
Precoce	1,6 bc	0,7 a	1,1 b
IAC 576-70	1,1 d	0,4 b	0,8 c
<i>Níveis de S</i>			
Baixo	2,0 a	0,8 a	1,3 a
Médio	1,6 b	0,6 b	1,0 b
Alto	1,4 b	0,5 b	0,9 b
ANOVA (<i>P>F</i>)		<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de S (S)	0,0017	0,0058	<0,0001
C x S	ns	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A cultura da mandioca tem um melhor desempenho quando em condições menos favorecidas, como estresse hídrico e baixa fertilidade (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010). Janket et al. (2021), encontraram melhor EUS quando cultivada em

época com menos chuvas. Para o S, os mesmos autores encontraram EUS com comportamento similar ao presente trabalho, quando cultivado em época das chuvas, no qual a EUS na biomassa das raízes é menor, os autores também relataram diferenças entre cultivares.

Esse comportamento, no entanto, não é observado em outras culturas, sendo a aplicação de S benéfica para a EUS até doses limites. Em 3 níveis de aplicação de S na cultura da mostarda (*Brassica juncea*), Khan, Mobin e Samiullah (2005) relatam que o nível intermediário de 100 mg S kg⁻¹ de solo foi o que resultou em maior eficiência do uso do nutriente. Já na batata, Singh et al. (2016) testaram cinco doses de S (0, 15, 30, 45 e 60 kg S ha⁻¹) e tiveram como resultados que a EUS foi elevada até a dose de 30 kg S ha⁻¹, gerando 192 kg tubérculo / kg de S aplicado, a eficiência reduziu para 120 kg tubérculo / kg de S aplicado na dose de 60 kg S ha⁻¹.

A EUS é influenciada, segundo El-Sharkawy, Cadavid e Tafur (1998), pela característica do cultivar, no qual as mais altas e com mais galhos terão comportamento de apresentarem maior acúmulo de MS na PA. Esse comportamento é observado no presente estudo, sendo a cultivar BRS 399 a com maior MS na PA e a com menor EUS-PRF e EUS-PMSRT. A cultivar IAC 576-70 também apresenta alto acúmulo de MS na PA, além de ser uma das cultivares mais altas, sendo também menos eficiente no uso do nutriente. Entretanto, a cultivar BRS 399, apesar do acúmulo de MS na PA ser alto, ainda apresentou incremento produtivo até o nível alto de aplicação de S, aumentando a produtividade comercial de 22 t ha⁻¹ para 30,9 t ha⁻¹ (Tabela 6).

4.1.5 Avaliações de qualidade de raiz e rendimento operacional

4.1.5.1 Teor de matéria seca, amido, proteína, tempo de cozimento, textura crua e cozida de raízes

O teor de MS, teor de proteína e as texturas crua e cozida foram influenciados pelo fator cultivar (Tabela 14). Já o teor de amido foi afetado pelas cultivares e níveis de S aplicados, enquanto que o TC não sofreu nenhuma influência dos fatores estudados (Tabela 14).

A porcentagem de MS nas raízes representa o conteúdo que uma amostra das raízes possui em teores orgânicos, e o quanto há de água acumulada nessa parte. Quanto maior a MS, mais carboidratos há nas reservas da raiz. As cultivares Precoces e IAC 576-70 apresentaram os maiores teores de MS nas raízes enquanto

a cultivar BRS 399 apresentou os menores teores (Tabela 14). O S não favoreceu o teor de MS das raízes, sendo as doses com efeitos similares.

O teor de amido foi maior em nível médio e alto de S, apresentando um aumento de 26,8 para 29,2% quando comparado o nível baixo com o alto (Tabela 14). Quanto as cultivares, verifica-se que a cultivar Precoce apresentou o maior teor com 36% e a cultivar BRS 399 com 22% foi a menor. Ali e Abd-Elkader (2014), com aplicação de K_2SO_4 concluíram que cinco aplicações associadas com adubação foliar aumentaram o teor de amido na cultura da mandioca para 22%. Os valores encontrados pelos autores ainda estão abaixo do presente estudo. No entanto, Miranda et al. (2020) apontam que a composição de carboidratos que engloba a amilose e amilopectina nas raízes podem ficar entre 65 a 72%. Oliveira e Moraes (2009), afirmam que aos nove meses ocorreu o maior teor de amido para a cultivar IAC 576-70. Os autores apontaram um teor de 23%.

Tabela 14 - Teores de MS, amido e proteína, tempo de cozimento (TC), textura das raízes antes e após o cozimento de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	Teor de MS	Teor de amido	Teor de proteína	TC	Textura	
					Crua	Cozida
	%	% MF	% MF	min	N	
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	33,7 d	22,0 d	0,8 b	22,3 a	32,3 bc	5,7 b
BRS 396	37,5 c	26,4 c	1,3 a	23,6 a	30,4 c	5,8 b
Palito	38,8 c	25,5 c	1,2 a	20,2 a	34,7 ab	6,1 b
Precoce	42,2 a	36,0 a	1,2 a	23,4 a	37,5 a	6,2 ab
IAC 576-70	40,6 b	31,1 b	1,3 a	23,4 a	37,6 a	7,4 a
<i>Níveis de S</i>						
Baixo	38,2 a	26,8 b	1,2 a	22,8 a	34,9 a	6,2 a
Médio	38,8 a	28,6 a	1,1 a	22,3 a	33,9 a	6,0 a
Alto	38,6 a	29,2 a	1,2 a	22,6 a	34,7 a	6,4 a
ANOVA (<i>P>F</i>)			<i>Probabilidade de F</i>			
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	ns	<0,0001	0,0485
Níveis de S (S)	ns	0,0305	ns	ns	ns	ns
C x S	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Com aplicação de S na batata, Eppendorfer e Eggum (1994) observaram teor de amido 7% maior quando aplicado S na dose de 65 kg ha⁻¹. Sharma et al. (2011),

afirmam que a dose de 45 kg ha⁻¹ S resultou em maior conteúdo de amido em plantas de batata. Vale lembrar que Howeler (2002) relata que compostos nitrogenados são estimulados quando altas doses de adubação nitrogenada são aplicadas, podendo reduzir os teores de amido nas raízes.

O teor de proteína na mandioca é baixo, entre 1 a 3% (MIRANDA et al. 2020; ALARCÓN; DUFOUR, 2012), sendo que para esse experimento o maior teor ficou em 1,3%. A maior parte do conteúdo de proteína das raízes de mandioca permanece na casca (MONTAGNAC; DAVIS; TANUMIHARDJO, 2009), sendo essa descartada. Dessa maneira, as raízes são consideradas uma boa fonte de carboidratos, porém pobre em proteína (MONTAGNAC; DAVIS; TANUMIHARDJO, 2009). O maior teor de proteína na planta de mandioca se encontra nas folhas (MONTAGNAC; DAVIS; TANUMIHARDJO, 2009). Oliveira e Moraes (2009), observaram que aos 9 meses a cultivar IAC 576-70 apresentou o maior teor de proteína, com 0,43 g 100 g⁻¹. Araújo et al. (2019), em cultivares brasileiras de mandioca de mesa, observaram entre 0,18 a 1,1% de proteína, já as destinadas a fins industriais, possuíam maior teor, entre 0,4 a 2,2%.

Na batata, Eppendorfer e Eggum (1994) relatam que plantas deficientes em S apresentavam menores teores de aminoácidos, como cistina e metionina, dessa forma, menor teor de proteína nos tubérculos. Singh et al. (2016), também confirmam a importância do elemento para as formações desses aminoácidos, incluindo que o S é parte fundamental da composição desses. Os autores observaram aumento do teor de proteína nos tubérculos de batata quando aplicado 60 kg ha⁻¹ de S, resultando em 7% de proteína.

O TC não foi influenciado pelos níveis de S nem pelas cultivares no experimento. Essa variável é influenciada pelos fatores do solo, no entanto apenas o K parece beneficiar o tempo de cocção das raízes (WHEATLEY, 1991). Entretanto, o autor aponta que a qualidade das raízes possui maior chance de ser aumentada quando o solo apresenta uma fertilidade baixa. Também é ressaltado que solos com cultivos sequenciado de mandioca podem interferir na qualidade das raízes. O TC é influenciado pelo amido e suas estruturas, sendo elas a amilose e amilopectina (WHEATLEY, 1991). O autor levanta a hipótese de essas duas estruturas influenciarem no TC da mandioca. O autor encontrou tempos entre 15 a 40 minutos de cocção para 6 cultivares de mandioca. Os TCs no presente estudo ficaram entre 20 a 23 minutos.

Talma et al. (2013) encontraram TC entre 15 a 30 minutos e também avaliaram a textura através da resistência a penetração das raízes cruas e cozidas. Todos os valores relatados pelos autores foram abaixo do presente estudo. As texturas cruas exerceram força entre 10 a 22 N, já quando cozidas a força reduziu para 0,7 a 3,0 N (TALMA et al., 2013). Os valores foram bem abaixo do presente estudo, que resultou em textura crua de 30,4 a 37,5N e 5,7 a 7,4 N quando cozida. Nesse experimento a cultivar BRS 396 apresentou a menor textura quando cozida (5,8 N). Porém, a cultivar Precoce se destaca por haver uma diferença entre as forças exercidas maiores no mesmo TC da cultivar BRS 396. A menor textura das raízes cozidas das cultivares BRS 399, BRS 396 e Palito são reflexo dos seus menores teores de MS e amido nas raízes. Kaur et al. (2002), na batata, relacionaram o TC ideal com a mínima resistência de penetração exercida.

A textura será a representada pela força exercida para o corte das raízes (TALMA et al., 2013). É uma avaliação importante, por determinar características da qualidade da massa cozida da mandioca. Quando bem moles, não resistem a penetração, perdendo estrutura devido à grande absorção de água (RODRIGUES et al., 2020). Os autores encontraram perda de firmeza para 4 cultivares de até 89%, sendo benéfico para as qualidades organolépticas e desejável pelos consumidores. O amido, principal componente das raízes tuberosas das mandiocas, ao passar pelo aquecimento da água em ebulição, sofre modificação (BUTARELO et al., 2004). Ao absorver água, os grânulos de amido aumentam em volume e se tornam gelatinosos, sendo necessário em torno de 65% de água de hidratação para atingir uma máxima gelatinização (BUTARELO et al., 2004). Butarelo et al. (2004) relatam que para a cultivar IAPAR Pioneira são necessários 12 minutos para uma gelatinização de 98%. Dessa forma, a textura e a resistência de atravessamento são modificadas nesse período de tempo.

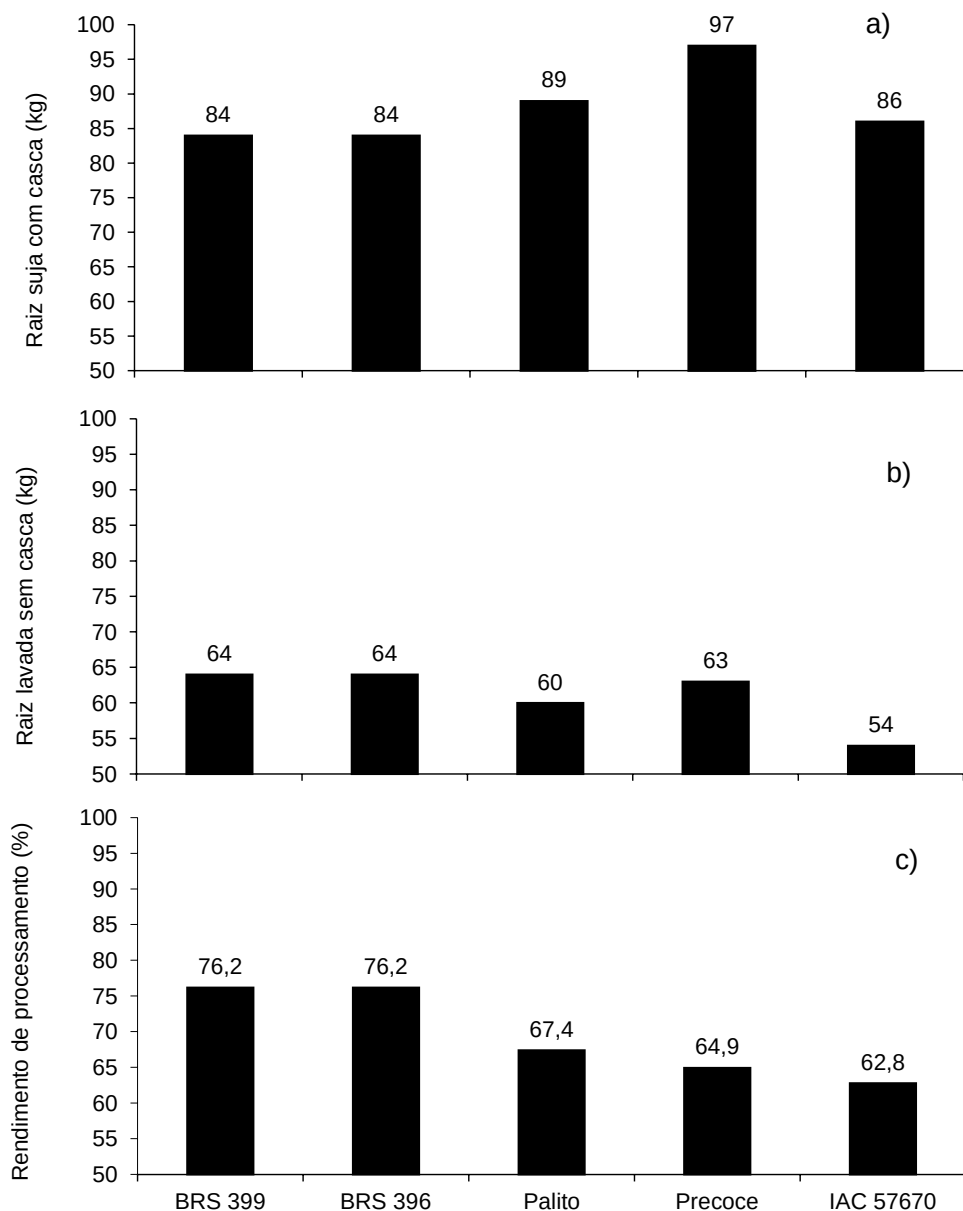
Kaur et al. (2002) apontam que a textura apresenta relação com o tempo de cocção das raízes, força exercida para a penetração, perda de sólidos e água absorvida. Assim, a mudança que ocorre na textura durante o processo de cocção das raízes é devido ao amido gelatinizando e causando uma pressão nas células.

