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

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

HEBERT TEIXEIRA CÂNDIDO

DESEMPENHO AGRONÔMICO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE BANANA cv. BRS SCS BELLUNA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA

Botucatu

2023

HEBERT TEIXEIRA CÂNDIDO

DESEMPENHO AGRONÔMICO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE BANANA cv BRS SCS BELLUNA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA

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

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Magali Leonel

Botucatu

2023

C217d

Cândido, Hebert Teixeira
Desempenho agronômico e qualidade pós-colheita de banana cv. BRS SCS Belluna em diferentes níveis de adubação fosfatada / Hebert Teixeira Cândido. -- Botucatu, 2023
97 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientadora: Magali Leonel

1. Amido. 2. Banana verde. 3. Fósforo. 4. Musa spp.. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DESEMPENHO AGRONÔMICO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE BANANA *cv* BRS SCS BELLUNA EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO FOSFATADA

AUTOR: HEBERT TEIXEIRA CÂNDIDO
ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

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

Dr.ª MAGALI LEONEL (Participaçao Presencial)
Centro de Raizes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista UNESP

Prof.ª Dr.ª THAÍS PAES RODRIGUES DOS SANTOS (Participaçao Presencial)
. / Associação Educacional do Vale da Jurumirim

Prof. Dr. JACKSON MIRELLYS AZEVÊDO SOUZA (Participaçao Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. ADALTON MAZEUTI FERNANDES (Participaçao Presencial)
Centro de Raizes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista UNESP

Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI (Participaçao Presencial)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciência e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Botucatu, 01 de dezembro de 2023

Àqueles que vagam por aí perdidos no espaço e no tempo, às margens da sociedade, não medicados...

aos esquizofrênicos,

dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Profa. Dra. Magali Leonel, pela orientação e ensinamentos.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

Aos membros titulares e suplentes que aceitaram o convite para a defesa desta Tese, Adalton Mazetti Fernandes, Edson Shigueaki Nomura, Erval Rafael Damatto Júnior, Fernando Ferrari Putti, Jackson Mirellys Azevedo de Souza, Jaime Duarte Filho e Thaís Paes Rodrigues dos Santos.

Aos membros da equipe da Fazenda Experimental São Manuel, Daniel Fernando Papa, José Antônio da Silva (*in memoria*), Fábio Borges Castilho, Márcio Peres Mundin Camacho, Mário Beato da Silva Filho, Valdemir Aparecido Galhardia, William Augusto Vitoretti Delgado e Wesley Adriel Tavano da Rocha por todo o apoio para que essa pesquisa pudesse ser realizada.

Ao pessoal do viveiro de mudas do Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Ciências Agronômicas, especialmente ao Cláudio Roberto Ribeiro da Silva e Jhuan Lucas Melo Maciel pela assistência no plantio e cuidados iniciais das mudas.

Aos amigos que apoiaram emocional e nas atividades que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente: Estela Gato Ferreira, Ingrid L. P. Xavier, Juliana A. M. Eburneo, Lucas Felipe dos Ouros, Maiqui Izidoro, Nathalia A. B. Lossolli, Nicholas Zanette Molha, Patrícia U. G. Züge, Paulo Ricardo R. de Jesus, Tatiane Y. Oda, Vinicius Martins Domiciano e Yasmine O. T. Marzullo.

Muito obrigado!

“Estou livrando o mundo do mal e criando uma utopia. Não importa quanto tempo eu tenha, não será suficiente”

Ligth Yagami (Death Note)

RESUMO

A banana verde tem ganhado espaço nas publicações científicas e no mercado alimentício devido às suas propriedades nutricionais. Em todo o mundo, pesquisadores estão trabalhando para desenvolver genótipos que atendam às demandas do mercado de frutas frescas e das indústrias de processamento. A adubação fosfatada é uma técnica para melhorar a produtividade da bananeira, mas devido aos efeitos fisiológicos do fósforo nas plantas, pode ser explorada para melhorar as características físicas e químicas dos frutos, o que pode contribuir para aumentar o processamento da banana verde e reduzir perdas na cadeia produtiva. A bananeira cv. BRS SCS Belluna selecionada pela Embrapa e Epagri tem potencial como matéria-prima industrial, porém ainda não há informações sobre o desempenho produtivo e resposta à adubação na região centro-sul do estado de São Paulo. Assim, neste estudo a bananeira BRS SCS Belluna (triploide AAA) cultivada por dois ciclos no município de São Manuel, SP, sob diferentes níveis de adubação fosfatada, foi avaliada quanto ao desempenho agronômico, produção de cachos e frutos, análise biométrica dos frutos, bem como matéria seca e componentes químicos de frutas verdes (cinzas, proteínas, amido total, amido resistente, amilose e minerais). Os resultados obtidos mostraram que os principais efeitos isolados do ciclo foram observados na biometria da planta e nas características do fruto (comprimento e massa) e no teor da maioria dos minerais. As doses de adubação fosfatada interferiram no crescimento da planta, na produção dos cachos e na massa dos frutos em ambos os ciclos, gerando ganhos de produtividade de 44,3% (1º ciclo) e 84,0% (2º ciclo) nos cachos e 51,8% (1º ciclo) e 81,9% (2º ciclo) nos frutos. A adubação promoveu ganhos de até 33,5% na massa do fruto e influenciou o teor de amido resistente na polpa, levando a um aumento de 15,1%. Os teores de fósforo, potássio e cálcio nos frutos verdes aumentaram com as doses de fertilizantes no primeiro ciclo, melhorando a qualidade nutricional. A aplicação recorrente de baixa dosagem de fósforo prejudicou as produções de cachos e frutos, o comprimento do fruto e o teor de fósforo em polpa. A cultivar BRS SCS Belluna é responsiva à aplicação de P_2O_5 e promove resultados positivos para a maior parte das variáveis analisadas, principalmente para aquelas relacionadas com o vigor da planta. As variáveis de biometria da planta e produção apresentam

melhores resultados com níveis de aplicação de P_2O_5 próximos a adubação de referência. O nível de aplicação de P_2O_5 a 104% promoveu ganhos de até 84,0% e 81,9% nas produções de cachos e frutos. Os teores de amido e minerais em polpa são influenciados pela aplicação de P_2O_5.

Palavras-chave: amido; banana verde; fósforo; *Musa spp.*

ABSTRACT

Green bananas have gained space in scientific publications and on the food market due to their nutritional properties. Around the world, researchers are working to develop genotypes that meet the demands of the fresh fruit market and processing industries. Phosphate fertilizer is a technique to improve banana productivity, but due to the physiological effects of phosphorus on plants, it can be explored to improve the physical and chemical characteristics of the fruits, which can contribute to increasing the processing of green bananas and reducing losses in the production chain. The banana cv. BRS SCS Belluna selected by Embrapa and Epagri has potential as an industrial raw material, but there is still no information on production and response to fertilization in the center-south region of the state of São Paulo. Thus, in this study the banana tree BRS SCS Belluna (triploid AAA) cultivated for two cycles in the municipality of São Manuel, SP, under different levels of phosphate fertilizer, was evaluated for agronomic performance, bunch and fruit production, biometric analysis of the fruits, as well as dry matter and chemical components of green fruits (ash, proteins, total starch, resistant starch, amylose and minerals). The results obtained showed that the main isolated effects of the cycle were observed in the plant's biometry and fruit characteristics (length and mass) and the content of most minerals. The doses of phosphate fertilizer interfered with plant growth, bunch production and fruit mass in both cycles, leading to yield gains of 44,3% (1st cycle) and 84,0% (2nd cycle) in bunches and 51,8% (1st cycle) and 81,9% (2nd cycle) in fruits. Fertilization promoted gains of up to 33,5% in fruit mass and influenced the resistant starch content in the pulp, leading to an increase of 15,1%. Phosphorus, potassium and calcium contents in green fruits increased with the fertilizer levels in the first cycle, improving nutritional quality. The recurring application of low doses of phosphorus harmed the production of bunches and fruits, the length of the fruit and the phosphorus content in the pulp. The BRS SCS Belluna cultivar is responsive to the application of P_2O_5 and promotes positive results for most of the variables analyzed, mainly those related to plant vigor. Plant biometrics and production variables show better results with P_2O_5 application levels close to reference fertilization. The application level of P_2O_5 at 104% promoted gains of up to 84,0% and 81,9% in bunch and fruit production. The starch and mineral contents in pulp are influenced by the application of P_2O_5.

Keywords: starch; green banana; phosphorus; *Musa spp.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Produção mundial dos principais produtos primários no ano de 2021 27
Figura 2- Frutas e pencas defeituosas ou de baixa qualidade descartadas em casa de embalagem 28
Figura 3- Bananas BRS SCS Belluna em ponto de consumo 32
Figura 4- Classificação textural do solo da área experimental 39
Figura 5- Dados mensais para precipitação e temperatura do ar na Fazenda Experimental de São Manuel para o período de experimentação em campo (dez/2019-mai/23) 40
Figura 6- Mudas de bananeira BRS SCS Belluna conduzidas em minitúnel, Fazenda Experimental Lageado, Unesp, Botucatu, novembro de 2019 41
Figura 7- Área experimental - bananeiras BRS SCS Belluna, São Manuel, SP, 2020 42
Figura 8- Doses pesadas e separadas para adubação de plantio 43
Figura 9- Croqui do experimento em campo 44
Figura 10- Croqui do delineamento e distribuição dos tratamentos em campo 45
Figura 11- Primeiro cacho de banana BRS SCS Belluna colhido na área experimental (A) e cacho de segundo ciclo (B), São Manuel, SP 46
Figura 12- Bananeira BRS SCS Belluna (à esquerda) e, à direita, engaço e raquis (A), bráctea (B), emissão de pencas (C) e botão floral (D), São Manuel, SP 48
Figura 13- Produção de massa fresca e seca em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 54
Figura 14- Altura em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 56
Figura 15- Diâmetro em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 57
Figura 16- Número de folhas fotossinteticamente ativas na colheita em função dos níveis de P_2O_5 aplicados em bananeira cv. BRS

SCS Belluna e sua distribuição em função do ciclo 58
Figura 17- Produção de cachos e frutos em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 61
Figura 18- Massa da segunda penca em função dos níveis de P_2O_5 aplicados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 63
Figura 19- Massa do fruto em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 64
Figura 20- Comprimento do fruto em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna 65
Figura 21- Massa seca de polpa em banana cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção 67
Figura 22- Proteína em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção 70
Figura 23- Amido total em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados 72
Figura 24- Amido resistente em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 73
Figura 25- Amilose em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção 74
Figura 26- Macrominerais em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados 76
Figura 27- Microminerais em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição centesimal (%) da farinha de banana cv. BRS SCS Belluna 32

Tabela 2- Tratamentos aplicados nas adubações. Doses de termofosfato em g planta^{-1} 43

Tabela 3- Teores de minerais no solo, CTC e saturação por bases na camada de solo de 0-20 cm de profundidade 44

Tabela 4- Doses (kg ha^{-1}) de fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O) e nitrogênio (N) recomendadas segundo laudo de solo e produção estimada 45

Tabela 5- Massa seca e fresca acumulada em parte aérea (kg planta^{-1}) da bananeira cv. BRS SCS Belluna 53

Tabela 6- Características relacionadas com o vigor da planta na floração e colheita em bananeira cv. BRS SCS Belluna 55

Tabela 7- Valores obtidos para as correlações de *Pearson* entre a biometria da parte aérea da planta e aspectos de produção..... 60

Tabela 8- Período entre a floração e a colheita (PFC) e produções de cachos e frutos de banana cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 60

Tabela 9- Massa da penca, número de frutos e massa e comprimento e do fruto - avaliações em segunda penca da bananeira cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 65

Tabela 10- Variáveis em rendimento de polpa e casca de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 68

Tabela 11- Aspectos nutricionais e características do amido em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 69

Tabela 12- Macrominerais (g kg^{-1}) presentes em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 78

Tabela 13- Microminerais (mg kg^{-1}) presentes em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção 80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
2 REVISÃO DE LITERATURA 24
2.1 Banana (*Musa* spp.) 24
2.2 Aplicação da banana verde processada 26
2.3 Cultivar cv. BRS SCS Belluna 30
2.4 Fósforo na agricultura 32
2.5 Fósforo na bananicultura 34
2.6 Termofosfato 37
3 MATERIAL E MÉTODOS 39
3.1 Caracterização: área experimental e experimento 39
3.1.1 Localização da área experimental 39
3.1.2 Implantação do experimento e delineamento experimental 41
3.2 Adubações 45
3.3 Colheita 46
3.4 Variáveis analisadas 47
3.4.1 Biometria da planta e fenologia do cacho 47
3.4.2 Produção e outras características das plantas e frutos 47
3.4.3 Produção de fitomassa e teor de minerais 48
3.4.4 Análise de nutrientes e amido 49
3.4.4.1 Preparo das amostras 49
3.4.4.2 Cinzas 49
3.4.4.3 Proteína bruta 49
3.4.4.4 Açúcar redutor 50
3.4.4.5 Amido total 50
3.4.4.6 Amido resistente 51
3.4.4.7 Amilose 51
3.5 Análise estatística 52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
5 CONCLUSÃO 84
REFERÊNCIAS 85
APÊNDICE A 97

1 INTRODUÇÃO

O fósforo desempenha funções estruturais relacionadas com o armazenamento de energia, compondo moléculas de açúcares, fosfolipídios, ácidos-nucléicos, nucleotídeos, ácido fítico e tem uma relação intrínseca com a síntese de amido e proteínas e com a absorção de minerais. Em termos quantitativos, é um dos macronutrientes, ou seja, àqueles necessitados em maiores quantidades. Assim, o fósforo assume grande importância para o metabolismo das plantas, pois está relacionado com os processos de fotossíntese, respiração e transferência de energia (Grant *et al*., 2001; Hawkesford *et al*., 2012). O rendimento das bananeiras pode ser altamente melhorado por meio do manejo de fertilizante fosfatado, que pode influenciar significativamente a produção e a qualidade pós-colheita dos frutos. Estudos demonstraram a influência da adubação fosfatada na produtividade de diferentes cultivares de bananeira, bem como a influência na composição dos frutos (Bolfarini *et al*. 2016, 2020 a,b,c; Leonel, M. *et al*., 2020; Mesquita *et al*., 2018).

A banana é uma das frutas tropicais mais importantes do mercado mundial, com mais de 170 milhões de toneladas produzidas, segundo o último levantamento mundial (FAO, 2022). Seu cultivo é amplamente explorado em todo o mundo e a fruta desempenha importante papel socioeconômico em muitos países, contribuindo não só para a renda, mas também para a segurança alimentar. No Brasil, a cultura é explorada por agricultores familiares e empresariais, e a produção destinada predominantemente ao abastecimento interno (Cordeiro, Souza e Rodrigues, 2021).

Apesar do grande volume produzido, a cadeia da banana apresenta perdas elevadas, com cerca de um terço de todas as bananas colhidas sendo perdidas anualmente devido a técnicas inadequadas de colheita e pós-colheita, distribuição e falhas de comercialização (Al-Dairi *et al*., 2022, 2023; Mesquita *et al*. 2016, 2018). Um dos desafios para o desenvolvimento sustentável é a redução das perdas e do desperdício de alimentos, os quais podem ser minimizados pelo processamento. Aproximadamente um terço de todos os alimentos produzidos para consumo humano é perdido e desperdiçado ao longo da cadeia produtiva todos os anos, representando uma grande ameaça à segurança alimentar, à economia e ao ambiente (Ishangulyyev *et al*., 2019).

A busca por uma alimentação mais saudável e o alto teor de amido resistente presente em banana verde reforçam a atenção destinada ao aproveitamento da fruta

como matéria prima por meio do seu processamento (Falcomer *et al*., 2019). O amido resistente é um tipo de amido que não é digerido no intestino delgado, e a sua fermentação no intestino grosso produz efeitos benéficos para a saúde do cólon e para a flora intestinal (Alcázar-Alay e Meireles, 2015).

O processamento da banana verde pode ser empregado para a obtenção da farinha, biomassa (Stragliotto *et al*., 2022), banana em flocos (Raveena *et al*., 2022), chips (Shamla e Nisha, 2017) e extração de amido (Miah *et al*., 2023; Yang *et al*., 2022). Na indústria alimentícia, as pesquisas têm mostrado que a farinha e a biomassa de banana verde, produtos relativamente novos, podem ser empregadas como ingredientes para a elaboração de uma ampla gama de alimentos que já contam com boa aceitação sensorial e, assim, substituir outras matérias primas como a farinha de trigo e produtos cárneos em seus preparos (Cândido, Leonel e Marzulo, 2023; Stragliotto *et al*., 2022). Por sua vez, os chips são consumidos tradicionalmente pelas populações de certas localidades, como na Amazônia brasileira, Colômbia e Sudeste Asiático (Godoy *et al*., 2016; Shamla e Nisha, 2017). Enquanto o amido de banana pode ter diferentes aplicações, as quais dependem de suas propriedades e que variam conforme as cultivares, assim, podem ser usados diretamente como alimento ou como embalagens comestíveis (Yang *et al*., 2022).

O desenvolvimento de novas cultivares é importante para que os produtores possam enfrentar as principais dificuldades do setor e, assim, manter a produção competitiva perante outras culturas (Amorim *et al*., 2016c) e, devido a cultura alimentar, atender a demanda nacional de 26 kg hab^{-1} ano^{-1} pelo fruto (Gerum *et al*., 2020). Dessa forma, as pesquisas têm buscado desenvolver cultivares que apresentam resistência ou tolerância às principais pragas e doenças, maior eficiência no uso dos recursos do solo e água, produtividade elevada e ciclos menores (Amorim *et al*., 2016c; Wesemael *et al*., 2019). Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias para o setor aumentou a produtividade mundial da cultura em 48,2% desde o início deste século, com um aumento de 80% na produção da fruta (FAO, 2022). Além disso, atualmente, têm-se buscado genótipos que possam contribuir com melhorias na qualidade nutricional e funcional dos frutos, como maiores teores de minerais, vitaminas e compostos antioxidantes (Amorim *et al*., 2016a).

Dentre essas novas cultivares de bananeiras registradas, tem-se a banana de sobremesa cultivar (cv.) BRS SCS Belluna, lançada em 2016 pela Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). A bananeira BRS SCS Belluna é um triploide AAA resultado de um trabalho de melhoramento que se iniciou na década de 1980, após uma viagem feita por pesquisadores da Embrapa ao sudeste asiático em busca de germoplasmas. A cultivar apresenta vantagens como, resistência a Sigatoka-amarela e ao Mal-do-Panamá, e resistência moderada à Sigatoka-negra, principais ameaças a bananicultura a nível mundial (Scherer *et al*., 2020). As primeiras publicações com a cv. BRS SCS Belluna mostraram o seu potencial como uma cultivar de interesse para o processamento de farinha e biomassa de banana verde, destacando-se pelo teor de amido resistente, proteínas, minerais e fibras, além de aceitação sensorial da fruta e seu processamento (Reis *et al*., 2019; Silva *et al*., 2021).

Para o processamento industrial, além da produtividade dos frutos, fatores intrínsecos relacionados aos frutos verdes, como características físicas e composição química, são decisivos na seleção de uma cultivar como matéria-prima. Assim, com o objetivo de obter informações que contribuam para aumentar o processamento industrial de banana verde e reduzir perdas na cadeia produtiva, este estudo propôs responder a seguinte indagação: a bananeira cv. BRS SCS Belluna é responsiva a adubação fosfata? Para a qual foi elaborada a hipótese: a associação de nível de aplicação de fósforo e ciclo produtivo proporciona semelhança no desempenho agronômico e na qualidade dos frutos da bananeira cv. BRS SCS Belluna.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Banana (*Musa* spp.)

As bananeiras são plantas herbáceas de porte alto, que produzem frutos estéreis e partenocárpicas. Com mais de 1000 cultivares de *Musa spp.* domesticadas, a maioria das bananas cultivadas são triploides, no entanto, também existem cultivares diploides e tetraploides (Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007; Li e Ge, 2017). Naturalmente, em sua região de origem, as bananeiras ocorrem frequentemente ao longo dos rios e aberturas (lacunas) no dossel da mata e margens das florestas tropicais (Göltenboth *et al*., 2006; Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007).

Em sua maior parte, as bananeiras cultivadas tiveram como origem cruzamentos inter e intraespecíficos entre duas espécies diploides selvagens: *Musa acuminata* e *Musa balbisiana*, que trazem consigo, respectivamente, os genomas AA e BB. No entanto, os frutos dessas duas espécies possuem pouca parte comestível e grandes sementes (Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007). Diferentemente de seus ancestrais, as bananeiras cultivadas são estéreis - seus frutos se desenvolvem sem necessidade de fertilização ou polinização, e ausência de sementes (partenocárpicos). Essa origem partenocárpica vem do genoma A, não sendo encontrada em plantas essencialmente do genótipo B. Por outro lado, o genoma B é o responsável por conferir maior resistência à seca, maior vigor as plantas e alguma resistência a *Xanthomonas* (Ahmad *et al*., 2014).

Acredita-se que as cultivares utilizadas pelos agricultores tiveram origem a partir da coleta de exemplares selvagens que apresentavam mutações – maior vigor, resistência e produtividade (estes, relacionados a poliploidia), ausência de sementes e qualidade dos frutos, que, posteriormente, foram multiplicados por propagação vegetativa. Nesse universo, têm-se atualmente genótipos diploides (AA e AB), triploides (AAA, AAB, ABB) e tetraploides (AAAA, AAAB, AABB e ABBB) (Ahmad *et al*., 2014; Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007).

Vale destacar que mutações ainda continuam a acontecer na natureza e a oferecer novos cultivares, visto que espécies férteis selvagens ainda coexistem em diferentes localidades (Ahmad *et al*., 2014; Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007), conhecidos como centros de diversidade, que para a bananeira, estão localizados

na Malásia e Indonésia, sendo que o centro de origem, vai da Indonésia à Polinésia. Além disso, também foram observadas variações em bananeiras tradicionalmente cultivadas, das quais surgiram muitas outras cultivares, principalmente dentro do subgrupo Cavendish. Devido a essas variações entre clones e a seleção humana, a África Subsaariana foi incluída como um centro secundário de diversidade da fruta (Heslop-Harrison e Schwarzacher, 2007).

As bananeiras absorvem grandes quantidades de nutrientes, principalmente os catiônicos como o potássio (K^+) e o amônio (NH_4^+). Essa grande absorção de íons catiônicos promove uma maior extrusão de H^+ em relação ao OH^-, o que pode promover uma redução no pH da rizosfera e aumentar o teor de Al^{3+} na solução do solo. O Al^{3+} pode se ligar nos sítios de troca das raízes e, assim, diminuir a absorção de outros nutrientes catiônicos, principalmente o magnésio (Delvaux *et al*., 2005; Rufyikiri *et al*., 2004).

As raízes das bananeiras se concentram majoritariamente na camada superficial, de 0 - 20 cm, e até 60 cm de distância do pseudocaule. O crescimento das raízes de bananeiras parece ser influenciado principalmente pelo quimiotropismo, visto que mesmo em locais sem impedimento físico como uma compactação subsuperficial, por exemplo, as raízes se concentram próximas à superfície, local onde são aplicados os adubos e que apresenta maior teor de matéria orgânica (Belacázar *et al*., 2005). Apesar da afirmação anterior, o meio também interfere no crescimento radicular quando limitações química e física do solo estão presentes, como, por exemplo, baixo pH, alta concentração de Al^{3+}, textura pesada e solo compactado (Belacázar *et al*., 2005; Gauggel *et al*., 2005). Solos rasos e mal drenados devem ser evitados, pois além de comprometerem o crescimento radicular e a ancoragem da planta, podem dificultar a respiração das raízes quando estão saturados, resultando em necrose e morte de raízes (Vaquero, 2005).

Em relação à temperatura, 27ºC é a ótima para manter o equilíbrio entre a emissão de folhas e a fotossíntese líquida. Sob temperatura média de 22ºC, as plantas apresentam uma ótima taxa de assimilação líquida e iniciação floral, contudo, menor emissão foliar. Por outro lado, temperatura média de 31ºC apresenta-se como ótima para emissão foliar, no entanto, menores taxas de assimilação líquida, porém sem estresse fisiológico devido á abertura dos estômatos (Donato *et al*., 2016, 2021).

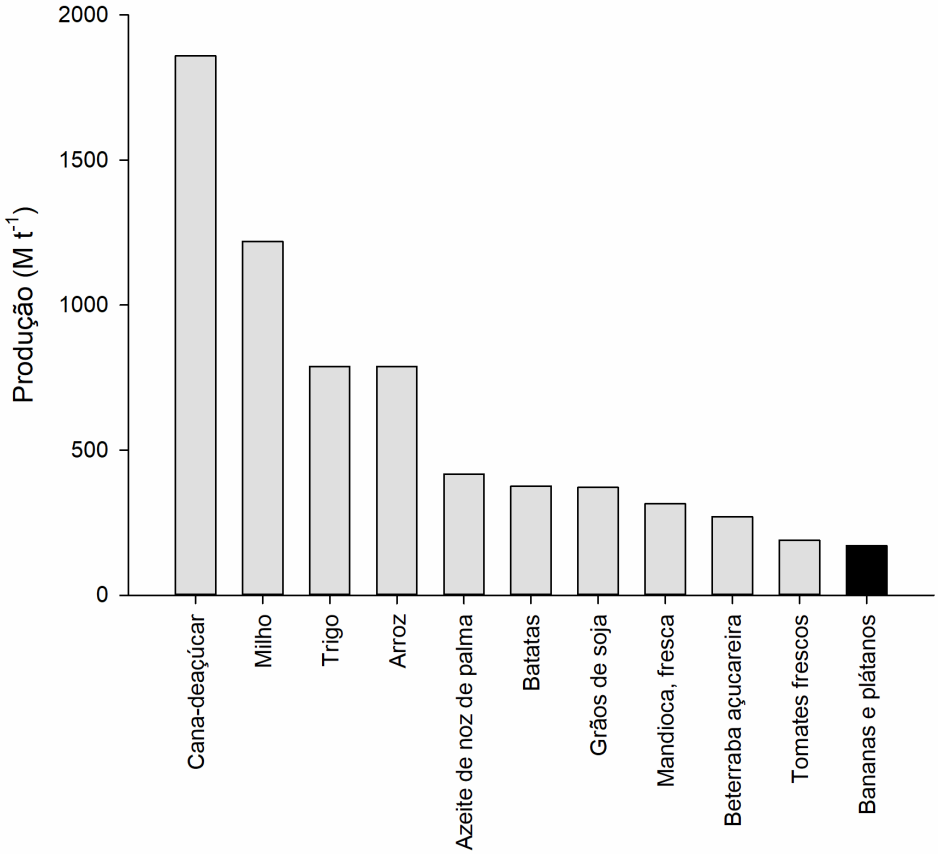
Em temperaturas acima dos 34ºC se iniciam os processos que podem levar aos estresses fisiológicos (34ºC), paralisação do crescimento (38ºC) e morte das folhas e plantas, dano terminal (47,5ºC). A temperatura das folhas pode ser até 5ºC acima daquela apresentada pelo ambiente, isso ocorre devido ao fechamento dos estômatos, que dessa forma, cessa a transpiração e impede a dissipação do calor junto ao fluxo de água. Baixas temperaturas também são prejudiciais à bananeira, pois podem causar distúrbios fisiológicos como o *chilling*, prolongar o ciclo e diminuir a produtividade. A temperatura de 16ºC é considerada aquela, mínima, para que haja emissão de folhas e incremento da área foliar. Além disso, em temperaturas inferiores, a planta para de incrementar a massa de matéria seca (14ºC), destruição das clorofilas (< 6ºC) e “queima” das folhas por congelamento (< 0ºC) (Donato *et al*., 2016, 2021).

