

ANA CAROLINA BATISTA BOLFARINI

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS E
NUTRIÇÃO MINERAL DA BANANEIRA 'FHIA 18' EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO
DE FÓSFORO**

Botucatu

2018

ANA CAROLINA BATISTA BOLFARINI

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS E
NUTRIÇÃO MINERAL DA BANANEIRA 'FHIA 18' EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO
DE FÓSFORO**

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

Orientadora: Profa. Dra. Sarita Leonel

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B687c Bolfarini, Ana Carolina Batista, 1987-
Crescimento, produção, aspectos físico-químicos dos frutos e nutrição mineral da bananeira 'FHIA 18' em função da aplicação de fósforo / Ana Carolina Batista Bolfarini. - Botucatu : [s.n.], 2018
128 p.: il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Sarita Leonel
Inclui bibliografia

1. Banana - Cultivo. 2. Plantas - Efeito do fosforo. 3. Adubação. 4. Minerais na nutrição de plantas. 5. Produtividade. 6. Pós- colheita. I. Leonel, Sarita. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Ficha elaborada por : Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS FRUTOS E NUTRIÇÃO MINERAL DA BANANEIRA 'FHIA 18' EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FÓSFORO

AUTORA: ANA CAROLINA BATISTA BOLFARINI

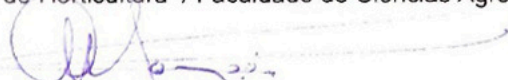
ORIENTADORA: SARITA LEONEL

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



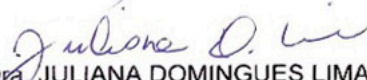
Profa. Dra. SARITA LEONEL

Depto de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



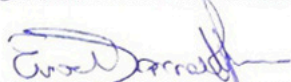
Prof. Dr. ALOISIO COSTA SAMPAIO

Depto de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências - UNESP



Profa. Dra. JULIANA DOMINGUES LIMA

Coordenadoria Executiva / Unidade de Registro / UNESP Registro



Prof. Dr. ERVAL RAFAEL DAMATTO JUNIOR

Agricultura / APTA - REGISTRO



Prof. Dr. JACKSON MIRELLYS AZEVEDO SOUZA

Depto de Horticultura (Pós-Doutorando) / FCA/UNESP

Botucatu, 13 de abril de 2018

Dedico

Pos meus amados pais, Ana Maria e Renato, por serem meu alicerce e me apoiarem para a conquista dessa vitória.

Pos meus queridos irmãos, Bruno, Felipe e Alexandre, por serem o espelho o qual segui para trilhar meus estudos, minha formação e carreira. Pelo afeto, força e apoio incondicional em todos os momentos.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me presentear com a benção da vida, pela saúde, proteção e força para enfrentar as dificuldades;

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Horticultura), pela oportunidade de realização do doutorado e dedicação destinada à excelência na formação de seus alunos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Sarita Leonel, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho, pelos ensinamentos transmitidos, competência, dedicação, paciência, carinho e amizade;

Aos meus animais de estimação (“Pituco” e “Pretinha”), que são membros da família e me trazem muita felicidade;

A todos meus familiares e amigos, que sempre me motivam e torcem pelo meu sucesso profissional e pessoal. Em especial, aos meus amigos Paulo Henrique e Cristina;

Ao meu namorado Everton, pelo apoio e grande ajuda durante o mestrado e doutorado.

À Prof^a Dr^a Magali Leonel e funcionários do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), pela grande ajuda e assistência na condução do experimento de mestrado e doutorado, além do carinho e atenção;

Aos amigos e companheiros de trabalho da pós-graduação, Bibi, Bruno, Érica, Jackson, Joyce, Marcela, Marcelo, Rafaelly e Rafael, pela ajuda, amizade, companheirismo em vários experimentos e risadas;

Aos ex-alunos e alunos de Graduação em Agronomia da FCA, em especial ao André, Cássio, Fagner, Leonardo, Marcelo e Maurício pela valiosa colaboração na realização do experimento em campo e paciência nos momentos de avaliação;

Aos funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP – Campus de Botucatu) e da Fazenda Experimental São Manuel, por sempre serem prestativos e atenciosos;

Aos servidores técnicos do Departamento de Horticultura, Márcia, Edson, Edivaldo e Edmilson pelo auxílio oferecido durante todo o experimento;

Ao professor Fernando Ferrari Putti, da Faculdade de Ciências e Engenharia (UNESP), Campus de Tupã, pela amizade, enorme paciência e assistência na elaboração desse trabalho;

A todos os professores de Pós-graduação do Departamento de Horticultura, em especial aos professores Marco Antônio Tecchio e Regina Marta Evangelista, pelo grande apoio e por gentilmente compartilharem dos seus conhecimentos;

À professora Andréa Carvalho da Silva, da Universidade Federal de Mato Grosso, pela amizade, convivência, paciência, conhecimentos transmitidos e assistência nas avaliações em campo.

À companheira de casa, Juslei, pela oportunidade de convívio, amizade e momentos de descontração;

Aos amigos que fiz durante a trajetória da pós-graduação, Joara, Bubu, Maurício e Nat, pela atenção, ajuda com palavras de acalento e gestos de carinho;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização e conclusão deste projeto, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A bananeira 'FHIA 18' apresenta grande potencial para substituir o cultivar Prata, que é suscetível à Sigatoka-negra e ao Mal-do-Panamá. Porém, pouco se conhece sobre as necessidades nutricionais desse híbrido, principalmente em fósforo (P), elemento mineral importante para o crescimento e produção das plantas, bem como para a qualidade dos frutos. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento, produção, aspectos físico-químicos dos frutos e nutrição mineral da bananeira 'FHIA 18' em função da aplicação de fósforo, durante ciclos sucessivos. O experimento foi instalado no município de São Manuel-SP. Os níveis de adubação com P_2O_5 aplicados em três ciclos de produção foram: sem adubação com P; $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A bananeira 'FHIA 18' requer a aplicação de 22 kg ha^{-1} de P_2O_5 , no 2º e 3º ciclo agrícola, para alcançar o máximo desempenho vegetativo, em virtude do incremento no diâmetro do pseudocaule. Embora o teor de fósforo disponível no solo aumente com a aplicação de P, o máximo teor de fósforo na folha diagnóstico é estimado com a dose de 36 kg ha^{-1} de $P_2O_5 \text{ ano}^{-1}$. Há correlação negativa entre o teor de fósforo disponível no solo com a altura de plantas, diâmetro do pseudocaule e o número de dias do florescimento à colheita. A máxima produção por planta é atingida com a aplicação de 22 kg ha^{-1} de $P_2O_5 \text{ ano}^{-1}$, quantidade menor do que a recomendada para a cultura da bananeira no estado de São Paulo. Há incremento nas características produtivas da bananeira 'FHIA 18', do primeiro ciclo para os ciclos subsequentes, independente da dose de P utilizada. A adubação fosfatada proporciona aumento nos teores de fósforo nos frutos até a aplicação de 100% da recomendação ($40 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No entanto, a aplicação de $21 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ permite a obtenção de frutos menos ácidos e com maior índice de maturação. Os teores de matéria seca, amido e de fósforo, nos frutos verdes, bem como, a firmeza, teores de sólidos solúveis, o índice de maturação e teores de açúcares nos frutos maduros, aumentam do primeiro ciclo de produção para os ciclos subsequentes, independente da dose de P_2O_5 utilizada. A aplicação de 36 kg ha^{-1} de $P_2O_5 \text{ ano}^{-1}$ promove maior teor foliar de fósforo, mas o híbrido 'FHIA 18' necessita da aplicação de 50% da recomendação de adubação com P_2O_5 para atingir a máxima produtividade ($29,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A adubação fosfatada promove alterações significativas nos teores de P, Ca, Cu e Zn de folhas e frutos.

Palavras-chave: *Musa* spp. Híbrido. Adubação fosfatada. Desempenho agronômico. Qualidade pós-colheita. Composição nutricional.

ABSTRACT

The 'FHIA 18' banana plant has great potential to replace the Prata cultivar, which is susceptible to Black Sigatoka and Panama Disease; however, little is known about this hybrid's nutritional needs, especially in phosphorus (P), an important mineral element for growth and production of plants, as well as for fruit quality. Thus, the objective of this work was to evaluate growth, production, physicochemical aspects of fruits and mineral nutrition of 'FHIA 18' banana plant due to phosphorus application during successive cycles. The experiment was installed in São Manuel-SP. The levels of P_2O_5 fertilization applied in three production cycles were: without P fertilization; $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The 'FHIA 18' banana requires the application of 22 kg ha^{-1} of P_2O_5 in the 2nd and 3rd cropping cycle, in order to reach the maximum vegetative performance, due to the increase in the pseudostem diameter of the plants. Although the phosphorus content available in the soil increases with application of P, the maximum phosphorus level in the diagnostic leaf is estimated with $36 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5 \text{ year}^{-1}$ dose. There is a negative correlation between soil phosphorus content with plant height, pseudostem diameter and number of days from flowering to harvest. The maximum production per plant is reached with $22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1} P_2O_5$ application, a smaller amount than the recommended for the banana crop in São Paulo state. There is an increase in the productive traits of the first cycle for the subsequent cycles, regardless of the P dose used. Phosphorus fertilization provide an increase in phosphorus levels in 'FHIA 18' banana plant to the 100% of the recommendation application ($40 \text{ kg of } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). However, the application of $21 \text{ kg of } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ allows obtaining less acidic fruits and with a higher maturation index. The dry matter content, starch and phosphorus in green fruits, as well as firmness, soluble solids contents, maturation index and sugar content in mature fruits, increased from the first production cycle to subsequent cycles, independently of the P_2O_5 dose used. The application of 36 kg ha^{-1} of $P_2O_5 \text{ year}^{-1}$ promotes a higher leaf content of phosphorus, but the hybrid 'FHIA 18' requires the application of 50% of the fertilization recommendation with P_2O_5 to achieve maximum productivity ($29.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). Phosphate fertilization promotes significant changes in P, Ca, Cu and Zn contents of leaves and fruits.