4.1.5.2 Rendimento de processamento e de produto processado

O rendimento de processamento foi realizado com a diferença dos pesos de 10 caixas de raízes das cultivares de mandioca, considerando os pesos das raízes retiradas do campo (sujas) e após descascadas, lavadas e higienizadas.

As cultivares da EMBRAPA (BRS 399 e BRS 396) não foram as que apresentaram os maiores pesos das raízes sujas, mas foram as que apresentaram os maiores pesos das raízes descascadas (Figuras 1a-b). Com isso, foram as cultivares com maior rendimento de processamento. A cultivar IAC 576-70 teve menor rendimento de processamento (Figura 1c), ou seja, 37,2% do peso das raízes era composto por impurezas (solo aderido) e partes não aproveitáveis como casca e entrecasca. Dessa forma, a perda entre a retirada do campo e o produto final pronto para o beneficiamento foi grande e variou de 37,2% (IAC 576-70) a 23,8% (BRS 399 e BRS 396).

Figura 2 – Peso fresco das raízes antes (a) e após (b) a lavagem + descascamento, e rendimento de processamento (c) de raízes de cinco cultivares de mandioca



A facilidade da retirada da casca e entrecasca é fator importante para a comercialização das raízes, tanto *in natura*, quanto minimamente processadas (SOUSA; AGUIAR; LÔBO, 2011). Quando a casca apresentar resistência ou dificuldade de ser retirada haverá maior desperdício da polpa.

Utilizou-se a produtividade das raízes e o rendimento de processamento para se calcular o rendimento de produto processado, ou seja, o quanto cada cultivar produziu de produto processado por hectare (Tabela 15).

Houve efeito de interação dos fatores estudados para o rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC) (Tabela 15). A adubação sulfatada aumentou o RPP-PT e o RPP-PC das cultivares BRS 399 e BRS 396 até o maior nível de S, mas estas variáveis não foram afetadas pela adubação sulfatada na cultivar IAC 576-70 (Tabela 16). Na cultivar Precoce, o RPP-PT não respondeu a adubação sulfatada, enquanto o RPP-PC aumentou até o nível intermediário de fornecimento de S. Na cultivar Palito, o RPP-PT aumentou com o fornecimento do nível intermediário de S, mas o RPP-PC diminuiu quando houve elevado fornecimento de S. As cultivares da EMBRAPA apresentaram maior RPP especialmente sob elevado suprimento de S.

Tabela 15 - Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC) de raízes de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação sulfatada.

Tratamentos	RPP-PT	RPP-PC
	t ha ⁻¹	
<i>Cultivar</i>		
BRS 399	21,6 a	18,8 a
BRS 396	19,2 a	17,0 a
Palito	19,4 a	17,6 a
Precoce	13,6 b	12,5 b
IAC 576-70	14,1 b	12,4 b
<i>Níveis de S</i>		
Baixo	15,8 b	13,9 b
Médio	17,9 a	16,1 a
Alto	19,1 a	17,1 a
ANOVA (<i>P>F</i>)	<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001
Níveis de S (S)	0,0060	0,0020
C x S	0,0004	0,0002

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Um bom rendimento será aquele que possuir a menor perda em casca e entrecasca e as raízes que possuírem menor deterioração, evitando assim desperdícios. Alguns cuidados básicos no momento da colheita também reduzem as

perdas, como evitar colher em momentos muito quente, pois, essas raízes absorverão calor e durarão menos, raízes batidas gerarão sabor amargo e podem apodrecer mais rápido, entre outros (RINALDI, 2011).

Tabela 16 - Desdobramento da interação cultivar x nível de S para Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC).

Cultivar	Nível de S		
	Baixo	Médio	Alto
		RPP-PT	
BRS 399	19,3 aB	17,7 bB	27,8 aA
BRS 396	16,5 abB	17,1 bB	24,0 aA
Palito	17,8 aB	22,3 aA	18,2 bAB
Precoce	12,2 bA	16,2 bA	12,3 cA
IAC 57670	13,2 bA	15,9 bA	13,4 cA
		RPP-PC	
BRS 399	16,7 aB	16,1 abB	23,5 aA
BRS 396	13,2 abB	15,2 bB	22,5 aA
Palito	16,9 aAB	20,0 aA	16,0 bB
Precoce	11,1 bB	15,3 bA	11,3 cB
IAC 57670	11,3 bA	13,9 bA	12,0 cA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

As deteriorações através de alta atividade microbiológica, metabólica, ocorre rapidamente na mandioca (COURSEY; BOOTH 1977). Por isso, o armazenamento adequado é fundamental. O uso de S na cultura além de favorecer a qualidade das raízes e plantas, por participar da síntese de aminoácidos, também desempenha papel no mecanismo de defesa das plantas (VITTI; OTTO; SAVIETO, 2015). Dessa maneira, o S também pode contribuir com a redução das atividades microbianas que deterioram as raízes rapidamente.

O processamento realizado pela cooperativa deste trabalho, a CAU, possui como vantagem a rapidez. Após a colheita, as raízes foram destinadas as famílias terceirizadas para a realização do descascamento e em seguida as raízes já foram pré-cozidas, dessa maneira o tempo de deterioração é minimizado, evitando oxidação que geram perdas das raízes.

4.2 Experimento com adubação boratada

4.2.1 Diagnose foliar

A análise do tecido vegetal permite identificar carências nutricionais na cultura da mandioca, especialmente para alguns nutrientes cuja deficiência não é facilmente detectada a campo (HOWELER, 1996). No presente estudo, os teores foliares de nutrientes foram afetados pelo fator cultivar, havendo influência dos níveis de B ou da interação cultivar x nível de B apenas para o B e Mn (Tabela 17). Em outros estudos na cultura da mandioca, cultivares apresentaram diferenças nos teores de nutrientes na folha diagnóstica (IMAKUMBILI et al., 2020; BURNS et al., 2012).

Os teores dos macronutrientes N, P, K e Mg mantiveram-se dentro da faixa considerada adequada para a mandioca, a qual é de 45-60, 2,0-5,0, 10-20 e 2-5 g kg⁻¹, respectivamente, de acordo com Lorenzi et al. (1997) (Tabela 17). Contudo, vale destacar que na cultivar IAC 576-70 os teores foliares de N foram maiores do que nas cultivares BRS 399, BRS 396 e Palito. A cultivar Palito apresentou teores foliares de P maiores do que as cultivares BRS 399 e BRS 396. Já os teores de K nas folhas da cultivar BRS 399 foram maiores do que nas cultivares BRS 396, Precoce e IAC 576-70. No caso do Mg, os teores foliares encontrados nas folhas da cultivar Precoce foram inferiores aos de todas as demais cultivares, as quais não diferiram entre si.

Os teores de Ca e S apresentaram valores inferiores as faixas propostas como adequadas para a mandioca, que são de 5-15 g kg⁻¹ para o Ca e 3-4 g kg⁻¹ para o S, de acordo com Lorenzi et al. (1997) (Tabela 17). Mesmo com o teor inicial de 10,5 mmol_c dm⁻³ de Ca na camada de 0-20 cm e com a aplicação de 18 kg ha⁻¹ de Ca via fertilizante formulado na adubação de base os teores foliares de Ca da cultura ficaram abaixo de 5 g kg⁻¹. Para o S, os teores esperados deveriam estar dentro da faixa adequada, uma vez que os teores de S no solo eram médios na camada de 20-40 cm e foram aplicados 52 kg ha⁻¹ de S via fertilizante. Contudo, não se verificou sintomas visuais de deficiência de Ca e S nas plantas. De maneira geral, as cultivares BRS 399 e BRS 396 apresentaram maiores teores de Ca nas folhas do que as outras cultivares e apenas a cultivar BRS 396 se destacou com teores de S superiores as demais cultivares.

Tabela 17 - Teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Cultivar						
BRS 399	52,8 b	3,7 bc	15,7 a	3,6 a	3,2 a	2,1 b
BRS 396	53,5 b	3,5 c	14,0 c	4,0 a	3,1 a	2,5 a
Palito	53,2 b	4,0 a	15,0 ab	2,9 b	3,0 a	2,2 b
Precoce	55,0 ab	3,9 ab	14,5 bc	2,1 c	2,8 b	2,1 b
IAC 576-70	56,6 a	3,8 ab	14,7 bc	2,7 b	3,1 a	2,2 b
Níveis de B						
Baixo	54,1 a	3,8 a	14,7 a	3,0 a	3,0 a	2,3 a
Médio	54,1 a	3,8 a	14,7 a	3,1 a	3,0 a	2,1 a
Alto	54,6 a	3,8 a	14,9 a	3,1 a	3,0 a	2,3 a
ANOVA (P>F)			Probabilidade de F			
Cultivar (C)	0,0264	0,0026	0,0077	<0,0001	0,0062	0,0455
Níveis de B (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cultivar					
BRS 399	58,6 a	9,4 a	100,1 a	327,3 b	78,6 ab
BRS 396	58,7 a	8,9 ab	108,4 a	382,2 a	82,6 a
Palito	51,0 b	9,3 a	101,2 a	192,6 c	78,9 ab
Precoce	43,9 c	8,3 bc	101,4 a	186,0 c	54,8 c
IAC 576-70	50,7 b	7,7 c	103,1 a	186,2 c	72,4 b
Níveis de B					
Baixo	49,6 b	8,7 a	102,9 a	230,3 b	70,6 a
Médio	51,8 ab	8,8 a	102,1 a	247,4 b	72,8 a
Alto	56,4 a	8,6 a	103,5 a	287,0 a	77,0 a
ANOVA (P>F)		Probabilidade de F			
Cultivar (C)	0,0001	0,0005	ns	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	0,002	ns	ns	0,0004	ns
C x B	ns	ns	ns	0,0025	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de B, micronutriente em estudo, não foram afetados pela interação dos fatores estudados, havendo apenas, efeito significativo dos fatores principais (Tabela 17). A cultivar BRS 396 apresentou maior teor de B nas folhas com valor de $58,7 \text{ mg kg}^{-1}$, seguido da cultivar BRS 399 com valor de $58,6 \text{ mg kg}^{-1}$. A cultivar Precoce apresentou teor foliar de B de $43,9 \text{ mg kg}^{-1}$ e foi a única que apresentou teor foliar dentro da faixa considerada adequada para a cultura, que é de $15\text{-}50 \text{ mg kg}^{-1}$ (LORENZI et al., 1997). Todas as demais cultivares apresentam teores foliares de B acima da faixa considerada como adequada para a cultura. Vale

destacar que mesmo que o solo apresentasse baixos teores de B, no tratamento sem adubação boratada os teores foliares de B mantiveram-se no limite da faixa considerada como adequada, $49,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Já quando aplicado 1 ou 2 kg B ha^{-1} , o B na folha diagnóstica ficou acima do limite adequado para a cultura, aumentando conforme a dose aplicada (LORENZI et al., 1997). Esse resultado indica que apenas a avaliação do teor foliar de B pode não ser suficiente para predizer o estado nutricional de B das plantas de mandioca.

O B quando em concentrações menores nas folhas diagnosticas pode não apresentar sintomas na planta, ou afetar seu crescimento, enquanto que doses altas e tóxicas do elemento só é visualizado em casos de aplicação excessiva do elemento (HOWELER, 1996). O B é influenciado diretamente pelas características do solo e sua absorção pela planta também (GOLDBERG, 1997). O mesmo autor cita que solo cujo pH é baixo, como neste estudo, tende a permitir maior taxa de absorção pelas plantas, por causa da maior adsorção do nutriente nas partículas do solo.

Os teores foliares de Cu e Zn foram afetados apenas pelo fator cultivar. Nas cultivares Precoce e IAC 576-70 os teores foliares de Cu foram menores do que nas cultivares BRS 399 e Palito, enquanto o teor foliar de Zn foi maior na cultivar BRS 396. Contudo, em todas as cultivares os teores foliares de Cu e Zn ficaram dentro da faixa recomendada para a cultura que é de $5\text{-}25 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Cu e $35\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Zn de acordo com Lorenzi et al. (1997) (Tabela 17). Os teores foliares de Fe não foram afetados pelos fatores estudados e foram em média de 100 mg kg^{-1} (Tabela 17). No presente estudo os teores foliares de Fe encontraram-se dentro da faixa adequada para a mandioca que é de $60\text{--}200 \text{ mg kg}^{-1}$ (LORENZI et al., 1997).

Houve interação dos fatores estudados para os teores foliares de Mn (Tabela 17). Em todos os níveis de B as cultivares BRS 396 e BRS 399 apresentaram teores foliares de Mn maiores do que nas demais cultivares (Tabela 18). E apenas nas cultivares da EMBRAPA os teores foliares de Mn aumentaram com o aumento no fornecimento de B via fertilizante.

Tabela 18 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para o teor de Mn (mg kg⁻¹) na folha diagnose da mandioca.