O clima é o principal fator para a sazonalidade da produção em regiões produtoras de banana, por meio da temperatura, da precipitação, da radiação e do fotoperíodo, que condicionam a duração do ciclo e a produção, sendo determinante para a estacionalidade apresentada pelas plantas (Donato *et al*., 2016, 2021).

2.2 Aplicação da banana verde processada

A bananicultura ocupa uma posição bem expressiva no agronegócio mundial, a qual ocupa a 11ª posição em volume de produção dentre os produtos primários da agricultura, além de ser a principal cultura consumida como fruta (Figura 1). A banana tem conseguido se manter competitiva perante outras culturas e fazer frente às adversidades do cultivo, pois desde o início deste século, a área colhida e a produção aumentaram, respectivamente, 21,4% e 79,9%, cenário que proporcionou um ganho de produtividade superior a 7,6 t ha^{-1} (FAO, 2022).

Figura 1 – Produção mundial dos principais produtos primários no ano de 2021



Observação: para a construção do gráfico, os dados de milho e milho verde foram somados, assim como os dados disponíveis para bananas e plátanos. **Fonte**: produzido pelo autor a partir dos dados disponibilizados pela FAO (2022).

A produção nacional de bananas, 6,8 M t^{-1}, está distribuída por todas as unidades federativas, e no ano de 2022 movimentou um mercado de mais de 11,9 bilhões de reais (IBGE, 2023). A alta produção brasileira colocou o país como o quarto maior produtor mundial (FAO, 2022).

Além de agregar valor à produção e estender o tempo de prateleira do alimento, o processamento de banana verde pode ser uma forma de aproveitar as perdas que ocorrem ainda na propriedade, como os cachos de plantas tombadas (Godoy *et al*., 2016), ou os frutos e pencas defeituosos e que não se enquadram em padrões de qualidade e são separados no *packing house* (Figura 2). Além disso, a depender dos critérios adotados pelo produtor, mais cachos poderão ser rejeitados no campo, pois recomenda-se o descarte daqueles oriundos de plantas com menos de cinco folhas verdes a fim de evitar a maturação precoce dos frutos (Lichtemberg *et al*., 2016).

Figura 2 – Frutas e pencas defeituosas ou de baixa qualidade descartadas em casa de embalagem

À esquerda, frutos defeituosos descartados antes da embalagem em um *packing house* localizado em Pariquera-açu/SP (2022), e à direita, ao fundo, pencas descartadas junto com o engaço em um *packing house* localizado em Urânia/SP (2018). **Fonte**: autor.

As perdas também podem ocorrer em outros elos da cadeia produtiva externos à propriedade, como no transporte e no manuseio dos frutos ao longo de toda a cadeia. As perdas no final da cadeia produtiva, também podem ser reflexo de decisões tomadas na propriedade, como a seleção inadequada de frutas e embalagens (Al-Dairi *et al*., 2023; Morais *et al*., 2022). Em Santa Catarina, por exemplo, uma amostragem realizada em casas de embalagem apontou uma sobrecarga de 9,6% a mais de frutos em relação ao peso recomendado, o que pode provocar danos no produto e comprometer sua qualidade e comercialização (Negreiros *et al*., 2012). Enquanto uma amostragem de bananas comercializadas em mercados de municípios localizados no Alto Tietê, Região Metropolitana de São Paulo, que levou em consideração as normas de classificação do Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura, mostrou que 62% dos frutos continham defeitos. Em Biritiba Mirim, por exemplo, 79% deles apresentavam defeitos considerados graves (Morais *et al*., 2022).

A banana verde se destaca pelo seu alto teor de amido, que após a secagem pode representar mais de 80% do produto (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023).

Grande parte do amido da banana é constituído pelo amido resistente, que devido a sua propriedade funcional, tem chamado a atenção de pesquisadores de diferentes áreas da ciência (Falcomer *et al*., 2019). O amido resistente é a fração do amido que não é digerida no intestino delgado de indivíduos saudáveis. A utilização da polpa de banana verde como fonte de amido resistente baseia-se nos benefícios nutricionais desta fração e envolve o conhecimento de fatores interferentes como genótipo e condições de cultivo (Alcázar-Alay e Meireles, 2015; Leonel, M. *et al*. 2020). Alguns dos produtos obtidos a partir da banana verde permitem o aproveitamento da casca, o que aumenta o teor de minerais e fibras no alimento, proporciona melhor aproveitamento da matéria-prima e reduz a produção de resíduos (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023; Godoy *et al*., 2016).

O processamento de banana verde pode ser empregado para obtenção de farinha, biomassa, chips, amido, entre outros, e impulsionou a integração de pesquisas que atendam tanto às demandas da cadeia produtiva quanto do setor industrial (Miah *et al*., 2023; Raveena *et al*., 2022; Shamla e Nisha, 2017; Stragliotto *et al*., 2022; Yang *et al*., 2022). Além disso, produtos como os chips e a farinha de banana verde possuem potencial para a exportação, a qual já é realizada por outros países da América do Sul e, assim, contribuir para o desenvolvimento rural (Carvajal-García *et al*., 2019).

Além de um grande número pesquisas nacionais realizadas com o intuito de promover a farinha de banana verde (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023), o produto tem aparecido em varejos de muitas capitais brasileiras (Sardá *et al*., 2016). O processamento da farinha, não é uma tecnologia complexa e pode ser empregado por agricultores familiares, como ocorre em Santa Cataria (Cândido, 2022). As farinhas de bananas verdes podem ser preparadas a partir das frutas integralmente (sem separação de polpa e casca) ou fracionadas, e podem ser utilizadas para a elaboração de produtos lácteos, panificados ou cárneos (Cândido, 2022; Cândido, Leonel e Marzullo, 2023; Stragliotto et al., 2022).

A biomassa de banana verde, talvez, dentre esses, seja o produto mais conhecido e divulgado na mídia, pode ser fabricada a partir da polpa, da casca, ou da fruta integral. De baixa complexidade, pode ser produzida artesanalmente, e tem diversas aplicações, podendo ser introduzida em produtos panificados, lácteos e cárneos. Em relação à farinha de banana verde, possui a vantagem de não precisar de secagem para a sua fabricação (Godoy *et al*., 2016; Stragliotto *et al*., 2022).

Os chips de banana são uma outra forma de aproveitamento da banana verde pela indústria alimentícia. Podem ser preparados com os frutos verdes ou maduros. Contudo, as bananas verdes são mais indicadas para o preparo devido a menor formação de acrilamida durante a fritura, a qual é uma substância carcinogênica (Shamla e Nisha, 2017). Apesar de não ser popular, uma pesquisa mostrou que podem ser preparados sem a retirada da casca e apresentar bons resultados de aprovação na análise sensorial (Santos e Souza, 2020). Os chips de banana são alimentos tradicionais na Colômbia e países do sudeste asiático (Godoy *et al*., 2016; Shamla e Nisha, 2017). No Brasil é consumido culturalmente pelas pessoas da Região Amazônica. Os chips podem ser fabricados em escala industrial ou artesanal (Godoy *et al*., 2016), e se apresentam como uma opção de processamento para a agricultura familiar, conforme verificado em uma exposição de agricultores de Santa Catarina (Cândido, 2022).

O amido fornece de 70% a 80% das calorias consumidas pelas pessoas e atualmente é fornecido por quatro fontes principais: milho, batata, mandioca e trigo. Porém, outras fontes não convencionais já se mostraram como potenciais fornecedoras do polímero (Alcázar-Alay e Meireles, 2015). O amido extraído de banana verde tem um grande potencial para a indústria alimentícia e não alimentícia, como à farmacêutica e cosmética (Miah *et al*., 2023). O produto é rico em amido resistente e tem um alto número de aplicações. Essas aplicações variam conforme as suas propriedades, que por sua vez varia conforme a cultivar. Além disso, sua composição pode ser alterada por técnicas agronômicas, de modo a melhorar qualidade do amido nativo e diminuir a necessidade de aplicação de outras modificações químicas (Mesquita *et al*., 2016, 2018; Yang *et al*., 2022). Porém, apesar do grande número de pesquisas acerca do amido de banana verde, não é possível encontrá-lo para comercialização via ferramenta Google Shopping® ao realizar uma buscar por ‘amido de banana’, que ao invés disso concentra os resultados em farinhas e biomassas da fruta (Google, 2023).

2.3 Cultivar BRS SCS Belluna

A cv. BRS SCS Belluna é uma bananeira que foi selecionada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) para o estado

de Santa Catarina. Apesar de ser lançada no ano de 2016, seu desenvolvimento se iniciou em 1985 com uma viagem à Tailândia por técnicos da Embrapa para busca de germoplasmas (Scherer *et al*., 2020).

A bananeira BRS SCS Belluna é um triploide AAA, no entanto, não pertence a nenhum dos subgrupos desse genoma (Lichtemberg *et al*., 2021; Reis *et al*., 2019). Os triploides *acuminata* (AAA) estão distribuídos em dois principais subgrupos comerciais: Gros Michael e Cavendish. Dentre eles, as cultivares do subgrupo Cavendish são as mais difundidas no Brasil, com destaque para as cultivares Nanica, Nanicão e Grande Naine. Além desses, há o subgrupo Caru (AAA), porém suas cultivares são pouco exploradas comercialmente, embora sejam tradicionalmente cultivadas em quintais ao longo do território brasileiro (Lichtemberg *et al*., 2021; Scarpare Filho *et al*., 2016). A análise de filogenia mostrou que a cultivar BRS SCS Belluna difere 39,2% das cultivares Nanica e Grande Naine, 65,2% das cultivares Prata-anã e Prata Catarina e 100% da cultivar Maçã (Scherer *et al*., 2020).

A bananeira BRS SCS Belluna é classificada como uma planta de porte médio. O pseudocaule é fino, ceroso e de coloração verde-amarela. Avaliada no litoral norte de Santa Catarina, as plantas apresentaram porte que variou de 2,1 m (1º ciclo) até 3,5 de altura, e os cachos obtidos variaram de oito a 12 kg (1º ciclo) e média de 20 kg nos demais (Lichtemberg *et al*., 2021; Scherer *et al*., 2020).

A cv. BRS SCS Belluna apresenta como vantagem: resistência à sigatoka-amarela e a fusariose da bananeira, e resistência moderada à sigatoka-negra, principais ameaças a bananicultura a nível mundial. Em relação à sigatoka-negra, a cultivar apresentou comportamentos distintos em diferentes regiões, apresentando-se altamente resistente a doença na Região Sul, enquanto na Amazônia Brasileira foi altamente suscetível. Em relação às pragas, mostrou média tolerância à broca-da-bananeira e aos nematoides (Lichtemberg *et al*., 2021; Scherer *et al*., 2020).

Sua qualidade nutricional, seu sabor adocicado e seu tamanho reduzido, são características que a colocam com uma fruta com potencial para ser ofertada na merenda escolar, conforme acredita a equipe de pesquisadores que a lançou (Scherer *et al*., 2020). Além disso, foi aprovada sensorialmente como uma fruta de mesa, de modo a ser uma alternativa às bananas tradicionais (Lichtemberg *et al*., 2021; Amorim, 2017b). O seu ponto indicado para o consumo é quando a fruta se apresenta amarela com pontas verdes (Figura 3). A cultivar também se apresenta como uma ótima opção para o processamento de farinha e biomassa de banana

verde, devido aos seus elevados teores de fibras, minerais, proteínas e amido resistente (Tabela 1). Além disso, também se mostrou excelente para o processamento de banana passa (Lichtemberg *et al*., 2021; Reis *et al*., 2019; Silva *et al*., 2021).

Figura 3 - Bananas BRS SCS Belluna em ponto de consumo

Fonte: autor.

Tabela 1 - Composição centesimal (%) da farinha de banana cv. BRS SCS Belluna.

Cinzas	Proteína	Lipídios	Fibra	Carboidratos	Valor calórico kcal ($100g^{-1}$)
3,34	4,18	1,11	18,79	67,46	296,51
Teor de amido em base seca					
Total (%)				**Resistente (%)**	
74,56				59,14	

Fonte: Reis et al. (2019).

2.4 Fósforo na agricultura

O fósforo do solo tem origem no mineral apatita, que após o intemperismo libera-o na solução do solo, de modo a ficar disponível às plantas e aos microrganismos e foi o primeiro elemento a ser considerado essencial para o crescimento das plantas (Malavolta, 2006; Ptáček, 2016). A primeira descoberta de

fósforo em plantas ocorreu em 1688 por B. Albino. Cerca de 150 anos mais tarde, em 1842, após experimentações agrícolas que mostraram a importância do fósforo para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, John Bennet Lawes criou a primeira patente de um produto fosfatado. Assim, em 1847, deu-se início a primeira produção comercial de fosfato de rocha em Suffolk, Inglaterra. Atualmente, a produção de fertilizantes fosfatados é altamente dependente de rochas, a qual demanda anualmente, cerca de 150 milhões de toneladas desse recurso que não é renovável (Ptáček, 2016).

No ano de 2020, a agricultura mundial consumiu mais de 49 M t^{-1} de fosfato (P_2O_5), colocando-o como segundo nutriente mais consumido naquele ano, atrás apenas do nitrogênio (Boschiero, 2023). O Brasil é o quarto maior consumidor de adubos e o fósforo representa 33% dos nutrientes consumidos no país, que é altamente dependente do mercado externo para suprir essa demanda (Massari LTDA, 2024). Estima-se que em 2035 a demanda por fósforo será superior à sua oferta. Além disso, 90% das reservas de rochas fosfáticas estão sob o domínio de um pequeno grupo de seis países, enquanto que 75% da produção mundial vem de apenas quatro: China, Estados Unidos da América, Marrocos e Rússia. Esse cenário pode comprometer o acesso de grupos de países ao produto, principalmente para os emergentes exportadores de produtos primários da agricultura, pois as estimativas apontam que até o ano de 2050 ocorrerá um aumento de 70% a 100% na necessidade de fósforo por esses países (Sasabuchi et al., 2023).

Nos solos, o fósforo inorgânico, aquele já mineralizado, pode ser definido como lábil e não-lábil, o que varia de acordo com a capacidade de difusão do elemento para a solução do solo. Sendo assim, P-lábil é aquele que rapidamente pode ser deslocado à solução do solo a partir dos sítios de troca da fração coloidal, onde se encontra ligado às cargas positivas. Já o fósforo não-lábil, é aquele que se liga por meio de ligações covalentes, de modo a formar complexos de superfície internos, imobilizando o nutriente (Vilar e Vilar, 2013). O fósforo orgânico do solo pode ser classificado como de ciclagem rápida (biomassa microbiana) e lenta (Dodd e Sharpley, 2018).

A absorção do fósforo pelas raízes se dá principalmente por meio da difusão e, devido a maior concentração interna, sua absorção é ativa, contra um gradiente eletroquímico e de concentração, visto que a concentração interna de fósforo nas plantas é cerca de 100 vezes superior à da solução do solo. Os transportadores

transmembranas de fósforo podem ser de alta e de baixa afinidade. A maior taxa de absorção de fósforo ocorre na faixa de pH entre 4,5 e 6,0, sob a forma de $H_2PO_4^-$ que é aquela que prevalece nesse pH (Epstein e Bloom, 2006; Vilar e Vilar, 2013). Após a absorção, o transporte do fósforo ocorre via xilema, que pode se estender até a parte aérea, de onde é redistribuído, cerca de 60%, via floema. Devido a essa redistribuição, os primeiros sintomas de deficiência de fósforo são percebidos nas folhas mais velhas, que podem apresentar coloração verde-escura ou azul-esverdeada. Também podem ser comuns o aparecimento de pigmentos marrons, vermelhos e púrpuros, principalmente, ao longo das nervuras (Epstein e Bloom, 2006; Malavolta, 2006).

O fósforo está diretamente relacionado com a produção de culturas agrícolas, talvez, junto com o nitrogênio, o nutriente mineral que mais pode limitar essas culturas, principalmente em solos bastantes intemperizados (Epstein e Bloom, 2006; Malavolta, 2006). Isso ocorre devido a importância do nutriente para o metabolismo das plantas, nas quais, dentre outras, atua na fotossíntese, respiração, transferência de energia e síntese de proteínas (Grant *et al*., 2001).

Plantas com deficiência em fósforo podem apresentar menor número de folhas e flores, atraso na emissão da inflorescência, senescência precoce (folhas) e menor área foliar, essa última, devido a uma menor expansão de células epidérmicas em decorrência da menor absorção de água pelas raízes, que sob deficiência de fósforo, tem menor expressão dos genes responsáveis pela codificação de aquaporinas. Diferentemente das folhas, em caso de deficiência de fósforo, as raízes continuam a crescer, ou, inclusive, ter o alongamento das células radiculares aumentado. Isso pode ocorrer, pois nessas situações o transporte de fósforo das raízes para a parte aérea pode ser diminuído ou, ainda, ser redistribuído das folhas velhas para as raízes (Hawkesford *et al*., 2012).

2.5 Fósforo na bananicultura

O fósforo é o macronutriente absorvido em menor quantidade pelas bananeiras, no entanto, proporcionalmente, é o mais exportado, por conseguinte, aquele de menor restituição ao solo pelos restos da cultura (Borges *et al*., 2016; Soares *et al*., 2008). Estudo realizado em bananais do subgrupo Cavendish no estado de São Paulo, mostrou que o fósforo é exportado em média 8 kg ha^{-1} ou 0,2

kg t^{-1} do fruto (Teixeira *et al*., 2008). Nas cultivares Terrinha, Grande Naine e Pacovan, os frutos são os principais exportadores do nutriente, os quais são responsáveis por exportar, respectivamente, 5,3 kg ha^{-1}, 5,1 kg ha^{-1} e 9,6 kg ha^{-1} (Hoffmann *et al*., 2010).

A importância do fósforo na bananeira também pode ser evidenciada pela resposta da planta à adubação, a qual promove mudanças em seu crescimento, produtividade, composição mineral e síntese de carboidratos (Bolfarini *et al*., 2020b; Leonel, M. *et al*., 2020; Leonel, S. *et al*., 2020), que pode proporcionar não só aumento no teor do elemento, como também de outros nutrientes, como o Ca, Cu e Zn. O aumento no teor desses nutrientes pode estar relacionado devido ao papel do fósforo nos transportadores de membrana M-ATPases, visto que esses nutrientes são catiônicos; ou devido à alteração de cargas provocada ao expelir íons de H^+ do simplasto (Epstein e Bloom, 2006; Hawkesford *et al*, 2012).

A absorção de fósforo é lenta nos primeiros estádios de desenvolvimento, e alcança seu máximo por volta do 300º dia (Borges *et al*., 2016; Soares *et al*., 2008). Porém, apesar de lenta, é essencial para promover plantas mais vigorosas em seu crescimento vegetativo inicial, conforme resultados de ensaios de adubação fosfatada em mudas de bananeiras avaliadas em dois tipos de solos (Silva *et al*., 2011). Em caso de baixa disponibilidade no solo, o fósforo presente nas folhas velhas pode ser redistribuído para outros tecidos jovens. Dessa forma, os sintomas de deficiência são vistos em folhas velhas, onde se apresentam menores, com tonalidade intensa de verde, presença de manchas marrons e recortes nas laterais. As plantas também podem ter o crescimento do pseudocaule da mãe e filha reduzido (Weinert e Simpson, 2016). No caso das mudas, os sintomas foliares da deficiência de fósforo se manifestam com a emissão de folhas mais azuis, menores e mais encaracoladas. Além disso, mudas submetidas a deficiência de fósforo podem apresentar menor número de folhas e menores peso fresco e seco para raízes e parte aérea (Rui *et al*., 2018).

Sob deficiência de fósforo as raízes das bananeiras expressam maior quantidade de genes ligados ao influxo de auxinas, que dessa forma, promove maior crescimento das raízes para contornar a fome de fósforo; assim como, aumenta a expressão de genes H^+-ATPase e fosfoenolpiruvato carboxilase, que dessa forma, pode ajudar a planta a solubilizar o fósforo fixado (Rui *et al*., 2018).

Estudos recentes têm mostrado que é possível atingir o máximo de produção em bananeira com doses inferiores ao recomendado por manuais técnicos para a cultura (Bolfarini *et al*., 2020b; Leonel, M. *et al*., 2020). Além disso, mesmo em doses de fósforo menores do que a recomendada, os frutos podem apresentar melhores características físico-químicas, como maior índice de maturidade e teor de açúcares redutores e menor acidez (Bolfarini *et al*., 2020c). Porém, apesar desses resultados, o boletim técnico mais atual para recomendações de adubação e calagem, Boletim 100, relançado em 2022, aumentou as dosagens de fósforo para bananeiras em relação as recomendações de referência presentes em sua versão anterior (Teixeira *et al*., 2022).

Estudo com as cultivares Nanicão, Grand Naine, FHIA 18 e Prata Anã, a adubação fosfata apresentou resposta quadrática para as variáveis: massa do cacho, massa total de frutos e massa do fruto, em todas cultivares (Leonal, M. *et al*., 2020). Em outro estudo com a cultivar FHIA 18, as variáveis: massa do cacho, massa do fruto, número de pencas por cacho, comprimento do fruto e número de frutos por cacho (2º e 3º ciclo), responderam à adubação fosfatada de maneira quadrática, onde as baixas e as altas dosagem apresentaram os menores valores (Bolfarini *et al*., 2020b). Respostas quadráticas também foram mostradas para teor de fósforo em amido, massa de matéria seca, amido total e amido resistente, em estudo com quatro cultivares (Leonel, M. *et al*., 2020). Em estudo com a cultivar Maçã (AAB), a adubação fosfatada mostrou que a dose interferiu com respostas quadráticas na fosforilação do amido, no percentual de amilose e no tamanho dos seus grânulos (Mesquita *et al*., 2018).

O fósforo desempenha um papel importante na biossíntese do amido e nas propriedades funcionais deste carboidrato. O amido é sintetizado a partir dos produtos clivados da sacarose e a complexa via de síntese do amido é regulada por diversas enzimas cujas ações são reguladas pelos seus genes correspondentes (Zhang *et al*., 2017). A alta disponibilidade de fósforo aumenta a síntese e acúmulo de amido nas plantas devido ao seu envolvimento específico na regulação das atividades de enzimas relacionadas à biossíntese, como AGPase, GBSS, SS e SBE (Zhang *et al*., 2018; Zhang *et al*., 2021), e fotossíntese e genes relacionados à síntese de sacarose têm sua expressão modificada em situações de deficiência de fósforo (Cai *et al*., 2013).

A concentração de fósforo em amido de banana é baixa, e varia ao redor de 0,003% a 0,018% (Mesquita *et al*., 2016, 2018). Porém, apesar de estar presente em pequenas frações, o fósforo é um mineral de grande importância para as características do amido, pois pode alterar suas propriedades e, assim, sua funcionalidade, como a viscosidade e a opacidade. As principais formas de apresentação do fósforo em amido são: fosfato inorgânico, fosfolipídios e ésteres monofosfato, e a concentração dessas diferentes apresentações, condicionam as características da pasta de amido (Alcázar-Alay e Meireles, 2015).

Vários estudos têm mostrado alterações na fosforilação de amidos de diferentes fontes botânicas devido a diferenças nos níveis de fósforo no solo cultivado e na prática de fertilizações fosfatadas. Esses trabalhos destacam a importância dessas práticas culturais, pois, além da contribuição do fósforo para maiores rendimentos de massa seca e de amido nos órgãos de armazenamento, também possibilita a obtenção de amido naturalmente fosfatado, reduzindo custos com modificações químicas (Leonel *et al*., 2021; Mesquita *et al*., 2018; Zhang *et al*., 2018).

2.6 Termofosfato

O termofosfato é um fertilizante fosfatado que se caracteriza por liberar o fósforo mais lentamente, além de possuir outros minerais em sua composição, como, por exemplo, os macronutrientes cálcio e magnésio, micronutrientes (cobre, zinco, boro e manganês) e elemento benéfico (silício). Além disso, contribui para a correção da acidez do solo (Keeping, 2017; Ramos *et al*., 2006).

O processo de fabricação do termofosfato é simples e tem a vantagem de poder empregar rochas fosfáticas impróprias para o processamento químico. No entanto, há um alto custo energético (McCune, 1981). O termofosfato brasileiro é produzido a partir da mistura de rocha fosfática com silicato de magnésio em temperaturas de 1.500ºC, solúvel em ácidos fracos do solo, diferentemente de outros fosfatos naturais. A maior solubilidade desse termofosfato em relação aos fostatos naturais, que necessitam de ácidos fortes para solubilização, ocorre devido ao resfriamento forçado com jatos de água após o processo de fusão. Dessa forma, impede a cristalização e mantém uma forma amorfa, a qual é mais solúvel. No Brasil, pode ser encontrado nas formas de pó e granular (Yoorin Fertilizantes, 2021),

que se distinguem, principalmente, pela capacidade de liberação e esgotamento do fósforo na solução do solo, de modo que o de granulometria mais fina (pó) apresenta liberação mais rápida e, assim, respostas agronômicas mais rápidas. Porém, com o passar do tempo as fontes se equilibram no teor de fósforo liberado e, devido a sua liberação lenta, o granular consegue manter o fornecimento de fósforo por mais tempo (Stefanutti *et al*., 1995).