Keywords: *Musa* spp. Hybrid. Phosphorus fertilization. Agronomic performance. Postharvest quality. Nutritional composition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Temperaturas máximas, mínimas, médias (°C) e precipitação pluvial acumulada (mm) nos meses de novembro/2012 a janeiro/2016, no município de São Manuel – SP.....33
- Figura 2** - Vista da área experimental em outubro de 2013. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....35
- Figura 3** - Altura de plantas da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) em função dos níveis de adubação com P e avaliada ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201840
- Figura 4** - Diâmetro do pseudocaule da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) em função dos níveis de adubação com P e avaliado ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....42
- Figura 5** - Número de dias do plantio ao florescimento para a bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201845
- Figura 6** - Teor de fósforo na folha da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....47
- Figura 7** - Teor de fósforo disponível no solo, cultivado com a bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB), em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201849
- Figura 8** - Mapa de calor das correlações entre as variáveis analisadas na bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) submetida a níveis e P ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....50

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Dados climáticos mensais do município de São Manuel, São Paulo, durante novembro de 2012 a janeiro de 2016.....59
- Figura 2** - Aspecto geral do cacho da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....61
- Figura 3** - Número de frutos por cacho da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201865

Figura 4 - Massa do cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....	66
Figura 5 - Massa de frutos da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....	67
Figura 6 - Número de pencas por cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....	69
Figura 7 - Massa (a) e comprimento (b) de frutos da segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....	70
Figura 8 - Diâmetro de frutos da segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018	71

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em estágio de amadurecimento 6. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....	84
Figura 2 - Representação da cor sólida segundo escala CIELab.	85
Figura 3 - Teores de açúcares redutores nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018 ..	87
Figura 4 - Teores de fósforo nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018	91
Figura 5 - Coloração da casca, coordenada a^* (a) e ângulo hue ($^{\circ}h$) (b), nos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018	93
Figura 6 - Firmeza dos frutos maduros de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro e segundo ciclo de produção, cultivadas em São Manuel-SP	94
Figura 7 - Acidez titulável (% de ácido málico) dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018	95
Figura 8 – Índice de maturação (SS/ATT) dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018 ..	97

CAPÍTULO 4

Figura 1 - Produtividade da bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo (a) e avaliada ao longo de três ciclos de produção (b). São Manuel-SP, 2018.....	119
--	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1** - Propriedades químicas do solo da área experimental na Fazenda Experimental São Manuel. FCA/UNESP, São Manuel – SP, 201834
- Tabela 2** - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias para altura de plantas (ALP), diâmetro do pseudocaule (DP), número de folhas (NF), número de dias do florescimento à colheita (NDFC) e teor de fósforo na folha (P_{FOLHA}) para bananeiras ‘FHIA 18’ (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201839
- Tabela 3** - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias do número de dias do plantio ao florescimento (NDPF), número de dias do plantio à colheita (ciclo da cultura) (NDPC) e teor de fósforo no solo para bananeiras ‘FHIA 18’ (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....39
- Tabela 4** – Número de folhas e número de dias do florescimento à colheita da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, seguidas de suas médias e da diferença mínima significativa (DMS). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018.....44
- Tabela 5** - Teor de fósforo na folha diagnóstico da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, seguidas de suas médias e da diferença mínima significativa (DMS). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 201847

CAPÍTULO 2

- Tabela 1** - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da massa do cacho, massa da ráquis, massa de frutos, número de frutos por cacho e número de pencas por cacho de bananeiras ‘FHIA 18’ (AAAB), cultivadas em São Manuel-SP 63
- Tabela 2** - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da massa da 2ª penca, número de frutos da 2ª penca, comprimento e diâmetro dos cinco frutos centrais de bananeiras ‘FHIA 18’ (AAAB), cultivadas em São Manuel-SP.....63
- Tabela 3** - Médias da massa do cacho (MC), massa de frutos (MF), número de pencas por cacho (NP), massa da segunda penca (M 2ºP), número de frutos na segunda penca (NF 2ºP) e comprimento dos frutos (CF) de bananeiras ‘FHIA 18’ (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP72

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias do teor de umidade (UM), matéria seca (MS), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), amido e fósforo (P_{FRUTO}), nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018..... 86

Tabela 2 - Valores médios de umidade, matéria seca, açúcares totais, amido e fósforo nos frutos verdes de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP 88

Tabela 3 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da firmeza (F), acidez titulável (ATT), índice de maturação (SS/ATT), açúcares totais (AT) e açúcares redutores (AR), nos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018..... 92

Tabela 4 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da luminosidade (L), coordenadas *a e *b, Chroma (C*) e ângulo hue (°h) da casca dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018..... 92

Tabela 5 - Valores médios de sólidos solúveis, índice de maturação (SS/ATT), açúcares totais e açúcares redutores nos frutos maduros de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP 97

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Dados médios de macro e micronutrientes nas folhas da bananeira 'FHIA 18' sob níveis de adubação com P, correspondentes ao segundo (agosto de 2014 a fevereiro de 2015) e terceiro ciclo de produção (junho de 2015 a janeiro de 2016), em São Manuel-SP..... 110

Tabela 2 - Dados médios de macro e micronutrientes nos frutos da bananeira 'FHIA 18' sob níveis de adubação com P, correspondentes ao segundo (agosto de 2014 a fevereiro de 2015) e terceiro ciclo de produção (junho de 2015 a janeiro de 2016), em São Manuel-SP..... 111

Tabela 3 - Teor médio de P em folhas e frutos de bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo, avaliado ao longo de três ciclos de produção. São Manuel-SP, 2018 113

Tabela 4 - Teores médios de macro e micronutrientes em folhas de bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo. São Manuel-SP, 2018..... 115

Tabela 5 - Teores médios de macro e micronutrientes em frutos de bananeira ‘FHIA 18’ adubada com doses de fósforo. São Manuel-SP, 2018	117
---	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
CAPÍTULO 1 – DESEMPENHO VEGETATIVO DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM TRÊS CICLOS AGRÍCOLAS	29
1.1 INTRODUÇÃO	30
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
1.2.1 Caracterização da área experimental.....	32
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	33
1.2.3 Instalação do experimento	34
1.2.4 Condução e manejo da área experimental.....	35
1.2.5 Características avaliadas	36
1.2.6 Análise estatística	38
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
1.4 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS.....	51
CAPÍTULO 2 – ADUBAÇÃO FOSFATADA EM TRÊS CICLOS CONSECUTIVOS E SEU IMPACTO NO DESEMPENHO PRODUTIVO DO HÍBRIDO DE BANANEIRA ‘FHIA 18’	55
2.1 INTRODUÇÃO	56
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	58
2.2.1 Caracterização e instalação da área experimental.....	58
2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	59
2.2.3 Condução do experimento	60
2.2.4 Características avaliadas	61
2.2.5 Análise estatística	62
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
2.4 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS.....	74

CAPÍTULO 3 – PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DOS FRUTOS DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE ADUBO FOSFATADO, EM TRÊS CICLOS AGRÍCOLAS 77

3.1	INTRODUÇÃO.....	78
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	80
3.2.1	Área de cultivo	80
3.2.2	Delineamento experimental e tratamentos	81
3.2.3	Colheita, preparo das amostras e avaliações	81
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
3.4	CONCLUSÕES.....	98
	REFERÊNCIAS	99

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA 103

4.1	INTRODUÇÃO.....	104
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	106
4.2.1	Período e local do experimento	106
4.2.2	Tratamentos.....	106
4.2.3	Instalação e condução da cultura	107
4.2.4	Delineamento experimental e análise estatística	108
4.2.5	Características avaliadas.....	108
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
4.4	CONCLUSÕES.....	119
	REFERÊNCIAS	119
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
	REFERÊNCIAS	125

INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo da bananeira (*Musa spp.*) está distribuído em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo e apresenta grande importância socioeconômica, tanto pela alta demanda da fruta, como pelo rápido retorno financeiro e fluxo contínuo de produção a partir do primeiro ano, o que gera emprego e renda, principalmente aos pequenos produtores (DELTOUR et al., 2017).

A banana é uma das frutas mais consumidas mundialmente, constituindo a base da economia de alguns países devido às suas características alimentares, como sabor, facilidade de consumo, baixo custo e elevado valor nutritivo, isto é, rica em carboidratos, vitaminas e sais minerais, que culminam no alto consumo pelos vários segmentos da sociedade, representando o quarto produto de consumo, em volume comercial (MESQUITA et al., 2016). Em 2016, o Brasil foi o quarto maior produtor de bananas do mundo, com 6,76 milhões de toneladas, atrás da Índia (29,12 milhões), China (13,07 milhões) e Indonésia (7,01 milhões) (FAOSTAT, 2018).

No Brasil, a bananicultura é explorada em quase todo o território nacional, permitindo o desenvolvimento econômico e a inclusão social das regiões associadas ao seu cultivo. Na safra de 2017, os maiores produtores brasileiros foram: São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Santa Catarina e Pará com produções de 1.160.400, 1.070.000, 847.108, 720.259 e 521.532 toneladas da fruta, respectivamente (IBGE, 2018).

A região Sudeste responde pela maior parcela da produção de bananas no país, pois em 2017 foram produzidos um total de 2,4 milhões de toneladas de frutos em área cultivada de 140 mil hectares. O Estado de São Paulo é o principal representante em termos de produção e produtividade na região Sudeste. No ano de 2017, o rendimento médio no Estado foi de 21,57 t ha⁻¹ (IBGE, 2018). Tradicionalmente, sua produção está concentrada no Vale do Ribeira, porém, nos últimos anos, o cultivo da bananeira tem se intensificado na região do planalto paulista, mostrando ser uma opção promissora e rentável para os produtores agrícolas, em razão principalmente do menor gasto com fungicidas e proximidade com o grande centro consumidor (BOLFARINI et al., 2014).