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
BRS 399	266 bB	296 aB	421 aA
BRS 396	363 aB	337 aB	448 aA
Palito	170 cA	202 bA	206 bA
Precoce	176 cA	205 bA	178 bA
IAC 57670	178 cA	198 bA	183 bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Segundo Cadavid (2012), o excesso de Mn pode causar amarelecimento nas folhas totalmente desenvolvidas e pontuações roxas a pretas, levando a queda das folhas precocemente. Os estudos com micronutrientes na cultura da mandioca ainda são incipientes, e muitos são antigos. Porém, segundo Lorenzi et al. (1997), os teores foliares de Mn devem permanecer entre 25 e 100 mg kg⁻¹. Portanto, todas as cultivares apresentaram teores foliares de Mn acima dos valores considerados adequados. O Mn está diretamente relacionado com a produção de matéria seca também é relacionado com o Fe, sendo que quando o Mn se encontra em níveis tóxicos o Fe tende a apresentar teores menores ou teores deficientes (HOWELER, EDWARDS, ASHER, 1982).

4.2.2 Avaliações fitotécnicas

4.2.2.1 Número de hastes, altura e população final de plantas

A altura de plantas e o número de hastes por planta foram afetados pelo fator cultivar, sem haver influência dos níveis de B ou da interação de ambos fatores (Tabela 19). A mandioca possui dois tipos distintos de plantas, as eretas e as que podem ramificar, isso afetará tanto o número de hastes, quanto à altura das plantas (ALVES, 2002).

Neste estudo, a cultivar Precoce apresentou o maior número de hastes por planta e a menor altura de plantas (Tabela 19). Já a cultivar Palito apresentou os menores números de hastes por planta, porém, com plantas mais altas do que todas as outras cultivares. A altura das plantas pode variar muito na cultura da mandioca e assim como o número de hastes, também é influenciada pela densidade de plantio

(SILVA et al., 2013). Outros estudos encontram alturas de plantas menores, como 1,4 m entre densidades de 6 a 16 mil plantas ha⁻¹ ou 1,8 m com densidade de 9.000 plantas ha⁻¹ (ROJAS et al., 2007; SILVA et al., 2013).

A altura de plantas variou conforme cultivares, sendo a cultivar Palito a mais alta, e a Precoce a mais baixa. Segundo Panitnok et al. (2013), a altura das plantas é muito mais influenciada pelas características varietais e climáticas do que nutricionais. Essa hipótese também pode ser observada neste estudo, no qual as alturas não sofreram grandes variações ao serem aplicados níveis de B diferentes.

Tabela 19 - Número de hastes, altura e população de plantas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Hastes por planta (no.)	Altura de plantas (m)	População final de plantas (plantas ha ⁻¹)
<i>Cultivar</i>			
BRS 399	1,6 b	3,0 b	9817 b
BRS 396	1,6 bc	2,7 c	6833 c
Palito	1,2 c	3,7 a	10669 a
Precoce	2,2 a	2,2 d	10101 b
IAC 576-70	1,6 b	2,9 bc	9912 b
<i>Níveis de B</i>			
Baixo	1,6 a	2,8 a	9466 a
Médio	1,6 a	2,8 a	9460 a
Alto	1,7 a	3,0 a	9470 a
ANOVA (<i>P>F</i>)		<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	ns	ns
C x B	ns	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A população de plantas foi superior para as cultivares locais Palito e Precoce, respectivamente, sendo a cultivar BRS 396 com o menor número de plantas (Tabela 19; 6.833 pl ha⁻¹). A população de plantas é variável conforme vários fatores abióticos, mas também os envolvendo a espécie são importantes. Na cultura da mandioca, Toro e Atlee (1980) afirmam que o hábito de crescimento e a morfologia da cultivar deve ser levada em consideração na hora de escolher a densidade populacional. A população recomendada para uma cultivar em um determinado local pode não ser adequado para outro (TORO; ATLEE 1980). As cultivares locais,

também são melhores adaptadas a região, por isso tendem a possuírem um melhor estabelecimento inicial do que as introduzidas.

4.2.2.2 Número, comprimento, diâmetro, peso médio e produtividade de raízes tuberosas

O comprimento médio das raízes tuberosas não foi influenciado por nenhum dos fatores estudados e foi em média de 27,5 cm (Tabela 20). Os demais componentes da produção e a produtividade comercial de raízes não foram influenciados pela adubação boratada (Tabela 20). Contudo, o número e o diâmetro de raízes foram afetados pelas cultivares, já o peso de raízes apresentou interação dos fatores estudados (Tabela 20). As produtividades total e comercial também foram afetadas pela interação dos fatores estudados.

A cultivar Precoce apresentou número de raízes por planta menor do que o das outras cultivares, as quais não diferiram entre si (Tabela 20). Essa cultivar, no entanto, possui as raízes mais pesadas, mas, não está entre as mais produtivas. A cultivar BRS 399 possui as raízes com maior diâmetro (44 mm), maior número e está entre as mais pesadas (315 g por raiz), sendo, consequentemente a mais produtiva.

Caracteres agronômicos como comprimento e diâmetro de raízes são menos herdáveis ao comparado com os morfológicos (ALVES, 2002). Com isso, o autor aponta que as variações de clima e solo interferem mais nessas características. O comprimento de uma raiz fica entre 15 a 100 cm, e o diâmetro entre 30 a 150 mm (ALVES, 2002), sendo consideradas comercializáveis aquelas com diâmetro acima de 40 mm. No presente estudo, os comprimentos e os diâmetros das raízes entre as cultivares não apresentaram grande variação, ficando entre 25 a 29 cm de comprimento e 37 a 44 mm de diâmetro (Tabela 20).

As raízes da mandioca começam a acumular amido logo cedo, aos 60 DAP já é possível visualizar os primórdios, e são muito afetados pelo ambiente, variando com a época em que foram plantadas (MANRIQUE, 1990; ALVES, 2002). Porém, o número de raízes tuberosas não alterará depois do início da deposição de amido (MANRIQUE, 1990). O autor ainda cita que as raízes também apresentam um comportamento de dominância, ou seja, aquelas que são maiores terão prioridade na assimilação de carboidratos, ficando maiores e mais grossas.

Tabela 20 - Componentes da produtividade e produtividade de raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Raízes tuberosas				Produtividade de raízes	
	Número	Comprimento	Diâmetro	Peso médio	Total	Comercial
	(no. pl ⁻¹)	(cm)	(mm)	(g)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	9,9 a	27,0 a	44,7 a	315,8 a	29,8 a	27,8 a
BRS 396	9,6 a	25,3 a	40,5 ab	249,9 c	16,0 d	13,5 d
Palito	8,8 a	27,9 a	37,8 b	318,8 a	29,6 a	26,5 a
Precoce	6,6 b	28,1 a	39,3 b	334,6 a	21,6 c	18,8 c
IAC 576-70	9,5 a	29,3 a	37,4 b	282,2 b	26,3 b	22,2 b
<i>Níveis de B</i>						
Baixo	8,8 a	27,3 a	40,5 a	284,7 a	23,3 b	20,7 a
Médio	9,4 a	28,5 a	41,1 a	303,2 a	26,3 a	22,7 a
Alto	8,5 a	26,7 a	38,2 a	312,9 a	24,5 ab	22,0 a
ANOVA (<i>P>F</i>)				Probabilidade de <i>F</i>		
Cultivar (C)	0,0001	ns	0,0210	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	ns	ns	ns	0,0430	ns
C x B	ns	ns	ns	0,008	0,0021	0,0039
Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.						

A cultivar BRS 396 apresentou em média 9,6 raízes por planta, porém ao observar o peso médio das raízes, este foi o menor, com 249,9 g, fazendo com que a produtividade total seja baixa. No entanto, essa mesma cultivar em região do Distrito Federal, apresentou produtividade bem acima da média, com 35 t ha⁻¹ (VIEIRA et al., 2018). O peso médio das raízes, no entanto, aumentou com aplicação de B, tanto para a cultivar BRS 396, quanto a BRS 399 (Tabela 21). Na cultivar Palito os níveis de B não afetaram o peso médio de raízes. Já para a cultivar Precoce, o nível alto de B foi o mais responsivo para essa variável, aumentando o peso médio de raízes de 307,3 g para 364 g, enquanto que o nível médio não se diferenciou do baixo.

Tabela 21 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para o peso médio, produtividade total e comercial.

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
	Peso médio (g)		
BRS 399	266,0 bB	332,8 aA	348,5 abA
BRS 396	211,0 cB	274,3 bA	264,5 cA
Palito	331,8 aA	328,5 aA	296,3 bcA
Precoce	307,3 abB	332,8 aAB	364,0 aA
IAC 57670	307,5 abA	247,8 bB	291,3 cAB
	Produtividade total (t ha ⁻¹)		
BRS 399	25,5 abB	30,8 aA	33,3 aA
BRS 396	15,3 cA	18,8 cA	14,0 cA
Palito	29,5 aB	35,0 aA	24,3 bcC
Precoce	22,0 bA	22,0 bcA	21,0 bA
IAC 57670	24,5 bB	24,8 bAB	29,8 aA
	Produtividade comercial (t ha ⁻¹)		
BRS 399	23,3 abB	28,9 aA	31,2 aA
BRS 396	13,2 cA	14,8 bA	12,4 dA
Palito	26,8 aA	31,5 aA	21,3 bcB
Precoce	18,8 bA	18,6 bA	19,2 cA
IAC 57670	21,3 bAB	19,6 bB	25,7 bA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Em geral, a produtividade total foi maior em nível alto de B para as cultivares BRS 399 e IAC 576-70, enquanto que em nível médio as cultivares BRS 396 e Palito apresentaram os maiores valores. A cultivar Precoce foi a única que não teve influência da aplicação do nutriente. A maior produtividade foi verificada para a cultivar Palito, seguida da cultivar BRS 399, ambas com 35 t ha⁻¹ e 33,3 t ha⁻¹ nos tratamentos mais produtivos (2 kg B ha⁻¹ e 1 kg B ha⁻¹), respectivamente. Em outros estudos, a cultivar BRS 399 já produziu mais de 50 t ha⁻¹ (EMBRAPA, 2015). Já a cultivar BRS 396, foi a menos produtiva, sendo sua máxima produtividade 18,8 t ha⁻¹, em tratamento com 1 kg B ha⁻¹. Fuhrmann et al. (2019), ao estudarem 12 clones de mandioca observaram grande variação de produtividade entre os avaliados, diminuindo a disparidade no segundo ano de cultivo.

As cultivares quando selecionadas localmente apresentarão melhor desempenho produtivo, já que fatores ambientais interferem no desempenho das plantas (VIEIRA, FIALHO, SILVA, 2007). Todavia, os autores não levaram em consideração a adaptabilidade de cultivares à diferentes regiões. Neste estudo por exemplo, a cultivar BRS 399 possuiu produtividade semelhante a cultivar local Palito,

e foi superior a cultivar Precoce em todos os níveis de aplicação de B. Quando aplicado um nível alto de B sua produtividade comercial foi superior as demais.

Outros estudos também encontraram diferenças de produtividade entre cultivares de mandioca. Mendonça et al. (2020) avaliaram quatro cultivares de mandioca na região do triângulo mineiro em Minas Gerais e observaram produtividades totalmente distintas entre as cultivares. Estes autores observaram que a cultivar IAC 576-70 produziu 30 t ha⁻¹ de raízes tuberosas, enquanto a cultivar BRS Moura produziu cerca de 12 t ha⁻¹.

Em relação à produtividade comercial, foi observado que, sob baixo fornecimento de B, a cultivar Palito apresentou produtividade comercial maior do que as cultivares BRS 396, Precoce e IAC 576-70 (Tabela 21). Mas sob médio fornecimento de B as cultivares Palito e BRS 399 foram mais produtivas do que as demais (Tabela 21). No entanto, sob elevado fornecimento de B as maiores produtividades comerciais ocorreram na cultivar BRS 399, as menores na cultivar BRS 396, enquanto as demais cultivares apresentaram produtividades intermediárias. O aumento no fornecimento de B aumentou a produtividade comercial da cultivar BRS 399 até o nível médio de B, mas na cultivar IAC 576-70 houve aumento na produtividade quando se forneceu um nível alto de B. Nas cultivares BRS 396 e Precoce a adubação boratada não aumentou a produtividade comercial, enquanto na cultivar Palito o alto fornecimento de B reduziu a produtividade comercial. Esses resultados indicam que a cultivar BRS 399 foi mais responsiva a adubação boratada, enquanto a cultivar Precoce não respondeu positivamente ao fornecimento do nutriente. Altos níveis de B (2 kg ha⁻¹) foram excessivos para a cultivar Palito, mas não prejudicaram a produtividade comercial da cultivar IAC 576-70.

4.2.2.3 Acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, na planta inteira e índice de colheita

O acúmulo de MS nas diferentes partes da planta foi influenciado pela interação dos fatores estudados (Tabela 22). O IC apresentou apenas efeito de cultivar. O IC ficou entre 0,50 e 0,64 para todos os tratamentos, estando esse valor dentro do considerado bom para se obter boas produtividades (COCK, 1985). Janket et al. (2018), estudando três cultivares de mandioca e aplicação de micronutrientes, observaram aumento do IC causado pelos elementos Zn e Cu. Lenka, Das e Divya

(2020), ao aplicarem 2 kg ha⁻¹ B via solo alcançaram para a cultura da batata um IC de 0,78, enquanto que o controle (apenas adubado com NPK) ficou com 0,73.

Esse índice é indicativo de boa distribuição da MS para as partes de interesse econômico e variam conforme espécie e cultivares, sendo possível selecionar as mais produtivas a partir deste parâmetro (ALVES, 2002). No entanto, vale apontar que a distribuição da MS para as diferentes partes da planta é influenciada principalmente pela idade da planta (MANRIQUE, 1990b). Apesar da cultivar BRS 399 ter sido a mais produtiva juntamente com a Palito, essa não apresentou um alto IC, sendo a com menor índice. O menor IC da cultivar BRS 399 é reflexo da sua elevada produção e acúmulo de biomassa na parte aérea.