Além de ser uma fonte de fósforo, também fornece cálcio, magnésio e silício. O termofosfato possui silício em sua composição, que apesar do teor total ser baixo, a porção solúvel é alta (96,3% do Si total), devido à alta temperatura empregada no processo de fabricação, a qual libera o silício ligado. Nesse sentido o termofosfato tem se apresentado como uma melhor fonte de silício que outras fontes do mineral, como, a escória de silicato de cálcio, silicato de potássio, wollastonita, pó de rocha vulcânica, silicato de magnésio e escória básica (Gascho, 2001; Keeping, 2017).

Quando comparado ao superfosfato, o termofosfato possui uma menor taxa de fixação, a qual pode ocorrer devido à menor solubilidade do fósforo, presença de silicatos aniônicos de cálcio e magnésio que competem com fósforo pelo sítio de ligação, ou ainda, devido à elevação do pH do solo proporcionada pelo termofosfato em pó. Dessa forma, o termofosfato pode proporcionar uma taxa constante no teor de fósforo no solo ao longo de ciclos (Büll *et al*., 1997), ou mais regular, pois demora mais para chegar ao esgotamento do que fontes mais solúveis do nutriente, como, os superfosfatos simples e triplo (Muraoka *et al*., 2002; Stefanutti *et al*., 1995).

Em relação a sua natureza, ácida ou alcalina, o termofosfato magnesiano (17,5% P_2O_5, 7% Mg e 18-20% Ca) possui -8 de equivalente $CaCO_3$ ou, seja, uma tonelada de termofosfato aplicada gera uma ação corretiva equivalente à aplicação de 8 kg $CaCO_3$ (Batista *et al*., 2018).

Em relação aos metais pesados, os quais estão presentes nos principais fertilizantes fosfatados, o teor pode ser considerado baixo, principalmente se for originário de rochas brasileiras, pois possuem baixos teores desses metais (Freitas *et al*., 2009).

Diferentemente dos fertilizantes fosfatados mais tradicionais, como os superfosfatos simples e triplo, o termofosfato tem o diferencial de poder ser empregado como fonte de fósforo na agricultura orgânica (Brasil, 2009).

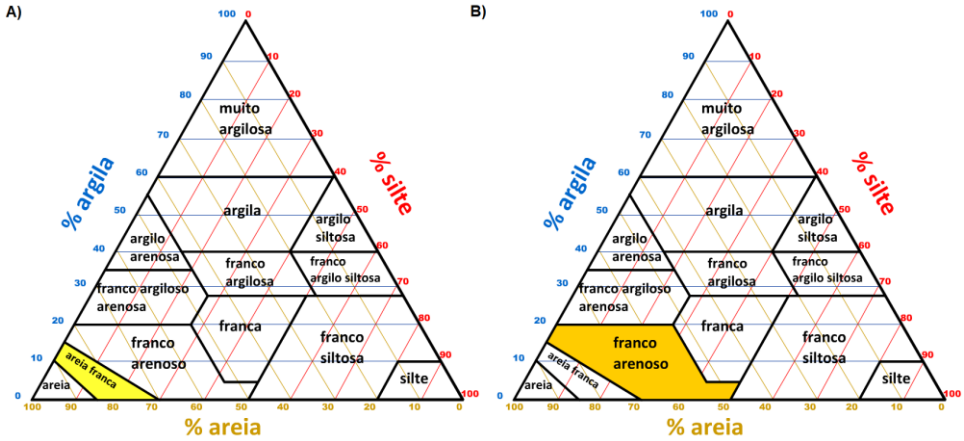
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização: área experimental e experimento

3.1.1 Localização da área experimental

O pomar foi implantado na Fazenda Experimental de São Manuel, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Manuel, SP. A análise de solo (0-20cm) da área experimental anterior à implantação do experimento, apontou pH_{CaCl}: 5,4, matéria orgânica: 11 g dm^{-3}, P_{resina}: 9,0 mg dm^{-3}, S: 2,0 mg dm^{-3}, K: 1,08 $mmol_c$ dm^{-3}, Ca: 16 $mmol_c$ dm^{-3}, Mg: 6,0 $mmol_c$ dm^{-3}, Fe: 32 mg dm^{-3}, Cu: 2,4 mg dm^{-3}, Mn: 8,5 mg dm^{-3}, Zn: 2,2 mg dm^{-3}, B: 0,2 mg dm^{-3} e CTC: 38 $mmol_c$ dm^{-3} e V%: 60. A análise de granulometria mostrou teores de 84,3% de areia, 12,1% argila e 3,6 silte (0-20 cm de profundidade), e 81,9% de areia, 14,0% de argila e 4,1% de silte (20-40 cm de profundidade), o que as enquadra como ‘areia franca’ e ‘franco arenoso’ segundo a classificação textural (Figuras 4A e 4B).

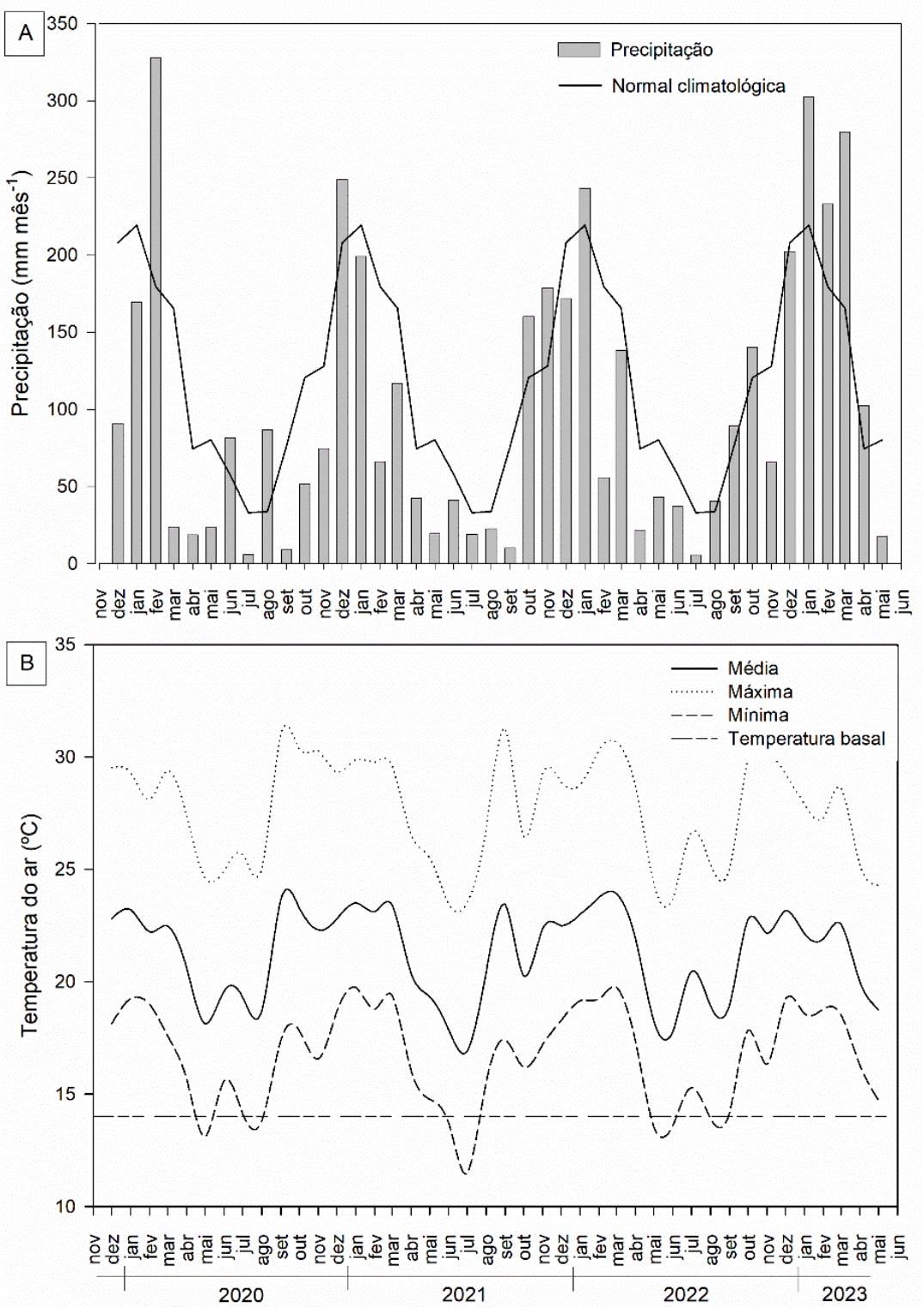
Figura 4 – Classificação textural do solo da área experimental



Classificação textural do solo para profundidade de 0-20 cm (A) e para profundidade de 20-40 cm (B).
Fonte: Confeccionado a partir dos dados do autor inseridos na seguinte plataforma Quoos, J. H. (s.d).

O clima do município é definido como Cfa, temperado quente e úmido, com temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC segundo método de Köppen e precipitação média anual de 1.376 mm segundo o método de Thornthwaite e Mather (Cunha e Martins, 2009). Os dados climáticos de precipitação de temperaturas médias mensais durante a condução do experimento estão apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Dados mensais para precipitação e temperatura do ar na fazenda experimental de São Manuel para o período de experimentação em campo (Dez/2019-Mai/2023)



Normal climatológica: dados observados por um período de 36 anos (CUNHA e MARTINS, 2009). Temperatura basal: temperatura mínima para assimilação de matéria seca (crescimento) (DONATO et al., 2016, 2021). **Fonte**: autor do trabalho a partir dos dados disponibilizados pelo Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP) de Botucatu.

3.1.2 Implantação do experimento e delineamento experimental

O experimento foi montado com mudas micropropagadas de bananeiras da cultivar BRS SCS Belluna, as quais foram obtidas com a Embrapa Fruticultura Tropical, Cruz das Almas – BA. As mudas foram plantadas no dia 17 de outubro em sacos plásticos de um litro preenchidos com substrato da marca Carorina Soil®. Assim, foram conduzidas por 40 dias em minitúnel (Figura 6) e 20 dias a pleno sol. O transplantio para o campo foi realizado em dezembro de 2019.

Figura 6 - Mudas de bananeira BRS SCS Belluna conduzidas em minitúnel, Fazenda Experimental Lageado, Unesp, Botucatu, novembro de 2019

Fonte: autor.

O solo da área experimental foi corrigido para elevar a saturação por bases para 70%, seguindo as recomendações para a cultura (Teixeira *et al.*, 2014). Para isso foi utilizado 0,42 t ha^{-1} calcário agrícola da fabricante Horical®, com 36% de CaO e 15,8% de MgO. O preparo de solo seguiu o modelo convencional com aração e gradagens. Essas operações se iniciaram em outubro de 2019.

O espaçamento utilizado para o plantio foi o de 2,0 m x 2,5 m, recomendado para cultivares de baixo e médio porte com plantio em sulcos com aproximadamente 30 cm de profundidade (Teixeira *et al.*, 2014).

O experimento foi montado para ser conduzido em sequeiro, porém devido ao prolongamento da estiagem e a sua severidade (Figura 5A) causados por uma extensão do fenômeno *La Niña* (Gomes *et al*., 2021), foi necessário a instalação de um sistema para suprir a demanda hídrica. Assim, foi instalado um sistema de irrigação localizada, manejado via gotejamento por gravidade, com capacidade de ofertar até 45 mm de lâmina semanalmente. O sistema foi acionado principalmente nos meses de menor precipitação, de abril a setembro.

Figura 7 – Área experimental - bananeiras BRS SCS Belluna, São Manuel, SP, 2020

Bananeiras com porte inferior ao esperado, possivelmente devido à severidade da seca do ano de 2020 (Figura 5A), decorrente do fenômeno *La Niña*. **Fonte**: autor.

O delineamento utilizado para implantação em campo foi o de blocos ao acaso (cinco blocos) em esquema fatorial 6x2. O primeiro fator foi o nível de aplicação de fósforo (P_2O_5) e o segundo o ciclo. Os níveis de aplicação de fósforo foram fracionados da seguinte forma: 25%, 50%, 75%, 100% (referência), 125% e 150%) (Figura 8; Tabela 2). O fracionamento dos níveis de fósforo foi determinado com base na adubação 100% (referência), a qual foi calculada conforme as recomendações do Boletim 200 (Teixeira *et al.*, 2014).

Figura 8 – Doses pesadas e separadas para adubação de plantio

Fonte: autor.

A fonte de fósforo utilizada ao longo de todo o período de experimentação foi o termofosfato Yoorin Master 1 (17% P_2O_5, Ca 18%, Mg 7%, Si 10%, B 0,1%, Mn 0,3%, Zn 0,55% e Cu 0,05%) (Yoorin Fertilizantes, 2021).

Tabela 2 – Tratamentos aplicados nas adubações. Doses de termofosfato em g planta^{-1}

Adubação	25%	50%	75%	100%(R)	125%	150%
*Plantio + formação	52	114	171	229	286	343
Verão 2020/21	52	114	171	229	286	343
Verão 2021/22	36	71	107	143	179	214
Verão 2022/23	52	114	171	229	286	343

*: 50% da dose aplicada no plantio e 50% da dose aplicada 70-90 dias após o plantio; R: Referência, aplicação de 100% da dose recomendada segundo teor de fósforo no solo e produção estimada.

As doses de fósforo (Tabela 2) aplicadas foram calculadas com base no teor de P_{resina} presente na camada de 0-20 cm (Tabela 3). Para o cálculo da adubação de plantio + formação (Tabela 2), foi utilizado o resultado do laudo da amostragem pré-plantio realizada antes do preparo do solo. Para os cálculos das adubações de verão (2020/21 a 2022/2023) (Tabela 2), as coletas de solo foram realizadas nas parcelas que receberam a dosagem referência, nas quais foram coletadas quatro amostras por parcela, que dessa forma totalizaram 20 amostras simples, que foram homogeneizadas para formar uma amostra composta.

Tabela 3 - Teores de minerais no solo, CTC e saturação por bases na camada de solo de 0-20 cm de profundidade

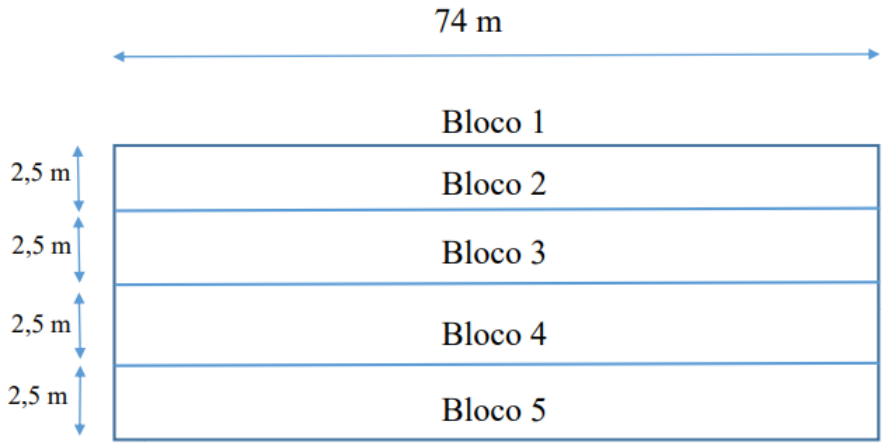
Laudo de solo	P mg dm-3	K mmolc dm^{-3}	CTC mmolc dm^{-3}	V%
Pré-plantio	9	1,08	38	60
Pré-aplicação de verão 2020/21	7	4,61	39	54
Pré-aplicação de verão 2021/22	16	3,53	42	36
Pré-aplicação de verão 2022/23	10	3,47	37	50

Os ciclos (segundo fator) foram classificados da seguinte maneira:

- 1º ciclo: cacho do pseudocaule da muda micropropagada;
- 2º ciclo: cacho do pseudocaule do primeiro filho conduzido;

O experimento foi montado em cinco blocos, com seis parceladas e seis plantas por parcela (quatro plantas úteis e duas plantas para bordadura) (Figura 9).

Figura 9 – Croqui do experimento em campo



Fonte: autor.

Para a distribuição das parcelas dentro dos blocos foi realizado sorteio em meio digital, a partir do qual se obteve o seguinte croqui (Figura 10):

Figura 10 – Croqui do delineamento e distribuição dos tratamentos em campo

Fonte: autor.

3.2 Adubações

As adubações de plantio, formação e verão (Tabela 4) foram realizadas com base nas análises de solo (0-20 cm de profundidade) (Tabelas 3). Os adubos foram aplicados por planta (família) e as doses calculadas e parceladas conforme as recomendações do Boletim 200 (Teixeira *et al.*, 2014).

Tabela 4 - Doses (kg ha^{-1}) de fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O) e nitrogênio (N) recomendadas segundo laudo de solo e produção estimada

Adubação	P_2O_5	K_2O	N
Plantio + formação	80	310	190
Verão 2020/21	80	150	190
Verão 2021/22	50	150	190
Verão 2022/23	80	150	190

A adubações de verão foram realizadas no início do período de maior pluviosidade e estabilidade das precipitações (novembro). As doses de fósforo foram divididas em três parcelas e as de nitrogênio e potássio em quatro. As fontes utilizadas foram: Termofosfato Yoorin Master 1 (fósforo), ureia e sulfato de amônio

(nitrogênio) e cloreto de potássio (potássio). O sulfato de amônio foi utilizado nas adubações de verão como fonte de enxofre (S) para garantir uma dosagem de 30 kg S ha^{-1} ano^{-1} (Teixeira *et al.*, 2014).

3.3 Colheita

Para a colheita foram adotados os critérios utilizados para bananeiras do grupo Cavendish, ¾ (34 mm), com superfície levemente arredondada, o qual pode ser adotado para a cultivar BRS SCS Belluna (Scherer *et al*., 2020). A colheita do primeiro ciclo se iniciou em outubro de 2021 (Figura 11A) e estendeu-se por todo o ano de 2022. A colheita do segundo ciclo (Figura 11B) se iniciou no segundo semestre de 2022 e finalizou em maio de 2023. No momento da colheita foi realizado um corte na região intermediária do pseudocaule, para que os nutrientes ali presentes contribuíssem para com o crescimento da filha e neta (Scarpare Filho *et al*., 2016).

Figura 11 – Primeiro cacho de banana BRS SCS Belluna colhido na área experimental (A) e cacho de segundo ciclo (B), São Manuel, SP

Fonte: Nicholas Zanette Molha (11A) e Vinicius Martins Domiciano (11B).

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Biometria da planta e fenologia do cacho

A biometria das bananeiras foi avaliada nos momentos de floração e colheita do cacho. Dessa forma, foram realizadas as seguintes análises:

- Número de folhas totalmente abertas e com área verde superior a 50%;
- Circunferência e comprimento do pseudocaule (cm);
- Período entre a floração e a colheita (dias).

O comprimento e a circunferência do pseudocaule foram obtidos com o uso de fita métrica e trena. A circunferência do pseudocaule foi obtida a 30 cm do solo e o comprimento obtido da base da planta até a inserção da inflorescência (Aquino *et al*., 2017; Leonel, S. *et al*., 2020). O diâmetro (D) foi calculado a partir da circunferência (C), $D = C/\pi$.

3.4.2 Produção e outras características das plantas e frutos

Os dados de produção foram obtidos a partir da mensuração da massa do cacho, massa do eixo floral (engaço e ráquis) e massa de frutos. A segunda penca foi utilizada para massa da penca, comprimento dos frutos, diâmetro dos frutos, massa dos frutos, número de frutos por penca, espessura da casca e razão entre a polpa e casca.

As medidas de massa foram realizadas em balança digital com 1,0 g de precisão e as medidas métricas realizadas com paquímetro (diâmetro e espessura de casca) e fita métrica (comprimento dos frutos).

A razão entre a polpa e casca foi obtida a partir da massa de matéria fresca de polpa e casca (Aquino *et al*., 2017; Borges *et al*., 2019). O comprimento dos frutos foi obtido no lado externo (convexo) e o diâmetro na região central (Aquino *et al*., 2017; PBMH e PIF, 2006). A espessura da casca foi obtida na parte intermediária, entre suas arestas (Aquino *et al*., 2017). Foram avaliados cinco frutos por cacho.

As produções de cachos e de frutos por ciclo foram obtidas a partir da multiplicação dos valores encontrados para cacho e frutos, pelo número de plantas por hectare, estande de 2.000 plantas. Para a produção de cachos (PC), multiplicou-se a massa do cacho (MC) pelo estande (E), e para a produção de frutos (PF), subtraiu-se da massa do cacho, os valores da massa do engaço e ráquis (MR). Assim: $PC_{(t\ ha\text{-}1)} = MC_{(kg)} \times E / 1000$ e $PF_{(t\ ha\text{-}1)} = [(MC_{(kg)} - MR_{(kg)}) \times E] / 1000$

3.4.3 Produção de fitomassa e teor de minerais

Os órgãos da parte aérea da planta (Figura 12): folhas, pseudocaule, botão floral (coração), engaço e ráquis, polpa e casca do fruto, foram seccionados para avaliação do acúmulo das massas de matéria fresca e seca da parte aérea. Para avaliar o acúmulo de massa de matéria seca, após o seccionamento, os tecidos foram lavados com água deionizada e secos a 65ºC por 60h (Bolfarini *et al*., 2020a).

Figura 12 – Bananeira BRS SCS Belluna (à esquerda) e, à direita, engaço e ráquis (A), bráctea (B), emissão de pencas (C) e botão floral (D), São Manuel, SP

Fonte: autor.

As massas do pseudocaule e das folhas foram aferidas no momento da colheita e a massa do coração no momento do trato cultural (retirada de coração). Para as variáveis analisadas em frutos, foram utilizados aqueles no primeiro estádio de maturação, conforme escala de Von Loesecke: casca totalmente verde (PBMH e PIF, 2006).

Os teores de massas de matéria seca (MMS) de casca e polpa foram utilizados para o calculado de rendimento (R) após a secagem em relação a sua fitomassa fresca (MMF), e o valor foi expresso em percentual. Assim, $R_{(casca\ ou\ polpa)}$ (%) = $MMS_{(casca\ ou\ polpa)}/MMF_{(casca\ ou\ polpa)}$ x 100

O material seco descrito anteriormente obtido da polpa foi moído, e dele foi retirada uma amostragem para encontrar os teores dos minerais: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), manganês (Mn), boro (B), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu), determinados pelo método de Malavolta et al. (1997).

3.4.4 Análise de nutrientes e amido

3.4.4.1 Preparo das amostras

A polpa foi desidratada a 55º C para evitar gelatinização do amido e alteração no teor de amido resistente (Yang et al., 2022). As análises foram realizadas nesse material e os teores expressos para o material desidratado e em base seca ($g_{variável}$ $100g^{-1}$ $_{material\ desidratado\ base\ seca}$). Assim, o teor de umidade foi calculado em estufa a 105ºC conforme o método 14-15.02 (Association of Cereal Chemists, 2018) e utilizado somente para conversão dos resultados.

3.4.4.2 Cinzas

o teor de cinzas foi realizado pela combustão em mufla a 550ºC (método 08-01.01) (Association of Cereal Chemists, 2018).

3.4.4.3 Proteína bruta

O teor de proteína bruta foi obtido pela multiplicação do teor de nitrogênio por 6,25 (método 46-13.01) (Association of Cereal Chemists, 2018).

3.4.4.4 Açúcar redutor

O teor de açúcar redutor foi determinado somente para se obter o teor de amido total. Assim, em um erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 1,0 grama da amostra e 50 mL de água destilada. O erlenmeyer permaneceu em banho com aquecimento a 65°C por 30 minutos e, em seguida, resfriado a temperatura ambiente. Após o resfriamento a solução foi transferida para balão volumétrico de 100 mL passando por papel de filtro comum, e seu o volume completado com água destilada até o menisco. Uma alíquota de 1,0 mL foi retirada e colocada em tudo de ensaio juntamente com mais 1,0 mL da solução Somogyi, e encaminhada a banho a 100ºC por 10 min. Em seguida, retirada do banho e deixada para resfriar a temperatura ambiente. Na sequência, foram acrescentados 1,0 mL do reagente Nelson e 7,0 de água destilada. O tubo de ensaio foi agitado em vórtice e o teor de açúcar redutor determinado em espectrofotômetro (Nelson, 1960).

3.4.4.5 Amido total

O amido total foi determinado pelo método da hidrólise enzimática, ISO – 6647 (76-13.01) (Association of Cereal Chemists, 2018). Na análise do amido total, em um erlenmeyer de 125 mL foram colocados: 200 mg da amostra, 42 mL de água destilada, 100 µL de solução de alfa-amilase (Termamyl 120L-Novozymes) e 1ml de solução tampão acetato de sódio 2 mol L^{-1} em pH 4,8. Em seguida, as amostras foram colocadas em banho com agitação a temperatura de 90ºC por duas horas. Ao término desse período, as amostras foram resfriadas a temperatura ambiente e, na sequência, foram adicionados 100 µL de amiloglucosidase A-7255 (Sigma) e colocadas novamente ao banho por mais duas horas sob agitação constante a uma temperatura de 55ºC. Posteriormente, as amostras foram resfriadas e transferidas para balão volumétrico de 250 mL, onde o volume foi completado com água destilada e a solução homogeneizada. Assim, uma alíquota de 5 ml foi retirada e transferida para balão volumétrico de 100 mL, então o pH foi corrigido para 7,0 e o volume completado com água destilada, seguido de nova homogeneização. Após a hidrólise do amido, o teor de açúcares foi determinado pelo método de Somogyi-Nelson (Nelson, 1960), e sua conversão para amido pela multiplicação da porcentagem de açúcar obtida, pelo fator 0,95.

3.4.4.6 Amido resistente

O método utilizado para determinação de amido resistente foi o proposto por Goñi et al. (1996), consistindo em processo enzimático, no qual o conteúdo final de amido resistente é calculado pela concentração de glicose liberada.