A evolução da bananicultura nacional foi possível pelos progressos obtidos no que se refere principalmente à disponibilidade e introdução de material genético diversificado, às práticas de manejo pré e pós-colheita e ao desenvolvimento de

técnicas nutricionais, fitossanitárias e de irrigação (LICHTEMBERG; LICHTEMBERG, 2011).

O genótipo 'FHIA 18' é relatado como sendo um híbrido tetraploide (AAAB), resultante do cruzamento entre o cultivar 'Prata-Anã' (AAB) e o diploide SH3142, e apresenta características do grupo Prata (CRUZ et al., 2007). Esse híbrido foi desenvolvido pela Fundação Hondurenha de Investigação Agrícola e introduzido pela EMBRAPA no Brasil (GODOY et al., 2016). Desde 1959, o programa da FHIA (Fundación Hondurena de Investigación Agrícola) já lançou uma série de híbridos tolerantes ou resistentes a Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis*) e ao Mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), dentre eles, o híbrido 'FHIA 18', que é destinado principalmente para o consumo *in natura* (SMITH et al., 2014).

Em estudo realizado por Smith et al. (2014), avaliando o crescimento, produtividade e resistência ao *Fusarium* de seis genótipos de FHIA cultivadas em condições subtropicais da Austrália, verificaram que o híbrido FHIA 18 apresentou alta resistência às duas raças de *Fusarium* testadas (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 1 e raça subtropical 4), porém, apresentou ciclo mais longo e menor número de folhas durante a formação do cacho. No entanto, segundo os autores, o híbrido FHIA 18 exibiu bom desempenho produtivo, atingindo uma massa média de cacho igual a 24,04 Kg.

A altura de plantas do híbrido FHIA 18 pode variar de 2,7 a 3,65 m, o perímetro do pseudocaule de 84,9 a 96 cm, o número de folhas no florescimento de 11 a 14, o ciclo vegetativo de 282 a 435 dias e a massa do cacho de 20,7 a 32 kg (NOMURA et al., 2013; DONATO et al., 2009). Cruz et al. (2007), nas condições das Filipinas, relata para FHIA 18, duração do plantio à colheita, correspondente a 406 dias, massa do cacho igual à 13,90 Kg e os frutos apresentando 18,3º Brix, com gosto doce e ácido.

A planta do híbrido FHIA 18 apresenta bom perfilhamento e sua produtividade pode ser superior a 20 t ha⁻¹. Além disso, seus frutos atingem 15 cm de comprimento e apresentam sabor semelhante aos frutos do tipo 'Prata' (FANCELLI, 2003). Contudo, a longevidade do ciclo, o fácil desprendimento dos frutos da almofada floral quando maduros, a perecibilidade e o menor teor de açúcares nos frutos, tem dificultado sua expansão (JESUS et al., 2004; DONATO et al., 2009; PEREIRA et al., 2015).

O cultivo do híbrido FHIA 18 pode ser uma alternativa viável ao agricultor brasileiro, uma vez que apresenta potencial para a produção comercial e amplia o número de cultivares do tipo Prata disponíveis, principalmente em áreas afetadas com as doenças

Sigatoka-negra e Mal-do-Panamá. Adequações no manejo nutricional, podem reverter alguns dos problemas apresentados por esse híbrido, tornando-o ainda mais promissor.

O estado nutricional das bananeiras é muito importante, pois a dinâmica dos nutrientes atua diretamente no desenvolvimento vegetativo, amadurecimento e envelhecimento das plantas. A bananeira é uma planta de desenvolvimento rápido que necessita de concentrações elevadas de alguns elementos para suprir suas exigências nutricionais (NOMURA et al., 2016). Contudo, vale destacar que a demanda de nutrientes por um genótipo de bananeira depende do potencial produtivo, densidade populacional, estado fitossanitário, balanço entre os elementos no solo, e ainda do sistema radicular que interferirá na absorção dos nutrientes (HOFFMANN et al., 2010).

As adubações realizadas na cultura da bananeira em vários estados brasileiros, têm sido baseadas em tabelas que contêm recomendações para o uso de fertilizantes e corretivos. Porém, essas trazem recomendações de adubação médias que podem diferir bastante das condições em que se desejam aplicá-las, além de não especificar a adubação conforme o subgrupo ou cultivar (NOMURA et al., 2016), o que pode acarretar no uso indiscriminado de fertilizantes e prejuízos ao rendimento produtivo da cultura.

As culturas agrícolas são frequentemente adubadas com fósforo inorgânico (Pi) para manter a produtividade e qualidade. No entanto, os custos ambientais e financeiros do uso de fertilizantes fosfatados são altos. Como a produção agrícola depende de grandes quantidades de adubos fosfatados e a maioria das culturas não recupera todo o Pi aplicado, os fertilizantes fosfatados adicionados em excesso no solo podem ser escoados para as águas superficiais e resultar no acúmulo de nutrientes em ambientes adjacentes, com conseqüente perda de habitats e declínio da biodiversidade pela contaminação dos recursos hídricos. Há ainda os custos financeiros envolvidos, que aumentarão devido à produção insustentável de fertilizantes Pi a partir de reservas não renováveis e aos preços instáveis da energia, que terão impacto na mineração e no transporte de rochas e fertilizantes fosfatados (HAMMOND et al., 2009). Dessa forma, a aplicação racional do fósforo e a utilização de plantas que adquirem e ou usem de forma mais eficiente o P são medidas estratégicas para reduzir esses custos ambientais e financeiros.

Segundo o Boletim Técnico 200, fonte oficial de recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, deve-se aplicar no plantio da bananeira metade

das doses de fósforo que variam de 20 a 260 kg de P_2O_5 ha⁻¹, conforme o teor de fósforo no solo e a produtividade esperada, sendo o restante das doses de P_2O_5 aplicadas em cobertura aos 70 a 90 dias após o plantio, durante a adubação de formação. Na adubação de produção, as doses de P_2O_5 por família a serem aplicadas em cada ciclo, também variam de 20 a 260 kg de P_2O_5 ha⁻¹ e devem ser ajustadas com base na análise de solo e em função da meta de produtividade do bananal (TEIXEIRA et al., 2014). Ao passo que segundo recomendações da Embrapa para o estado da Bahia, é necessário aplicar em cova, na ocasião do plantio, um total de 40 a 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹ e na fase de produção 40 a 160 kg de P_2O_5 ha⁻¹, dependendo dos teores de fósforo no solo e da produtividade esperada (BORGES, 2004). Já para os Estados do Sul, a recomendação é especificada conforme o subgrupo e o teor de P no solo. Dessa forma, recomenda-se utilizar no pré-plantio 30 a 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ e na adubação de plantio, a dose recomendada está entre 15 a 25 kg de P_2O_5 ha⁻¹ para os cultivares do grupo comercial “Prata” e 15 a 40 kg de P_2O_5 ha⁻¹ para os cvs. Nanicão e Grande Naine. As adubações na fase de formação devem ser parceladas a cada dois meses, aplicando-se as seguintes doses: ≤ 15 e ≤ 20 kg de P_2O_5 ha⁻¹ para o subgrupo Prata e Cavendish, respectivamente. Na fase de manutenção, as quantidades também devem ser aplicadas a cada dois meses, utilizando-se doses inferiores ou iguais a 25 kg de P_2O_5 ha⁻¹ para os cvs. do subgrupo Prata, sendo que para o subgrupo Cavendish a recomendação varia de ≤ 20 a 35 kg de P_2O_5 ha⁻¹ (COMISSÃO... 2004).

No mundo, as doses de fósforo recomendadas para a cultura variam geralmente de 80 a 690 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹ (BORGES et al., 2006). Em bananais de Israel, recomendam 40 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹ para a cv. Williams, pertencente ao Subgrupo Cavendish (LAHAV e TURNER, 1983). Na Costa Rica, López e Espinosa (1995) recomendam para solos com alto (> 20 mg kg⁻¹), médio (10-20 mg kg⁻¹) e baixo (< 10 mg kg⁻¹) teor de fósforo, aplicar 0, 50 e 100 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Galán Saúco et al. (1998), para as Ilhas Canárias, sugerem a aplicação anual de 125 g de P_2O_5 planta⁻¹. Para os bananais da região de Honduras, Lardizábal e Gutiérrez (2006) recomendam quantidades de 90 a 110 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹. Newley et al. (2008) sugere a aplicação de 60 a 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹ para as bananeiras do subgrupo Cavendish cultivadas nas condições de clima e solo da Austrália. Já no Paquistão, as recomendações de fósforo para a cultura podem chegar até 300 kg P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹ (MEMON et al., 2010). Ou seja, há variações nas recomendações de P

conforme o genótipo e as condições edafoclimáticas, as quais as bananeiras são cultivadas.

Na maioria dos solos brasileiro, o fósforo encontra-se em formas pouco disponíveis para as plantas, devido à grande reatividade e à alta taxa de fixação de seus íons, relacionados aos numerosos constituintes do solo (SANTOS et al., 2008). Na solução do solo, o fósforo está presente na forma de íons ortofosfatos (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), sendo a forma de ocorrência e concentrações desses ânions dependentes principalmente do pH. Em solos ácidos prevalece a forma H_2PO_4^- , enquanto em alcalinos é comum a presença do ânion HPO_4^{2-} (SYERS et al., 2008).

As raízes adquirem o fósforo da solução do solo como fosfato (Pi), principalmente na forma de H_2PO_4^- , que é a mais prontamente absorvida pelas plantas (VANCE et al., 2003). Porém, a concentração de fósforo inorgânico na solução do solo é frequentemente baixa (2-10 μM) e, conseqüentemente, o fornecimento de Pi à superfície da raiz por difusão acaba sendo lento (MARSCHNER, 2012). Portanto, o fósforo é um dos elementos minerais menos disponíveis no solo e que geralmente limita o crescimento das plantas.

Nos solos intemperizados, como os Latossolos, há predomínio dos óxidos de ferro e alumínio na fração argila. Em condições de reação ácida, esses óxidos apresentam-se com cargas positivas, e assim, são capazes de reter principalmente os íons fosfatos. Diante disso, o fósforo encontra-se em formas pouco disponíveis aos vegetais, fazendo com que a eficiência do uso do adubo fosfatado seja reduzida (SANTOS et al., 2008).