Tabela 22 - Acúmulo de matéria seca (MS) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas, planta inteira e índice de colheita (IC) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Acúmulo de MS (t ha ⁻¹)				IC
	Parte aérea	Cepas	Raízes tuberosas	Planta inteira	
<i>Cultivar</i>					
BRS 399	8,9 a	1,1 a	9,9 bc	19,9 a	0,50 c
BRS 396	3,3 d	0,4 b	6,2 d	10,0 d	0,62 ab
Palito	5,0 c	1,1 a	11,3 a	17,5 b	0,64 a
Precoce	5,4 c	1,2 a	9,1 c	15,7 c	0,60 ab
IAC 576-70	7,7 b	1,0 a	11,0 ab	19,8 a	0,56 bc
<i>Níveis de B</i>					
Baixo	6,7 b	0,8 b	8,8 b	16,3 a	0,55 a
Médio	5,6 a	1,0 ab	10,4 a	17,0 a	0,61 a
Alto	5,9 a	1,0 a	9,4 b	16,3 a	0,58 a
ANOVA (<i>P>F</i>)			<i>Probabilidade de F</i>		
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0030
Níveis de B (B)	0,0133	0,0324	0,0041	ns	ns
C x B	0,0213	0,0052	0,0075	0,0007	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A cultivar BRS 396 apresentou o menor acúmulo de MS em todas as partes da planta nos diferentes níveis de fornecimento de B, enquanto os maiores acúmulos de MS na parte aérea e nas cepas ocorreram na cultivar BRS 399, independentemente da aplicação de B ou não (Tabela 23). Isso justifica a menor produtividade da cultivar BRS 396 (Tabela 20), demonstrando que a cultivar não se

adaptou às condições locais. Nas raízes tuberosas, o acúmulo de MS não diferiu entre as cultivares BRS 399, Palito, Precoce e IAC 576-70 sob condição de baixo fornecimento de B, mas no nível médio de B o maior acúmulo de MS nas raízes ocorreu na cultivar Palito, enquanto que no nível alto de B a cultivar IAC 576-70 se destacou com maior quantidade de MS acumulada neste órgão. O B possui papel na divisão celular e com isso, promove o desenvolvimento de zonas de crescimento, como brotações e alongamento de raízes (DEAR; WEIR, 2004).

Tabela 23 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para o acúmulo de MS na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e planta inteira.

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
MS de parte aérea (t ha ⁻¹)			
BRS 399	10,0 aA	9,1 aA	7,4 aB
BRS 396	3,8 cA	3,2 cA	2,9 cA
Palito	5,0 cA	4,7 bcA	5,5 bA
Precoce	6,7 bA	4,8 bcB	4,7 bB
IAC 57670	8,1 bA	6,3 bB	8,8 aA
MS de cepas (t ha ⁻¹)			
BRS 399	0,7 abB	1,2 aA	1,4 abA
BRS 396	0,6 bA	0,3 bAB	0,3 cB
Palito	1,0 aA	1,2 aA	1,2 bA
Precoce	1,0 aB	1,0 aB	1,5 aA
IAC 57670	1,0 aA	1,0 aA	1,1 bA
MS Raízes tuberosas (t ha ⁻¹)			
BRS 399	8,7 aA	10,7 bA	10,4 bA
BRS 396	5,5 bB	7,7 cA	5,4 cB
Palito	10,0 aB	14,0 aB	9,8 bA
Precoce	9,4 aA	9,2 bcA	9,0 bA
IAC 57670	10,2 aB	10,4 bAB	12,5 aA
MS da planta inteira (t ha ⁻¹)			
BRS 399	19,5 aA	21,0 aA	19,1 bA
BRS 396	9,9 cAB	11,4 dA	8,6 dB
Palito	16,0 bB	19,9 abA	16,4 cB
Precoce	17,1 abA	14,9 cA	15,1 cA
IAC 57670	19,3 aB	17,7 bB	22,4 aA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A adubação boratada não aumentou o acúmulo de MS na parte aérea das cultivares estudadas e até diminuiu o acúmulo na parte aérea das cultivares Precoce (nos dois níveis de B), IAC 576-70 (no nível médio de B) e BRS 399 no nível alto de B) (Tabela 23). O fornecimento do nível alto de B também reduziu o acúmulo de MS nas cepas da cultivar BRS 396 e aumentou o acúmulo de MS nas cepas da cultivar

Precoce. Nas raízes tuberosas, o fornecimento do nível médio de B aumentou o acúmulo de MS da cultivar BRS 396, enquanto que nas cultivares Palito e IAC 576- 70 houve aumento no acúmulo de MS das raízes quando se forneceu o nível alto de B.

Apesar de a distribuição da MS ser constante, seu acúmulo é muito dependente da capacidade fotossintética das partes produtoras, como folhas, e também da capacidade do dreno, sendo no caso da mandioca as raízes tuberosas (ALVES, 2002). Quando se analisa o acúmulo de MS na planta inteira, verifica-se que a adubação boratada com o maior nível de B diminuiu o acúmulo de MS nas plantas da cultivar BRS 396 e aumentou nas plantas da cultivar IAC 576-70. Em contrapartida, o nível intermediário de B foi suficiente para aumentar o acúmulo de MS nas plantas da cultivar Palito. No entanto, nas cultivares BRS 399 e Precoce a adubação boratada não interferiu significativamente nas quantidades de MS acumuladas nas plantas inteiras. Isso indica que as cultivares de mandioca respondem de forma diferente em termos de crescimento quando submetidas a adubação boratada.

Forno, Asher, Edwards (1979) estudaram a cultura associada ao nutriente, porém, apenas por 40 dias e em experimento de vaso. A aplicação de 7,5 mg de B por vaso foi a melhor dose para a produção de MS. Na batata, o B associado com S, ambos em aplicação foliar, após 30 e 60 dias depois do plantio apresentaram maior teor de MS nos tubérculos ao comparar com aplicação apenas de B ou S (SINGH et al., 2018). Puzina (2004), ao estudar B e sua relação com hormônios, observou que ácido bórico em plantas de batata aumentavam teores de auxinas. As auxinas são responsáveis pelos alongamentos celulares e crescimento de zonas meristemáticas. Puzina (2004), no seu experimento, aponta que, apesar de o B ter aumentado o crescimento das partes aéreas, este não veio acompanhado de maior número de hastes. Dessa forma, apesar de favorecer o crescimento em altura, o B pode não contribuir para um maior conteúdo de fotoassimilados nas partes, interferindo dessa forma na produção de MS da parte aérea.

4.2.4 Teor, acúmulo e eficiência de uso do nutriente de B

Os teores de B nos diferentes tecidos da planta variaram conforme a interação dos fatores estudados (Tabela 24).

Tabela 24 - Teores de B (mg kg^{-1}) na parte aérea, cepas e raízes tuberosas de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Parte Aérea	Cepa	Raiz
<i>Cultivar</i>			
BRS 399	17,0 a	7,9 b	6,9 a
BRS 396	13,1 b	8,4 b	5,6 b
Palito	18,4 a	11,8 a	6,8 a
Precoce	13,7 b	12,5 a	2,5 d
IAC 576-70	18,0 a	12,4 a	3,4 c
<i>Níveis de B</i>			
Baixo	14,2 b	9,2 b	4,4 c
Médio	16,6 a	11,3 a	5,1 b
Alto	17,4 a	11,3 a	5,6 a
ANOVA ($P>F$)	<i>Probabilidade de F</i>		
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	<0,0001	0,0001	<0,0001
C x B	0,0011	0,0002	0,0195

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na Tabela 25 é apresentado o desdobramento dos teores de B dentro dos níveis de B e diferentes cultivares nas partes da planta. A parte aérea apresenta os maiores teores do nutriente, estando de acordo com Forno, Asher, Edwards (1979). Os autores estudaram a mandioca por 28 dias em solução nutritiva e observaram uma concentração de B na parte aérea da planta de $10,8 \text{ mg kg}^{-1}$. No presente estudo a concentração média é bem superior a relatada pelos autores (Palito, em nível médio de B apresentou $20,9 \text{ mg kg}^{-1}$), no entanto, neste estudo o cultivo foi por 12 meses.

O B não é um elemento móvel na planta, dessa forma as maiores concentrações aparecem nas folhas já totalmente expandidas e em menor quantidade nos caules e então nas raízes, os sintomas são primeiro vistos nas folhas jovens (DEAR; WEIR, 2004). No presente estudo, todas as cultivares apresentaram o mesmo padrão, sendo possível observar que a parte aérea (estaque inclui as folhas totalmente desenvolvidas e caules) foi a que apresentou o maior teor do elemento, seguida pelas cepas e com menor teor ficou as raízes.

Tabela 25 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para os teores de B na parte aérea, cepas e raízes tuberosas.

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
Parte aérea (mg kg ⁻¹)			
BRS 399	16,6 aA	18,2 bA	16,4 bA
BRS 396	12,2 bA	12,5 cA	14,8 bA
Palito	14,4 abB	20,9 aA	20,0 aA
Precoce	13,4 bA	13,5 cA	14,4 bA
IAC 57670	14,7 abC	18,0 bB	21,4 aA
Cepas (mg kg ⁻¹)			
BRS 399	7,7 bA	8,0 bA	8,2 cA
BRS 396	8,7 bA	8,1 bA	8,4 cA
Palito	7,5 bB	13,2 aA	14,8 aA
Precoce	10,9 aB	13,9 aA	12,8 abAB
IAC 57670	11,6 aA	13,0 aA	12,5 bA
Raízes tuberosas (mg kg ⁻¹)			
BRS 399	6,1 aB	7,1 aA	7,6 aA
BRS 396	5,3 aA	5,9 bA	5,5 bA
Palito	5,4 aC	6,5 abB	8,3 aA
Precoce	1,8 cB	2,8 cAB	3,1 cA
IAC 57670	3,2 bA	3,3 cA	3,6 cA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O teor de B aumentou até o nível médio para a cultivar Palito e até o nível alto para a IAC 576-70 (Tabela 25), sendo que as demais não apresentaram diferenças. As cultivares BRS 399, Palito e IAC 576-70 apresentaram maior concentração de B na parte aérea quando 1 kg ha⁻¹ de B foi aplicado, enquanto que nas cultivares Palito e IAC 576-70 o teor de B na parte aérea foi maior com a aplicação de 2 kg ha⁻¹ de B.

Nas cepas é possível observar que a aplicação de B aumentou progressivamente o teor do nutriente para as cultivares Palito e Precoce. Sendo que para a cultivar Palito um nível alto de B dobrou o teor do elemento nessa parte da planta. Para as cultivares IAC 576-70, BRS 396 e BRS 399 não houve efeito da adubação boratada sobre o teor de B na cepa. Na presença da adubação boratada as cultivares da EMBRAPA apresentam teores de B nas cepas menores do que as outras cultivares.

Dados a respeito de teores de B nas partes da planta de mandioca colhidas com um ano ou mais de cultivo são raros. As informações presentes em literatura são muitas vezes para diagnose foliar, ou dizem a respeito ao acúmulo.

O acúmulo de B em todas as partes da planta foi influenciado pela interação dos fatores estudados (Tabela 26). É observado em todas as cultivares um maior

acúmulo de B na parte aérea e menor nas cepas. Isso também ocorre nos teores do B nos tecidos (Tabela 24), já que a parte aérea é o local de maior acúmulo do elemento (DEAR; WEIR, 2004).

Tabela 26 - Acúmulo de B (g ha^{-1}) na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Parte aérea	Cepas	Raízes tuberosas	Planta inteira
<i>Cultivar</i>				
BRS 399	151,0 a	8,8 b	68,8 a	228,5 a
BRS 396	43,5 d	3,6 c	34,9 b	82,0 d
Palito	93,8 b	13,6 a	75,7 a	183,0 b
Precoce	73,8 c	14,8 a	23,3 c	111,9 c
IAC 576-70	139,8 a	12,7 a	36,9 b	189,4 b
<i>Níveis de B</i>				
Baixo	98,7 a	8,2 b	37,3 b	144,2 b
Médio	96,0 a	11,3 a	54,1 a	161,4 a
Alto	106,3 a	12,6 a	52,4 a	171,3 a
<i>ANOVA ($P>F$)</i>		<i>Probabilidade de F</i>		
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	<0,0001	<0,0001	0,0027
C x B	<0,0001	0,0020	0,0461	<0,0001

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A adubação boratada aumentou o acúmulo de B na parte aérea das plantas de mandioca apenas das cultivares Precoce e IAC 576-70 (Tabela 27). Nos tratamentos sem B e com nível médio, o acúmulo de B na parte aérea da cultivar BRS 399 foi maior do que nas outras cultivares, mas no nível alto de B essa cultivar acumulou menos B em sua parte aérea se comparada as demais. El-Dissoky e Abdel-Kadar (2013), ao estudarem duas cultivares de batata e aplicação foliar de quatro doses de B em experimento a campo, não encontraram interação entre os fatores para conteúdo de MS. No entanto, os autores encontraram aumento da MS com aplicação independente da dose de B.

Nas cepas, é observado aumento conforme o nível aplicado de B para as cultivares, exceto para as cultivares BRS 396 e IAC 576-70. Em geral as cultivares Palito, Precoce e IAC 576-70 apresentaram maiores acúmulos de B nas cepas se comparadas com as outras variedades.

Tabela 27 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para os acúmulos de B na parte aérea, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira.