Assim, para a determinação do teor de amido resistente foi pesado 100 mg de amostra em tubo Falcon de 50 mL no qual foram adicionados 10 mL de tampão KCl-HCl (pH 1,5) e 100 µL de solução de pepsina 1:10000 (Dinâmica). A mistura foi aquecida em banho com agitação a 40°C por 60 minutos e, logo após, resfriada à temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados 9 mL de tampão trismaleate 0,1 M (pH 6,9) e um 1,0 mL de α-amilase Termamyl 120 L (Novozymes). Assim, a amostra permaneceu em banho a 37 °C por 16 horas em agitação constante. Posteriormente a amostra foi centrifugada (15 min; 3000 rpm), descartando-se o sobrenadante. Em seguida foi acrescentado 10 mL de água destilada e novamente submetida a centrífuga (3000 rpm; 15 min), com descarte do sobrenadante. Posteriormente, foram adicionados: 3 mL de água destilada e 3 mL de KOH 2 mol L^{-1}, e colocada em mesa de agitação por 30 minutos. Após essa agitação, foram adicionados 5,5 mL de HCl 1 mol L^{-1}, 3 mL de tampão acetato de sódio (pH 4,75) e 100 µL de amiloglucosidade (140 ml^{-1}), levando ao banho de 60 °C por 45 minutos, sob agitação. As amostras foram novamente centrifugadas (15 min; 3.000rpm), no entanto, sem o descarte do sobrenadante, o qual foi alocado em recipientes de 60 mL juntamente com mais 10 mL de água destilada e submetidos à agitação por 20 minutos. Dessa forma, retirou-se uma alíquota de 20 µL (sobrenadante), que foi colocada em tubo de ensaio juntamente com 2 mL de reativo de trabalho do Kit glicose oxidase e encaminhada para banho a 37 ºC por 10 minutos. Em seguida, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente e as absorbâncias obtidas em espectrofotômetro a 505 nm.

3.4.4.7 Amilose

A determinação da amilose foi realizada por meio de espectrometria (ISO-6647, 1987). Assim, 150 mg de amostra foi pesada em erlenmeyer de 50 ml, no qual foram adicionados 1 ml de ETOH 95% e 9,0 ml de NaOH, com posterior agitação para homogeneização da solução. Em seguida, o material foi colocado em banho-maria por 10 minutos e resfriado à temperatura ambiente. Após resfriamento, a solução foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado

com água destilada. Posteriormente, uma alíquota de 18 mL da solução foi colocada em tubo de ensaio, onde foram acrescentados 2,0 mL de NaOH a 0,09 M. Assim, uma amostragem de 5,0 mL foi coletada e transferida para um balão de 100 mL, aos quais foram adicionados 1,0 mL de ácido acético 1 mol e 2,0 mL de solução de iodo a 0,0157 N. O volume foi completado com água deionizada até o menisco e os balões permaneceram em repouso por 20 minutos ao abrigo da luz. As absorbâncias foram medidas em espectrofotômetro a 620 nm e os resultados foram expressos em teor de amilose na amostra de polpa desidratada e teor de amilose em relação ao amido.

3.5 Análise estatística

As médias foram submetidas à análise de variância e, quando constatada significância, submetidas ao teste de médias LSD de Fisher ($p < 0,05$) no software AGROSTAT (Barbosa e Maldonado Junior, 2015). A normalidade dos dados, a verificação de outliers e a correlação de Pearson foram realizadas no software Minitab 18® e as regressões no software SigmaPlot® (version 12.5) (Systat Software Inc., San Jose, USA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa fresca da parte aérea da bananeira (Tabela 5) foi afetada isoladamente apenas pelo nível de aplicação de fósforo, enquanto a massa seca (Tabela 5) sofreu efeitos isolados do nível e do ciclo (Apêndice A). O nível de aplicação promoveu aumento de 54,5% em massa fresca e 40,9% em massa seca (Figuras 13A e 13B), enquanto que o segundo ciclo apresentou maior massa seca (2,02 kg planta^{-1}; 4,04 t ha^{-1}) que o primeiro (1,79 kg planta^{-1}; 3,58 t ha^{-1}) (Figura 13C). Outros autores também conseguiram respostas quadráticas para massa seca de parte aérea em um estudo com adubação fosfata em mudas de bananeiras Prata-Anã (AAB) em dois tipos de latossolo (vermelho e vermelho-amarelo), (Silva *et al*., 2011).

Tabela 5 – Massa seca e fresca acumulada em parte aérea (kg planta^{-1}) da bananeira cv. BRS SCS Belluna

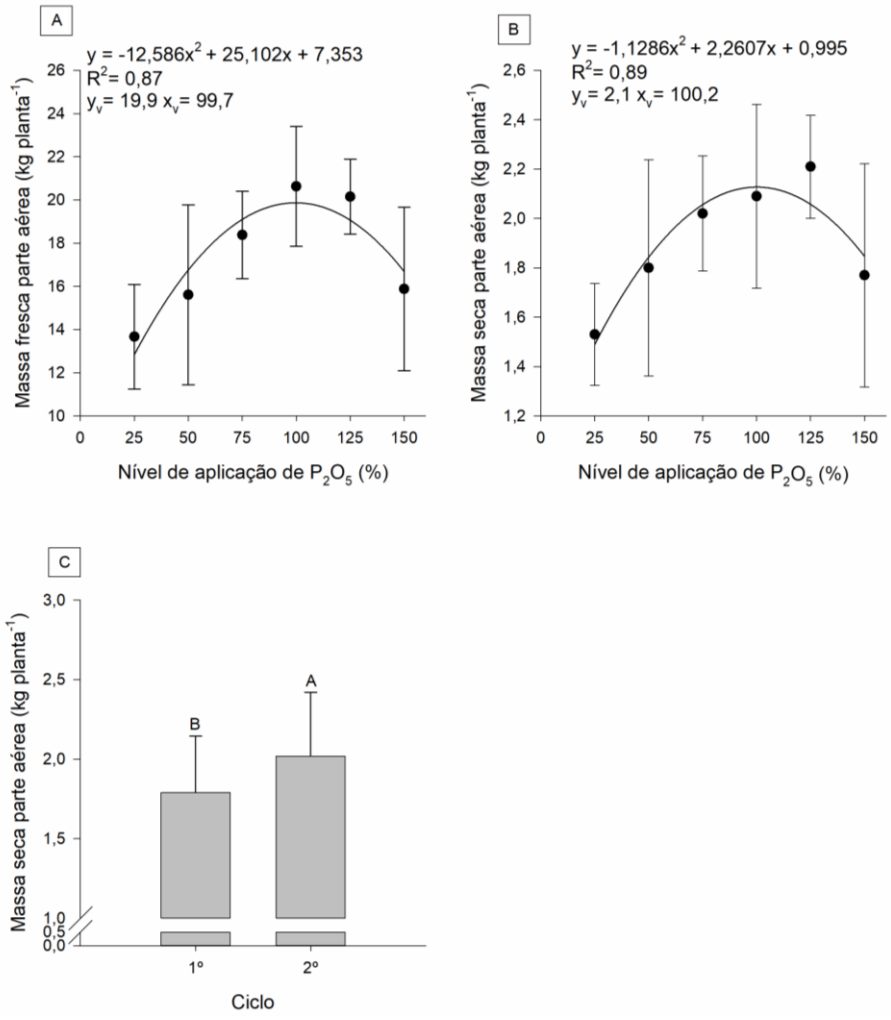
Adubação	Massa fresca parte aérea		Massa seca parte aérea	
	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo
25%	14,3	13,0	1,59	1,48
50%	13,6	17,7	1,55	2,06
75%	18,3	18,5	1,92	2,11
100% (R)	20,2	21,1	1,91	2,27
125%	19,2	21,1	2,16	2,25
150%	15,1	16,7	1,59	1,95
CV%	16,8		15,6	

R: adubação de referência.

O cacho (frutos, engaço e raquis) representou em média 36,6% da massa seca acumulada pela parte aérea da planta no momento da colheita, e esse valor não foi influenciado por nenhum dos fatores de variação testados (CV 16,2%) (dados da pesquisa). Hoffmann *et al*. (2010) encontraram valores de acúmulo de matéria seca em cachos de 33,5% para a cultivar Grande Naine (AAA) e 58,7% para Gros Michael (AAA), em relação ao total da parte aérea. As produções de massa seca total da parte aérea para os dois ciclos, foram bem inferiores àquelas encontradas por Hoffmann *et al*. (2010), que foram de 9,6 t ha^{-1} Grande Naine e 9,8 t ha^{-1} Gros Michael. Soares *et al*. (2008), encontraram valor de 8,3 t ha^{-1} de massa seca para a bananeira Grande Naine, porém contabilizaram o acumulado pelo rizoma. Se descontar o valor de 29,4% da contribuição do rizoma para o total da cultivar Grande

Naine (Hoffmann *et al*. 2010), a estimativa para a produção total de massa seca da parte aérea encontrara por Soares *et al*. (2008) fica em 5,9 t ha^{-1}, mais próximo dos valores encontrados por esta pesquisa para a cv. BRS SCS Belluna.

FIGURA 13 – Produção de massa fresca e seca em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna



Massa fresca da parte aérea em função do nível de aplicação de P_2O_5 (13A), massa seca da parte aérea em função do nível de aplicação de P_2O_5 (13B) e massa seca da parte aérea em função do ciclo (13C). Letras diferentes nas barras do ciclo diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (13C). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

Dose e ciclo influenciaram isoladamente a altura do pseudocaule nos momentos da inflorescência e colheita (Apêndice A). As respostas para a variável altura foram quadráticas e promoveram ganhos de até 13,3% (na floração) (Figura

14A) e 14,5% (na colheita) (Figura 14C). Assim, está de acordo com o apresentado por outros trabalhos que obtiveram respostas quadrática em função do nível de fósforo aplicado (Bolfarini *et al*., 2016; Dhutraj *et al*., 2018). A aplicação de fósforo em bananeira Grande Naine (AAA) promoveu ganho de 12,4% na altura do pseudocaule, em que a média das plantas variou de 160 cm a 180 cm, obtidas respectivamente, entre o menor nível de P_2O_5 e a aplicação de um nível intermediário (Dhutraj *et al*., 2018).

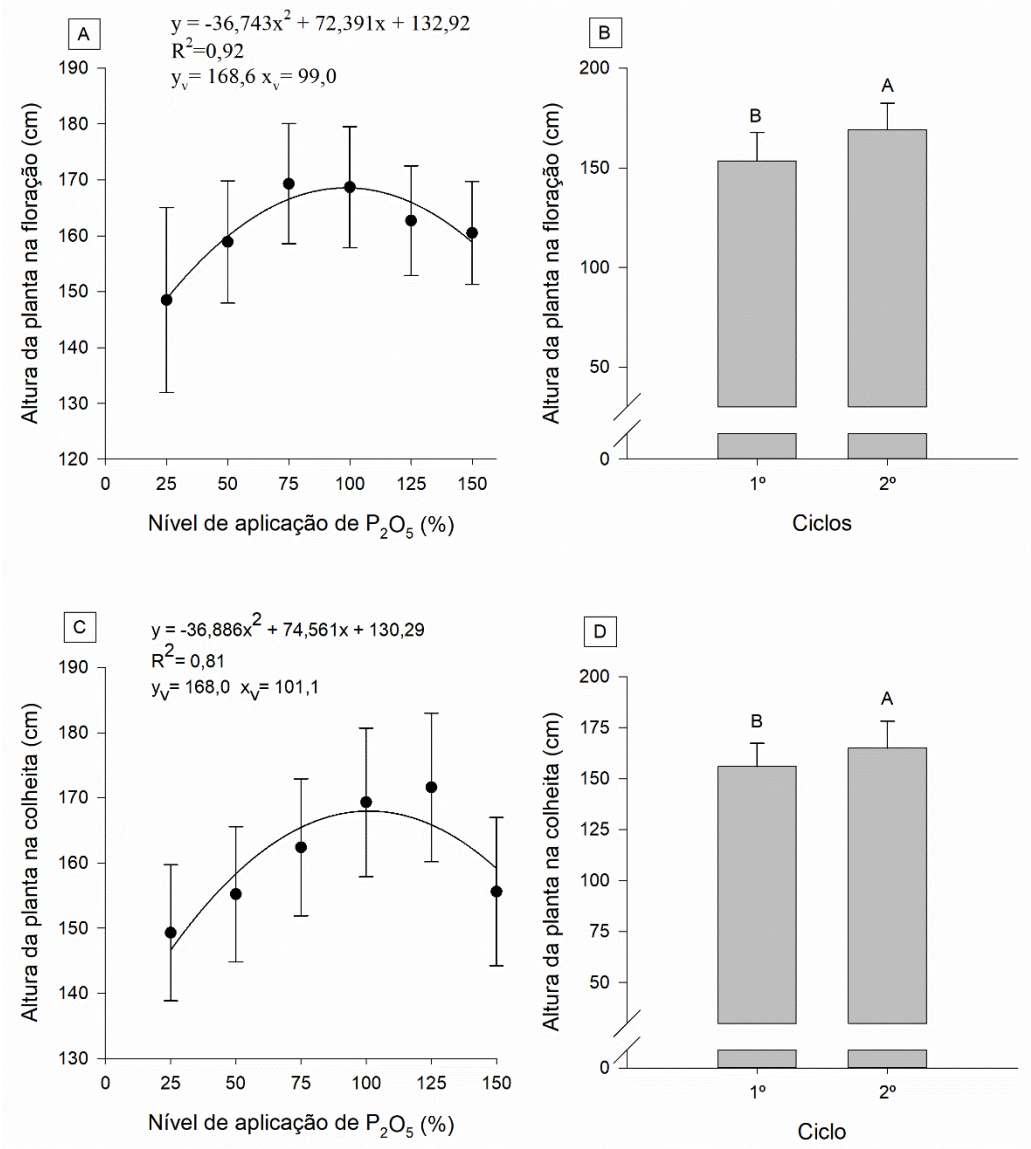
O segundo ciclo apresentou médias maiores que a do primeiro para a altura das plantas nos momentos da floração (154 cm, 1º ciclo; 169 cm, 2º ciclo) e colheita (156 cm, 1º ciclo; 165 cm, 2º ciclo), que variou em média, 7,7% nesse período (Figuras 12B e 12D, Tabela 6). Ao avaliar o desempenho da cultivar Nanica (AAA), Oliveira e Silva *et al*. (2002), obtiveram 152 cm (1º ciclo) e 163 cm (2º ciclo) na altura da planta 7,2% de ganho entre os ciclos. Entretanto, esse crescimento entre os ciclos (Figura 14D) poderia ter sido maior. Oliveira *et al*. (2007), por exemplo, ao avaliar o desempenho agronômico de três genótipos triploides (AAA), encontraram variações de 15% para ‘Grande Naine’, 23,4% para ‘Nam’ e 26,8% para ‘Caipira’, na altura da planta entre os dois primeiros ciclos. Assim como, para a cultivar Nam (AAA), genótipo que originou a cv. BRS SCS Belluna, Oliveira e Silva *et al*. (2003), apresentam médias de 228 cm (1º ciclo) e 275 cm (2º ciclo), 20,7% de aumento, a partir de avaliações em quatro localidades. Scherer *et al*. (2020) apresentam valores médios de 227 cm (1º ciclo) e 298 cm (2º ciclo) para BRS SCS Belluna, diferença de 31,2%.

Tabela 6 - Características relacionadas com o vigor da planta na floração e colheita em bananeiras cv. BRS SCS Belluna

Adubação	AL		DP		FA		AL		DP		FA	
	Floração						Colheita					
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	144	153	12,9	12,9	7,8	8,2	151	148	11,2	10,7	3,5	2,0
50%	153	165	12,7	13,1	8,5	7,7	148	163	10,9	11,9	3,6	3,2
75%	162	176	13,5	14,6	9,0	8,2	160	166	12,2	12,1	4,6	3,9
100% (R)	163	175	13,6	13,7	8,1	8,7	164	174	12,4	12,4	5,4	4,5
125%	154	171	12,7	13,7	8,9	9,6	166	178	12,1	13,2	4,1	3,9
150%	145	175	12,7	13,9	8,3	8,6	148	163	11,4	11,9	3,5	5
CV%	7,3		8,1		6,8		5,7		8,4		33,9	

R: adubação de referência; AL: altura da planta; DP: diâmetro do pseudocaule; FA: folhas fotossinteticamente ativas.

FIGURA 14 – Altura em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna

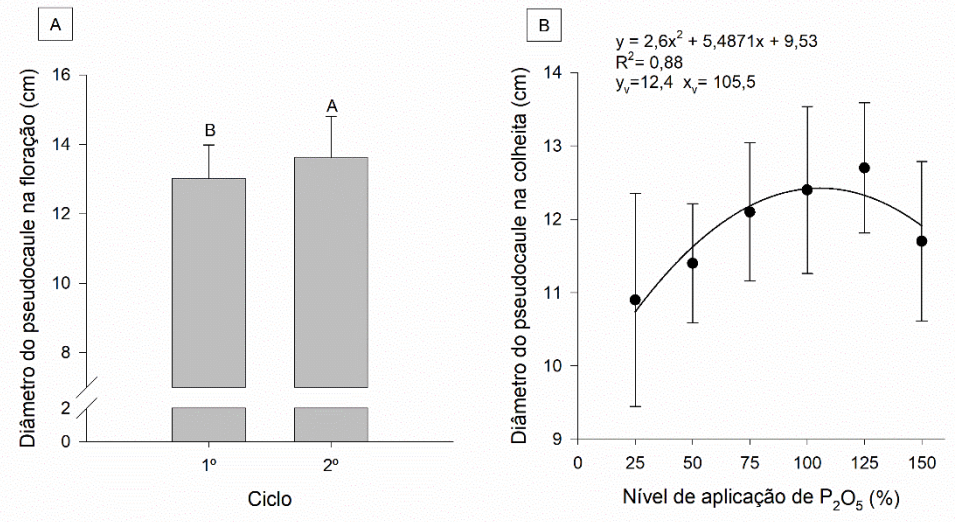


Altura da planta na floração em função do nível de aplicação de P_2O_5 (14A), altura da planta na floração em função do ciclo (14B), altura da planta na colheita em função do nível de aplicação de P_2O_5 (14C) e altura da planta na colheita em função do ciclo (14D). Letras diferentes nas barras do ciclo diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (14B e 14D). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

O diâmetro do pseudocaule foi afetado isoladamente pelo ciclo (floração) e pelo nível de aplicação de P_2O_5 (colheita) (Apêndice A). Na floração, o diâmetro médio apresentado pelas plantas no segundo ciclo, 13,6 cm, foi maior que aquele observado no primeiro, 13,0 cm (Figura 15A). No momento da colheita as doses promoveram um aumento de 15,3% no diâmetro do pseudocaule, com maior valor

estimado em 12,4 cm, e com ajuste quadrático da regressão (Figura 15B), mesmo ajuste obtido por outros pesquisadores que avaliaram o efeito de doses de fósforo em bananeiras (Bolfarini *et al*., 2016; Dhutraj, *et al*., 2018; Leonel, S. *et al*., 2020). Em pesquisa com a cultivar Grande Naine (AAA), a dosagem de fósforo que apresentou maior valor de diâmetro (19,9 cm), promoveu um ganho de 17,4% (Dhutraj *et al*., 2018). Oliveira e Silva *et al*. (2002) encontram valores de diâmetro em bananeira cultivar Nam de 16,4 cm (1ºciclo) e 20,2 cm (2º ciclo), além disso, dentre as 15 cultivares avaliadas, os menores valores obtidos para diâmetro foram 15,0 cm para cv. Pioneira (AAAB) (1º ciclo) e 19,3 para cv. Nanica (AAA) (2º ciclo). Oliveira *et al*. (2007) encontraram em cv. Nam valor de 18,8 cm (1º ciclo) e 22,9 cm (2º ciclo), enquanto os menores valores se apresentaram na cv. Caipira (AAA) 17,4 cm (1º ciclo) e 21,1 cm (2º ciclo).

FIGURA 15 – Diâmetro em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna

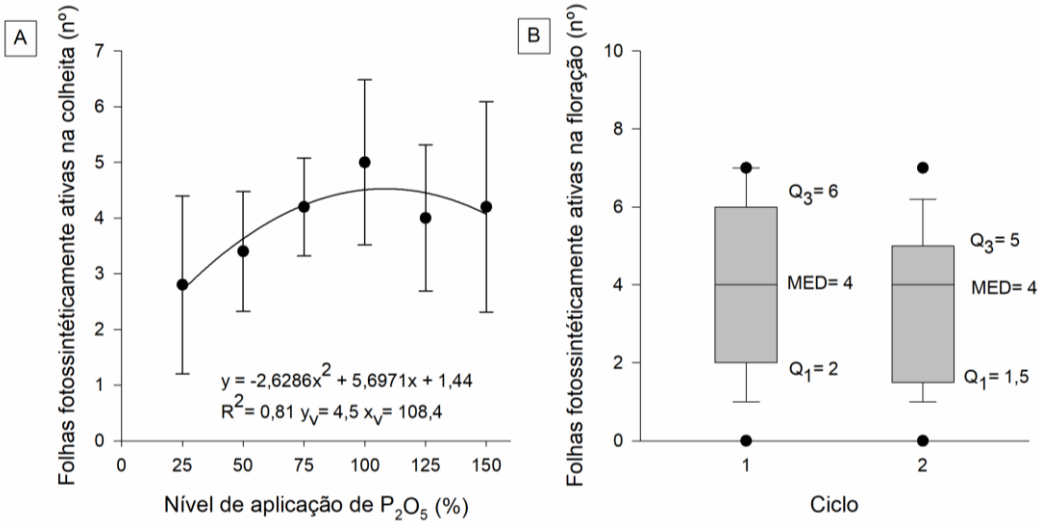


Diâmetro do pseudocaule na floração em função do ciclo (15A) e diâmetro do pseudocaule na colheita em função do nível de aplicação de P_2O_5 (15B). Letras diferentes nas barras do ciclo diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (15A). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

O número de folhas fotossinteticamente ativas no momento da floração não foi influenciado por nenhum dos fatores de variação (Tabelas 6 e 14). A média geral do experimento foi de 8,5 ± 1,24 folhas por planta. Para a avaliação no momento da colheita, o efeito da dose foi quadrático e conseguiu manter até 66,6% a mais de

folhas fotossinteticamente ativas em relação a menor aplicação de P_2O_5, com maior valor em 4,5 folhas, segundo a regressão (Figura 16A). O ajuste quadrático em função do nível de aplicação de P_2O_5 também foi encontrado em outra pesquisa com bananeira cv. Maçã (AAB) (Bolfarini *et al*., 2016). A perda de folhas no período entre a floração e a colheita foi de 51,36% (1º ciclo) e 55,8% (2º ciclo) (16B). Dentre nove cultivares avaliadas, Oliveira *et al*. (2007) encontraram médias de 12,4 folhas (1º ciclo) e 11,4 folhas (2º ciclo), sem diferença entre as cultivares no momento da floração. Enquanto que para a colheita, encontraram médias de 4,0 folhas (1º ciclo) e 4,9 (2º ciclo), uma redução de 67,7% (1º ciclo) e 57,0% (2º ciclo). Segundo a revisão de Donato *et al*. (2016), para bananeiras do subgrupo Cavendish (AAA), são necessárias pelo menos 11 folhas na floração e 8 na colheita para desenvolvimento adequado do cacho. Em bananeira cv. Prata-anã, Rodrigues *et al*. (2009) verificaram a influência do número de folhas sobre características de produção, e para a obtenção de frutos e cachos mais pesados foi necessário a manutenção de pelo menos 12 folhas.

FIGURA 16 – Número de folhas fotossinteticamente ativas na colheita em função dos níveis de P_2O_5 aplicados em bananeira cv. BRS SCS Belluna e sua distribuição em função do ciclo



Folhas fotossintéticamente ativas na colheita em função do nível de aplicação de P_2O_5 (16A) e distribuição em quartis das folhas fotossintéticamente ativas na floração (16B). As barras representam os desvios-padrões das médias (16A); Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal (16A). Q1: Primeiro quartil; MED: mediana; Q3: terceiro quartil; ●: representa o intervalo que concentra 95% das observações (16B).

As variáveis biométricas das plantas foram comprometidas pelos baixos e altos níveis de aplicação de P_2O_5 (Tabelas 5 e 6). Para a obtenção de plantas vigorosas é importante uma relação equilibrada de crescimento entre a parte aérea e o sistema radicular, órgãos fonte e dreno de fotoassimilados produzidos pelas folhas e minerais absorvidos pelas raízes. Essa relação é regulada principalmente pelo fósforo e pelo nitrogênio, que são considerados os principais nutrientes que podem limitar as produções agrícolas. Assim, a aplicação de baixa dosagem de fósforo pode ter comprometido o metabolismo da planta, pois o fósforo está diretamente relacionado com a fotossíntese, respiração, assimilação do nitrogênio, absorção ativa de nutrientes e, com a expansão, divisão e diferenciação celular (Epstein e Bloom, 2006; Grant *et al*., 2001; Hawkesford *et al*., 2012). Por outro lado, as altas dosagens podem ter comprometido o equilíbrio nutricional da planta, no qual o fósforo pode ter apresentado efeito antagônico com outros minerais (Borges *et al*., 2016; Malavolta *et al*., 2006).

De modo geral, as plantas apresentaram medidas de biometria menores do que aquelas apresentadas por outros genótipos AAA ou aquela esperada para a cv. BRS SCS Belluna. A revisão de Donato *et al*. (2016) mostra como as bananeiras são plantas que exigem uma alta quantidade de água (~2.000 mm a 2.500 mm de precipitação anual) e bem distribuída oferta de água ao longo do ano, consumo médio de ~25 mm $semana^{-1}$ (cultivares de sobremesa) e 125 mm $mês^{-1}$ para plátanos. Essa estimativa varia conforme condições atmosféricas, características do solo e estádio fenológico, de modo que os autores apresentam exemplo de consumo de até 96 L $planta^{-1}$ dia^{-1}. Assim, as condições climáticas do local (Figura 5), que nesse período sofreu uma condição extrema de estiagem promovida por três anos seguidos de *La Niña* (Cabrini *et al*., 2022), podem ter contribuído para o desenvolvimento de plantas menos vigorosas.