A disponibilidade do fósforo para a planta é diretamente influenciada pela presença de formas assimiláveis do nutriente, do transporte do elemento da solução do solo até a superfície das raízes que requer umidade, e principalmente, dos fatores inerentes à morfologia e ao crescimento radicular, bem como das alterações promovidas pelas plantas na rizosfera (GRANT, 2010).

O fósforo é absorvido através dos pelos radiculares, ápice radicular e camadas ultraperiféricas das células radiculares. O transporte do P no xilema ocorre na mesma forma em que é absorvido (H_2PO_4^-), sendo rapidamente utilizado em processos metabólicos. No floema, diferentemente do que acontece nos solos, o fosfato é bastante móvel e facilmente redistribuído dos órgãos mais velhos para os mais novos (FAGAN et al., 2016).

O radical fosfato no interior da planta pode estar como íons livres em solução e ligado a cátions metálicos formando compostos insolúveis, cujas formas mais importantes são os ácidos nucleicos (DNA e RNA), fosfato de inositol, fosfolípido e di e trifosfato de adenosina (ADP e ATP) (MARSCHNER, 2012). Por fazer parte da constituição destes compostos possui fundamental importância para o desenvolvimento vegetal. Segundo Zribi et al. (2011), a deficiência de fósforo diminui significativamente o crescimento da planta, o teor de água nas folhas, o potencial osmótico e os parâmetros de troca gasosa.

O fósforo (P) atua no desenvolvimento do sistema radicular, o qual tem grande capacidade de extração desse nutriente do solo, no processo de conversão da energia solar em aminoácidos e fibras, assim como em todos os processos que envolvem transferências de energia, por meio do ATP (ZHANG et al., 2014). Apresenta ainda relações sinérgicas e antagônicas com outros nutrientes, principalmente, magnésio, nitrogênio e zinco, sendo que esses efeitos podem ser desencadeados tanto pelos fatores físicos e químicos do solo quanto pelo metabolismo mineral (FAGERIA, 2001; MARSCHNER, 2012; OVA et al., 2015; NOVAIS et al., 2016). A influência dessa interação pode determinar a resposta da cultura à adubação fosfatada.

A bananeira é uma planta muito sensível a desordens nutricionais, por isso, para elevar a produtividade desta cultura, é importante manter no solo o equilíbrio entre os nutrientes, de forma a evitar que ocorra o consumo excessivo de um nutriente em detrimento de outro (SILVA et al., 2007). Conforme Shane et al. (2004) e Fagan et al. (2016), quando há alto fornecimento de fósforo para as plantas, este em excesso se acumula nos vacúolos das células do parênquima paliçádico, promovendo redução na atividade fotossintética. A fisiologia da toxicidade do fósforo não é bem compreendida, e os sintomas são difíceis de serem avaliados, seja diretamente, pela interferência nas relações de água foliar em altas concentrações de fósforo celular (BHATTI e LONERAGAN, 1970), ou por interações não específicas da alta concentração celular de fósforo com zinco e ferro (MARSCHNER, 2012). A interação do fósforo com Zn e ou Fe produz sintomas nas folhas que se assemelham com deficiências de micronutrientes (MARSCHNER, 2012), e muitos estudos que descreveram deficiências de micronutrientes eram, na verdade, sintomas de toxicidade de fósforo (SHANE et al., 2004).

Apesar dos poucos trabalhos sobre a resposta da bananeira à aplicação do fósforo e suas relações com o metabolismo mineral da planta, talvez por ser o macronutriente

absorvido em menor quantidade (HOFFMANN et al., 2010), há indícios que sua suplementação na cultura traz efeitos no crescimento, produção e até mesmo na qualidade pós-colheita dos frutos (REIS e CHEPOTE, 2008; ATTIA et al., 2009; HARTHI e YAHYA, 2009; SILVA et al., 2011; SILVA e RODRIGUES, 2013; NAVANEETHAKRISHNAN et al., 2013; LIU et al., 2015).

Partindo do pressuposto que o fósforo é um nutriente ainda pouco estudado para uma recomendação segura na cultura da banana no Brasil, pesquisas que investiguem a suplementação correta de P poderão promover ganhos no crescimento, produtividade e qualidade dos frutos da bananeira, proporcionando uma recomendação de adubo fosfatado racional, o que conseqüentemente reduz gastos com adubações desnecessárias, desequilíbrio nutricional das plantas e riscos de contaminação dos recursos edáficos e hídricos. Além disso, especificamente, pouco se conhece sobre as necessidades nutricionais do híbrido FHIA 18, genótipo resistente à Sigatoka-negra e ao Mal-do-Panamá, que possui potencial para substituir as bananeiras do tipo Prata.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, produção, aspectos físico-químicos dos frutos e nutrição mineral da bananeira 'FHIA 18' em função da aplicação de fósforo, nas condições edafoclimáticas do município de São Manuel-SP. Em específico, avaliar o comportamento vegetativo, os estádios fenológicos, os teores de P nas folhas e o residual do P no solo em resposta à aplicação de fósforo durante três ciclos de produção, visando a formação de plantas mais vigorosas e com menor ciclo vegetativo e produtivo; estudar a influência da adubação fosfatada sobre as características produtivas da bananeira FHIA 18, de modo a identificar o nível ideal de recomendação com fósforo para o máximo rendimento produtivo; verificar a qualidade pós-colheita dos frutos frente à aplicação de níveis de fósforo no solo, com o intuito de identificar se a suplementação de tal nutriente pode promover alterações nos atributos físico-químico dos frutos; e avaliar os teores de nutrientes nas folhas e nos frutos do híbrido 'FHIA 18' em função da adubação fosfatada, com vista a entender o comportamento do fósforo na nutrição mineral da bananeira.

As hipóteses foram que:

- Encontraríamos um nível de fósforo acima do recomendado que promovesse maior crescimento e menor duração do ciclo vegetativo e produtivo das bananeiras;

- A bananeira FHIA 18 poderia responder à aplicação de fósforo, com ganhos nos componentes produtivos;

- A adubação fosfatada modificaria a qualidade organoléptica das bananas;

- O incremento nos níveis de fósforo aplicados ao solo proporcionaria alterações na nutrição mineral das bananeiras, devido aos efeitos de interação com outros nutrientes.

CAPÍTULO 1 – DESEMPENHO VEGETATIVO DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM TRÊS CICLOS AGRÍCOLAS

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de fósforo sobre o desempenho vegetativo da bananeira ‘FHIA 18’, durante três ciclos agrícolas. O experimento foi instalado no município de São Manuel-SP. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas (6 x 3), sendo as parcelas representadas pelas doses de fósforo (0, 20, 30, 40, 50 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹) e as subparcelas pelos três ciclos agrícolas, com dez repetições e uma planta por parcela experimental. No florescimento, foram avaliados a altura de plantas, o diâmetro do pseudocaule e o número de folhas ativas por planta. Também determinou-se a duração dos estádios fenológicos (intervalo de dias entre plantio e florescimento, florescimento à colheita e plantio à colheita), e o teor de fósforo na folha e no solo. A bananeira ‘FHIA 18’ requer a aplicação de 55% da recomendação de adubação com fósforo (22 kg ha⁻¹ de P₂O₅), no 2º e 3º ciclo agrícola, para alcançar o máximo desempenho vegetativo, em virtude do incremento no diâmetro do pseudocaule das plantas. As doses de P aplicadas aumentam linearmente o teor de fósforo disponível no solo, mas o máximo teor de fósforo na folha diagnóstico é estimado no nível de 90% da recomendação com fósforo (36 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹). Há correlação negativa entre o teor de fósforo disponível no solo com a altura de plantas, diâmetro do pseudocaule e o número de dias do florescimento à colheita.

Palavras-chave: *Musa* spp., crescimento vegetal, fósforo, nutrição.

Vegetative performance of ‘FHIA 18’ banana according to phosphate fertilization in three agricultural cycles

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the phosphorus application effects on ‘FHIA 18’ banana plant vegetative performance during three agricultural cycles. The experiment was installed in São Manuel-SP. A completely randomized design in a 6 x 3 arrangement of subdivided plots was used, the plots being represented by the phosphorus doses (0, 20, 30, 40, 50 and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ year⁻¹) and subplots for

the three agricultural cycles, with ten replicates and one useful plant per experimental plot. At flowering were evaluated plant height, pseudostem diameter and number of active leaves per plant. Phenological stages were also determined: interval of days between planting to flowering, flowering to harvest and planting to harvest, as well as phosphorus content of leaf and soil. The 'FHIA 18' banana requires the application of 55% of the phosphorus fertilization recommendation (22 kg ha^{-1} of P_2O_5) in the 2nd and 3rd cropping cycle, in order to reach the maximum vegetative performance, due to the increase in the pseudostem diameter of the plants. The P rates applied linearly increase the available phosphorus content in the soil, but the maximum phosphorus content in the diagnostic leaf is estimated at 90% level of phosphorus recommendation (36 kg ha^{-1} of $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ year}^{-1}$). There is a negative correlation between soil phosphorus content with plant height, pseudostem diameter and number of days from flowering to harvest.

Keywords: *Musa* spp., plant growth, phosphorus, nutrition.

1.1 INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa* spp.) é uma planta monocotiledônea herbácea completa, tipicamente tropical e perene, que se caracteriza pelo fluxo contínuo de produção. No Brasil, o cultivo da banana abrange todos os estados e destaca-se como uma das atividades agrícolas de maior importância econômica e social (WEBER et al., 2017).

Na safra brasileira de 2017, foram cultivados aproximadamente 487 mil hectares, cuja produção atingiu 7,2 milhões de toneladas, com produtividade média de $14,76 \text{ t ha}^{-1}$. A região Sudeste concentra 34% desta produção, sendo o Estado de São Paulo o atual maior produtor nacional (IBGE, 2018). Recentemente, o cultivo desta frutífera, no planalto paulista, tem alcançado maior evidência, pelo menor custo de produção com defensivos agrícolas, devido às condições climáticas serem restritivas à incidência de doenças fúngicas, como a Sigatoka-negra e a Sigatoka-amarela (*Mycosphaerella fijiensis* e *Mycosphaerella musicola*), e pela proximidade com o grande centro consumidor.