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
	Parte aérea (g ha ⁻¹)		
BRS 399	166,4 aA	165,7 aA	120,8 bB
BRS 396	47,5 dA	39,7 cA	43,2 cA
Palito	71,6 cdB	98,7 bAB	111,0 bA
Precoce	89,3 bcA	64,0 cA	68,0 cA
IAC 57670	118,8 bB	112,1 bB	188,6 aA
	Cepas (g ha ⁻¹)		
BRS 399	5,6 cB	9,3 bAB	11,5 cA
BRS 396	5,4 cA	2,9 cA	2,5 dA
Palito	7,6 bcB	16,3 aA	16,7 abA
Precoce	11,5 aB	14,5 aB	18,5 aA
IAC 57670	11,0 abA	13,3 aA	13,7 bcA
	Raízes tuberosas (g ha ⁻¹)		
BRS 399	53, 5 aB	74,4 bA	78,6 aA
BRS 396	29,4 bA	45,3 cA	30,0 bcA
Palito	53,8 aB	92,0 aA	81,3 aA
Precoce	17,5 bA	25,0 dA	27,5 cA
IAC 57670	32,1 bA	34,0 cdA	44,7 cA
	Planta inteira (g ha ⁻¹)		
BRS 399	225,4 aAB	249,3 aA	210,9 bB
BRS 396	82,3 dA	88,0 dA	75,8 dA
Palito	133,1 bcB	206,9 bA	209,0 bA
Precoce	118,3 cA	103,4 dA	114,0 cA
IAC 57670	161,9 bB	159,4 cB	247,0 aA

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Nas raízes o nível baixo de B gerou os menores acúmulos de B nas cultivares BRS 399 e Palito, ou seja, nessas cultivares a adubação boratada aumentou a exportação de B (Tabela 27). Nas outras cultivares a adubação boratada não interferiu na sua exportação pelas raízes tuberosas. As cultivares BRS 399 e Palito foram as que mais exportaram B nos níveis baixo e alto de B. Para a produção de uma tonelada de raízes a planta exporta cerca de 2,5 g t⁻¹ de B estando esse valor condizente com o encontrado no atual estudo (LEONEL; FERNANDES; FRANCO, 2015). Os autores apontam que, caso a parte aérea seja retirada da área para ser utilizada para outros fins, como maniva semente, por exemplo, as taxas de exportação ficam mais altas, uma vez que não será retornado ao solo nenhum material.

O acúmulo de nutrientes é dependente do nível de produtividade, teor de MS e fertilidade do solo (HOWELER, 1991). Por isso, no conteúdo total da planta é visto que a BRS 396 foi a com menor acúmulo do nutriente. Nesta cultivar, o nível médio

de B foi o que apresentou a maior extração, sendo que o nível alto reduziu em 14% o acumulado na planta. Conforme a Tabela 23, a qual expõe o conteúdo de MS na planta, é visto que em um nível alto de B, a BRS 396 produziu menos MS que nos demais níveis. Por isso, o acumulado do elemento na planta foi menor nesse nível de B. Krudnak, Wonprasaid e Machikowa (2013), em girassol observaram aumento do acúmulo de B à medida que aumentou os teores de B aplicado via solo na planta. Forno, Asher, Edwards (1979) também observaram aumento no acúmulo de B à medida que aumentou as doses de B na mandioca. Tais dados também foram observados no presente estudo, porém, não para todas as cultivares. A dose média promoveu a melhor resposta para a BRS 399 e 396.

Para a EUB-PRF houve efeito significativo somente das cultivares (Tabela 28). Para a EUB-PRF, as cultivares BRS 396 e a Precoce apresentaram valores de eficiência maiores do que as cultivares BRS 399 e IAC 576-70. As cultivares BRS 396 e a Precoce foram mais eficientes para converter o B absorvido em produção de raízes frescas.

Na EUB-PMSRT, bem como na EUB-PMSPL houve efeito de interação entre os fatores estudados (Tabela 28). A adubação boratada com 1 kg ha^{-1} de B aumentou a EUB-PMSRT da cultivar BRS 396, mas nas outras cultivares a aplicação de B não interferiu nas eficiências das plantas. Contudo, no caso da planta inteira a cultivar Palito foi a única que apresentou redução na EUB-PMSPL com o aumento no fornecimento de B. As demais cultivares não tiveram suas EUB-PMSPL aumentadas pela adubação boratada.

El-Sharkawy e Tafur (2010), avaliando a eficiência do uso de nutrientes em clones de mandioca e a influência pelas alturas das plantas, observaram que quando as plantas eram mais baixas a tendência de serem mais eficientes em utilizar os nutrientes era maior. As plantas com menor altura no presente estudo foram a BRS 396 e a Precoce, sendo essas as com melhor desempenho ao utilizar o elemento. As plantas com maior altura tendem a aumentar a biomassa, especialmente de caules, até a época de colheita, enquanto que as mais baixas assimilam melhor os nutrientes, concentrando-os em menos tecidos. No entanto, plantas menores também apresentam máximo potencial de alocação de fotoassimilados nas raízes mais cedo, aumentando e atingindo o máximo da produtividade antes dos 12 meses (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010). Dessa maneira,

são consideradas boas para uma colheita precoce, não aumentando a biomassa por ficarem no campo por mais tempo (EL-SHARKAWY; TAFUR, 2010).

Tabela 28 - Eficiência de uso de B para a produtividade de raízes frescas (EUB-PRF), para a produção de MS de raízes tuberosas (EUB-PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUB-PMSPL) de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Cultivares	EUB-PRF	EUB-PMSRT	EUB-PMSPL
<i>Cultivar</i>	(kg de raiz fresca g de B absorvido ⁻¹)	(kg de MS de raiz g de B absorvido ⁻¹)	(kg de MS da planta g de B absorvido ⁻¹)
BRS 399	132,4 c	43,7 c	87,2 d
BRS 396	196,2 a	76,6 a	122,0 b
Palito	170,6 ab	64,0 b	99,9 c
Precoce	194,9 a	82,6 a	141,4 a
IAC 576-70	141,6 bc	61,0 b	108,2 c
<i>Níveis de B</i>			
Baixo	172,5 a	66,4 ab	119,9 a
Médio	175,4 a	71,2 a	113,7 a
Alto	153,5 a	59,3 b	101,5 b
ANOVA (<i>P>F</i>)		<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	0,0004	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	0,0115	<0,0001
C x B	ns	0,0382	0,0058

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Em outras culturas, como na batata, as cultivares também variam em termos de eficiência de absorção de nutrientes (ZEBARTH et al., 2004). O nutriente também pode influenciar no comportamento de sua absorção e eficiência de uso. O B em cultura de trigo teve sua maior eficiência de uso na dose de 2 kg ha⁻¹, acumulando 0,9 g MS g⁻¹ B absorvido do que na dose de 4 kg ha⁻¹ gerando 0,18 g MS g⁻¹ B absorvido (GALINDO et al., 2018).

A cultivar BRS 396 foi a mais eficaz em EUB-PMSRT no nível médio B, e a Palito, no nível baixo e médio foram melhores, havendo uma redução na eficiência, quando aplicado o nível alto de B. Já na EUB-PMSPL, a cultivar Precoce em todos os níveis foi a mais eficaz (Tabela 29). A cultivar Palito e a cultivar IAC 576-70, com o aumento da dose reduziu ou manteve a EUB. Dessa forma, ambas as cultivares não são eficientes na conversão do B absorvido para a produção de MS. Para a cultivar Precoce um nível médio de B foi o que resultou em maior EUB, dessa maneira, 1 kg ha⁻¹ de B pode favorecer essa cultivar na conversão de MS na raiz, representando aumento na produtividade final.

Tabela 29 - Desdobramento da interação cultivar x nível de B para eficiência de uso do B para a produção de MS de raízes tuberosas (EUB- PMSRT) e para a produção de MS da planta (EUB-PMSPL).

Cultivar	Nível de B		
	Baixo	Médio	Alto
EUB-PMSRT (kg de MS de raiz g de B absorvido ⁻¹)			
BRS 399	39,0 bA	43,2 cA	49,0 bA
BRS 396	69,7 aB	88,7 aA	71,5 aB
Palito	77,0 aA	68,7 bA	46,2bB
Precoce	79,2 aA	89,2 aA	79,5 aA
IAC 57670	66,7 aA	66,0 bA	50,5 bA
EUB-PMSPL (kg de MS da planta g de B absorvido ⁻¹)			
BRS 399	86,5 cA	84,5 dA	90,5 cA
BRS 396	122,7 bA	129,0 bA	114,2 bA
Palito	123,0 bA	98,0 cdB	78,7 cC
Precoce	145,0 aA	145,5 aA	133,7 aA
IAC 57670	122,2 bA	111,7 cA	90,5 cB

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Para a EUB-PMSPL, o comportamento segue o proposto por Zebarth et al. (2004), o qual com o aumento da aplicação de nutriente, reduz-se a eficiência de uso do mesmo. Essa característica é vista com maior evidencia nas cultivares Palito e IAC 576-70. Isso ocorre, por não haver limitação na disponibilidade do nutriente, ocorrendo o mesmo quando não há restrição hídrica, por exemplo. As plantas de mandioca apresentam melhor desempenho quando alocadas em ambientes estressantes, sendo essas mais eficientes no uso dos recursos (EL-SHARKAWY et al., 1998).

No entanto, para todas as cultivares, o nível alto de B foi o que converteu as menores MS para a parte aérea, sendo a maior quantia alocada nas raízes, o que acaba por resultar em maior produtividade. Níveis adequados de B podem favorecer a produtividade das plantas devido a interação que esse elemento tem com os demais nutrientes do solo. Seu fornecimento em quantias adequadas resulta em melhor alocação dos demais nutrientes (BARIYA; BAGTHARIA; PATEL, 2014).

Em estudos com a cultura do amendoim, Bariya, Bagtharia e Patel (2014) encontraram maiores teores de absorção dos demais macro e micronutrientes na dose de 1 kg ha⁻¹ de B aplicada, sendo que outras doses não resultaram em efeito

tão eficiente. Dessa maneira, a dose aplicada, a espécie estudada e a cultivar empregada afetam na eficiência de uso do elemento em estudo.

4.2.5 Avaliações de qualidade de raiz e rendimento operacional

4.2.5.1 Teor de matéria seca, amido, proteína, tempo de cozimento, textura crua e cozida de raízes

Nenhuma variável teve efeito de interação dos fatores estudados, sendo observado o efeito principal de cultivar para os teores de MS, amido, proteína, TC e textura, bem como os efeitos do fator nível de B para o TC (Tabela 30). A cultivar BRS 399 apresentou o menor teor de MS nas raízes, enquanto os maiores teores ocorreram nas cultivares Precoce e IAC 576-70. Os teores de ambas foram, respectivamente 42 e 41%. Manrique (1990b) encontrou valores acima dos aqui apresentados em colheita aos 10 meses.

Tabela 30 - Teores de MS, amido e proteína, tempo de cozimento (TC), textura das raízes antes e após o cozimento de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	Teor de MS	Teor de amido	Teor de proteína	TC	Textura	
					Crua	Cozida
	%	% MF	% MF	min	N	
<i>Cultivar</i>						
BRS 399	33,4 d	22,7 b	0,8 c	20,6 c	30,0 c	7,8 b
BRS 396	37,3 c	25,4 b	1,1 b	23,7 ab	30,8 c	11,0 a
Palito	39,6 b	31,4 a	1,3 a	20,5 c	34,4 b	11,1 a
Precoce	42,9 a	34,0 a	1,2 ab	24,7 a	39,4 a	7,1 b
IAC 576-70	41,2 ab	32,3 a	1,3 a	21,7 bc	35,3 b	7,0 b
<i>Níveis de B</i>						
Baixo	39,1 a	29,9 a	1,9 a	20,6 b	34,6 a	8,8 a
Médio	38,7 a	29,2 a	1,2 a	23,2 a	33,6 a	9,0 a
Alto	38,9 a	28,4 a	1,0 a	22,9 a	33,8 a	8,6 a
ANOVA (<i>P>F</i>)			<i>Probabilidade de F</i>			
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0053	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	ns	ns	0,0286	ns	ns
C x B	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O teor de amido é componente principal da polpa da mandioca, fazendo parte de 96% dos carboidratos ali presentes (ALARCÓN; DUFOUR, 2012). Neste estudo, o amido ficou entre 22,7 e 34%, sendo o maior teor visto na cultivar Palito, já as

doses de B não afetaram esse teor. Panitnok et al. (2013), em 3 cultivares de mandioca, encontraram teores de amido com média de 26%. A mandioca possui mais carboidratos nas raízes que batata e outros alimentos (MONTAGNAC; DAVIS; TANUMIHARDJO, 2009). O teor de amido na cultura da batata é bem inferior ao encontrado na mandioca, sendo entre 16 a 18% (SHARMA et al., 2011).

O amido da raiz é composto basicamente por amilose e amilopectina (WHEATLEY, 1991). Duas estruturas importantes que são estudadas em abrangência na mandioca, por serem os principais constituintes das raízes, e pelas características de inchaço da célula, formação de gel entre outras que influenciamna textura final e no TC (WHEATLEY, 1991; PADONOU; MESTRES; NAGO, 2005; CHAROENKUL et al., 2006).

O B possui papel estrutural nas células e também no transporte de carboidratos e atua no metabolismo do açúcar em plantas (SALEEM et al., 2011; DUGGER, 1973). Em batata, Puzina (2004) estudou aplicação de B e Zn, o autor observou que quando aplicado B havia um aumento das células responsáveis por acúmulo de amido. Ilyas et al. (2021), observaram que aplicação de B aumentou o amido em plantas de batata de 13% para 14,8%. Os autores encontraram resultados ainda mais expressivos quando a aplicação de B foi conjunta com Ca, passando o teor de amido para 16,1%. Byju e Suja (2020), destacam que uma adequada nutrição da cultura é capaz de aumentar a taxa de amido nas raízes. Porém, quando em excesso, pode prejudicar, diminuindo o conteúdo de amido das raízes (HOWELER, 2002). Especialmente o N, por promover o crescimento da parte aérea, prejudicando a deposição de amido.

A proteína no presente estudo foi mais baixa para a BRS 399, com 0,8% e em maiores teores na Palito e IAC 576-70, com 1,3%. Alarcón e Dufour (2012), apontam que a mandioca possui em média 2% de proteína. Na batata a aplicação de B via foliar em dose de 0,5 % ou no solo com 5 kg ha⁻¹ em conjunto com S na forma de gesso aumentou o teor de proteína nos tubérculos em 4%.