Sabe-se que, dentro de um mesmo genótipo, plantas mais vigorosas apresentam melhores produções (Turner *et al*., 2007), isso pôde ser confirmado neste trabalho pelas correlações significativa da produção de cacho com as variáveis de biometria da planta, massa fresca da parte aérea, altura (floração e colheita), diâmetro do pseudocaule (floração e colheita) e folhas fotossinteticamente ativas na colheita (Tabela 7). Além disso, conforme apresentado por outros pesquisadores (Rodrigues *et al*., 2009), confirmou-se a importância da manutenção

das folhas para um bom enchimento dos frutos, o que resulta em cachos mais pesados (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores obtidos para as correlações de *Pearson* entre a biometria da parte aérea da planta e aspectos de produção

	ALF	DPF	FFF	ALC	DPC	FFC	PCC	MFV
MFA	0,438*	0,434*	0,311**	0,795*	0,840*	0,213^{ns}	0,706*	0,370*
	ALF	0,741*	0,316**	0,527*	0,444*	0,119^{ns}	0,486*	0,060^{ns}
		DPF	0,240^{ns}	0,430*	0,523*	-0,023^{ns}	0,371*	0,013^{ns}
			FFF	0,291**	0,335*	-0,018^{ns}	0,036^{ns}	0,070^{ns}
				ALC	0,780*	0,183^{ns}	0,708*	0,282**
					DPC	0,177^{ns}	0,585*	0,306**
						FFC	0,464*	0,608*
							PCC	0,617*

* significativo estatisticamente a 1% pelo teste T; ** significativo estatisticamente a 5% pelo teste T; ns: não significativo; MFA: Massa fresca da parte aérea; ALF: Altura da planta na floração; DPF: Diâmetro do pseudocaule na floração; FFF: Folhas fotossinteticamente ativas na floração; ALC: Altura da planta na colheita; DPC: Diâmetro do pseudocaule na colheita; FFC: Folhas fotossinteticamente ativas na colheita; PCC: Produção de cachos por ciclo; MFV: Massa do fruto verde.

O período em dias entre a floração e a colheita do cacho não foi influenciado por nenhum dos fatores de variação (Tabelas 8 e 14). A média geral do experimento foi de 117,0 ± 22,1. Esse período variou conforme o genótipo, manejo e fatores climáticos (Oliveira *et al*., 2007; Rodrigues *et al*., 2009;). No estudo de Oliveira *et al*. (2007), a cultivar Nam levou 152,2 dias da floração a colheita no primeiro ciclo e 137,9 no segundo ciclo.

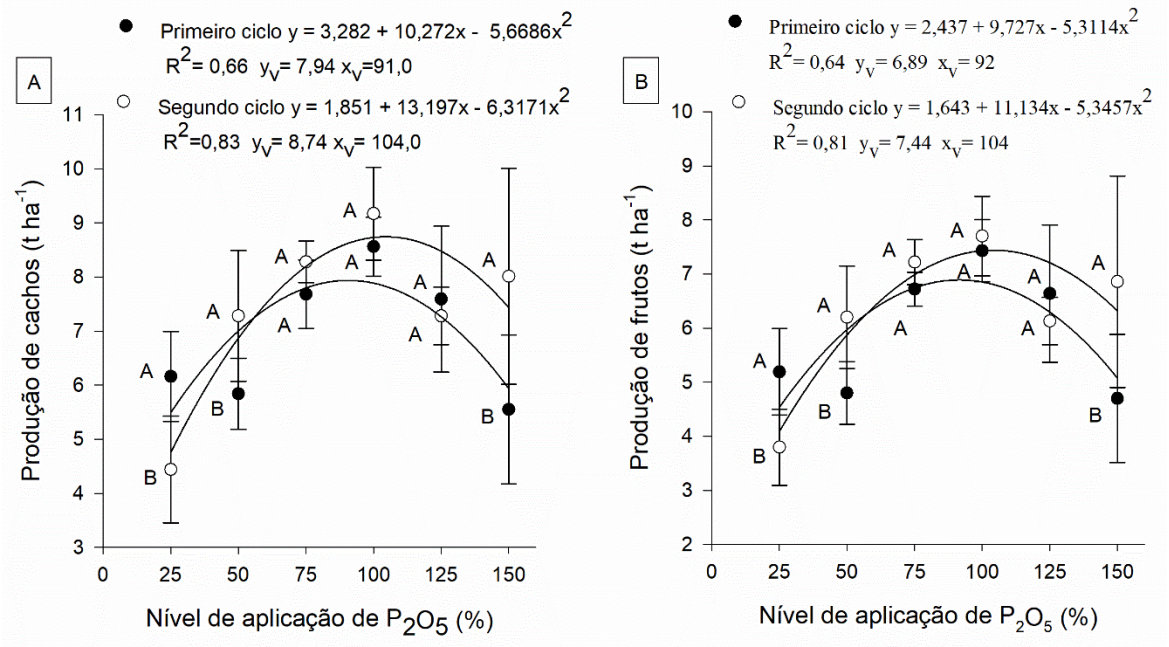
Tabela 8 - Período entre a floração e a colheita (PFC) e produções de cachos e frutos de banana cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção

Adubação	PFC (dias)		Produção de cacho (t ha^{-1})		Produção de frutos (t ha^{-1})	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	121,6	124,4	6,16A	4,44B	5,19A	3,80B
50%	112,5	127,3	5,84B	7,28A	4,80B	6,20A
75%	113,2	127,9	7,68A	8,28A	6,72A	7,22A
100% (R)	98,0	104,1	8,56A	9,17A	7,43A	7,70A
125%	124,4	120,0	7,59A	7,28A	6,64A	6,13A
150%	109,0	121,3	5,55B	8,01A	4,70B	6,86A
CV%	9,5		6,6		6,7	

R: adubação de referência. Letras diferentes na mesma linha para uma mesma variável diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$).

As doses interferiram na produção de cachos e de massa de frutos nos dois ciclos (Tabelas 8 e 14) com ajustes quadráticos que promoveram ganhos de 44,3% (1° ciclo) e 84,0% (2° ciclo) em cachos (Figura 17A) e em frutos 51,8% (1° ciclo) e 81,9% (2° ciclo) (Figura 17B). As respostas quadráticas para variáveis de produção em relação à adubação fosfatada, repetem o ocorrido em outras pesquisas (Bolfarini *et al*., 2016, 2020b; Leonel, M. *et al*., 2020).

FIGURA 17 – Produção de cachos e frutos em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna



Produção de cachos em função do nível de aplicação de P_2O_5 (17A) e produção de frutos em função do nível de aplicação de P_2O_5 (17B). Letras diferentes no mesmo nível de aplicação de P_2O_5 diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

As maiores produções de cacho e de frutos foram, respectivamente, obtidas com níveis de aplicação de P_2O_5 de 91% e 92% (1º ciclo) e 104% em ambas variáveis (2º ciclo). Apesar de os ciclos seguintes apresentarem, normalmente, produções mais elevadas que o primeiro (Bolfarini *et al*., 2020b; Scherer *et al*., 2020), nesta pesquisa os ciclos não influenciaram nos dados de produção (Apêndice A). As interações das doses com os ciclos só ocorreram nos extremos das curvas (Figuras 17A e 17B). A aplicação recorrente da dose subestimada à 25% da recomendação de P_2O_5, promoveu uma diminuição na produção de cachos e frutos (Tabela 8). O maior valor para produção de cachos (Tabela 8), foi semelhante com a

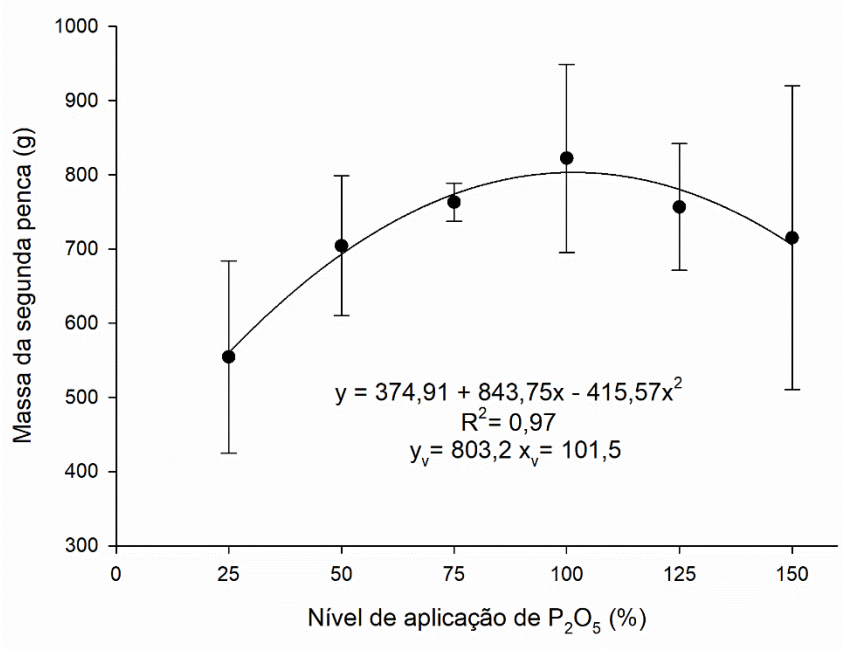
encontrada por outros autores para bananeira cv. BRS SCS Belluna avaliada em duas localidades (Itajaí-SC e Urussanga-SC) para o primeiro ciclo (11,39 t ha^{-1} e 9,0 t ha^{-1}), porém inferior àquelas obtidas nos ciclos seguintes, 20,26 t ha^{-1} e 16,72 t ha^{-1} (Scherer *et al*., 2020). Essa diferença pode ter sido influenciada em função do espaçamento, que em plantios mais adensados promove redução na massa do cacho (Moreira *et al*., 2007; Scarpare Filho e Kluge, 2001), o qual nessa pesquisa, 2000 plantas ha^{-1}, foi superior ao apresentado por Scherer *et al*., (2020), 1320 plantas ha^{-1} para a mesma cultivar.

É importante ressaltar que nesse período a região sofreu eventos extremos de estiagem prolongada e geadas, que causaram prejuízos na produção de diversas culturas (Freitas *et al*., 2021; Ramos *et al*., 2021; Vegro e Martins, 2021), e que comprometem o enchimento de frutos e, consequentemente, a produção de bananeiras (Turner *et al*., 2007). Além disso, é mais comum que genótipos compostos exclusivamente por alelos A, sofram mais com as condições de déficit hídrico, comprometendo o acumulo de fitomassa nas raízes e diminuição na absorção de CO_2, logo, plantas menos vigorosas. Porém, quando em condições hídricas adequadas, tendem a ser mais responsivos (Wesemael *et al*., 2019).

Estudo com a bananeira Nam, genótipo que originou a cultivar utilizada nesta pesquisa, mostrou aumento crescente na massa do cacho avaliado ao longo de quatro ciclos, que foi de 5,9 kg (1º ciclo) a 23,9 kg (4º ciclo) (Oliveira e Silva, 2002). Assim, apesar da produção obtida (Tabela 8), a bananeira BRS SCS Belluna, tem potencial para alcançar alta produtividade, que segundo Scherer *et al*. (2020), pode chegar a 40 t ha^{-1}.

A massa da penca foi influenciada pela dose (Apêndice A). A resposta foi quadrática e promoveu ganho de até 43,1%, com o maior valor (803,2 g) em 101,5% de aplicação de P_2O_5 (Figura 18). O ciclo e a interação não interferiram na média das pencas (Apêndice A). A resposta quadrática também foi encontrada por outros pesquisadores com as cultivares FHIA 18 e Maçã (Bolfarini *et al*., 2016, 2018). O fósforo é importante para a produção de fotoassimilados e para a expansão foliar, que dessa forma pode ter contribuído para o enchimento dos frutos, o que resultou em pencas mais pesadas (Grant *et al*., 2001).

FIGURA 18 – Massa da segunda penca em função dos níveis de P_2O_5 aplicados em bananeira cv. BRS SCS Belluna

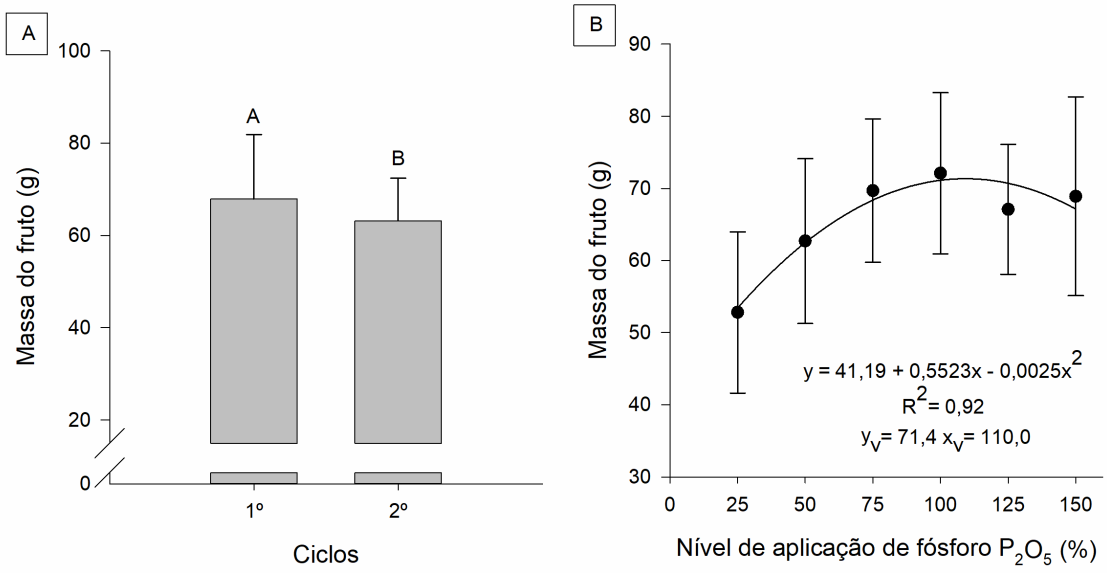


As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

O número de frutos na segunda penca não foi influenciado pelos fatores (Apêndice A), a média geral do experimento foi 11,0 frutos. Aquino *et al*. (2017) encontraram valores de 9,96 a 20,2 frutos por penca (14,25 média geral do experimento) em 15 cultivares de bananas comuns nos mercados brasileiros. Segundo Scherer *et al*. (2020) a cv. BRS SCS Belluna apresentou em média, 14 frutos por penca.

A massa do fruto foi influenciada pela dose e pelo ciclo, porém sem interação entre os fatores (Apêndice A). O primeiro ciclo apresentou média (67,9 g) maior que o segundo (63,2 g) (Figura 19A). A adubação promoveu ganhos de até 33,5% na massa do fruto, o valor estimado para a maior massa foi de 71,4 g com nível de aplicação de 110% de P_2O_5, com ajuste quadrático para a regressão (Figura 19B). Leonel, M. *et al*. (2020) encontraram efeito quadrático da adubação fosfatada sobre a massa do fruto em quatro cultivares de banana.

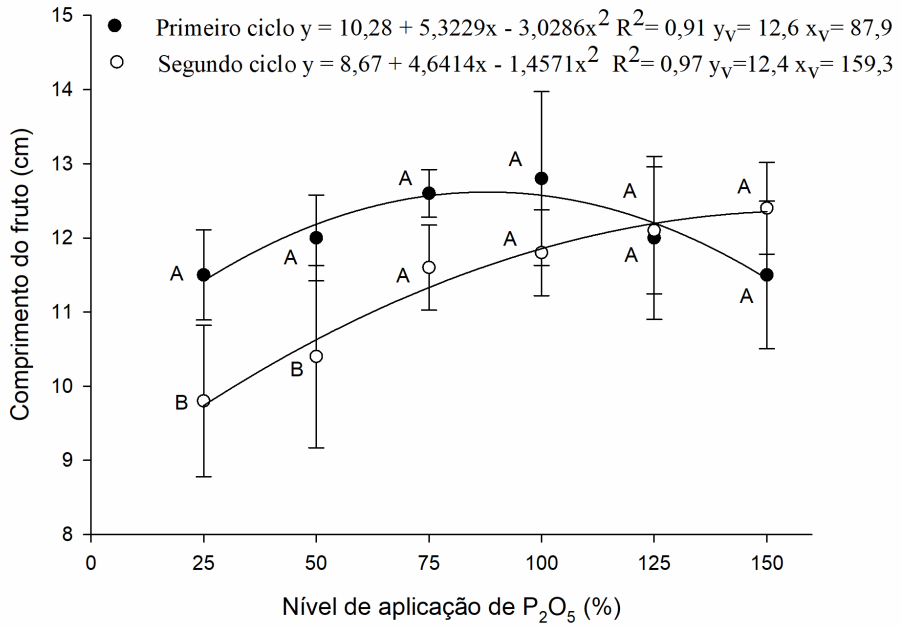
FIGURA 19 – Massa do fruto em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna



Massa do fruto em função do ciclo (19A) e massa do fruto em função do nível de aplicação de P_2O_5 (19B). Letras diferentes nas barras do ciclo diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (19A). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

O comprimento dos frutos foi influenciado pela adubação, ciclo e interação (Apêndice A). As respostas foram quadráticas e a aplicação de P_2O_5 promoveu ganhos em comprimento de 10,3% (1° ciclo) e, no segundo ciclo, com crescimento até a última dose testada, frutos 26,9% maiores (Figura 20). No segundo ciclo as parcelas com as menores doses de fósforo (25% e 50%) apresentaram frutos menores em relação as mesmas dosagens para o primeiro ciclo (Tabela 9; Figura 20). Aquino *et al*. (2017) encontraram valores que variaram de 10,85 cm a 17,80 cm em 15 cultivares de bananas e plátanos, que dentre eles, os da banana Ouro (10,85 cm) e Mysore (11,97 cm), foram os mais próximos ao encontrados neste trabalho. Segundo Scherer *et al*. (2020), os frutos da bananeira cv. BRS SCS Belluna são pequenos, cujo comprimento atinge por volta de 13 cm, o que é uma característica da cultivar. Trabalhos com a cultivar Nam publicados por Cerqueira *et al*. (2002) e Oliveira e Silva *et al*. (2003) trouxeram valores médios de 12,0 cm, 12,8 e 13,5 cm.

FIGURA 20 – Comprimento do fruto em função dos fatores de variação testados em bananeira cv. BRS SCS Belluna



Letras diferentes no mesmo nível de aplicação de P_2O_5 diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

Tabela 9 – Massa da penca, número de frutos e massa e comprimento do fruto - avaliações em segunda penca da bananeira cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção

Adubação	MP		NF		MF		CF	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	635	473	10,9	10,1	58,6	47,1	11,5A	9,8B
50%	681	728	10,7	11,8	63,1	62,1	12,0A	10,4B
75%	771	755	10,3	11,8	75,1	64,3	12,6A	11,6A
100% (R)	863	782	11,6	11,4	74,9	69,4	12,6A	11,8A
125%	779	734	11,5	11,1	67,4	66,9	12,0A	12,1A
150%	646	784	9,4	11,2	68,7	69,2	11,5A	12,4A
CV%	8,4		5,8		6,4		3,6	

R: adubação de referência; MP: massa da penca; NF: número de fruto; MF: massa do fruto; CF: comprimento do fruto. Letras diferentes na mesma linha para uma mesma variável diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Os menores valores de massa e comprimento dos frutos encontrados no segundo ciclo podem ter sido causados devido à época de emissão dos cachos. O município de São Manuel apresenta maiores valores de precipitação no período entre outubro à março, enquanto que o período de maio a agosto é marcado por menores temperatura, precipitação e evapotranspiração (Cunha e Martins, 2009) e

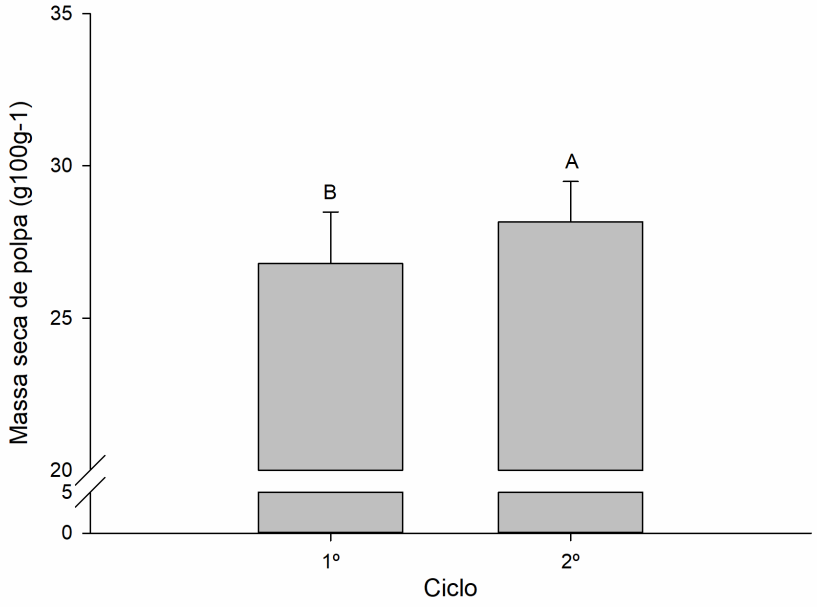
com mínimas que frequentemente podem estar abaixo dos 10ºC (Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP de Botucatu - São Paulo - Brasil). Nesta pesquisa, os cachos do primeiro ciclo foram emitidos majoritariamente (78,4%) no período que vai de outubro a março, enquanto que para o segundo ciclo, esses cachos representaram apenas 62,9%, logo, uma diferença de 15,6%. A diferença é ainda maior (20,2%) se considerar apenas os cachos emitidos no período de novembro a março. Em novembro, comumente, as chuvas já se estabilizaram, e a normal climatológica para precipitação supera em 32,9 mm de outubro (Cunha e Martins, 2009). Além disso, o número de cachos emitidos no período de maio a agosto no primeiro ciclo (12,5%) foi 4,4% menor que aqueles emitidos no segundo ciclo (16,9%). Nesse período, dias após a passagem de alguma frente fria, era comum observar o amarelecimento e morte de folhas. Segundo a revisão de Donato *et al.* (2016, 2021), esse amarelecimento é causado por temperaturas abaixo dos 6ºC, que destroem a clorofila, o que prejudica o transporte de fotoassimilados para os frutos. O trabalho de Turner *et al.* (2007) explica melhor os efeitos da temperatura sobre o desenvolvimento dos frutos. Além disso, segundo esses autores, o crescimento dos frutos é regulado pelo fornecimento de água à planta, que em situação de déficit, pode ter seu peso fresco reduzido em até 30%. Esses argumentos são reforçados pelas informações presentes na Tabela 7, a qual traz correlações significativas e positivas entre a massa do fruto verde com o número de folhas fotossinteticamente ativas na colheita e com a massa fresca da parte aérea.

O diâmetro dos frutos (Tabela 9) foi utilizado como parâmetro para colheita, portanto não foi submetido à estatística comparativa. O diâmetro médio obtido foi de 32,7 ± 1,8 mm (dados da pesquisa). Em cultivar Nam, Cerqueira *et al.* (2002) encontraram valor de 40,4 mm, e em cinco triploides AAA, Aquino *et al.* (2017) encontraram valores de 34,6 mm a 49,9 mm. Scherer *et al.* (2020) classificam a BRS SCS Belluna como uma banana de frutos pequenos, enquanto outras bananas de sobremesa comuns no mercado brasileiro, como a Prata e Cavendish, são classificadas em tamanhos médio e grande, respectivamente.

O teor de matéria seca em polpa não foi influenciado pela adubação e pela interação entre doses e ciclos, somente efeito isolado do ciclo (Apêndice A). O teor de matéria seca em polpa foi maior para o segundo ciclo (28,16%) do que para o primeiro (26,79%) (Figura 21). Porém, esse aumento não significou ganho real, visto

que o seu acúmulo total, 18,3 g fruta^{-1} (1º ciclo) e 17,6 g fruta^{-1} (2º ciclo), não foi significativo (*p*= 0,3245; CV 6,9%). Além disso, o teor de matéria seca se correlacionou negativamente com a massa fresca do fruto (-0,405, *p* = 0,001), ou seja, no segundo ciclo seu conteúdo foi concentrado, enquanto que no primeiro ciclo os frutos foram maiores (Figura 19A), e o teor de matéria seca foi diluído. Esses resultados corroboram a influência da época de emissão dos cachos e da água sobre a massa do fruto, conforme apresentada no penúltimo parágrafo que antecede a Tabela 9. Assim como, o encontrado por esta pesquisa (Apêndice A), no trabalho de Bolfarini *et al*. (2020c) com banana cv. FHIA 18 (AAAB), o teor de matéria seca em polpa foi influenciado somente pelo efeito isolado do ciclo, sem efeito das doses e interação. Além disso, os valores (Tabela 10) ficaram próximos do encontrado em banana BRS SCS Belluna por Reis *et al*. (2019), 28,1% (em base seca) e daqueles encontrados por Aquino *et al*. (2014) em cinco cultivares triploides AAA, que variaram de 24,12% a 27,81%.

FIGURA 21 – Massa seca de polpa em banana cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção



Letras diferentes nas barras dos ciclos diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias.

As variáveis: massa de matéria seca da casca, percentual de polpa, percentual de casca e espessura da casca não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) em função da adubação e/ou ciclo (Tabelas 10 e 14).

Tabela 10 - Variáveis de rendimento de polpa e casca de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção

Adubação	%MS Polpa		%MS Casca		% Polpa		% Casca		EC	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	27,4	29,2	13,2	12,6	58,3	58,6	42,7	41,4	3,1	2,8
50%	27,7	27,8	13,4	13,4	57,0	58,5	43,0	41,5	3,0	3,1
75%	27,4	28,6	12,2	13,6	58,6	58,2	42,4	41,8	3,0	3,1
100% (R)	25,0	28,4	13,7	13,5	57,2	57,2	44,4	42,8	3,4	3,0
125%	26,4	27,6	12,2	12,4	58,1	55,8	41,9	45,5	3,1	3,3
150%	26,8	27,3	12,6	13,3	57,0	56,8	43,9	44,9	3,0	3,2
CV%	2,9		4,6		1,7		3,4		3,4	

R: Adubação de referência; %MS Polpa: percentual da massa de matéria seca da polpa em relação à massa da polpa *in natura*; %MS Casca: percentual da massa de matéria seca da casca em relação à massa da casca *in natura*; %Polpa: percentual da massa fresca da polpa em relação à massa da fruta inteira (com casca) *in natura*; %Casca: percentual da massa fresca da casca em relação à massa da fruta inteira (com casca) *in natura*; EC: Espessura da casca.