A temperatura, altitude, disponibilidade de água e nutrientes influenciam a duração e plasticidade do desenvolvimento fenológico da bananeira, uma vez que exercem efeito direto sobre a velocidade da maioria dos processos metabólicos,

afetando assim o ciclo vegetativo, as atividades fotossintética e respiratória (TAULYA et al., 2014). De acordo com Robinson e Galán Saúco (2010), a temperatura ótima para o crescimento e iniciação floral da bananeira é de 22 °C.

Além das condições climáticas, as bananeiras são altamente exigentes em nutrientes durante o período juvenil até o lançamento do cacho, com elevada absorção de K, N, Ca, P e Mg (MELO et al., 2010). Por essa razão, a adubação é um dos principais componentes do custo de produção da bananicultura, especialmente quando se trata do fósforo (P), elemento pouco estudado, para uma recomendação segura, e com baixa disponibilidade natural na grande maioria dos solos tropicais e subtropicais.

O fósforo (P) é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois atua como componente integral de metabólitos primários, fosfolipídios, ácidos nucleicos, assim como em grande número de reações bioquímicas e vias de sinalização (STIGTER e PLAXTON, 2015). O fornecimento adequado de fósforo promove o bom desenvolvimento do sistema radicular, e, por consequência, a utilização mais eficiente da água e de outros nutrientes (MOREIRA et al., 2016). Como o P apresenta efeito direto sobre a taxa fotossintética líquida, sua deficiência provavelmente pode reduzir o crescimento da planta (HENRY et al. 2012).

Na bananeira é importante favorecer o rápido crescimento e a formação de um maior número de folhas com maior área foliar, visto que o desenvolvimento vegetativo da cultura se correlaciona diretamente com o rendimento produtivo (LESSA et al., 2012). Portanto, a bananeira demanda um aporte adequado de nutrientes e pode responder positivamente à aplicação de fósforo (NAVANEETHAKRISHNAN et al., 2013).

Embora o fósforo seja o macronutriente acumulado em menor quantidade pela bananeira, alguns resultados de pesquisas realizadas em bananeiras do subgrupo Prata e Cavendish, no Brasil (SILVA et al. 2011; SILVA e RODRIGUES, 2013) e em outros países (HARTHI e YAHYA, 2009; NAVANEETHAKRISHNAN et al., 2013), respectivamente, sugerem o efeito do fósforo sobre as características vegetativas da bananeira.

As doses de P recomendadas para plantios comerciais, segundo o Boletim Técnico 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), fonte oficial de recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, variam de 20 a 260 kg de P₂O₅ ha⁻¹, conforme o teor disponível de fósforo no solo e a produtividade

esperada (TEIXEIRA et al., 2014). Contudo, deve-se considerar que as condições de clima e solo, além das diferentes exigências nutricionais apresentados pelos genótipos influenciam a necessidade de adubação na cultura.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito da aplicação de fósforo sobre o desempenho vegetativo da bananeira 'FHIA 18', durante três ciclos agrícolas.

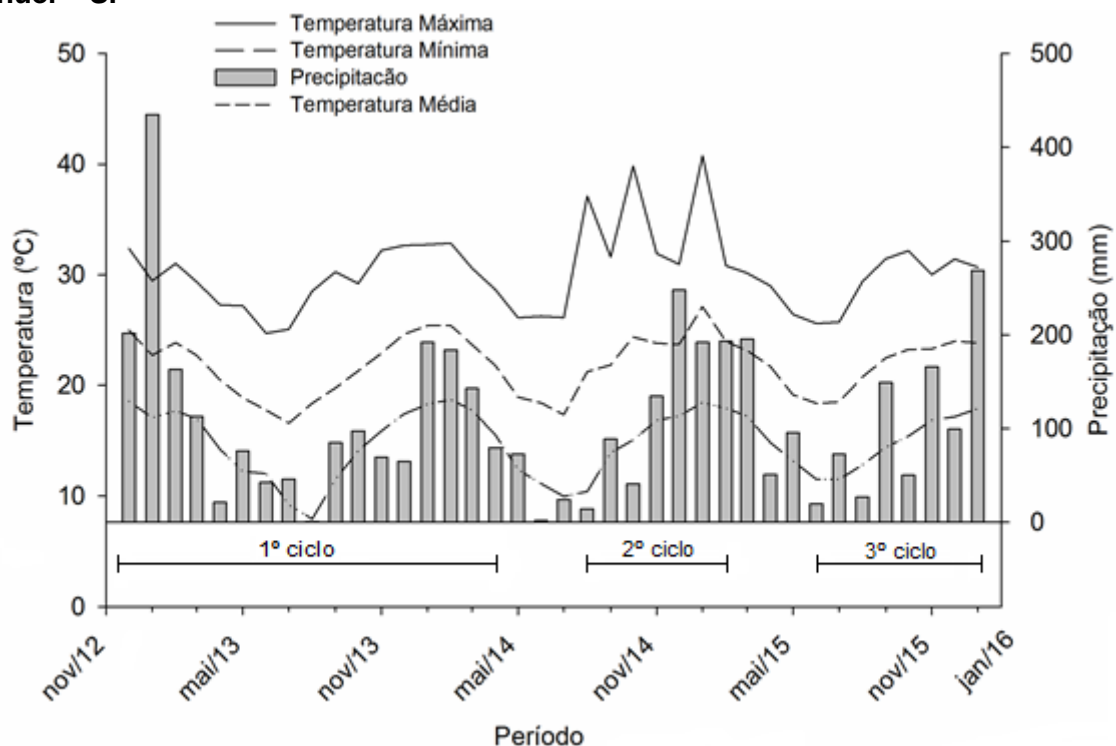
1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado durante três ciclos agrícolas (novembro de 2012 a janeiro de 2016), na Fazenda Experimental São Manuel, da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu - SP, situada a 22° 44' 28" S e 48° 34' 37" O e a 740 m de altitude. O clima do município de São Manuel - SP, conforme a classificação de Köppen, é do tipo *Cfa*, clima temperado quente (mesotérmico), com chuvas concentradas de novembro a abril (verão), precipitação pluvial média anual de 1.376,70 mm e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (CUNHA; MARTINS, 2009). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 2006).

O primeiro ciclo compreendeu de novembro de 2012 a abril de 2014, enquanto o segundo ciclo, de agosto de 2014 a fevereiro de 2015 e o terceiro ciclo, de junho de 2015 a janeiro de 2016. Os dados meteorológicos referentes aos três ciclos encontram-se na Figura 1.

Figura 1 - Temperaturas máximas, mínimas, médias (°C) e precipitação pluvial acumulada (mm) nos meses de novembro/2012 a janeiro/2016, no município de São Manuel – SP



Fonte: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO, 2017).

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subdivididas (6 x 3), com seis níveis de adubação com fósforo, três ciclos de produção, dez repetições e uma planta por parcela experimental.

O padrão de adubação com P (100%) foi definido conforme análises químicas do solo e na produtividade esperada menor que 20 t ha⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2014). As doses de adubação com P foram as seguintes: sem aplicação (testemunha); aplicação de 50% do padrão recomendado de fósforo (20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); aplicação de 75% do padrão recomendado de fósforo (30 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); aplicação de 100% do padrão recomendado de fósforo (40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); aplicação de 125% do padrão recomendado de fósforo (50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); aplicação de 150% do padrão recomendado de fósforo (60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹). A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo (46% de P₂O₅).

A adubação fosfatada foi realizada segundo recomendações propostas por Teixeira et al. (2014), sendo metade das doses de fósforo aplicadas de forma localizada na cova de plantio e o restante, aplicado aos 80 dias após o plantio, em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor das plantas. Nas adubações de produção do primeiro, segundo e terceiro ciclo foram aplicadas as doses de P_2O_5 , mantendo as devidas porcentagens de avaliações (0, 50, 75, 100, 125 e 150% da dose recomendada), sendo parceladas em três aplicações e distribuídas em cobertura, na forma de semicírculo de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem.

1.2.3 Instalação do experimento

Anteriormente à instalação da cultura, amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da UNESP/FCA, em Botucatu/SP, para determinação de suas propriedades químicas (Tabela 1), seguindo os métodos descritos por Raij et al. (2001).

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo da área experimental na Fazenda Experimental São Manuel. FCA/UNESP, São Manuel – SP, 2018

pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³
5,5	12	16	15	1	13	5	19	34	57	1
Boro		Cobre		Ferro		Manganês		Zinco		
mg dm ⁻³										
0,30		0,86		20		13		1,40		

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo. Departamento de Solos e Recursos Ambientais, UNESP/FCA.

Com base na análise de solo e segundo recomendações de Teixeira et al. (2014) para calagem e adubação da cultura da banana, fez-se a aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 96%), dois meses antes do plantio, visando elevar o índice de saturação por bases para 60% e o teor de magnésio acima de 9 mmol_c dm⁻³.

O plantio das mudas foi realizado em novembro de 2012, em covas com dimensões de 60 x 60 cm, no espaçamento de 4 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, totalizando 1000 plantas ha⁻¹. Nas covas de plantio foram aplicados 10 L de esterco

de curral, mais a metade das doses de fósforo avaliadas no trabalho em questão. Utilizaram-se mudas de bananeira 'FHIA 18' (AAAB) oriundas do processo de micropropagação, as quais apresentavam altura da parte aérea entre 15 e 20 cm e torrão de 6 cm.

1.2.4 Condução e manejo da área experimental

As bananeiras foram conduzidas em sistema de sequeiro, com a formação de "famílias", compostas pela planta-mãe (primeiro ciclo), planta-filha (segundo ciclo) e planta-neta (terceiro ciclo) (Figura 2).