Para o TC as cultivares Palito e BRS 399 não diferiram entre si e apresentaram cozimento mais rápido, com aproximadamente 20 minutos (Tabela 30). Já as cultivares Precoce e BRS 396 levaram mais tempo para cozinhar. O B, no entanto, influenciou no tempo de cocção, porém os níveis médio e alto de fornecimento de B aumentaram entre dois e três minutos o TC. O TC é a mais importante análise em relação a qualidade das raízes da mandioca de mesa,

juntamente com a textura, plasticidade e pegajosidade (LORENZI, 1994). O TC, no entanto, influencia na plasticidade e pegajosidade das raízes, já que, por estarem imersas em água em ebulição, as paredes celulares das raízes se rompem, fazendo com que o amido se libere, e este se gelatinize, formando a plasticidade e a pegajosidade, sendo essas características desejáveis (OLIVEIRA et al., 2005). Tempos de cocção mais curtos resultam em uma melhor formação de massa e requerem menos energia para ficarem macias (MIRANDA et al., 2020).

Lorenzi (1994), estudando cinco cultivares do IAC observou que há diferença entre elas em relação ao TC e, além de atribuir essa variação as plantas e ao tempo de colheita, o autor ainda infere que o solo também influencia no TC das raízes. Oliveira e Moraes (2009), também atribuem que o TC pode ser influenciado por características climáticas. Os autores perceberam que aos 10 dias prévios ao teste, se o somatório pluviométrico fosse acima de 100 mm, o TC das raízes era negativamente afetado.

No presente estudo, o B influenciou de maneira negativa no TC. Esse elemento é responsável principalmente pelo alongamento celular de tecidos decrescimento, como as raízes tuberosas da mandioca (SALEEM et al., 2011). Também faz parte da composição das paredes celular, no qual sua deficiência a torna mais frágil (SALEEM et al., 2011). Apesar da adubação boratada ter aumentado o tempo de cozimento das raízes, o aumento foi pequeno, ou seja, entre dois e três minutos, e todas as raízes cozinham, o que não justifica a ausência de uso da adubação boratada na cultura da mandioca cultivada em solos deficientes em B.

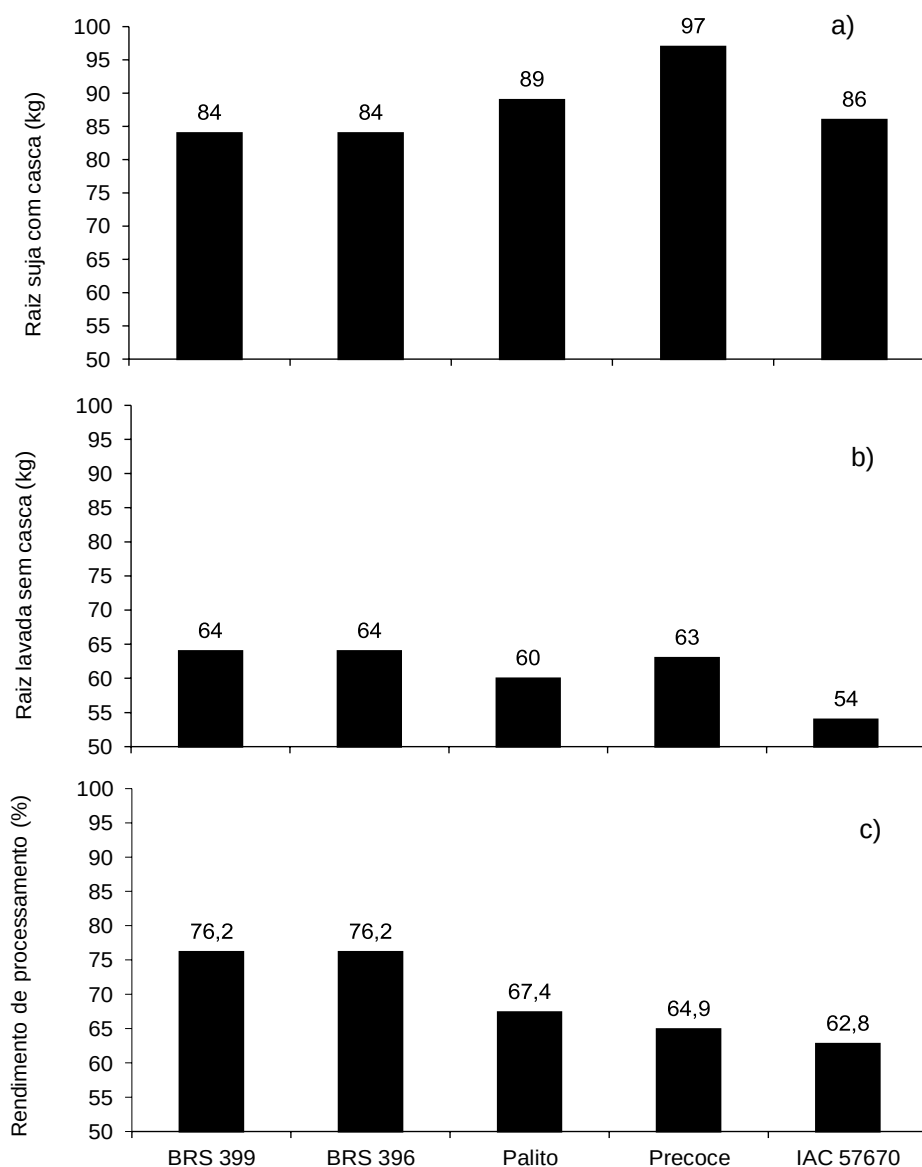
A textura crua das raízes da cultivar Precoce foi maior do que a das outras cultivares e as cultivares BRS 399 e BRS 396 apresentaram os menores valores de textura das raízes cruas (Tabela 30). No entanto, para as raízes cozidas observou-se maiores valores de textura para as cultivares BRS 396 e Palito. A menor textura das raízes cruas das cultivares da EMBRAPA é resultado dos menores teores de MSe amido em suas raízes. Contudo, mesmo a cultivar BRS 396 tendo apresentado menor valor de textura antes do cozimento, após o cozimento seus valores de textura foram maiores do que nas cultivares com maior teor de MS e amido nas raízes. No entanto, vale destacar que as raízes de todas as cultivares cozinham dentro de um período menor que 30 minutos. Padonou, Mestres e Nago (2005) ao avaliarem o cozimento de sete cultivares de mandioca por 20 minutos, obtiveram

valores de textura de 1,44 N, ou seja, valores inferiores aos obtidos neste estudo. Os maiores valores de textura obtidos no presente estudo podem estar relacionados as diferenças nas metodologias de avaliação entre os estudos.

4.2.5.2 Rendimento de processamento e de produto processado

A relação obtida entre o peso das raízes antes do processamento (raízes sujas) e após o processamento (lavagem e descasque) mostrou que as cultivares BRS 399 e BRS 396 tiveram maior rendimento de processamento (Figura 2).

Figura 2 – Peso fresco das raízes antes (a) e após (b) a lavagem e descascamento, e rendimento de processamento (c) de raízes de cinco cultivares de mandioca



O rendimento de produto processado para produtividade total (RPP-PT) e para a produtividade comercial (RPP-PC) foram calculados com base nas respectivas produtividades total e comercial e no rendimento de processamento de cada cultivar. Foi observado efeito principal do fator cultivar para o RPP-PT e RPP-PC (Tabela 31). As cultivares BRS 399 e Palito apresentaram os maiores RPP-PT e a cultivar BRS 396 apresentou os menores valores para essa variável. Para o RPP-PC verificou-se que os maiores valores ocorreram na cultivar BRS 399 e os menores.

valores na cultivar BRS 396, enquanto que nas demais cultivares os valores foram intermediários.

Tabela 31 - Rendimento de produto processado para as produtividades total (RPP-PT) e comercial (RPP-PC) de raízes de cinco cultivares de mandioca submetidas à adubação boratada.

Tratamentos	RPP-PT	RPP-PC
	t ha ⁻¹	
<i>Cultivar</i>		
BRS 399	22,8 a	21,2 a
BRS 396	12,2 c	10,3 d
Palito	20,0 a	17,9 b
Precoce	14,0 bc	12,2 cd
IAC 576-70	16,4 b	13,9 c
<i>Níveis de B</i>		
Baixo	16,0 a	14,3 a
Médio	18,3 a	15,8 a
Alto	16,9 a	15,2 a
ANOVA (<i>P>F</i>)	<i>Probabilidade de F</i>	
Cultivar (C)	<0,0001	<0,0001
Níveis de B (B)	ns	ns
C x B	ns	ns

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Os maiores rendimentos de produto processado na cultivar BRS 399 é resultado dos maiores índices de produtividade (Tabela 20) bem como dos maiores rendimentos de processamento (Figura 2), ou seja, para essa cultivar houve uma menor perda de peso com a remoção da casca e entrecasca. Porém, na Cooperativa de Ubirajara eles processam até mesmo as raízes mais finas (<40 mm) e neste caso a cultivar Palito apresentou elevado RPP-PT, ou seja, a sua maior perda durante o processamento foi compensada pelos seus maiores índices de produtividade. A cultivar IAC 576-70 por ter apresentado as maiores perdas durante o processamento, apresentou valores intermediários de RPP-PT e RPP-PC. Segundo Viana, Oliveira e Silva (2010), as perdas com a remoção da casca, entrecasca e pontas variam entre 25 a 30% do peso total da mandioca, porém, quando as raízes são mais finas essas perdas podem subir para 40%. Corroborando com o apontado pelos autores, as raízes com menores diâmetros neste estudo foram a IAC 576-70 e a Palito.

5 CONCLUSÃO

a) Experimento com adubação sulfatada de cobertura

A adubação sulfatada de cobertura não aumentou os teores de S na folha diagnóstica da mandioca cultivada em solo arenoso com baixa-média disponibilidade inicial de S. Houve efeito varietal nas respostas à adubação sulfatada de cobertura para a produtividade total e comercial. O S promoveu maior rendimento de produto processado refletindo em resultado econômico. A adubação sulfatada não interferiu na qualidade das raízes da mandioca e as raízes de todas as cultivares cozinharam dentro do período estipulado.

b) Experimento com adubação boratada de cobertura

Os teores de B na folha diagnóstica da mandioca aumentaram com a adubação boratada de cobertura. Houve efeito varietal nas respostas à adubação boratada de cobertura para a produtividade total. A adubação boratada de cobertura aumentou em 2,6 min o tempo de cozimento das raízes, porém todas cozinharam dentro do período estipulado, e o fornecimento de B não interferiu nos outros parâmetros de qualidade das raízes.

REFERÊNCIAS

- ALARCÓN, F. M.; DUFOUR, D. Sour Cassava Starch in Colombia. In: OSPINA, B.; CEBALLOS, H. (Org.). **Cassava in the third millennium: modern production, processing, use, and marketing systems**. 1. Ed. Cali: CIAT, 2012. P. 113 – 138.
- ALI, R. A. M.; ABD-ELKADER, D. Y. Influence of application systems of K₂SO₄ and foliar application of micronutrient mixtures on cassava grown in sandy soil. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 35, n. 4, p. 314 – 324, 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqsae.2014.2829>. Acesso em 14 abr. 2022.
- ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (Eds.). **Cassava: biology, production and utilization**. 1. ed. Kent, UK: Cabi Europe, 2002. p. 67– 89.
- ALVES, A. U.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, E. U.; OLIVEIRA, A. N. P.; CARDOSO, E. A.; MATOS, B. F.; ALVES, A. U. Manejo da adubação nitrogenada para a batata-doce: fontes e parcelamento de aplicação. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1554 – 1559, 2009.
- ALVES, L. S.; MORAIS, L. G.; MAUAD, M.; BRITO, D. M. C.; SANTOS, A. M.; CASTRO, R. N.; SOUZA, S. R. Grain production , fatty acid and oil profile from sunflower cultivars receiving different boron. **Bioscience Journal Original**, v. 36, n. 4, p. 1185–1192, 2020.
- ANDRADE, D. P.; BRITO, F. A.L.; CARVALHO, M. J. B.; VIEIRA, M. R. S.; BARROS JUNIOR, A. P.; SILVA, S. L. F.; SIMÕES, A. N. Avaliação de cultivares de mandioca de mesa em diferentes idades de colheita. **Interciencia**, v.39, n. 10, p. 736 – 741, 2014. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932433010>. Acesso em 12 abr. 2022.
- ARAÚJO, F. C. B.; MOURA, E. F.; CUNHA, R. L.; FARIAS NETRO, J. T.; SILVA, R. S.; Chemical root traits differentiate ‘bitter’ and ‘sweet’ cassava accessions from the Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 77 – 85, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1984->. Acesso em 14 abr. 2022.
- BARIYA, H.; BAGTHARIA, S.; PATEL, A. Boron: A Promising Nutrient for Increasing Growth and Yield of Plants. In: HAWKESFORD, M. J.; KOPRIVA, S.; KOK, L. J. (Eds.). **Nutrient Use Efficiency in Plants**. 1. Ed. Londres: Springer, 2014. p. 153 – 170.
- BIMBRAW, A. S. Sulfur nutrition and assimilation in crop plants. In: KHAN, N. A.; SINGH, S.; UMAR, S. (Eds.) **Sulfur assimilation and abiotic stress in plants**. 1. ed. Berlin: Springer, 2008. p. 55.
- BURNS, A. E.; GLEADOW, M.; ZACARIAS, A. M.; CUAMBE, C. E.; MILLER, R. E.; CAVAGNARO, T. R. Variations in the chemical composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Leaves and Roots as affected by genotypic and environmental

variation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 19, p. 4946 – 4956, 2012. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf2047288>. acesso em: 9 abr 2022.

BUTARELO, S. S.; BELEIA, A.; FONSECA, I. C. B.; ITO, K. C. Hidratação de tecidos de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e gelatinização do amido durante a cocção. **Ciencia y tecnología alimentaria**, v. 24, n. 3, p. 311 - 315, 2004.