Relações entre casca ou polpa e fruto *in natura*, acúmulo de massa de matéria seca, assim como umidade do produto, são variáveis importantes do ponto de vista tecnológico para a indústria de alimentos, pois permitem dimensionar o aproveitamento da matéria prima inicial (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023). As polpas de bananas verdes podem ser destinadas à fabricação de farinha, biomassa, chips, grânulos e extração de amido (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023; Raveena et al., 2022; Stragliotto *et al*., 2022), enquanto as cascas podem ser utilizadas para a fabricação de farinha de casca, farinha de polpa e casca, e biomassa de polpa e casca (aproveitamento integral da fruta) (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023; Godoy *et al*., 2016; Stragliotto *et al*., 2022).

Os teores médios encontrados para polpa (57,6%) e casca (43,0%) relativos à massa *in natura* da fruta, resultaram em uma proporção polpa/casca de 1,35. Aquino *et al*. (2017) encontraram percentuais de polpa e casca em relação ao fruto *in natura* que variaram de 54,2% a 71,1% (polpa) e de 31,2% a 46,22% (casca) em 15 cultivares de banana, que proporcionaram relações polpa/casca de 1,18 a 2,26, dentre esses, sete estavam abaixo ao encontrado em nossa pesquisa para a cv. BRS SCS Belluna.

O teor médio encontrado para a massa de matéria seca da casca foi de 13,0%. As cascas desidratadas apresentam maiores teores de fibras, minerais, proteínas e lipídios em relação a matéria seca da polpa. O teor de umidade em casca de banana verde *in natura* é superior ao de polpa, e pode chegar próximo a 90% (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023), o que reflete em menores teores de massa seca (Tabela 10). Aquino *et al*. (2017) encontraram valores de massa de matéria seca de casca que variaram de 10,37% a 16,75% (12,85% média geral) em 15 cultivares de banana e Aquino *et al*. (2014) encontraram teores de 11,81% a 14,75% em cinco cultivares triploides AAA.

A espessura da casca encontrada foi de 3,1 mm, média geral do experimento. Aquino *et al*. (2017) encontraram valores que variaram de 3,14 mm a 5,38 mm para espessura de casca em 15 cultivares de banana e plátanos.

O teor de cinzas não foi influenciado por nenhum dos fatores (Tabelas 11 e 14). O teor médio de cinzas encontrado neste trabalho foi de 2,80 g $100g^{-1}$ (base úmida do material desidratado, convertido para comparação), um pouco mais baixo que o encontrado por Reis *et al*. (2019), 3,34 g $100g^{-1}$ para a banana cv. BRS SCS Belluna. (base úmida de polpa desidratada). Esses mesmos pesquisadores mostraram que, dentre 20 cultivares de bananas de sobremesa e plátanos, a banana BRS SCS Belluna, juntamente com outra cultivar triploide AAA, apresentou o maior teor de cinzas. Na revisão de Cândido, Leonel e Marzullo (2023) a mediana dos teores de cinzas em triploides AAA foi de 3,05 g $100g^{-1}$ (base úmida do material desidratado).

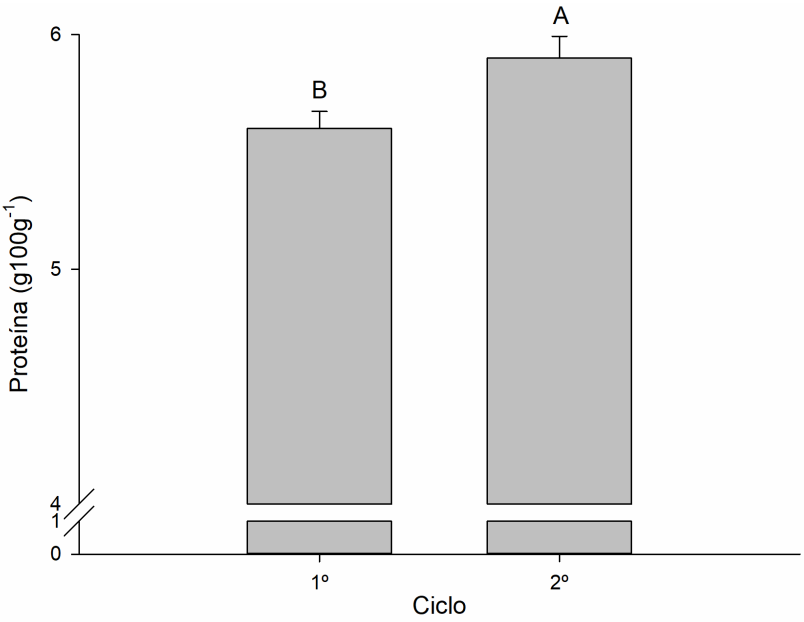
Tabela 11 - Aspectos nutricionais e características do amido em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção

Adubação	Cinzas		Proteínas		Amido		Amido Resistente		Amilose	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	3,14	3,02	5,7	5,8	77,9	77,4	61,9	56,7	22,0	19,2
50%	2,97	3,08	5,6	5,6	71,3	79,5	59,4	59,5	20,4	20,0
75%	3,06	3,01	5,4	6,0	83,1	82,7	64,0	65,7	21,4	20,6
100% (R)	3,21	3,07	5,8	5,8	81,9	88,7	67,7	60,0	23,0	20,2
125%	3,02	2,99	5,6	6,0	73,8	78,8	62,7	64,6	21,9	19,9
150%	2,93	3,07	5,5	5,9	81,3	78,5	70,1	69,0	21,8	21,0
CV%	2,6		3,6		6,4		5,6		4,2	

R: Adubação de referência.

O teor de proteína foi influenciado somente em função do ciclo (Apêndice A), que apresentou teor médio maior no segundo ciclo (5,9 g $100g^{-1}$) que no primeiro (5,6 g $100g^{-1}$) (Figura 22). A adubação e a interação não influenciaram o teor de proteína (Apêndice A). O teor médio de proteína encontrado, 5,27 g $100g^{-1}$ (base úmida do material desidratado, convertido para comparação; Tabela 6), ficou um pouco acima do encontrado por Reis *et al*. (2019) em banana BRS SCS Belluna, 4,2 g $100g^{-1}$ (base úmida de farinha de banana verde). Além disso, conforme esses autores, a banana BRS SCS Belluna, junto com uma outra cultivar AAA, Grande Naine, se destacou com a maior média de proteína em um grupo de 20 cultivares de bananas e plátanos.

FIGURA 22 – Proteína em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção



Letras diferentes nas barras dos ciclos diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias.

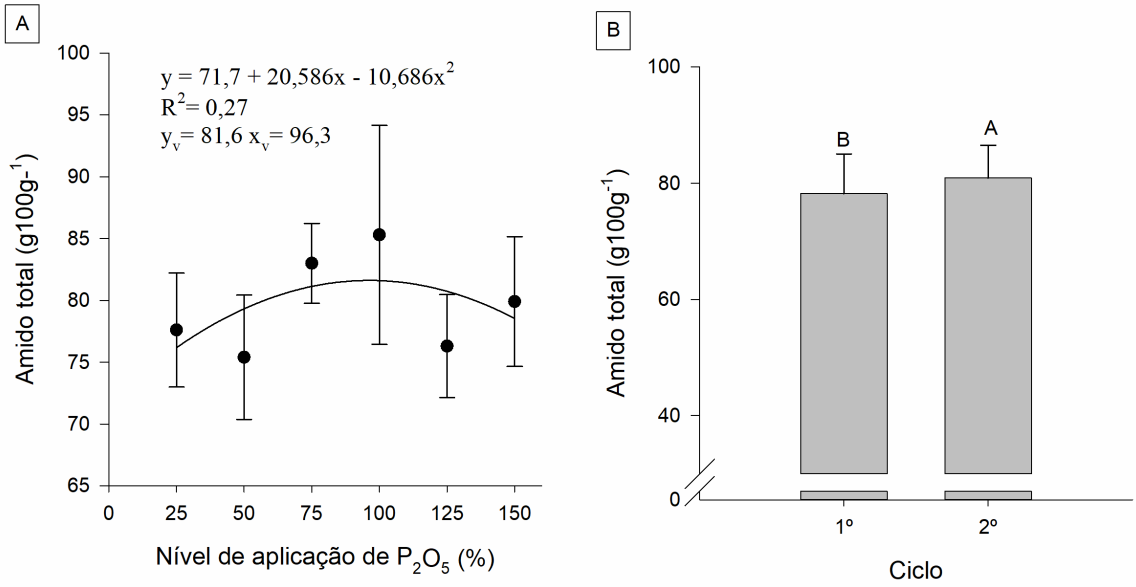
A determinação do teor de amido total, amido resistente e amilose, são de interesse para a exploração comercial do amido extraído de banana verde. O amido total está relacionado com o rendimento no processo de extração, o amido resistente confere ao alimento a propriedade dietética funcional, enquanto a amilose está relacionada com as propriedades do amido e seu emprego, como gelatinização e capacidade de formar filmes comestíveis (Miah *et al*., 2023; Sapei, 2023; Yang *et al*., 2022).

O teor de amido total variou isoladamente conforme à adubação e ciclo (Apêndice A). A resposta a adubação foi quadrática e promoveu ganho de até 7,1% no teor de amido, com maior teor (81,6 g $100g^{-1}$) em 91,3% de aplicação de P_2O_5 (Figura 23A). O teor médio de amido total em polpa de banana cv. BRS SCS Belluna encontrado por outros pesquisadores foi de 74,6 g $100g^{-1}$ (base seca do material desidratado) (Reis *et al*., 2019).

Na biossíntese do amido, o fósforo atua seja como componente estrutural da adenosina trifosfato (ATP) que será consumida no processo, ou como componente do substrato ADP glicose, o qual será utilizado por todas amido sintetases (SS) (Apriyanto et al., 2022; National Center for Biotechnology Information, 2023). Sob baixas concentrações de Pi (fósforo inorgânico) nos cloroplastos, menor que 1,0 mM, a fotossíntese é praticamente inibida, o que diminui a disponibilidade de glicose. Além disso, a deficiência de fósforo também pode impedir a redistribuição do amido a partir das folhas devido à falta de ATP para realização do cotransporte. Por outro lado, sob alto teor de Pi no estroma, acima de 5 mM, a síntese de amido pode ser inibida por meio de dois mecanismos. Primeiro, diminuição da atividade da enzima ADP-glicose pirofosforilase, chave na síntese do amido, que é estimulada por triosefosfatos e inibida por Pi. Segundo, pela liberação de triosefosfatos presentes no estroma, o qual é regulado pela entrada de Pi. Assim, altas concentrações de Pi no citoplasma forçam a troca com triosefosfatos, que além de ativadores, servem como substratos para a síntese do amido (Hawkesford *et al*., 2012).

Os ciclos também influenciaram no teor médio de amido, de modo que, o segundo ciclo apresentou teor maior (80,9 g $100g^{-1}$) que o primeiro (78,2 g $100g^{-1}$) (Figura 23B). Resultado semelhante foi encontrado em uma pesquisa que avaliou o efeito da adubação fosfatada em bananeira cv. FHIA 18, onde os pesquisadores encontraram que o teor de amido total foi influenciado pelo ciclo, o qual foi maior no segundo e terceiro ciclo em relação ao primeiro (Bolfarini *et al*., 2020c). Não existiu interação significativa entre doses e ciclos (Apêndice A).

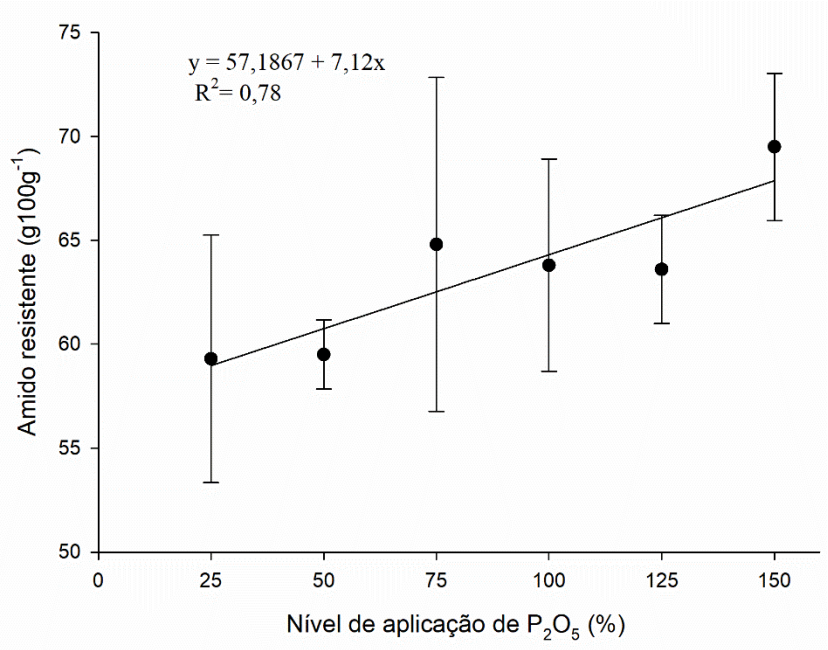
FIGURA 23 – Amido total em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados



Amido total em função do nível de aplicação de P_2O_5 (23A) e amido total em função do ciclo (23B). Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal (23A). Letras diferentes nas barras dos ciclos diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (23B). As barras representam os desvios-padrões das médias.

As doses interferiram no teor de amido resistente (Apêndice A) de modo linear, o qual promoveu um aumento de 15,1% (Figura 24). Além disso, o teor de amido resistente apresentou uma correlação positiva com o teor de fósforo foliar (0,294 p = 0,023). Os ciclos e a interação entre doses e ciclos não interferiram nas médias (Apêndice A). Os teores de amido resistente (Tabela 11) ficaram acima do encontrado em banana BRS SCS Belluna por Reis *et al*. (2019), que foi de 59,1 g $100g^{-1}$ (base seca do material desidratado). Diferentemente do encontrado nesta pesquisa, crescimento linear conforme aplicação de maiores doses, Leonel, M. *et al*. (2020) encontraram resposta quadrática para o efeito da adubação fosfatada sobre o teor de amido resistente em quatro cultivares de bananeira.

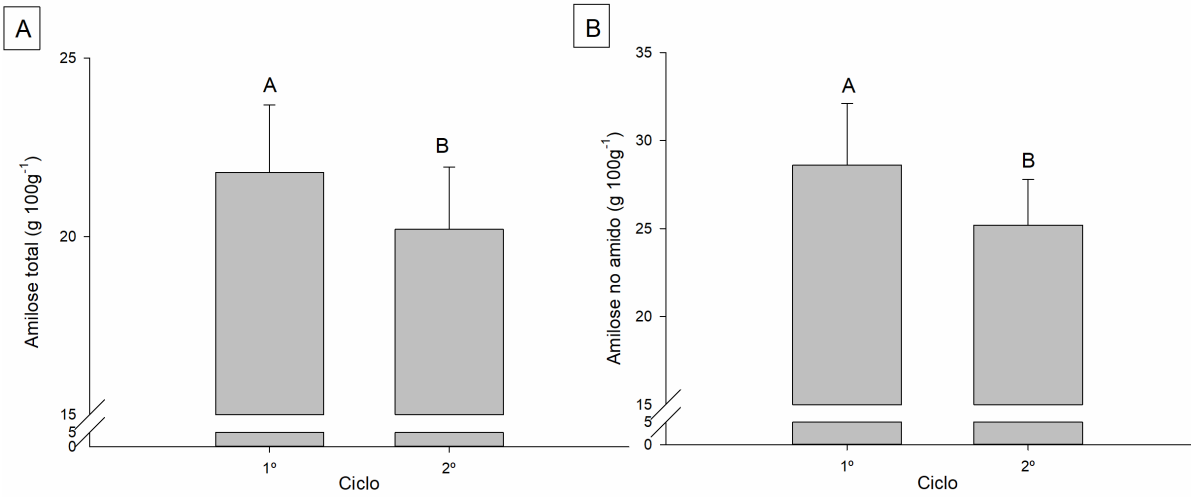
FIGURA 24 – Amido resistente em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5



As barras representam os desvios-padrões das médias.

Os teores de amilose total na amostra e amilose no amido foram influenciados pelos ciclos, na qual o primeiro ciclo apresentou médias maiores (21,8 g $100g^{-1}$ e 28,6 g $100g^{-1}$) que o segundo (20,2 g $100g^{-1}$ e 25,2 g $100g^{-1}$) para amilose total e amilose no amido respectivamente (Figura 25). A dose e a interação não alteraram o teor médio de amilose (Apêndice A). Apesar de não ser sido influenciado pela dose, o teor de amilose no amido apresentou correlações positivas com o teor de fósforo foliar (0,298 p = 0,021) e com o fósforo presente na polpa (0,370 p = 0,004). Yang *et al*. (2012) encontram teores de amilose em amido que variaram de 29,9 g $100g^{-1}$ a 39,5 g $100g^{-1}$ em cinco cultivares de bananas verdes. Miah *et al*. (2023) encontraram teores de 23,9% e 28,3% de amilose em amido extraído de duas cultivares de banana. Conforme os resultados das pesquisas de Miah *et al*. (2023) e Yang et al. (2012), o teor de amilose, dentre outros fatores, pode variar conforme as cultivares de banana, assim, é interessante a publicação de mais pesquisas com a cultivar BRS SCS Belluna para corroborar os resultados (Tabela 11), visto a importância dessa molécula para as propriedades do amido.

Figura 25 – Amilose em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do ciclo de produção



Amilose total (25A) e amilose no amido (25B). Letras diferentes nas barras do ciclo diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$) (25B). As barras representam os desvios-padrões das médias.

O amido corresponde normalmente por cerca de 70% a 80% da massa da polpa de banana verde desidratada, podendo chegar a 90% (Bi *et al*., 2017; Reis *et al*., 2019). É formado pelas moléculas de amilose e amilopectina, a qual, essa última, apresenta maior massa molecular (Robyt, 2008). Assim, a redução no teor de amilose no segundo ciclo, significa um maior teor de amilopectina, o qual corrobora o aumento no teor (g g^{-1}) de amido total (Tabela 11). A correlação negativa entre o teor de amilose no amido e o teor de amido total (-0,647; $p < 0,000$; dados da pesquisa) reforçam esta hipótese.

Todos os minerais foram influenciados pelos fatores de variação (Apêndice A). Isso pode ter ocorrido devido às características da fonte utilizada, o termosfosfato, que além do fósforo, possui outros minerais e poder corretivo de acidez (Fageria e Santos, 2008; Keeping, 2017; Yoorin Fertilizantes, 2021). Os minerais presentes na fonte podem ser liberados na solução do solo e, assim, disponibilizados para absorção (Fageria e Santos, 2008), assim como, competir pelas cargas presentes nos coloides e deslocar outros minerais ali adsorvidos, o que pode facilitar a lixiviação, principalmente em solos arenosos (Malavolta, 2006). Assim, a disposição do adubo nessa região pode potencializar essas relações e, dessa forma, promover variações na absorção e transporte de minerais, conforme apresentado por outros trabalhos que utilizaram termofosfato em gramíneas, como o

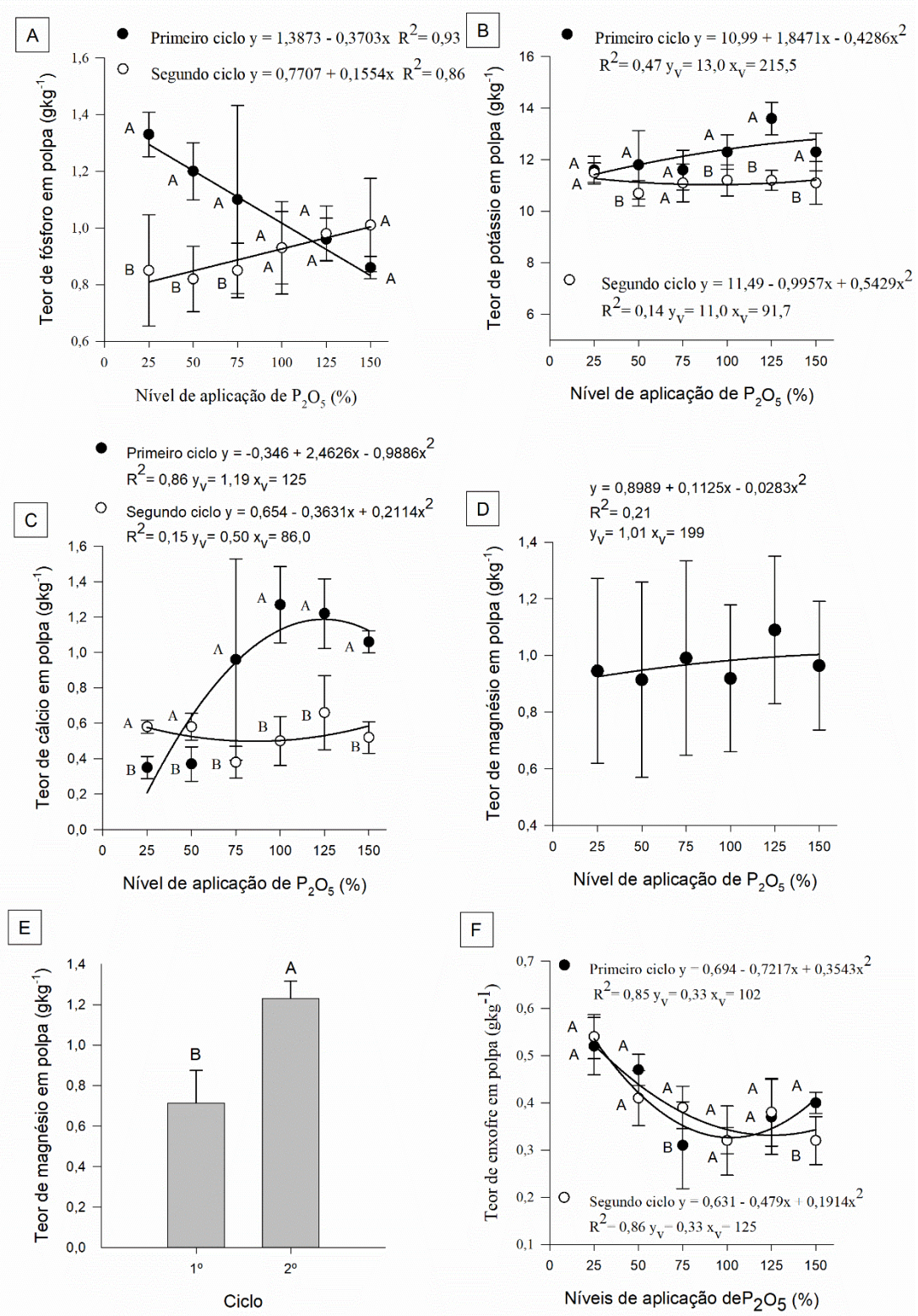
de Caires *et al*. (2017) em parte aérea de aveia preta, e Fageria e Santos (2008) em parte aérea e grãos de arroz.

Sabe-se que a absorção de cátions e ânions altera o pH da rizosfera. Devido à alta absorção de cátions, principalmente de K^+ e NH_4^+ pelas raízes da bananeira, o pH dessa região tende a se acidificar, o que altera a disponibilidade e absorção dos minerais. Além disso, em pH abaixo de ~5,5, o teor de Al^{3+} no solo tende a aumentar (Rufyikiri et al., 2004), o qual apresenta antagonismo com os minerais catiônicos e compromete a absorção de água, que por meio do fluxo de massa, é a principal responsável pelo transporte desses nutrientes no xilema (Rufyikiri *et al*., 2001). Outras pesquisas, mostraram essa eficiência do termofosfato em reduzir os teores de Al^{3+} na CTC (Fageria e Santos, 2008; Keeping, 2017).

Além disso, a maior parte dos minerais é absorvida pelas raízes contra um gradiente de concentração, absorção ativa, o qual utiliza energia na forma de ATP para realizar a troca do mineral por um H^+ (Malavolta, 2006; White, 2012) assim, os níveis de aplicação de P_2O_5 podem interferir na disponibilidade de ATP, visto que após a absorção, juntamente com a UTP (trifosfato de uridina), é a molécula que mais rapidamente incorpora o fósforo (Malavolta, 2006).

O segundo ciclo apresentou menor teor em polpa para a maioria dos minerais (P, K, Ca, B, Fe, Mn e Z) na polpa. Conforme explicado anteriormente, no segundo ciclo ocorreu menor emissão de cachos no período de maiores temperaturas e precipitação, e maior emissão no período de baixas temperatura e precipitação, o que provavelmente prejudicou a massa e o comprimento dos frutos (Tabela 9). Assim, além da menor disponibilidade de água no solo, a qual compromete o fluxo de massa, há também a influência da temperatura sobre essa, a qual altera sua viscosidade e, consequentemente, o fluxo difusivo dos nutrientes. Em bananeiras, um exemplo muito conhecido é a deficiência de zinco em épocas frias, que é facilmente observável devido ao sintoma de aprisionamento do cacho ‘encoqueiramento’ ou embuchamento (Donato *et al*., 2016). Além da temperatura e da oferta de água, a menor incidência de luz nesse período reduz a fotossíntese e, assim, o transporte de minerais para os frutos, como pode ser visto no trabalho de Costa *et al*. (2019), onde as amostras foliares de bananeiras Grande Naine e Prata apresentaram, de maneira geral, maiores teores de minerais nas amostragens coletadas no inverno.

Figura 26 – Macrominerais em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados



Teores de fósforo (26A), potássio (26B), cálcio (26C), magnésio em função do nível de aplicação de P_2O_5 (26D), magnésio em função do ciclo (26E) e enxofre (26F). Letras diferentes no mesmo nível de aplicação de P_2O_5 ou nas barras dos ciclos, diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

Nas observações de campo foi possível perceber um grande número de folhas mortas após a passagem de uma frente fria, o que pode ter comprometido a redistribuição de minerais de maior mobilidade para os frutos. As correlações positivas entre o número de folhas fotossinteticamente ativas (FFC) na colheita com a massa do fruto (Tabela 7) e com o acúmulo de matéria seca no fruto (0,410; *p* =0,001) reforçam essa hipótese. Além disso, o efeito pode ter sido ainda maior, pois após a emissão dos cachos a bananeira não emite mais folhas (Donato *et al*., 2016; 2021). Isso pode ter contribuído para os menores teores de fósforo no segundo ciclo (Figura 26A) principalmente devido à sua baixa restituição pelo resto cultural. Apesar de apresentar absorção total e marcha de absorção parecidas com a do fósforo, o magnésio é restituído ao solo em maior percentual. Além disso, enquanto o fósforo se concentra em folhas e frutos, o magnésio tem no rizoma uma grande reserva (Borges *et al*., 2016), a qual pode ter contribuído para ter aumentado seu teor no segundo ciclo (Figura 26E).