Figura 2 - Vista da área experimental em outubro de 2013. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



- Outras adubações

Além das adubações fosfatadas já descritas, realizaram-se outras adubações com os demais nutrientes. A primeira adubação com N e K, que consistiu na adubação de formação, foi realizada 40 dias depois do plantio, com a aplicação de 120 g de sulfato de amônio e 110 g de cloreto de potássio. Aos 80 dias após o plantio (fevereiro de 2013), foram aplicados 300 g de sulfato de amônio e 275 g de cloreto de potássio. A última parcela da adubação com N e K foi realizada aos 140 dias do plantio (junho de 2013), aplicando-se 180 g de sulfato de amônio e 165 g de cloreto de potássio. Nessa

etapa, os fertilizantes foram aplicados em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor da planta (TEIXEIRA et al., 2014). Em outubro de 2013 aplicou-se 1 kg do composto orgânico PROVASO® (0,5% de N, 0,6% de P₂O₅, 0,4% de K₂O, e 15% de carbono orgânico) por família.

Quanto às adubações de produção foram aplicados: no primeiro ciclo (novembro de 2014): 267 g de uréia e 217 g de cloreto de potássio, com essas quantidades parceladas em três aplicações; no segundo ciclo (agosto de 2014): 422 g de uréia, 250 g de cloreto de potássio, sendo também aplicados 10 g de ácido bórico e 25 g de sulfato de zinco, que foram parcelados em duas aplicações; no terceiro (junho de 2015): 422 g de uréia, 350 g de cloreto de potássio e 1 kg do composto orgânico PROVASO® por família, que foram parcelados ao longo do ciclo. Os fertilizantes foram aplicados em cobertura, na forma de semicírculo de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem (TEIXEIRA et al., 2014).

- Manejo cultural

O controle de plantas daninhas, desbaste de perfilhos, retirada de folhas secas e doentes, controle de pragas e doenças, eliminação do coração, retirada dos pistilos e corte do pseudocaule após a colheita foram realizados conforme as práticas preconizadas para a cultura (TEIXEIRA et al., 2014).

1.2.5 Características avaliadas

1.2.5.1 Desempenho vegetativo

Para a avaliação do desempenho vegetativo das bananeiras, foram avaliadas as seguintes características: altura de plantas, diâmetro do pseudocaule e número de folhas funcionais. Tais variáveis biométricas foram mensuradas na ocasião da emissão da inflorescência.

- **Altura de plantas:** distância entre o nível do solo e a inserção da inflorescência, medida com régua graduada, com os resultados expressos em metros (m);

- **Diâmetro do pseudocaule (DP):** mensurado a 30 cm da superfície do solo, medindo sua circunferência (C) com o auxílio de uma fita métrica e obtendo-se o diâmetro pela fórmula: $DP = C/\pi$, sendo os resultados expressos em centímetros (cm);

- **Número de folhas:** contagem do número de folhas por planta que apresentavam mais da metade (50%) da área foliar verde.

1.2.5.2 Estádios fenológicos

Os estádios fenológicos das plantas foram determinados por meio de inspeções semanais no bananal, avaliando-se a duração dos seguintes períodos (NOMURA et al., 2013):

- **Plantio ao florescimento:** número de dias do plantio ao surgimento da inflorescência, para o primeiro ciclo de produção;

- **Florescimento à colheita:** número de dias entre a emissão da inflorescência e a colheita dos cachos. Definido para os três ciclos de produção;

- **Plantio à colheita (ciclo da cultura):** número total de dias do primeiro ciclo de produção.

1.2.5.3 Teor de fósforo na folha e no solo

Para determinar o teor de fósforo na folha das bananeiras, coletou-se uma faixa de 5-10 cm de largura da região central da terceira folha a partir do ápice, descartando o pecíolo e as bordas. A coleta das folhas foi realizada quando a inflorescência se encontrava com todas as pencas femininas descobertas (sem brácteas) e com no máximo três pencas de flores masculinas (MARTIN-PRÉVEL, 1984). Após a coleta, as amostras foliares foram lavadas com água deionizada, secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 60 horas, moídas e o teor de fósforo foi determinado, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Após a colheita dos cachos no terceiro ciclo de produção, foram retiradas 4 amostras de solo por tratamento, na profundidade de 0-20 cm, onde foram aplicados os adubos. Nessas amostras determinou-se o teor de fósforo disponível no solo pelo método resina, conforme Raij et al. (2001).

As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do solo e Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da UNESP/FCA, em Botucatu/SP.

1.2.6 Análise estatística

As características avaliadas foram submetidas à análise de variância. Quando significativos, os dados referentes as parcelas (doses), foram submetidos à análise de regressão, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, enquanto que os dados referentes às subparcelas (ciclos agrícolas) foram analisados por meio do teste Tukey. Para todas as análises foi utilizado o Programa Computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2011) e os modelos das curvas de regressão foram ajustados pelo Programa Computacional SigmaPlot versão 12.5. Afim de realizar a determinação da correlação das variáveis, utilizou-se o teste de Correlação de Pearson, para α igual a 5%. Assim, para a ilustração foi utilizado o Mapa de Cor, que está disponibilizado nos pacotes “reshape2” e “ggplot2” no software R Team.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação dos níveis de fósforo utilizados e os ciclos de produção foi significativa para altura de plantas e diâmetro do pseudocaule, permitindo inferir que essas características variaram conforme as doses aplicadas de modo diferente para cada ciclo produtivo. Para as variáveis número de folhas e número de dias do florescimento à colheita, considerando isoladamente os fatores citados, verificou-se que o fator níveis de fósforo não foi significativo. Contudo, para o fator ciclos de produção, observou-se efeito significativo para todas as variáveis, tal resultado demonstra a forte influência das condições climáticas e do potencial genético, que variam ao longo dos anos, sobre o comportamento vegetativo da bananeira ‘FHIA 18’ (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias para altura de plantas (ALP), diâmetro do pseudocaule (DP), número de folhas (NF), número de dias do florescimento à colheita (NDFC) e teor de fósforo na folha (P_{FOLHA}) para bananeiras 'FHIA 18' (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018

FV	ALP (m)	DP (cm)	NF	NDFC	P _{FOLHA}
Níveis de P (A)	3,25*	2,51*	0,41 ^{NS}	1,97 ^{NS}	1,65*
Ciclos (B)	190,11**	131,55**	60,91**	78,32**	7,05**
A x B	2,31*	2,42*	0,48 ^{NS}	0,56 ^{NS}	1,72 ^{NS}
CVA (%)	7,90	11,49	16,87	15,76	5,34
CVB (%)	6,92	6,36	13,41	10,01	4,95
Média	3,10	27,14	12,06	153,03	1,61

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

Em relação ao número de dias do plantio ao florescimento e número de dias do plantio à colheita, avaliados somente no primeiro ciclo produtivo, e o teor de fósforo no solo, avaliado apenas ao final do terceiro ciclo, houve efeito significativo dos níveis crescentes de P aplicados (Tabela 3).

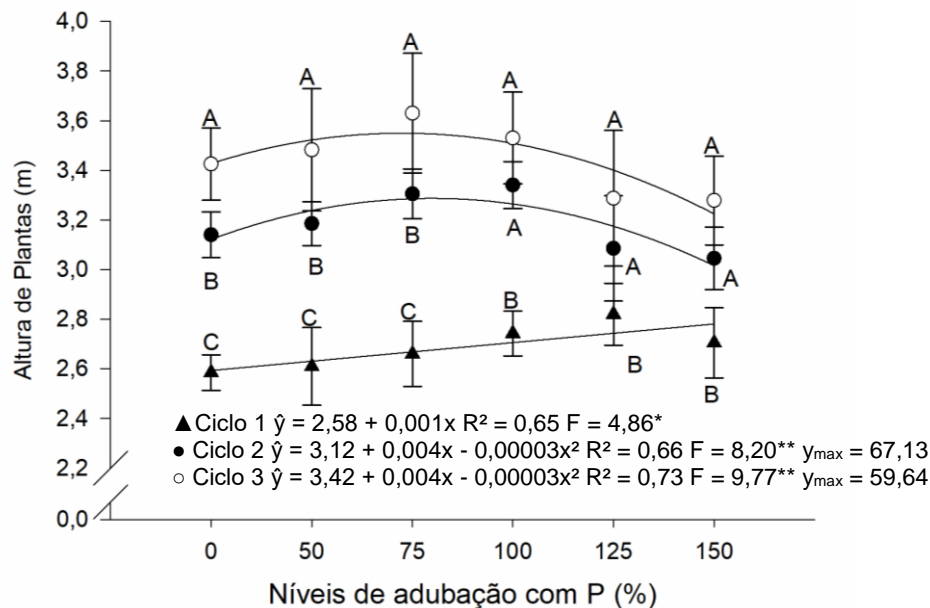
Tabela 3 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias do número de dias do plantio ao florescimento (NDPF), número de dias do plantio à colheita (ciclo da cultura) (NDPC) e teor de fósforo no solo para bananeiras 'FHIA 18' (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018

FV	NDPF	NDPC (ciclo da cultura)	P _{SOLO}
Níveis de P	3,41*	1,32 ^{NS}	7,43**
CV (%)	6,15	4,34	34,61
Média	382,61	517,87	40,18

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

Verificou-se que a altura de plantas, no primeiro ciclo, aumentou de forma linear à medida que os níveis de fósforo aplicados no solo foram aumentados. O valor mais elevado para a altura de plantas (2,71 m) foi obtido com a aplicação do nível máximo de P, que corresponde a 150% da recomendação de adubação com fósforo (60 kg de P₂O₅ ha⁻¹). Entretanto, no segundo e terceiro ciclo de produção, os níveis de fósforo promoveram aumento quadrático para a altura de plantas, com ponto máximo obtido nos níveis de 67,13 e 59,64% da recomendação de fósforo (26,9 e 23,9 kg ha⁻¹ de P₂O₅), respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Altura de plantas da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função dos níveis de adubação com P e avaliada ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Letras iguais entre os ciclos não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erros apresentam $n = 10$. y_{max} trata-se da determinação da altura de plantas máxima em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

O aumento da altura de plantas em resposta ao aumento dos níveis de fósforo, no primeiro ciclo de produção, corrobora com o resultado verificado por Silva e Rodrigues (2013), que também constataram efeito linear do P sobre a altura de plantas apenas para o primeiro ciclo da bananeira 'Prata Anã', em solo com baixo teor de P disponível ($4,6 \text{ mg dm}^{-3}$).