BYJU, G.; SUJA, G. Mineral nutrition of cassava. **Advances in Agronomy**, v. 159, p. 169 – 235, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.08.005>. Acesso em: 14 abr. 2022.

BYJU, G.; NEDUNCHEZHIAN, M.; NASKAR, S. K. Sweet potato response to boron application on an Alfisols in the subhumid tropical climate of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 17–18, p. 2347–2356, 2007.

CADAVID, L. F. Soils and fertilizers for the Cassava crop. In: OSPINA, B.; CEBALLOS, H. (Org.). **Cassava in the third millennium: modern production, processing, use, and marketing systems**. 1. ed. Cali: CIAT, 2012. P. 113 – 138.

CHAROENKUL, N.; UTTAPAP, D.; PATHIPANAWAT, W.; TAKEDA, Y. Molecular structure of starches from cassava varieties having different cooked root textures. **Starch**, v. 58, n. 9, p. 443 – 452, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.200600515>. Acesso em: 14 abr. 2022.

COCK, J. H. **Cassava new potential for a neglected crop**. 1. ed. Londres: Westview Press, 1985.

COCK, J. H.; FRANKLIN, D.; SANDOVAL, G.; JURI, P. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, v. 19, n. 2, p. 271 – 279, 1979.

COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in world crop production. **Soil Science**, v. 101, n. 4, p. 230 – 239, 1966.

CONCEIÇÃO, A. J. Da. **A mandioca**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1987.

COURSEY, D. G. Cassava as Food: Toxicity and Technology. In: NESTEL, B.; MACLINTYRE, R. (Eds.). **Chronic Cassava Toxicity**. 1. ed. Londres: International Development Research Centre, 1973. p. 27–36.

COURSEY, D. G.; BOOTH, R. H. Post-harvest problems of non-grain staples. **Acta horticulturae**, v. 53, p. 23 – 34, 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1977.53.1>. Acesso em: 16 abr. 2022.

CRASWELL, E. T.; ASHER, C. J.; SULLIVAN, J. N. Q. **Mineral nutrient disorders of root crops in the pacific**. 1. ed. Brisbane: P. W. Lynch, 1996.

DEAR, B.; WEIR, R. Boron deficiency in pastures and field crops. In: **AgFacts.NSW Agriculture**, 2004.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A.; SANTOS, L. A.;

SPERANDIO, M. V. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa: SBCS, 2018. p. 491 – 562.

DUGGER, W. M. Functional Aspects of Boron in Plants. In: KOTHNY, E. (Ed.). **Trace Elements in the Environment**. 1. ed. Washington: Advances in chemistry, 1973. p. 112 – 129.

EL-DISSOKY, R. A.; ABDEL-KADAR, A.E.S. Effect of boron as a foliar application on some potatoes cultivars under egyptian alluvial soil conditions. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 9, n.5, p. 232 – 240, 2013.

EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F.; TAFUR, S. M. Nutrient use efficiency of cassava differs with genotype architecture. **Acta Agronómica**, v. 48, n. 1 – 2, p. 23 – 32, 1998.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 56, p. 481 – 501, 2004.

EL-SHARKAWY, M. A.; TAFUR, S. M. de. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 173 – 188, 2010.

EMBRAPA. **BRS 396: Nova cultivar de mandioca de mesa, de polpa amarela, para o Paraná e o Mato Grosso do Sul**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2015. (Folder).

EMBRAPA. **BRS 399: nova cultivar de mandioca de mesa, de polpa amarela, para o Paraná e o Mato Grosso do Sul**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014. (Folder).

ENESI, R. O.; HAUSER, S.; PYPERS, P.; KREYE, C.; TARIKU, M.; SIX, J. Understanding changes in cassava root dry matter yield by different planting dates, crop ages at harvest, fertilizer application and varieties. **European Journal of Agronomy**, v. 133, p. 1 – 9, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121002197>. Acesso em: 12 de abr. 2022.

EPPENDORFER, W. H.; EGGUM, B. O. Effects of sulphur , nitrogen , phosphorus , potassium , and water stress on dietary fibre fractions , starch , amino acids and on the biological value of potato protein. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 45, p. 299–313, 1994.

FERNANDES, A. M.; GAZOLA, B.; NUNES, J. G. da S.; GARCIA, E. L.; LEONEL, M. Yield and nutritional requirements of cassava in response to potassium fertilizer in the second cycle. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 20, p. 2785–2796, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1382520>. Acesso em: 12 abr. 2022

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P. Eficiência de utilização de nutrientes por

cultivares de batata. **Journal of Biosciences**, v. 29, n. 1, p. 91 – 100, 2013.
Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13570>.
Acesso em: 12 abr. 2022

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039 – 1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413->. Acesso em: 14 nov. 2021.

FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E. A. **Mandioca no cerrado**: orientações técnicas. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 203 p.

FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J.; MORAES-DALLAQUA, M. A.; TANAMATI, F. Y.; AGUIAR, E. B. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. **Bragantia**, v. 73, n. 4, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets** – November 2018. Roma, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAOSTAT). **Food and agriculture data**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 2 mai. 2022.

FORNO, D. A.; ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G. Boron nutrition of cassava, and the boron × temperature interaction. **Field Crops Research**, v. 2, p. 265 – 279, 1979.

FUENTES-LARA, L. O.; MEDRANO-MAC, J.; PÉREZ-LABRADA, F.; NOHEM, E.; GARCÍA-ENCISO, E. L.; GONZÁLEZ-MORALES, S.; JUÁREZ-MALDONADO, A.; RINCÓN-SÁNCHEZ, F.; BENAVIDES-MENDOZA, A. From elemental sulfur to hydrogen sulfide in agricultural soils and plants. **Molecules**, v. 24, p. 1–17, 2019.

FUHRMANN, E.; VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F.; FALEIRO, F. G.; CARVALHO, L. J. C. B. Agronomic performance and biochemical attributes of yellow-pulped elite sweet cassava clones. **Científica**, v. 47, n. 1, p. 77 - 82, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n1p77-82>. Acesso em: 20 mar. 2020

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SANTINI, J. M. K.; PEREIRA, M. R. A. Effects of boron (B) doses and forms on boron use efficiency of wheat. **Australian journal of crop science**, v. 12, n. 9, p. 1536 – 1542, 2018.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: LAMBERS, H. (Ed.). **Plant and Soil**. 1. ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997. p. 35–48.

GUPTA, U.; BLOEM, E.; SCHNUG, E.; KOK, L. J. De; STULEN, I. Boron. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. 1. ed. Boca Raton, EUA: Taylor & Francis, 2007. p. 241.

GUPTA, U.; SOLANKI, H. A. Impact of boron deficiency on plant growth. **International Journal of Bioassays**, v. 2, n. 07, p. 1048–1050, 2013.

HAGEL, I. Sulfur and baking-quality of bread making wheat. **Landbauforschung Völkenrode**, v. 283, p. 23–36, 2005.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E.; KOK, L. J. De; STULEN, I. Sulfur. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. 1. ed. Boca Raton, EUA: Taylor & Francis, 2007. p. 613.

HAWKESFORD, M. J. Sulfur in plants as part of a metabolic network. In: HAWKESFORD, M. J.; KOK, L. J. De (Eds.). **Sulfur in Plants An Ecological Perspective**. 1. ed. London, England: Springer, 2007. p. 265.

HOWELER, R. H.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C.J. Micronutrient deficiencies and toxicities of cassava plants growth in nutrient solutions. **Journal of plant nutrition**, v. 5, n. 8, p. 1059 – 1076, 1982. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904168209363038>. Acesso em: 26 mar. 2022

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. **Field Crops Research**, v. 7, n. 1, p. 123 – 139, 1983. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378429083900175>. Acesso em: 10 abr. 2022.

HOWELER, R. H. Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. **Field Crops Research**, v. 26, n. 1, p. 1–18, 1991.

HOWELER, R. H. Mineral Nutrition of Cassava. In: CRASWELL, E. T.; ASHER, C. J.; SULLIVAN, J. N. Q. (Eds.). **Mineral ntrient disorders of root crops in the pacific**. 1. ed. Brisbane: P. W. Lynch, 1996. p. 110–116.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (Eds.). **Cassava: biology, production and utilization**. 1. ed. Kent, UK: Cabi Europe, 2002. p. 115–148.

HRIVNA, L., KOTKOVA, B., BURESOVA, I. effect of sulphur fertilization on yield and quality of wheat grain. **Cereal research communications**, v. 43, n. 2, p. 344 – 352, 2015.

IAC. **MANDIOCA IAC 576-70, CULTIVAR DE MESA**. 2021. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/folders/Mandioca/IAC576-70.htm>>. Acesso em: 6 abr. 2021.

IBGE. **Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** (Janeiro/2019) Ibge. Brasília, DF: 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=72415>. Acesso em: 2 abr. 2020.

ILYAS, M.; AYUB, G.; IMRAN, A.; ARMAT, A. A., AHMAD, M. Calcium and boron effect on production and quality of autumn potato crop under chilling temperature. **Communications soil science plant analysis**, v. 52, n. 4, p. 369 – 382, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624>. Acesso em 14 abr. 2022.

IMAKUMBILI, M. L. E.; SEMU, E.; SEMOKA, J. M. R.; ABASS, A.; MKAMILO, G. Plant tissue analysis as a tool for predicting fertiliser needs for low cyanogenic glucoside levels in cassava roots: An assessment of its possible use. **PLoS ONE**, v.

15, n.2, p. e0228641, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228641>. Acesso em: 26 mar. 2022.

JANKET, A.; VOROSOOT, N.; KESMALA, T.; JOGLOY, S. Influence of zinc, copper and manganese on dry matter yield and physiological traits of three cassava genotypes grown on soil micronutrient deficiencies. **Pakistan Journal of Botany**, v. 50, n. 5, p. 1719-1725, 2018.

JANKET, A.; VORASOOT, N.; TOOMSAN, B.; KAEWPRADIT, W.; THEERAKUPISUT, P.; HOLBROOK, C. C.; KVIEN, C. K.; JOGLOY, S.; BANTERNG, P. Quantitative evaluation of macro-nutrient uptake by cassava in a tropical savanna climate. **Agriculture**, v. 11, p. 1 – 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture11121199>. Acesso em: 10 abr. 2022.

JÄRVAN, M.; LUKME, L.; ADAMSON, A.; AKK, A. Responses of wheat yield , quality and bread- making properties on the sulphur fertilization. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 67, n. 5, p. 444–452, 2017.

JOHN, K. S.; GEORGE, J.; SHANIDA BEEGUM, S. U.; SHIVAY, Y. S. Soil fertility and nutrient management in tropical tuber crops - An overview. **Indian Journal of Agronomy**, v. 61, n. 3, p. 263–273, 2016.

JORDAN, H. V.; ENSMINGER, L. E. The role of sulfur in soil fertility. **Advances in agronomy**, v. 10, n. 1, p. 407–434, 1959.

KAISHER, M. S.; RAHMAN, M. A.; AMIN, M. H. A.; AMANULLAH, A. S. M.; AHSANULLAH, A. S. M. Effects of sulphur and boron on the seed yield and protein content of mungbean. **Bangladesh research publications journal**, v. 3, n. 4, p. 1181–1186, 2010.

KAUR, L.; SINGH, N.; SODHI, N. S.; GUJRAL, H. S. Some properties of potatoes and their starches I. Cooking, textural and rheological properties of potatoes. **Food chemistry advances**, v. 79, n. 2, p. 177 – 181, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00129-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00129-2). Acesso em 13 abr. 2022.

KHAN, N. A.; MOBIN, M.; SAMIULLAH, A. The influence of gibberellic acid and sulfur fertilization rate on growth and S-use efficiency of mustard (*Brassica juncea*). **Plant and soil**, v. 270, p. 269 – 274, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1606-4>. Acesso em 10 abr. 2022.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1–24, 2007.

KLIKOCKA, H. Boron content and some quality features of potato tubers under the conditions of using sulphur fertilizer. **Agronomy Research**, v. 18, n. 4, p. 2425 – 2435, 2020. Disponível em: <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/6203>. Acesso em: 8 abr. 2022.

KRUDNAK, A.; WONPRASAID, S.; MACHIKOWA, T. Boron affects pollen viability and seed set in sunflowers. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 2, p.

162–166, 2013.

LEBOT, V. **tropical root and tuber crops cassava, sweet potato, yams and aroids**. 1. ed. Londres, UK: Cabi Europe, 2009.

LENKA, B.; DAS, S. K. Effect of boron and zinc application on growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum*) at alluvial soil (Entisols) of India. **Indian Journal of Agronomy**, v. 64, n. 1, p. 129–137, 2019.

LENKA, B.; DAS, S. K.; DIVYA, R. K. Nutrient use efficiency, yield attributes and comparative economics of potato crop (*Solanum tuberosum* L.) in response to zinc and boron nutrition in entisols of India. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 3, p. 10 – 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3a.9457>. Acesso em: 8 abr. 2022.

LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. **Culturas amiláceas**. 1. ed. Botucatu, SP: CERAT, 2015.

LORENZI, J. O.; GALLO, J. R.; MALAVOLTA, E. Acumulação de matéria seca e macronutrientes por duas cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 40, n. 1, p. 145–156, 1981.

LORENZI, J.O. Variação na qualidade culinária de raízes de mandioca. **Bragantia**, v.52, n. 2 p. 237 - 245, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051994000200013>. Acesso em 13 abr. 2022.

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, B.V. 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 Agrônomo, p. 221-229. (Boletim Técnico, 100). 1997.

LOPES, A. S. **Manual internacional do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1998.

LOZANO, J.C.; BELLOTTI, A.; REYES, J.A.; HOWELER, R.; LEIHNER, D.; DOLF, J. **Problemas no cultivo da mandioca**. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Traduzido Jairo R. Silva. Brasília, EMATER, 1983. 208p.