O teor de fósforo em polpa de banana verde foi influenciado pelo ciclo e pela interação (Apêndice A). O efeito das doses foi linear em ambos os ciclos, porém com respostas contrárias. No primeiro ciclo a aplicação promoveu uma redução de 35,6% no teor de fósforo, enquanto que no segundo ciclo a dosagem promoveu ganhos de até 24,1%. A aplicação sucessiva de menores doses (até 75%) contribuiu com menores teores do mineral no segundo ciclo (Figura 26A). Isso pode ter ocorrido em função de um esgotamento no solo devido à exportação pela cultura, e seu efeito potencializado pela época de emissão desses cachos. Conforme apresentado por outros trabalhos, o fósforo é, em média, o macronutriente menos absorvido pelas bananeiras, porém aquele mais exportado pelos cachos (Borges *et al*., 2016). O primeiro ciclo apresentou teor de fósforo (1,1 g kg^{-1}) maior que o segundo (0,91 g kg^{-1}). Os teores médios de cada ciclo ficaram próximos aos apresentados por Bolfarini *et al*. (2020c), que ao estudarem os efeitos da adubação fosfatada em banana cv. FHIA 18 em três ciclos de avaliações encontraram teores de 0,88 g kg^{-1} (1º ciclo), 0,98 g kg^{-1} (2º ciclo) e 0,99 g kg^{-1} (3º ciclo). Porém, para esses autores, a média encontrada para o primeiro ciclo foi menor que a dos demais.

O teor de potássio foi influenciado pela dose, ciclo e interação (Apêndice A). No geral, o teor de potássio foi maior no primeiro ciclo (Tabela 12, Figura 26B). O nível de aplicação de P_2O_5 influenciou os teores de potássio, principalmente no primeiro ciclo, com aumento de 12,9%, e menor variação no segundo, com redução

de 2,5% (Figura 26B). Dentre outras funções, o potássio está relacionado com o transporte de fotoassimilados para os frutos e devido ao antagonismo com outros cátions no solo, absorção, transporte e distribuição, é importante uma adubação equilibrada em nutrientes para manter os níveis exigidos pela cultura (Xie *et al*., 2021). Um artigo de revisão trouxe os seguintes teores de potássio em polpa de banana verde triploides AAA, 1,8 g kg^{-1}, 7,8 g kg^{-1}, 10,8 g kg^{-1}, 12,2 g kg^{-1}, 13,1 g kg^{-1}, 13,8 g kg^{-1} e 17,1 g kg^{-1} (base úmida de material desidratado) (Cândido, Leonel e Marzullo, 2023). Enquanto que Aquino *et al*. (2014) encontraram teores de 8,4 g kg^{-1} a 11,8 g kg^{-1} em massa seca de cinco cultivares triploides AAA. Nesta pesquisa o teor de potássio variou de 12,2 g kg^{-1} (1º ciclo) a 11,1 g kg^{-1} (2º ciclo).

Tabela 12 - **Macrominerais (g kg^{-1}) presentes em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção**

Adubação	P		K		Ca		Mg		S	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	1,33A	0,85B	11,6A	11,5A	0,35B	0,58A	0,64	1,25	0,52A	0,54A
50%	1,20A	0,82B	11,8A	10,7B	0,37B	0,58A	0,60	1,23	0,47A	0,41A
75%	1,10A	0,85B	11,6A	11,1A	0,96A	0,38B	0,73	1,25	0,31B	0,39A
100% (R)	0,93A	0,93A	12,3A	11,2B	1,27A	0,50B	0,69	1,15	0,32A	0,32A
125%	0,96A	0,98A	13,6A	11,2B	1,22A	0,66B	0,86	1,32	0,37A	0,38A
150%	0,86A	1,01A	12,3A	11,1B	1,06A	0,52B	0,76	1,17	0,40A	0,32B
CV%	7,6		3,1		14,0		7,2		7,8	

R: Adubação de referência. Letras diferentes na mesma linha para uma mesma variável diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$).

A interação dos fatores influenciou o teor de cálcio em polpa (Apêndice A). Os efeitos foram muito mais expressivos no primeiro ciclo, no qual a dosagem promoveu ganho de aproximadamente 475% na concentração do nutriente, que estimou um teor máximo de 1,19 g kg^{-1}, do que no segundo ciclo, com redução de 13,3%, com menor teor estimado em 0,50 g kg^{-1} (Figura 26C). Apesar dessa redução no segundo ciclo, o menor teor estimado (0,50 g kg^{-1}) encontra-se superior ao encontrado por Aquino *et al*. (2014), que em cinco cultivares triploides AAA, o maior valor foi de 0,28 g kg^{-1} (matéria seca).

O teor de magnésio foi influenciado isoladamente por dose e ciclo (Apêndice A). As doses promoveram um aumento de 8,7% no teor do mineral (Figura 26D). O segundo ciclo (1,23 g kg^{-1}) apresentou média maior que o primeiro (0,71 g kg^{-1}) (Figura 26E). Embora o magnésio seja incorporado ao solo junto com os corretivos

de acidez, Xie *et al*. (2021) demostraram que sintomas de deficiência podem ocorrer em solos arenosos (maior lixiviação), em solos ácidos e em decorrência da exportação da cultura. Em bananeiras, por exemplo, a acidez na região da rizosfera causada pelo processo de absorção de cátions e exsudação de H^+ pelas raízes, também pode prejudicar a absorção e disponibilidade do magnésio, pois pode aumentar o teor de Al^{3+} no solo, o qual compromete a absorção de água e, dessa forma, o fluxo de massa e, assim, reduzir a absorção do Mg^{2+}, principalmente em solos mais intemperizados ou com maior presença de quartzos (Rufyikiri *et al*., 2001, 2004). O teor de magnésio presente na fonte utilizada (termofosfato) e as características da fonte, podem ter ajudado a aumentar o teor do mineral em polpa de banana conforme a aplicação de maiores doses de adubação, e com maiores teores no segundo ciclo, pois uma maior quantidade do nutriente foi fornecida com as sequentes adubações, o que pode ter facilitado o contato com a raiz. Nas culturas de arroz e cedro, por exemplo, a aplicação de termofosfato promoveu ganhos nos teores de magnésio presentes na parte aérea (cedro e arroz) e grãos (arroz) (Fageria e Santos, 2008; Pereira *et al*., 2014). O teor de magnésio em polpa é um reflexo de sua absorção e distribuição, o que pode ser considerado um importante resultado, visto seu papel como ativador enzimático, sua importância nas sínteses de carboidratos, lipídeos e proteínas e, na nutrição de plantas, devido ao antagonismo com outros cátions, principalmente o K^+ e o NH_4^+ que são absorvidos em grandes quantidades pelas bananeiras (Rufyikiri *et al.*, 2004; Xie *et al*., 2021). Além disso, os teores encontrados (Tabela 12) ficaram no intervalo daqueles apresentados por Cândido, Leonel e Marzullo (2023), que apresentaram valores de 0,67 g kg^{-1}, 1,0 g kg^{-1}, 1,15 g kg^{-1}, 1,2 g kg^{-1} e 1,4 g kg^{-1} de magnésio em polpa de bananas triploides AAA e não muito distante dos encontrados por Aquino *et al*. (2014) em cinco cultivares triploides AAA, 0,9 g kg^{-1} a 1,0 g kg^{-1} (massa seca).

O teor de enxofre foi influenciado pela dose e pela interação (Apêndice A). O enxofre em polpa foi reduzido em 38,3% (1º ciclo) e 36,9% (2º ciclo) em decorrência da dosagem aplicada, com menores teores em 102% (1º ciclo) e 125% (2º ciclo) (Figura 26F). Devido à natureza de sua carga negativa, o enxofre é um nutriente de alta mobilidade nos solos e facilmente perdido por lixiviação, principalmente em solos arenosos, onde há baixa existência de cargas. Esse efeito pode ser potencializado pela aplicação de fósforo, pois o fosfato é adsorvido mais fortemente que o sulfato no complexo de troca aniônica, assim pode deslocá-lo desses sítios.

Além disso, essas cargas são dependentes do pH, e diminuem junto a diminuição da acidez (Malavolta, 2006). Como já citado anteriormente, a fonte utilizada tem potencial de correção de pH, assim, as dosagens mais elevadas podem ter reduzido o teor em polpa devido à competição por cargas no solo e a característica alcalina da fonte, efeito que pode ter sido mais eminente devido às características do solo da área experimental, que possui baixo teor de argila (12,1%) e alto teor de areia (84,3%). No entanto, apesar dessa redução, os teores de enxofre encontrados (Tabela 12) ficaram próximo ao encontrado em polpa de banana vermelha São Domingos (AAA) 0,54 g kg^{-1} (Cândido *et al*., 2021) e abaixo dos encontrados por Bolfarini *et al*. (2020a), 0,65 g kg^{-1} e 0,66 g kg^{-1}, para esses autores, por exemplo, o teor de enxofre em polpa não foi afetado pela aplicação de fósforo.

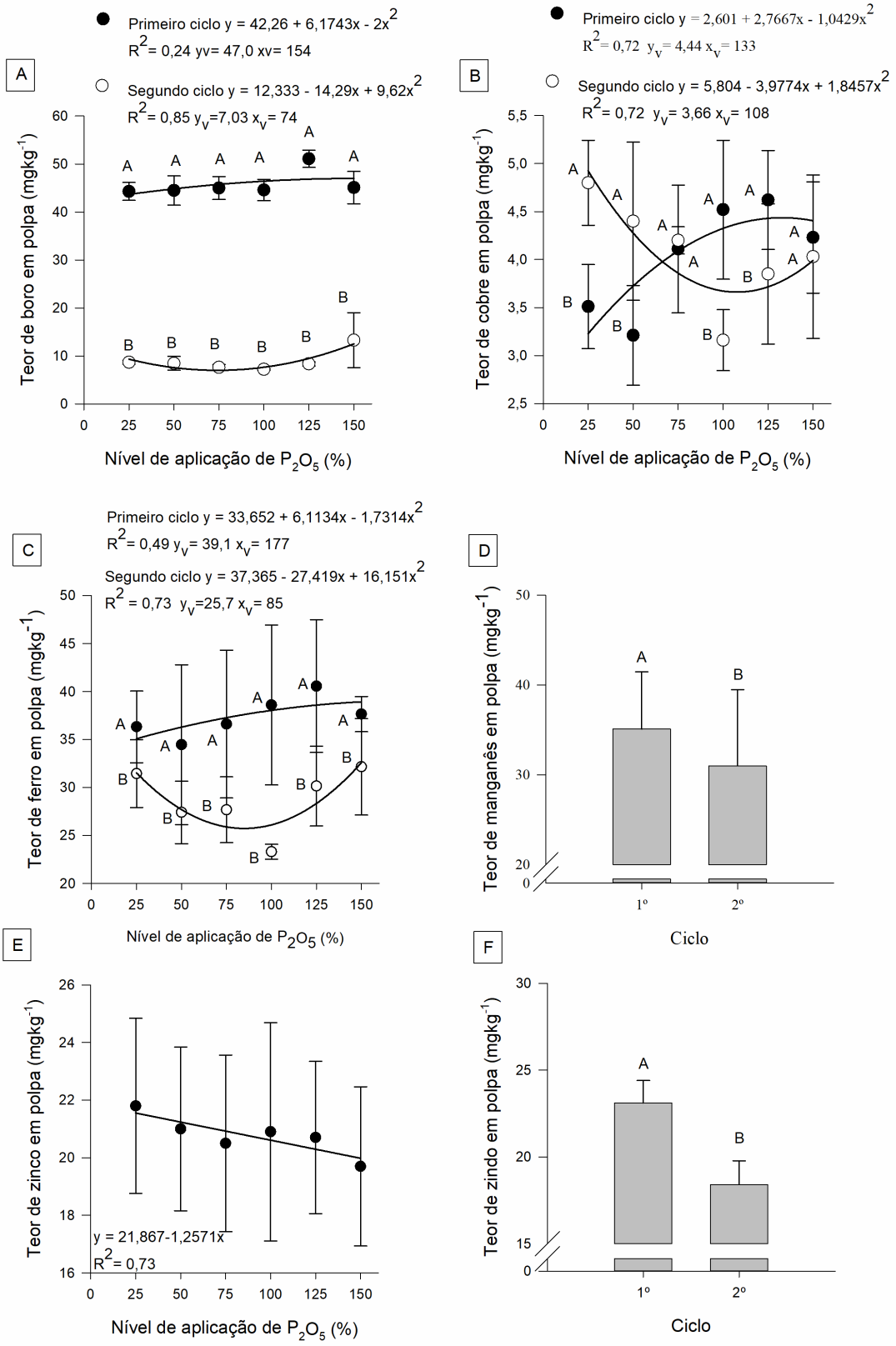
Boro, ferro, manganês e zinco apresentaram teores maiores no primeiro ciclo (Tabela 13). O boro foi influenciado pela dose, ciclo e interação (Apêndice A). As médias do primeiro ciclo (45,8 mg kg^{-1}) foram superiores às do segundo (8,9 mg kg^{-1}). As respostas para ambos os ciclos foram quadráticas, porém a regressão mostrou um efeito positivo da adubação de 7,5% sobre o teor do mineral no primeiro ciclo. Enquanto que no segundo ciclo a regressão apontou um efeito contrário, reduzindo o teor do nutriente em até 26,5% com a aplicação de até 74% do nível de P_2O_5 (Figura 27A). O teor médio do segundo ciclo (8,9 mg kg^{-1}) ficou próximo da média encontrada por Bolfarini *et al*. (2020a) em polpa de banana FHIA 18 AAAB, 10,73 mg kg^{-1}.

Tabela 13 - Microminerais (mg kg^{-1}) presentes em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função do nível de aplicação de P_2O_5 e ciclo de produção

Adubação	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
25%	44,3A	8,69B	3,51B	4,80A	36,3A	31,4B	33,9	35,4	24,0	19,6
50%	44,5A	8,48B	3,22B	4,40A	34,4A	27,4B	33,3	31,6	23,2	18,8
75%	45,0A	7,64B	4,12A	4,21A	36,6A	27,7B	35,2	30,0	22,9	18,0
100% (R)	44,6A	7,22B	4,52A	3,17B	38,6A	23,3B	37,0	28,1	23,8	18,0
125%	51,1A	8,36B	4,63A	3,85B	40,6A	30,1B	34,0	29,0	22,6	18,8
150%	45,1A	13,3B	4,24A	4,03A	37,6A	32,1B	37,0	32,0	22,0	17,5
CV%	5,8		7,6		10,3		13,7		5,0	

R: Adubação de referência. Letras diferentes na mesma linha para uma mesma variável diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Figura 27 – Microminerais em polpa de banana verde cv. BRS SCS Belluna em função dos fatores de variação testados



Teores de boro (27A), cobre (27B), ferro (27C), manganês (27D) e zinco em função do nível de aplicação de P_2O_5 (27E) e do ciclo (27F). Letras diferentes no mesmo nível de aplicação de P_2O_5 ou nas barras do ciclo, diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fisher ($p < 0,05$). As barras representam os desvios-padrões das médias; Yv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo vertical; Xv: coordenada do vértice da parábola em relação ao eixo horizontal.

O teor de cobre (Tabela 13) foi afetado pela interação, sem efeito isolado de dose e ciclo (Apêndice A). Os efeitos das doses nos dois ciclos foram quadráticos. Ao nível de 133% de substituição de P_2O_5, o teor de cobre em polpa aumentou em 37,5%, enquanto que no segundo ciclo a dosagem de 108% reduziu o teor do nutriente em até 25,8% (Figura 27B). Cândido, Leonel e Marzullo (2023) revisaram teores de cobre em cultivares triploides AAA de 3,0 mg kg^{-1} (Nanica), 4,0 mg kg^{-1} (São Domingos), 5,0 mg kg^{-1} (Williams), 13,0 mg kg^{-1} e 16,0 mg kg^{-1} (Cavendish) (base úmida de material desidratado). Enquanto que na caracterização de Aquino *et al*. (2014), os teores de cobre encontrados em massa de matéria seca em cinco cultivares triploides AAA (Nanica, Nanicão, Caipira, Caru-Roxa e Caru-Verde) foi de 3,41 mg kg^{-1} a 5,55 mg kg^{-1}.

O teor de ferro foi influenciado pela interação, dose e ciclo (Apêndice A), com respostas quadráticas à adubação. No primeiro ciclo, a adubação fosfatada promoveu aumento de 11,3% no teor de ferro em polpa, enquanto que no segundo ciclo, a aplicação de 85% de P_2O_5 apresentou o menor valor, e promoveu uma redução de 18,5% (Figura 27C). Os teores de ferro ficaram bem próximos ao encontrado em cinco cultivares triploides AAA (Nanica, Nanicão, Caipira, Caru-Roxa e Caru-Verde) avaliadas por Aquino *et al*. (2014), que foi de 30,77 mg kg^{-1} a 35,86 mg kg^{-1}.

O teor de manganês foi influenciado pelo ciclo, a adubação e a interação não interferiram no teor do mineral (Apêndice A). A média do primeiro ciclo (35,1 mg kg^{-1}) foi maior que a média do segundo (31,0 mg kg^{-1}) (Figura 27D). Os teores encontrados estão bem acima daqueles encontrados em cultivares triploides AAA (Nanica, Nanicão, Caipira, Caru-Roxa e Caru-Verde) por Aquino *et al*. (2014), 3,53 mg kg^{-1}, 5,48 mg kg^{-1}, 9,72 mg kg^{-1}, 12,30 mg kg^{-1} e 18,88 mg kg^{-1} e pela revisão de Cândido, Leonel e Marzullo (2023) que trouxe valores de 10,0 mg kg^{-1}, 5,0 mg kg^{-1}, 12,0 mg kg^{-1} e 15,0 mg kg^{-1} na polpa de bananas de cultiares triploides AAA.

O teor de zinco foi influenciado pelos efeitos isolados de dose e ciclo (Apêndice A). O teor de zinco em polpa reduziu linearmente conforme o aumento da aplicação de P_2O_5, a qual promoveu uma redução de 7,3% no intervalo avaliado (Figura 27E). O teor médio de zinco foi maior no primeiro ciclo (23,1 mg kg^{-1}) que no segundo (18,4 mg kg^{-1}) (Figura 27F). Os teores de zinco no solo permaneceram altos ao longo de todo o período de experimentação: 2,2 mg dm^{-3} (preparo do solo, 2019), 2,6 mg dm^{-3} (pré-adubação 2020/21), 3,7 mg dm^{-3} (pré-adubação 2021/22) e

3,9 mg dm^{-3} (pré-adubação 2022/23). Assim, a redução no teor de zinco conforme a dosagem deve ter ocorrido em função de algum enfeito antagônico com o fósforo (Malavolta, 2006), e os menores teores no segundo ciclo, provavelmente pelo período de emissão dos cachos, conforme explicado anteriormente. Porém, apesar da redução, o teor de zinco no segundo ciclo (Figura 27F) foi superior aqueles apresentados por cinco dos sete cultivares triploides AAA avaliados por outros pesquisadores em polpas de bananas, conforme apresenta a revisão de Cândido, Leonel e Marzullo (2023) que traz teores de 4,0 mg kg^{-1} a 21 mg kg^{-1} (base úmida de material desidratado) e, próximos daqueles encontrados em cultivares triploides AAA por Aquino *et al*. (2014), 20,73 mg kg^{-1} (Caipira), 22,96 mg kg^{-1} (Nanica), 23,20 mg kg^{-1} (Nanicão), 25,73 mg kg^{-1} (Caru-verde) e 30,05 mg kg^{-1} (Caru-roxa).

Dentre todas as regressões apresentadas, ou seja, variáveis afetadas pelo nível de aplicação de P_2O_5, a aplicação de fósforo promoveu ganhos (valores positivos) em 71,9% delas. Os valores de produção de cachos e frutos, por exemplo, podem chegar à 84,0% e 81,9% em relação a uma dose subestimada à 25% da aplicação de P_2O_5. Os efeitos negativos, sem exceção, se apresentaram nos teores de minerais em polpa. Além disso, quando existiu interação, 75% deles estiveram presentes no segundo ciclo, assim, devido à época de emissão e as condições ambientais, provavelmente se comportaram como fontes de variação não controladas (Apêndice A). Atualmente, o boletim de referência local, Boletim 100, traz dosagens muito superiores àquelas apresentadas em sua versão anterior para suas recomendações de aplicação de P_2O_5. Porém, diferentemente do anterior, leva em consideração o manejo e características do solo ou teor de nitrogênio foliar (Teixeira *et al*., 2022). Assim, é importante recordar que os nutrientes têm relações de sinergia e antagonismo entre si e, além das condições ambientais, o metabolismo da planta é regulado pelo seu equilíbrio nutricional (Borges *et al*., 2016; Malavolta, 2006). Assim, talvez, respostas mais altas poderiam ter sido obtidas com níveis de aplicação de P_2O_5 em dosagens superiores as apresentadas nesta pesquisa se outras fontes de variação tivessem sido controladas, como, por exemplo, meteorológicas e minerais.

5 CONCLUSÃO

A bananeira BRS SCS Belluna é responsiva à dosagem de fósforo para a maioria das variáveis analisadas, que em maior número promove resultados positivos sobre elas, principalmente para aquelas relacionadas com o vigor da planta, as quais têm uma grande influência sobre a produção de cachos e enchimento dos frutos;

Os melhores resultados obtidos para a maior parte das variáveis relacionadas com a biometria da planta e com a produção, são conseguidos por níveis de aplicação de P_2O_5 próximos à adubação de referência;

O nível de aplicação de 104% de P_2O_5 aumenta a produção de cachos e frutos em até 84% e 81,9% respectivamente;

Níveis de aplicação de P_2O_5 de 99,0% a 108,4%, promovem os melhores resultados para o acúmulo de fitomassa, número de folhas, altura e diâmetro do pseudocaule;

Níveis de aplicação de P_2O_5 de 101,0% e 110,0%, promovem os melhores resultados para a massa da penca e do fruto respectivamente;

Os teores de amido total e amido resistente são aumentados pela aplicação de P_2O_5;

A aplicação recorrente de baixa dosagem de P_2O_5 prejudica principalmente as produções de cachos e frutos, o comprimento do fruto e a disponibilidade de fósforo na polpa;

Os minerais encontrados em polpa estão compatíveis com aqueles publicados em outras pesquisas. O manganês é o único mineral que destoa dos valores encontrados por outros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

AHMAD, F.; MEGIA, R.; POERBA, Y. S. Genetic diversity of *Musa balbisiana* Colla in Indonesia based on AFLP marker. **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 21, n. 1, p. 39-47, mar., 2014.

Al-DAIRI, M.; PATHARE, P. B.; Al-MAHDOURI, A. The contribution of impact damage to the quality changes of stored banana fruit. **Biol. Life Sci. Forum**, v. 16, n. 1, 31, abr., 2022.

Al-DAIRI, M.; PATHARE, P. B.; Al-YAHYAI, R.; JAYASURIYA, H.; Al- ATTABI, Z. Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 134, p. 177-191, abr., 2023.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Sci. Technol**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 215-236, abr.-jun., 2015.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of analysis, methods**. 11. ed. St Paul: AACC.

AMORIM, E. P.; BORGES, C. V..; AMORIM, V. B. O.; MARASCHIN, M.; LEDO, C. A. S. Biofortificação – resultados, perspectivas e avanços. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA e SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Embrapa, Brasília, DF: Embrapa, 2016a.

AMORIM, E. P. et al. **BRS SCS Belluna** – Cultivar de bananeira para consumo *in natura* e processamento, indicada para Santa Catarina. Cruz das Almas-BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016b. (Folders).

AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, V. B. O.; OLIVEIRA e SILVA, S. Melhoramento genético. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA e SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016c.

APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer – structure, metabolism and in planta modifications. **Plant Science**, v. 318, 111223, mai., 2022.

AQUINO, C. F.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RIBEIRO, S. M. R. Physical, chemical and morphological characteristics of banana cultivars depending on maturation stages. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 1, p. 87-96, jan.-mar., 2017.

AQUINO, C. F.; SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R.; RIBEIRO, S. M. R. Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 546-553, jul., 2014.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação agronômica & AgroEstat**: Sistemas para analises estatísticas e ensaios agronômicos. Jaboticabal-SP: Gráfica Multipress Ltda., 2015.

BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0.

BELACÁZAR, S. C.; ROSALES, F. E.; POCASANGRE, L. E. Development and formation of plantain roots (*Musa* AAB Simmonds). *In*: BANANA ROOT SYSTEM: towards a better understanding for its productive management, 1., 2003, San José, Costa Rica. **Anais** […] Montpellier, France: International Network for the Improvement of Banana and Plantain, 2005, p. 75-82.

BI, Y.; ZHANG, Y.; JIANG, H.; HONG, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; LI, Z.; LI, C. (2017). Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids**, 72, p. 219-227, nov., 2017.

BOLFARINI, A. C. B.; LEONEL, S.; LEONEL M.; TECCHIO, M. A.; SILVA, M. S.; SOUZA, J. M. Growth, yield and fruit quality of 'Maçã' banana under different rates of phosphorus fertilization, **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 9, p. 1368-1374, 2016.

BOLFARINI, A. C. B.; PUTTI, F. F.; SOUZA, J. M. A.; SILVA, M. S.; FERREIRA, R. B.; LEONEL M.; LEONEL, S. Yield and nutritional evaluation of the banana hybrid 'FHIA-18' as influenced by phosphate fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 9, p.1331-1342, fev., 2020a.

BOLFARINI, A. C. B.; PUTTI, F. F.; SOUZA, J. M. A.; SILVA, M. S.; FERREIRA, R. B.; LEONEL M.; TECCHIO, M. A.; LEONEL, S. Application of phosphate fertilization on banana hybrid 'FHIA 18'and its impact on production performance. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 5, p. 744-750, 2020b.