Essa resposta linear pode estar relacionada ao aumento na disponibilidade de fósforo para as plantas, pois no primeiro ciclo, o sistema radicular das bananeiras ainda é pouco desenvolvido, o que impede a absorção do P em camadas mais profundas do solo. Borges et al. (2008), estudando a distribuição do sistema radicular da bananeira, constatou que a maior concentração das raízes, no primeiro ciclo de produção da cultura, ocorre nas camadas superficiais do solo, até 0,30 m. Para o fósforo, quanto maior o comprimento e volume do sistema radicular, maior é o potencial da sua absorção pela planta (BROWN et al., 2012). Logo, a maior oferta de P contribuiu para o incremento na altura, uma vez que o fósforo está envolvido na síntese de proteínas (STIGTER e PLAXTON, 2015) e no alongamento celular (NIU et al., 2015). Já no segundo e terceiro ciclo de produção, a resposta foi quadrática possivelmente pelo excesso de fósforo na planta. Elevadas concentrações de P no tecido vegetal tendem a reduzir a atividade fotossintética, pois ocorre exportação

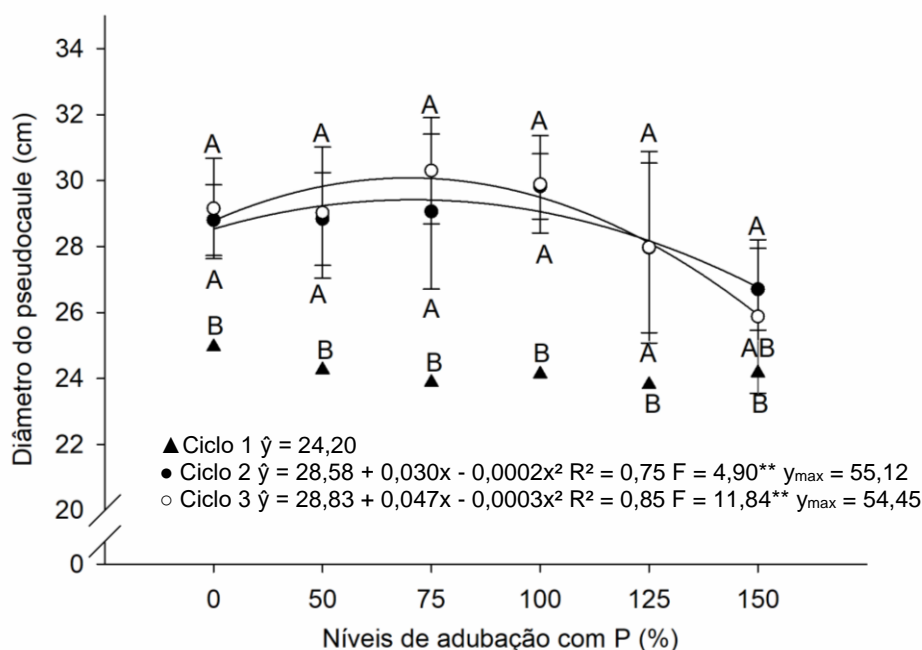
excessiva de triose-P do cloroplasto para o citosol, prejudicando a regeneração da RuBP (Ribulose-1,5-bifosfato) e, conseqüentemente, a fixação de CO₂ no processo fotossintético (LIMA et al., 2014).

Embora a aplicação de fósforo tenha proporcionado incremento em altura, o porte mais elevado das bananeiras é indesejável sob o ponto de vista fitotécnico, pois além da dificuldade de colheita dos cachos, plantas mais altas apresentam maior susceptibilidade ao tombamento pela ação de ventos fortes. Contudo, este efeito pode ser minimizado pelo maior diâmetro do pseudocaule.

As maiores médias de altura de plantas foram observadas, em sua maioria, no terceiro ciclo (3,44 m), sendo as menores verificadas no primeiro ciclo (2,69 m). O incremento gradativo da altura ao longo dos ciclos está condizente com a literatura especializada (SILVA e RODRIGUES, 2013). Segundo Donato et al. (2009), o aumento e estabilidade da altura é um comportamento vegetativo intrínseco das bananeiras, geralmente há maior incremento do primeiro para o segundo ciclo e a partir do terceiro ciclo, normalmente não há mais aumento na altura das plantas. Esta característica está sujeita às diferentes condições edafoclimáticas de cultivo, além disso, a altura é um descritor importante, pelo fato de interferir no adensamento e, conseqüentemente, na produtividade.

No que se refere à variável diâmetro do pseudocaule, não foi observado efeito significativo da aplicação das doses crescentes de P no solo para o primeiro ciclo. Contudo, para o segundo e terceiro ciclo de produção, as bananeiras responderam à aplicação do P, com comportamento quadrático, sendo obtidos os maiores diâmetros (29,43 e 30,13 cm) nos níveis de adubação estimados de 55,12 e 54,45% da recomendação com P (22,1 e 21,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅), respectivamente. Comparando os valores de 28,81 e 29,16 cm, obtidos nas plantas que não foram suplementadas com fósforo, com os pontos de máximo calculados, houve um incremento no diâmetro do pseudocaule da ordem de 2,17 e 3,34%, para o segundo e o terceiro ciclo de produção, respectivamente (Figura 4).

Figura 4 - Diâmetro do pseudocaule da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função dos níveis de adubação com P e avaliado ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Letras iguais entre os ciclos não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erros apresentam $n = 10$. y_{max} trata-se da determinação do diâmetro de pseudocaule máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

Estudos similares têm demonstrado o incremento quadrático da aplicação de fósforo sobre o diâmetro do pseudocaule, como o realizado por Silva et al. (2011) em mudas de bananeira 'Prata Anã' (AAB), sob dois diferentes tipos de Latossolo, e por Reis e Chepote (2008) em bananeiras 'Pacovan' (AAB), os quais observaram que as doses de 175 para a planta mãe e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a planta filha, maximizaram o perímetro do pseudocaule. Com isso, é possível sugerir que a dose ótima de fósforo para o desempenho vegetativo da bananeira está relacionada à exigência nutricional apresentada por cada cultivar, bem como ao nível de fósforo residual no solo, reforçando a importância de trabalhos dessa natureza, a fim de se chegar a uma recomendação de fósforo segura para a cultura.

O efeito positivo da aplicação de P sobre o diâmetro do pseudocaule da bananeira 'FHIA 18' até os níveis ótimos, deve-se ao fósforo ser elemento central para a maioria dos constituintes moleculares necessários ao funcionamento das células vegetais (STIGTER e PLAXTON, 2015). Ao passo que a redução de tal parâmetro biométrico promovida pelas doses acima da ótima, remete ao efeito dos níveis de P em excesso no tecido vegetal prejudicarem o processo fotossintético (LIMA et al., 2014). Além disso, a aplicação contínua de P no solo prejudica a utilização do zinco pelas plantas,

nutriente fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois é cofator de enzimas envolvidas na síntese de proteínas e na produção de energia, bem como na manutenção da integridade estrutural da membrana e na produção e AIA (ácido indolacético), que garante o alongamento celular (NOVAIS et al., 2016).

O diâmetro do pseudocaule apresentou aumento significativo do primeiro para o segundo e terceiro ciclo, exceto no maior nível de fósforo avaliado (150% da recomendação com P), onde os valores médios de 24,16 e 25,88 cm, não diferiram entre o primeiro e o terceiro ciclo de produção, respectivamente. Tal resultado evidencia que as altas doses de fósforo são prejudiciais ao desempenho vegetativo da bananeira 'FHIA 18', nos ciclos subsequentes ao primeiro, o que provavelmente deve ser reflexo da maior distribuição do sistema radicular e da translocação de P entre as plantas mãe, filha e neta, que passam a ser interdependentes com o estabelecimento da touceira (KURIEN et al., 2006), resultando em acúmulo excessivo de fósforo na planta. Para íons pouco móveis, como o fosfato, a absorção é frequentemente relacionada com o comprimento radicular (BROWN et al., 2012). Assim, tais fatores devem ser considerados no manejo nutricional de um bananal, pois a aplicação em excesso de fertilizantes pode culminar não somente em prejuízos produtivos, mas também econômicos e ambientais.

Para bananeiras de grande porte, como a 'FHIA 18', quanto maior o diâmetro do pseudocaule, menor será sua suscetibilidade ao tombamento, pois o diâmetro está diretamente relacionado ao vigor e reflete a capacidade de sustentação do cacho pela bananeira. Além disso, o diâmetro do pseudocaule apresenta correlação positiva com a produção das plantas (GUIMARÃES et al., 2014).

O número de folhas, assim como o de dias do florescimento à colheita não foi influenciado pelos níveis de fósforo, porém, houve diferença significativa ($p < 0,01$) dessas variáveis entre os ciclos de produção (Tabela 4). O maior número médio de folhas (13,64) foi obtido no primeiro ciclo de produção, enquanto o menor (10,38) foi observado no terceiro ciclo. Para o número de dias do florescimento à colheita, o maior valor médio foi atingido no terceiro ciclo de produção.