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

MALHI, S. S. Influence of four successive annual applications of elemental S and sulphate-S fertilizers on yield , S uptake and seed quality of canola. **CanadiaJournal of plant science**, v. 85, n. 4, p. 777–792, 2005.

MANRIQUE, L. A. Plant Morphology of Cassava During Summer and Winter. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 5, p. 881 – 886, 1990. Disponível em: [10.2134/agronj1990.0002196200](https://doi.org/10.2134/agronj1990.0002196200). Acesso em: 26 mar. 2022

MANRIQUE, L. A. Leaf area development and dry matter production of cassava. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 5, p. 887 – 891, 1990b. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200050008x>. Acesso em: 26 mar. 2022.

MARCHIM G.; FIALHO, J. F.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; VIEIRA, E. A.; SOUSA-SILVA, J. C.; MALAQUIAS, J. V.; SILVA, D. R. G. Manganese fertilization for sweet cassava production under organic management system. **Pesquisa**

Agropecuária Tropical, v. 50, p. e66133, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pat/a/HhC4wpkzfXHRNtPtByns6qv/?lang=en>. Acesso em: 9 abr 2022.

MENDONÇA, R. M de.; VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F. de.; RIBEIRO, M. R.; SENE, J C. da S.; PAIVA, W. M.; MALAQUIAS, J. V. Agronomic performance of sweet cassava cultivars. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 434-438, dez. 2020.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536202004015>. Acesso em: 9 abr. 2022.

MEZETTE, T. F.; CARVALHO, C. R. L.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; PARRA, E. S. B.; GALERA, J. M. S. V.; VALLE, T; L. Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agronômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 601-609, 2009.

MIRANDA, L. A.; SPINOSA, W. A.; DESTRO, T. M.; SOUZA JUNIOR, H. de.;

NASCIMENTO, V. Sweet cassava cooking time. **ASB**, v. 6, p. 1 – 16, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.33158/ASB.r109.v6.2020>. Acesso em 13 abr. 2022.

MOHAMED, A. M. E.; ABDEL-SALAM, A. A.; HAYTHUM, M. S.; SAMIRA, E. M.; MAHMOUD, F. S.; ABDULLAH, A. A.; TALAAT, H. I. S.; ABDULLAH, A. I. Interaction effects of nitrogen source and irrigation regime on tuber quality, yield, and water use efficiency of *Solanum tuberosum* L. **Plants**, v. 110, n. 9, p. 1 – 20, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/1/110>. Acesso em: 12 abr. 2022.

MOINUDDIN, UMAR, S. influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato. **Communications in Soil Science and Plant Analysis.**, v. 35, n. 7 – 8, p. 1047 – 1060, 2004. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120030584>. Acesso em: 10 abr 2022.

MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 8, n. 3, p. 181 – 194, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>. Acesso em: 14 abr. 2022.

NAIKNAWARE, D. M.; PAWAR, G. R.; MURUMKAR, S. B. Effect of varying levels of boron and sulphur on growth, yield and quality of summer groundnut (*Arachis hypogea* L.). **International Journal of Tropical Agriculture**, v. 33, n. 2, p. 471–474, 2015.

NGONGI, A. G. N.; HOWELER, R.; MACDONALD, H. A. Effect of potassium and sulfur on growth, yield, and composition of cassava. *In*: Tropical root crops symposium, 4th, 1976, Cali, **Fourth Triennial Symposium – Section 2**. Cali: CIAT, 1976, 107 – 113.

OLIVEIRA, S. Análise foliar. In: SOUZA, D.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed., Brasília, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004. p. 245-256.

OLIVEIRA, M. A.; LEONEL, M.; CABELLO, C.; CEREDA, M. P.; JANES, D. A. Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. **Ciência e Tecnologia**, v. 29, n. 1, p. 126-133, 2005.

OLIVEIRA, M. A. de.; MORAES, P. S. B. Características físico-químicas, cozimento e produtividade de mandioca cultivar IAC 576-70 em diferentes épocas de colheita. **Ciência e Tecnologia**, v. 33, n. 3, p. 837-843, 2009.

OLIVEIRA, N. T. de.; UCHOA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; SEDIYAMA, T. ALBUQUERQUE, J. A. A.; SOUZA, E. D.; MELVILLE, C. C. Ácido Cianídrico em tecidos de mandioca em função da idade da planta e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1436–1442, 2012.

OLIVEIRA N. T.; UCHÔA S. C. P.; ALVES J. M. A.; ALBUQUERQUE J. A. A.; RODRIGUES G. S. Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. e0150204, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150204>. Acesso em 12 abr. 2022.

OLIVEIRA, R. J. P.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; MIQUELLUTI, D. J.; R, R.; VALICHESKI. Resposta da beterraba a adubação com nitrogênio, enxofre e micronutrientes em um cambissolo háplico. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 63–68, 2017b.

OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (ed.). **Aspectos do Cultivo da Mandioca em Mato Grosso do Sul**. Dourados, MS: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2002. 219 p.

PADONOU, W.; MESTRES, C.; NAGO, M. C. The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties. **Food Chemistry Advances**, v. 82, n. 2, p. 261 – 270, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.033>. Acesso em 13 abr. 2022.

PANITNOK, K.; CHAISRI, S.; SAROBOL, E.; NGAMPASITTHI, S.; CHAISRI, P.; CHANGLEK, P.; THONGLUANG, P. The combination effects of zinc, magnesium, sulphur foliar fertilizer management on cassava growth and yield grown on map bon, coarse-loamy variant soil. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 91, p. 288–293, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.425>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PATEL, P. K.; KADIVALA, V. A. H.; PATEL, V. N. Role of sulphur in oilseed crops: a review. **Journal of Plant Development Sciences**, v. 11, n. 3, p. 109–114, 2019.

PUZINA, T. I. Effect of zinc sulfate and boric acid on the hormonal status of potato plants in relation to tuberization. **Russian journal of plant physiology**, v. 51, n. 2, p. 209 – 214, 2004.

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, p. 221-229. (Boletim Técnico, 100). 1997.

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. Adubação com enxofre. In: SOUZA, D.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA: Cerrados, 2004. p. 227-242.

RINALDI, M. M. Aspectos da industrialização e obtenção de produtos derivados de mandioca. In: FIALHO, J. F.; VIEIRA, E. A. (Eds.). **Mandioca no cerrado**. 1. ed. Planaltina: EMBRAPA, 2011, p. 149 – 172.

RODRIGUES, L. M.; OLIVEIRA, L. A.; CAMILLOTO, G. P.; CRUZ, R. S. Caracterização da textura das raízes de mandioca in natura e cozidas e análise da composição centesimal. **brazilian journal of development**, v. 6, n. 9, p. 69259 - 69269, 2020.

ROJAS, R.; GUTIÉRREZ, W.; ESPARZA, D.; MEDINA, B.; VILLALOBOS, Y.; MORALES, L. Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca *Manihot esculenta* Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 24, n. 1, p. 94 – 114, 2007.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p. (inclui Mapas).

SAGRILO, E.; VIDIGAL-FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL, M. C. G.; MAIA, R. R.; KVITSCHAL, M. V. Efeito da época de colheita no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade de raízes de três cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 115–125, 2002.

SALEEM, M.; KHANIF, Y. M.; ISHAK, F.; SAMSURI, A. W.; HAFEEZ, B. Importance of boron for agriculture productivity : A review. **Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 1, n. 8, p. 293–300, 2011.

SARKER, M. H.; MOSLEHUDDIN, A. Z.; JAHIRUDDIN, M.; ISLAM, M. R. Selection of direct , residual and cumulative doses of zinc and boron fertilizers for potato-rice-rice pattern in floodplain soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 1, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1799006>. Acesso em: 30 mar. 2021

SCHNUG, E.; HANEKLAUS, S.; MURPHY, D. Impact of sulphur fertilization on fertilizer nitrogen efficiency. **Sulphur in agriculture**, v. 17, n. 1, p. 5–12, 1993.

- SHARMA, D. K.; KUSHWAH, S. S.; NEMA, P. K.; RATHORE, S. S. Effect of sulphur on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **International Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 2, p. 143 – 148, 2011.
- SILVA, T. S.; SILVA, P. S. L.; BRAGA, J. D.; SILVEIRA, L. M.; SOUSA, R. P. Planting density and yield of cassava roots. **revista ciência agronômica**, v. 44, n. 2, p. 317 – 324, 2013.
- SILVA, H. R. F.; MELO, V. L.; PACHECO, D. D.; ASSIS, Y. J. M.; SALES, H. S. Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 44, n. 1, p. 15–23, 2014.
- SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações agronômicas**, n. 149, p. 10 – 16, 2015. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/issue/IA-BRASIL-2015-149>. Acesso em 11 abr. 2022.
- SINGH, D. P.; SEEMA, ALI, J.; SINGH, S. P.; SINGH, V. Effect of sulphur on yield, uptake of nutrients and economics of garlic (*Allium sativum*), onion (*Allium cepa*) and potato (*Solanum tuberosum*) in alluvial soil. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 86, n. 5, p. 661 – 665, 2016.
- SINGH, S. K.; SHARMA, M.; REDDY, K. R.; VENKATESH, T. Integrated application of boron and sulphur to improve quality and economic yield in potato. **Journal of Environmental Biology**, v. 39, n. 1, p. 204 – 210, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.22438/jeb/39/2/MRN-395>. Acesso em: 2 abr. 2022.
- SOMOGY, M. A new reagent for the determination of sugars. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 160, n. 1, p. 61-68, 1945.
- SOUSA, T. C. R.; AGUIAR, J. L. P.; LÔBO, C. F. Aspectos econômicos e demercado no cultivo de mandioca. In: FIALHO, J. F.; VIEIRA, E. A. (Eds.). **Mandioca no cerrado**. 1. ed. Planaltina: EMBRAPA, 2011, p. 174 – 201.
- SUNIL, B. H.; PUSHPALATHA, M.; BASAVAPRASAD, V. M.; HUVANNA, T. P. Transformation of sulphur and boron in soil. **bioscience trends**, v. 10, n. 44, p. 9060 – 9065, 2017.
- SREK, P.; HEJCMAN, M.; KUNZOVÁ, E. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experiment. **Field Crops Res.**, v. 118, n. 2, p. 183 – 193, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429010001334>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- TALMA, S. V.; ALMEIDA, S. B.; LIMA, R. M. P.; VIEIRA, H. D.; BERBERT, P. A. Tempo de cozimento e textura de raízes de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 2, p. 133-138, 2013.

TORO, J. C.M.; ATLEE, C. B. Agronomic Practices for Cassava Production: A literature review. In: WEBNER, E. J.; TORO, J. C. M.; GRAHAM, M. (Eds.). **Cassava Cultural Practices**. 1. ed. Salvador: IDRC, 1980, p. 13 – 28.

VIANA, E. S.; OLIVEIRA, L. A.; SILVA, J. da. **Processamento mínimo da mandioca**, Cruz das Almas: EMBRAPA mandioca e fruticultura tropical, 2010, 4 p. (Embrapa mandioca e fruticultura tropical. Circular técnica 95).

VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F. de.; JULIO, L.; CARVALHO, L. J. C. B.; CORTE, J. L. D.; RINALDI, M. M.; OLIVEIRA, C. M.; FERNANDES, F. D.; ANJOS, J. R. N. Sweet cassava cultivars with yellow or cream root pulp developed by participatory breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 450-454, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332018v18n4c67>. Acesso em: 18 jan 2022.

VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. F. de.; SILVA, M. S. **Desempenho de variedades de mandioca de mesa no distrito federal**. Planaltina, DF: EMBRAPA cerrados, p. 1-16, 2007 (Boletim de pesquisa e desenvolvimento).

VILPOUX, O. F.; GUILHERME, D. de O.; CEREDA, M. P. Cassava cultivation in Latin America. In: HERSHEY, C.; MCKEY, D.; BECHOFF, A. (eds.). **Achieving sustainable cultivation of cassava Volume 1**. 1. ed. Bogota: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2017. p. 149–174.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2006. p. 300–322.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações agrônomicas**, v. 152, n. 19, p. 1–14, 2015.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO, J.; LIMA, E.; SANTOS, L. A. Enxofre. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (eds.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa: SBSCS, 2018. 377 – 400.

WARRILOW, A. G. S.; HAWKESFORD, M. J. Separation , subcellular location and influence of sulphur nutrition on isoforms of cysteine synthase in spinach. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 327, p. 1625–1636, 1998.

WHEATLEY, C. C. Calidad de las raices de yuca y factores que intervienen en ella. In: HERSHEY, C. H. (Ed.). **Mejoramiento genético de la yuca en América Latina**. 1. ed. Cali: CIAT, 1991, p. 267 – 288.

WIMMER, M. A.; ABREU, I.; BELL, R. W.; BIENERT, M. D.; BROWN, P. H.; DELL, B.; FUJIWARA, T.; GOLDBACH, H. E.; LEHTO, T.; MOCK, H.-P.; WIRÉN, N. Von; BASSIL, E.; BIENERT, G. P. Boron: an essential element for vascular plants. **New Phytologist**, v. 226, n. 5, p. 1–6, 2019.

YAMAGISHI, M.; YAMAMOTO, Y. Effects of boron on nodule development and symbiotic nitrogen fixation in soybean plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 265–274, 2012.

ZEB, A.; JAN, A. Response of Sesame (*Sesamum indicum* L.) to sowing methods, nitrogen and sulphur levels. **SJA**, v. 37, n. 1, p. 278 – 289, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2021/37.1.278.289>. Acesso em: 11 abr. 2022.

ZEBARTH, B. J.; TAI, G.; TARN, R.; JONG, H. de.; MILBURN, P. H. Nitrogen use efficiency characteristics of commercial potato cultivars. **Canadian Journal of Plant Science** v. 84, n. 2, p. 589 – 598, 2004. Disponível em: <https://cdnsciencepub.com/doi/10.4141/P03-050>. Acesso em: 9 abr. 2022.