BOLFARINI, A. C. B.; SOUZA, J. M. A.; PUTTI, F. F.; SILVA, M. S.; FERREIRA, R. B.; LEONEL M.; TECCHIO, M. A.; LEONEL, S. Physicochemical characteristics of unripe and ripe banana 'FHIA 18' submitted to phosphorus fertilizer over three production cycles. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 33-38, jan.-fev., 2020c.

BORGES, A. L.; SILVA, J. T. A.; OLIVEIRA, A. M. G.; D'OLIVEIRA, P. S. Nutrição e adubação. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA E SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

BOSCHIERO, B. N. Fosfato (P_2O_5): quanto tempo durará as reservas minerais de rocha fosfática?. **Agroadvance**, 12 mai. 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-fosfato-p2o5-reservas-rocha-fosfatica/#:~:text=O%20f%C3%B3sforo%20%C3%A9%20um%20dos,O5%20(Figura%201).>. Acesso em 18 jan. 2024.

BRASIL, E. C.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; SCIVITTARO, W. B. Phosphate fertilizers with varying water-solubilities applied to amazonian soils: i. agronomic efficiency of P sources. In: ASSESSMENT OF SOIL PHOSPHORUS STATUS AND MANAGEMENT OF PHOSPHATIC FERTILISERS TO OPTIMISE CROP PRODUCTION. 2002. Viena, Áustria. **Anais...** Viena, Áustria: Soil and Water & Crop Nutrition Management Section International Atomic Energy Agency Wagramer Strasse 5., 2002.

BÜLL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agronômica. **Bragantia**, v. 56, n. 1, 1997.

CABRINI, S.; COLUSSI, J.; SCHNITKEY, G. Third Consecutive La Niña? What to Expect from Soybean Yields in the United States, Brazil and Argentina. **Farmdoc daily**, v. 12, n. 75, mai., 2022. Disponível em: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2022/05/third-consecutive-la-nina-what-to-expect-from-soybean-yields-in-the-united-states-brazil-and-argentina.html>. Acesso em 09 out. 2023.

CAI, H.; XIE, W.; LIAN, X. Comparative analysis of differentially expressed genes in rice under nitrogen and phosphorus starvation stress conditions. **Plant Molecular Biology**, v. 31, p. 160-173, 2013.

CAIRES, E. F.; SHARR, D. A.; JORIS, H. A. W.; HALISK, A.; BINI, A. R. Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. **Geoderma**, v. 308, p. 120-129, dez., 2017.

CÂNDIDO, H. T. Farinha de banana verde: perguntas e respostas. **Toda Fruta**, Jaboticabal, set., 2022. Disponível em: < https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2022/09/Farinha-de-banana-verde-Toda-Fruta-ARTIGO.pdf>. Acesso em: 19 out., 2023.

CÂNDIDO, H. T.; MARZULLO, Y. O. T.; LEONEL, M. Green banana flour technology: from raw material to sensory acceptance of products made with green banana flour in the brazilian scenario. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 66, e23210543, 2023.

CÂNDIDO, H. T.; MOLHA, N. Z.; EBURNEO, J. A. M.; LEONEL, M. Minerais e amido resistente em farinhas de banana vermelha ‘São Domingos’ triploide (AAA). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e1810413860, mar., 2021.

CARVAJAL-GARCÍA, M.; ZULUAGA-ARANGO, P.; OCAMPO-LÓPEZ, O. L.; DUQUE-GÓMEZ, D. Las exportaciones de plátano como una estrategia de desarrollo rural en Colombia. **Apuntes del Cenes**, v. 38, n. 68, p. 113-148, jul.-dez., 2019.

CERQUEIRA, R. C.; OLIVEIRA SILVA S.; MEDINA, V. M. Características pós-colheita de frutos de genótipos de bananeira (*Musa* spp.). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-657, dez., 2002.

CORDEIRO, Z. J. M.; SOUZA, J. S.; RODRIGUES, M. G. V. A cultura. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. (ed.). **Banana**: do plantio a colheita. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021

COSTA, L. G. A. F.; ROZANE, D. E.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, C. T.; PAVARIN, L. G. F.; SILVA, S. H. M. G. Seasonality in nutrient content of banana diagnostic leaf. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 41, n. 4, e-151, 2019.

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

DELVAUX, B.; RUFYIKIRI, G.; DUFEY, J. Ion absorption and proton extrusion by banana roots. *In*: BANANA ROOT SYSTEM: towards a better understanding for its productive management, 1., 2003, San José, Costa Rica. **Anais** […] Montpellier, France: International Network for the Improvement of Banana and Plantain, 2005, p. 114-121.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL E SOCIOECONOMIA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS (UNESP) DE BOTUCATU - São Paulo – Brasil. Disponível em: <http://estacaolageado.fca.unesp.br/>. Acesso em 09 out., 2023.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. B, p. 282-293, dez., 2015

DONATO, S. L. R.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; SÔNEGO, M.; MARQUES, P. R. R; SANTOS, M. R.; ARANTES, A. M.; LICHTEMBERG, L. A. Aspectos da Ecofisiologia, fenologia e produção. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. (ed.). **Banana**: do plantio a colheita. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021.

DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; MARQUES, P. R. R.; ARANTES, A. M. Considerações ecológicas, fisiológicas e de manejo. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA E SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

DHUTRAJ, S. V.; DESHMUKH, R. V.; DAMODHAR, V. P.; WAGHMARE, G. M. Effect of different levels of phosphorus on growth and yield of banana cv. Grand Naine. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, v. 6, e. especial, p. 105-108, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Tradução: NUNES, M. E. T. Londrina: Editora Planta, 2006.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Lowland rice response to thermophosphate fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8, n. 5-6, p. 873-889, fev., 2008.

FALCOMER, A. L.; RIQUETTE, R. F. R.; LIMA, B. R.; GINANI, V. C.; ZANDONADI, R. P. Health benefits of green banana consumption: a systematic review. **Nutrients**, v. 11, n. 6, 1222, mai., 2019.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Faostat. Roma: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Acesso em: 19 out. 2023.

FREITAS, S. M.; SAMPAIO, R. M.; OLIVEIRA, M. D. M.; NACHILUK, K.; ZEFERINO, M. Impactos das adversidades climáticas sobre o comércio exterior brasileiro de produtos selecionados. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 8, p. 1-15, set., 2021.

GASCHO, G. J. Chapter 12 Silicon sources for agriculture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER (ed.). **Studies in Plant Science** [online]. Amsterdã: Elsevier, 2001, pp.197-207. ISBN: 978-0-444-50262-9.

GAUGGEL, C. A.; MORAN, D.; GURDIAN, E. Interrelations between the soil chemical properties and the banana plant root system. *In*: BANANA ROOT SYSTEM: towards a better understanding for its productive management, 1., 2003, San José, Costa Rica. **Anais** […] Montpellier, France: International Network for the Improvement of Banana and Plantain, 2005, p. 132-141.

GERUM, A. F. A. A.; SANTANA, M. A.; ROCHA, S. L. Impactos da Covid-19 na bananicultura brasileira. **Documentos Embrapa Mandioca e Fruticultura**, Cruz das Almas, n. 244, p. 1-31, 2020.

GODOY, R. C. B.; POIANI, L. M.; VIANA, E. S.; ORTIZ, A. D.; MACCARI JUNIOR, A.; WASZCZYNSKJ, N. Processamento e utilização. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA E SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

GÖLTENBOTH, F.; LANGENBERGER, G.; WIDMANN, P. Tropical lowland evergreen rainforest. In: GÖLTENBOTH, F.; MILAN, P. P.; TIMOTIUS, K. H.; MARGRAF, J. (ed.). **Ecology of Insular Southeast Asia**: The Indonesian Archipelago. Elsevier Science, p. 297 – 383, 2006.

GOMES, M. S.; CAVALCANTI, I. F. A.; MULLER, G. V. 2019/2020 drought impacts on South America and atmospheric and oceanic influences. **Weather and Climate Extremes**, v. 34, 100404, dez., 2021.

GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 445–449, ago., 1996.

GOOGLE, INC. **Google Shopping**. 2023. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=amido+de+banana&sca_esv=576780426&tbm=shop&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwjVhq2v9pOCAxVlNTUKHRrDCvgQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1366&bih=607&dpr=1>. Acesso em: 26 out., 2023.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, n. 95, set. 2001.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed). **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Nova Iorque: Academic Press, 2012.

HESLOP-HARRISON, J. S.; SCHWARZACHER, T. Domestication, genomics and the future for banana. **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 1073-1084, out., 2007.

HOFFMANN, R. B.; OLIVEIRA, F. H. T. de; SOUZA, A. P. de; GHEYI, H. R.; SOUZA JUNIOR, R. F. de. Acúmulo de matéria seca e de macronutrients em cultivares de bananeira irrigada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 268-275, mar. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

ISHANGULYYEV, R.; KIM, S.; LEE, S. H. Understanding Food Loss and Waste-Why Are We Losing and Wasting Food?. **Foods**, v. 8, n. 8, 297, jul., 2019.

ISO. International Organization for Standardization. **Norme internationale**: Rizdétermination de la teneur em amylose. S. l., 1987. 5 p. ISO 66470.

KEEPING, M. G. Uptake of silicon by sugarcane from applied sources may not reflect plant-available soil silicon and total silicon content of sources. **Front. Plant Sci.**, v. 8, mai., 2017.

LEONEL, M.; BOLFARINI, A. C. B.; SILVA, M. J. R.; SOUZA, J. M. A.; LEONEL, S. Banana fruits with high content of resistant starch: effect of genotypes and phosphorus fertilization. **International Journal ou Biological Macromolecules**, v. 150, p. 1020-1026, mai., 2020a.

LEONEL, M.; FERNANDES, D. S.; SANTOS, T. P. R. Unmodified cassava starches with high phosphorus content. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 187, p. 113-118, set., 2021.

LEONEL, S.; BOLFARINI, A. C. B.; SOUZA, J. M. A.; LEONEL, M.; FERREIRA, R. B.; PUTTI, F. F.; TECCHIO, M. A. Agronomic performance of banana ‘FHIA 18’ in response to phosphate fertilization. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 2033-2046, mai.-jul., 2020b.

LI, L. F.; GE, X. J. Origin and domestication of cultivated banana. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 12, p. 1-2, fev., 2017.

LICHTEMBERG, L. A.; ALVES, E. J.; VILAS BOAS, E. V. B.; PEREIRA, M. E. C. Colheita, manuseio pós-colheita e conservação dos frutos. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA E SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

LICHTEMBERG, L. A.; AMORIM, E. P.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, M. G. V. Cultivares. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. (ed.). **Banana**: do plantio a colheita. Belo Horizonte: EPAMIG, 2021

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

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

MASSARI MINERAÇÃO PARTICIPAÇÕES LTDA. **O cenário de fertilizantes no Brasil e no mundo**. Disponível em: <https://www.massari.ind.br/o-cenario-de-fertilizantes-no-brasil-e-no-mundo/>. Acesso em: 18 jan. 2024.

McCUNE, D. L. **Fertilizers for tropical and subtropical agriculture**. (Twelfth Francis new memorial lecture). Muscle Shoals, Alabama: International Fertilizer Development Center, 26p. Disponível em: <https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaas848.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2022.

MESQUITA, C. B.; GARCIA, E. L.; BOLFARINI, A. C. B.; LEONEL, S.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M. Phosphate fertilization changes the characteristics of ‘Maçã’ banana starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 112, p. 1138-1145, jun. 2018.

MESQUITA, C. B.; LEONEL, M.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, S.; GARCIA, E. L.; SANTOS, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 89, p. 632-639, ago., 2016.

MIAH, A. S., ISLAM, S., ABEDIN, N., ISLAM, N., ISLAM, F., TISA, K. J., SAHA, A. K., AZIZ, S. Physicochemical and functional properties of banana starch and its alternative returns. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 11, n. 2, p. 866-879, jul., 2023.

MORAIS, G.; SILVA, A.; BUENO, R.; TANAKA, W.; ZAMPINI, E.; MACHADO, S.; REIS. Classification criteria for *Cavendish* bananas and a framework to indicate the correct destination. **Chem. Proc.**, v. 10, n. 1, 65, fev., 2022.

MOREIRA, A.; HEINRICHS, R.; PEREIRA, J. C. R. Densidade de plantio na produtividade e nos teores de nutrientes nas folhas e frutos da bananeira cv. ‘Thap Maeo’. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 29, n. 3, p. 626-631, dez. 2007.

MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; SCIVITTARO, W. B.; BRASIL, E. C. Availability of p from phosphate rock, thermophosphate and triple superphosphate after different incubation periods. In: ASSESSMENT OF SOIL PHOSPHORUS STATUS AND MANAGEMENT OF PHOSPHATIC FERTILISERS TO OPTIMISE CROP PRODUCTION. 2002. Viena, Áustria. **Anais...** Viena, Áustria: Soil and Water & Crop Nutrition Management Section International Atomic Energy Agency Wagramer Strasse 5., 2002.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. PubChem Compound Summary for CID 16500, ADP-glucose. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/ADP-glucose>. Acesso em 09 out., 2023.

NEGREIROS, R. J. Z.; HINZ, R. H.; STUKER, H. Estimativa de peso médio de bananas verdes comercializadas em caixas de madeira por bananicultores na região do litoral norte catarinense. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, n. 2, jul., 2012.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, Bethesda, v. 153, n. 2, p. 375-380, Feb. 1960.

OLIVEIRA, C. A. P.; PEIXOTO, C. P.; OLIVEIRA e SILVA, S.; LEDO, C. A. S.; SALOMÃO, L. C. C. Genótipos de bananeira em três ciclos na Zona da Mata Mineira. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 173-181, fev., 2007.

OLIVEIRA e SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; BORGES, A. L. Cultivares. In: FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA e SILVA, S.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A. (ed.). **O agronegócio da banana**. Embrapa, Brasília, DF: Embrapa, 2016.

OLIVEIRA e SILVA, S.; FLORES, J. C. O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1567-1574, nov., 2002.

OLIVEIRA e SILVA, S., PASSOS, A. R., DONATO, S. L. R., SALOMÃO, L. C. C., PEREIRA, L. V., RODRIGUES, M. G. V., LIMA NETO, F. P., LIMA, M. B. Avaliação de genótipos de bananeira em diferentes ambientes. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 737-748, ago., 2003.

PBMH & PIF - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Frutas. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: CEAGESP, 2006. (Documentos, 29).

PEREIRA, B. F. P.; TUCCI, C. A. F.; SANTOS, J. Z. L.; SILVA, T. A. F. Phosphorus sources: effect on the tropical cedar nutrition and growth. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 513-521, 2014.

PTÁČEK, P. **Apatites and their synthetic analogues**: synthesis, structure, properties and applications. IntechOpen, abr., 2016. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/apatites-and-their-synthetic-analogues-synthesis-structure-properties-and-applications>. Acesso em: 23 jul. 2020.

QUUOS, J. H. **Gerador de triângulo textural**. Disponível em: <https://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 849-857, 2006.

RAMOS, S. F.; SILVA, R. O. P.; VEGRO, C. L. R. Eventos climáticos, pandemia e insegurança alimentar. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 9, p. 1-6, set., 2021.

RAVEENA, N. K.; INGALADAL, N.; RESHMA, M. V.; LANKALAPALLI, R. S. Phytochemical investigation of unripe banana (*Musa* AAB) cv. Nendran and its novel 'banana grits'. **Food Chemistry Advances**, v. 1, 100063, out., 2022.

REIS, R. C.; VIANA, E. S.; ASSIS, S. L. F.; SENA, L. O.; SOUZA, A. S.; AMORIM, E. P. Promising green banana and plantain genotypes for making flour. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 54, e01303, 2019.

ROBYT, J. Starch: structure, properties, chemistry, and enzymology. In: FRASER-REID, B.O., TATSUTA, K., THIEM, J. (ed.). **Glycoscience**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.

RODRIGUES, M. G. V.; DIAS, M. S. C.; Pacheco, D. D. Influência de diferentes níveis de desfolha na produção e qualidade dos frutos da bananeira 'Prata-anã'. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal-SP, v. 31, n. 3, p. 755-762, set. 2009.

RUFYIKIRI, G.; DUFEY, J. E.; NOOTENS, D.; DELVAUX, B. Effect of aluminium on bananas (*Musas* pp.) cultivated in acid solutions. II. Water and nutrient uptake. **Fruits**, v. 56, n. 1, p. 5–16, jan., 2001.

RUFYIKIRI, G.; NOOTENS, D.; DUFEY, J. E.; DELVAUX, B. Mobilization of aluminium and magnesium by roots of banana (*Musa* spp.) from kaolinite and smectite clay minerals. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 4, p. 633-643, abr., 2004.

RUI, X.; HUA, T.; MIN, X.; CAN-BIN, Z.; YUN, P.; RUI, H.; ZHEN, Y.; ZHAO, Q.; YU, C. Transcriptomic analysis of banana in response to phosphorus starvation stress. **Agronomy**, v. 8, n. 8, 141, 2018.

SANTOS, M. R. L.; SOUZA, P. B. Avaliação físico-química, microbiológica e sensorial de chips de banana verde (*Musa spp*.). **Científic@**, v. 7, n. 1, abr., 2020.

SAPEI, L. Proximate composition and functional properties of banana flour at diferent ripening stages. **Jurnal Litbang Industri**, v. 13, n. 1, p. 41-49, jun., 2023.

SARDÁ, F. A. H.; LIMA, F. N. R.; LOPES, N. T. T.; SANTOS, A. O.; TOBARUELA, E. C.; KATO, E. T. M.; MENEZES, E. W. Identification of carbohydrate parameters in commercial unripe banana flour. **Food Research International**, v. 81, p. 203-209, mar., 2016.

SASABUCHI, I. T. M.; KRIEGER, K. S.; NUNES, R. S.; FERREIRA, A. C.; XAVIER, G. T. M.; URZEDO, A. L.; CARVALHO, W. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso

de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023.

SCARPARE FILHO, J. A.; KLUGE, R. A. Produção de bananeira 'Nanicão' em diferentes densidades de plantas e sistemas de espaçamento. **Pesq. Agropec. bras., Brasília**, v. 36, n. 1, p. 105-113, jan. 2001.

SCARPARE FILHO, J. A.; SILVA, S. R.; SANTOS, C. B. C.; NOVOLETTI, G. **Cultivo e produção de banana**. 1. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

SCHERER, R. F.; LICHTEMBERG, L. A.; MARO, L. A. C.; BELTRAME, A. B.; KLABUNDE, G. H. F.; SÔNEGO, M.; PERUCH, L. A. M.; AMORIM, E. P.; SEREJO, J. A. S.; FERREIRA, C. F.; HADDAD, F. BRS SCS Belluna – a new banana cultivar for processing and fresh consumption. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 32-37, jan.-abr., 2020.

SHAMLA, L; NISHA, P. Acrylamide formation in plantain (*Musa paradisiaca*) chips influenced by different ripening stages: a correlation study with respect to reducing sugars, amino acids and phenolic content. **Food Chemistry**, v. 222, p. 53-60, mai., 2017.

SILVA, I. S. O.; VIANA, E. S.; SOARES, S. E.; CHAVES, R. S., REIS, R. C. Development and characterization of green banana-based fondant icing. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 45, e011221, 2021.

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira 'Prata Anã' (AAB), cultivadas em dois latossolos. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 238-242, mar.-abri., 2011.

SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; ALVES, A. N.; SILVA, F. V. Acúmulo, exportação e restituição de nutrientes pelas bananeiras "Prata Anã" e "Grand Naine". **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, out., 2008.

STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Recuperação do fósforo residual do solo, derivado de um termofosfato magnesiano com diferentes granulometrias e do superfosfato simples granulado. **Sci. agric**., n. 52, v. 2, mai.-ago., 1995.

STRAGLIOTTO, L. K.; FERRARI, G. T.; CAMPAGNOL, P. C. B.; STRASBURG, V. J.; ZANDONADI, R. P.; OLIVEIRA, V. R. Green banana by-products on the chemical, technological and sensory quality of meat products. **International Journal of Gastronomy and food Science**, v. 30, 100614, dez., 2022.

TEIXEIRA, L. A. J.; NOMURA, E. S.; DAMATTO, E. R. JR.; FUZITANI, E. J. Banana *Musa* spp. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. (ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2014. (Boletim 200)

TEIXEIRA, L. A. J.; QUAGGIO, J. A.; ROZANE, D. E.; NOMURA, E. S. Banana (diversas plantas do gênero *Musa*). In: CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS

Jr., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2022. (Boletim 100)

TEIXEIRA, L. A. J.; RAIJ, B. V.; BETTIOL NETO, J. E. Estimativa das necessidades nutricionais de bananeiras do subgrupo Cavendish cultivadas no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, jun., 2008.

TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 19, n. 4, p. 463-484, 2007.

VAQUERO, R. M. Soil physical properties and banana root growth. *In*: BANANA ROOT SYSTEM: towards a better understanding for its productive management, 1., 2003, San José, Costa Rica. **Anais** […] Montpellier, France: International Network for the Improvement of Banana and Plantain, 2005, p. 125-131.

VEGRO, C. L. R.; MARTINS, V. A. Estimativa de impacto econômico nas lavouras paulistas de café afetadas por estiagem prolongada seguida de geadas, 2021. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 7, p. 1-4, out. 2021.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 2, p. 37-44, dez., 2013.

WEINERT, M.; SIMPSON, M. **Subtropical banana nutrition**: matching nutrition requirements to growth demands. Queensland: NSW Department of Primary Industries, 2016.

WESEMAEL, J. van; KISSEL, E.; EYLAND, D.; LAWSON, T.; SWENNEN, R.; CARPENTIER, S. Using growth and transpiration phenotyping under controlled conditions to select water efficient banana genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 352, mar., 2019.

WHITE, P. J. Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. Nova Iorque: Academic Press, 2012, p. 7–47.

WILLIAMS, P. C.; KUZINA, F. D.; HLYNKA, L. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flour. **Cereal Chem.**, v. 47, p. 411–420, 1970.

XIE, K.; CAKMAK, I.; WANG, S.; ZHANG, F.; GUO, S. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. **The Crop Journal**, v. 9, n. 2, p. 249-256, abr., 2021.

YANG, M.; CHANG, L.; JIANG, F.; ZHAO, N.; ZHENG, P.; SIMBO, J.; YU, X.; DU, S-K. Structural, physicochemical and rheological properties of starches isolated from banana varieties (*Musa* spp.). **Food Chemistry: X**, v. 16, 100473, dez., 2022.

YOORIN FERTILIZANTES. **Produtos**: YOORIN. 2021. Disponível em: <https://www.yoorin.com.br/pt/produtos/yoorin>. Acesso em 09 out., 2023.

ZHANG, R.; LI, C.; FU, K.; LI, C.; LI, C. Phosphorus alters starch morphology and gene expression related to starch biosynthesis and degradation in wheat grain. **Front. Plant Sci.**, v. 8, jan., 2018.

ZHANG, X., GUO, D.; BLENNOW, A.; ZORB, C. Mineral nutrients and crop starch quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 148-157, 2021.

ZHANG, X.; GUO, D.; XUE, J.; YANNIOTIS, S.; MANDALA, I. The effect of salt concentration on swelling power, rheological properties and saltiness perception of waxy, normal and high amylose maize starch. **Food & Function**, v. 8, p. 3792–3802, 2017.

APÊNDICE A - *P* valor e resumo da análise de variância para as variáveis analisadas (grau de liberdade = 59), e posição do maior ou menor ponto estimado pela regressão em relação a menor dosagem de P_2O_5 aplicada (Δ_{25})

Variáveis	Fator de variação			Δ_{25}
	Dose	Ciclo	Dose x Ciclo	
Massa fresca parte aérea	< 0,0001	0,1119	0,4543	↑
Massa seca parte aérea	< 0,0001	0,0043	0,2378	↑
Altura – floração	0,0037	< 0,0001	0,4847	↑
Diâmetro – floração	0,1225	0,0331	0,7050	ns
FFA – floração	0,3404	0,8819	0,5964	ns
Altura – colheita	< 0,0001	0,0005	0,2135	↑
Diâmetro – colheita	0,0033	0,2515	0,3533	↑
FFA – colheita	0,0137	0,3255	0,2112	↑
Período entre floração e colheita	0,2131	0,2063	0,9099	ns
Produção de cacho	< 0,0001	0,0928	0,0008	↑ 1º, ↑ 2º
Produção de frutos	< 0,0001	0,1241	0,0010	↑ 1º, ↑ 2º
Massa da penca	0,0002	0,5216	0,0897	↑
Número de frutos na penca	0,3234	0,1822	0,2011	ns
Massa do fruto	< 0,0001	0,0353	0,3760	↑
Comprimento do fruto	0,0012	0,0048	0,0137	↑ 1º, ↑ 2º
Espessura da casca	0,3946	0,7488	0,0801	ns
Fitomassa seca da polpa	0,1026	0,0006	0,1737	ns
Fitomassa seca da casca	0,1819	0,3458	0,4535	ns
Polpa/fruta	0,0536	0,6213	0,1114	ns
Casca/fruta	0,1493	0,8964	0,1192	ns
Cinzas real	0,3311	0,7312	0,2655	ns
Proteína	0,8492	0,0153	0,4177	ns
Amido total	0,0003	0,0445	0,1017	↑
Amido resistente	0,0003	0,1681	0,1965	↑
Amilose total	0,4560	0,0005	0,3502	ns
Amilose no amido	0,6456	< 0,0001	0,2432	ns
Fósforo	0,2757	0,0003	< 0,0001	↓ 1º, ↑ 2º
Potássio	0,0098	0,0001	0,0183	↑ 1º, ↓ 2º
Cálcio	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	↑ 1º, ↓ 2º
Magnésio	0,0463	< 0,0001	0,2600	↑
Enxofre	< 0,0001	0,9222	0,0435	↓ 1º, ↓ 2º
Boro	0,0015	< 0,0001	0,0008	↑ 1º, ↓ 2º
Cobre	0,4109	0,8161	< 0,0001	↑ 1º, ↓ 2º
Ferro	0,0132	< 0,0001	0,0154	↑ 1º, ↓ 2º
Manganês	0,5465	0,0011	0,1989	ns
Zinco	0,0025	< 0,0001	0,3674	↓

FFA: Folhas fotossinteticamente ativas; 1º: Primeiro ciclo; 2º: Segundo ciclo.