Tabela 4 – Número de folhas e número de dias do florescimento à colheita da bananeira ‘FHIA 18’ (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, seguidas de suas médias e da diferença mínima significativa (DMS). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018

Ciclos	Número de folhas	Número de dias do florescimento à colheita
Primeiro ciclo	13,64 a	135,26 c
Segundo ciclo	12,16 b	153,58 b
Terceiro ciclo	10,38 c	170,26 a
DMS	0,70	6,65

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não são significativamente diferentes de acordo com teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Embora tenha ocorrido redução no número de folhas ao longo dos ciclos, os valores obtidos neste trabalho são considerados satisfatórios, pois a presença de mais de oito folhas no florescimento é considerada como suficiente para o desenvolvimento normal do cacho (RODRÍGUEZ GONZÁLEZ et al., 2012). Avaliando o desenvolvimento vegetativo da bananeira ‘FHIA 18’ em condições subtropicais, Nomura et al. (2013) também observaram queda significativa no número de folhas do primeiro para o segundo ciclo, com médias de 13,9 e 11,5 folhas por planta na época do florescimento, respectivamente. Smith et al. (2014), nas condições subtropicais da Austrália, encontraram para o híbrido FHIA 18, valor médio igual a 7 folhas funcionais ao final do primeiro ciclo da cultura. Ou seja, a interação do genótipo com o ambiente de cultivo influencia o comportamento vegetativo das bananeiras. Além disso, o maior valor médio de folhas obtido no primeiro ciclo deve-se ao fato de sua fase vegetativa ser mais longa, uma vez que compreende desde do transplante da muda, propiciando assim, a formação de um maior número de folhas.

A ausência de resposta ao P, para o número de folhas, pode estar relacionada à quantidade de fósforo presente no solo ter sido suficiente, para atender as exigências nutricionais da bananeira para a formação de folhas. Além disso, conforme Turner (1998), a quantidade de folhas emitidas é regulada principalmente pela temperatura e ontogenia da planta.

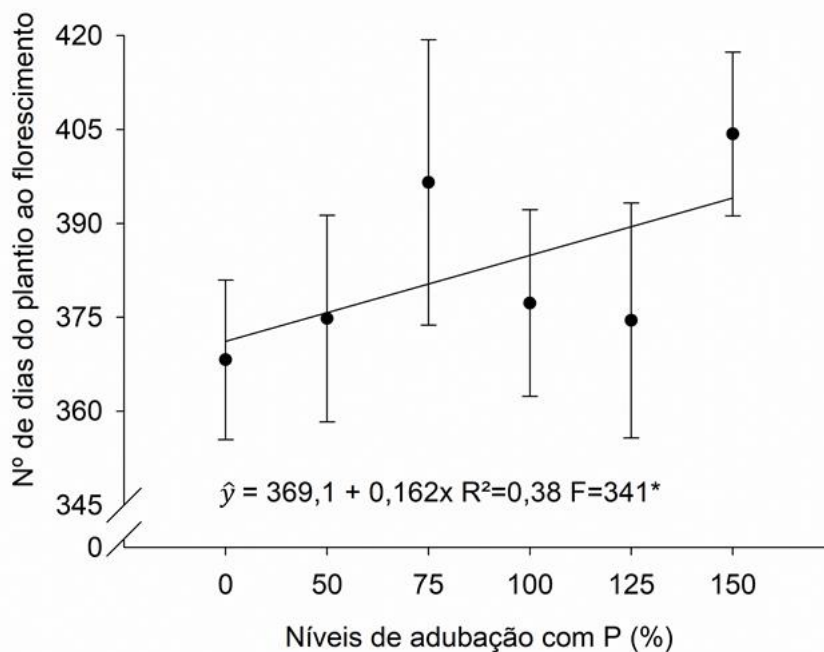
Para o período entre o florescimento e a colheita, a diferença e aumento da duração em dias entre os ciclos, pode ser reflexo das condições climáticas, que variam muito entre os anos e, certamente, influenciaram nesses resultados obtidos. Quando se analisa os dados climáticos do local de estudo (Figura 1), é possível verificar que o período médio inicial do florescimento do primeiro ciclo (24/11/2013) coincidiu com temperaturas desejáveis à indução floral da bananeira, pois segundo Robinson e

Galán Saúco (2010), a temperatura ótima para o crescimento e iniciação floral é de 22 °C. Já no segundo e terceiro ciclo, o início do florescimento ocorreu em média no mês de agosto de 2014 e junho de 2015, respectivamente. Épocas onde, além da ocorrência de temperaturas baixas, houve baixa precipitação.

Taulya et al. (2014) afirmam que a condição térmica e a disponibilidade de água apresentam grande influência sobre a indução floral nas bananeiras, determinando a plasticidade fenotípica da floração, uma vez que esses condicionantes climáticos reduzem ou aumentam as atividades fisiológicas.

As avaliações do número de dias do plantio ao florescimento e do plantio à colheita foram determinadas somente para o primeiro ciclo, uma vez que o plantio é realizado apenas uma única vez na cultura da bananeira e os demais ciclos, somente avaliados entre o florescimento e a colheita. O número de dias do plantio ao florescimento aumentou linearmente com a adubação fosfatada, apresentando maior média (404,3 dias) no nível de 150% da recomendação com P, correspondente a dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 5). Contudo, o período entre o plantio e a colheita (ciclo) não foi influenciado pelos níveis de fósforo utilizados, com média obtida de 517 dias.

Figura 5 - Número de dias do plantio ao florescimento para a bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



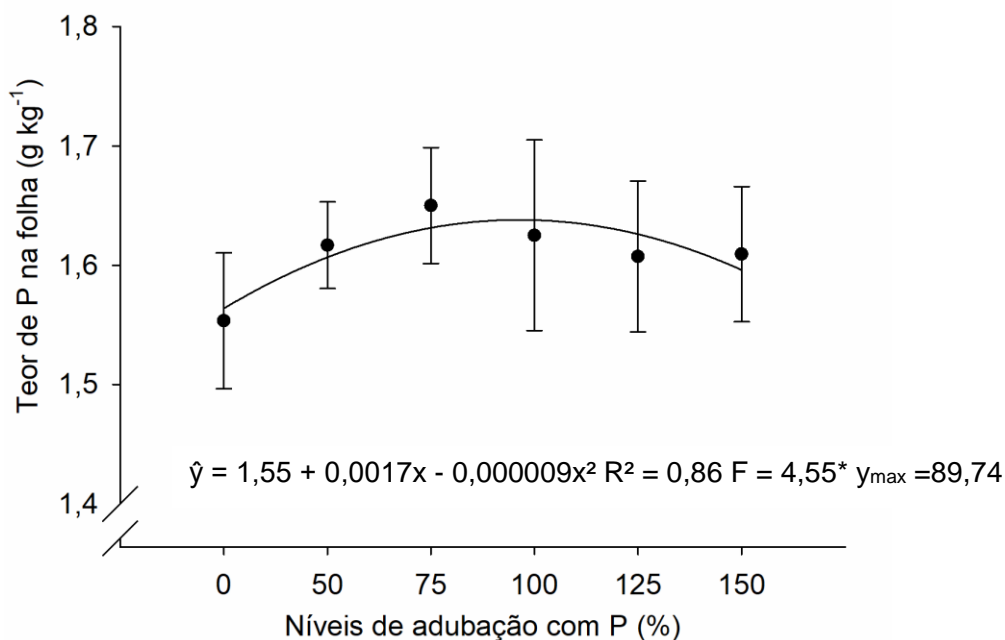
As barras de erros apresentam n = 10.

O efeito linear crescente da adubação fosfatada sobre o número de dias do plantio ao florescimento, sugere que o aumento das doses de fósforo faz com que as bananeiras se desenvolvam vegetativamente em detrimento ao florescimento. Altas doses de fósforo diminuem a eficiência fotossintética (LIMA et al., 2014), o que pode acarretar no desenvolvimento mais lento das plantas, aumentando o número de dias entre o plantio e o florescimento. A eficiência de níveis mais baixos de P sobre a redução do número de dias do plantio ao florescimento da bananeira, traz benefícios para o produtor, pois quanto mais cedo a planta iniciar o florescimento, mais rápido entrará na fase reprodutiva, antecipando o retorno do capital investido.

A ausência de resposta do P para o número de dias do plantio à colheita também foi constatada por Harthi e Yahya (2009), avaliando o crescimento de bananeiras cv. Williams (AAA). Assim, pode-se concluir que o ciclo da bananeira é influenciado por outros fatores de cultivo, principalmente pelas condições climáticas locais, pois Nomura et al. (2013) avaliando o comportamento vegetativo da bananeira 'FHIA 18' no Vale do Ribeira-SP, observaram que o número de dias do plantio à colheita foi de $443,1 \pm 12,8$ dias, enquanto Smith et al. (2014) nas condições subtropicais da Austrália, encontraram uma duração média de 578 dias para o mesmo genótipo, sendo ainda esses resultados, diferentes do valor médio obtido no presente estudo (517 dias).

O teor de fósforo na folha aumentou de forma quadrática com a aplicação de P_2O_5 no solo, sendo o máximo teor ($1,63 \text{ g kg}^{-1}$) obtido no nível de adubação estimado de 89,74% da recomendação com P (Figura 6). Dessa forma, a resposta da aplicação de fósforo sobre o teor do nutriente na folha explica o efeito quadrático sobre a altura e o diâmetro do pseudocaule, no segundo e terceiro ciclo de produção.

Figura 6 - Teor de fósforo na folha da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam n = 4. Ymax trata-se da determinação do teor de P na folha máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

O fornecimento equilibrado de fósforo, desde o início do desenvolvimento vegetativo, estimula o crescimento radicular, proporcionando assim uma disponibilidade mais adequada de nutrientes como um todo para a planta (MOREIRA et al., 2016). Por outro lado, altas doses de adubo fosfatado podem levar à toxicidade e reduzir o crescimento das raízes, o que acarreta na menor absorção do P (LIMA et al., 2014), justificando o efeito quadrático. Como a formação da touceira já está estabelecida a partir do segundo ciclo, há maior extração de fósforo pelo sistema radicular, refletindo no maior teor de fósforo nas folhas, no segundo e terceiro ciclo, quando comparado ao primeiro (Tabela 5). O teor médio foliar de P, situou-se dentro da faixa estabelecida por Ifa (1992) e Silva et al. (2002) para a cv. Prata Anã, genitora do híbrido FHIA 18.

Tabela 5 - Teor de fósforo na folha diagnóstico da bananeira 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, seguidas de suas médias e da diferença mínima significativa (DMS). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018

Ciclo	Teor de P folha
Primeiro ciclo	1,56 b
Segundo ciclo	1,63 a
Terceiro ciclo	1,64 a
DMS	0,06

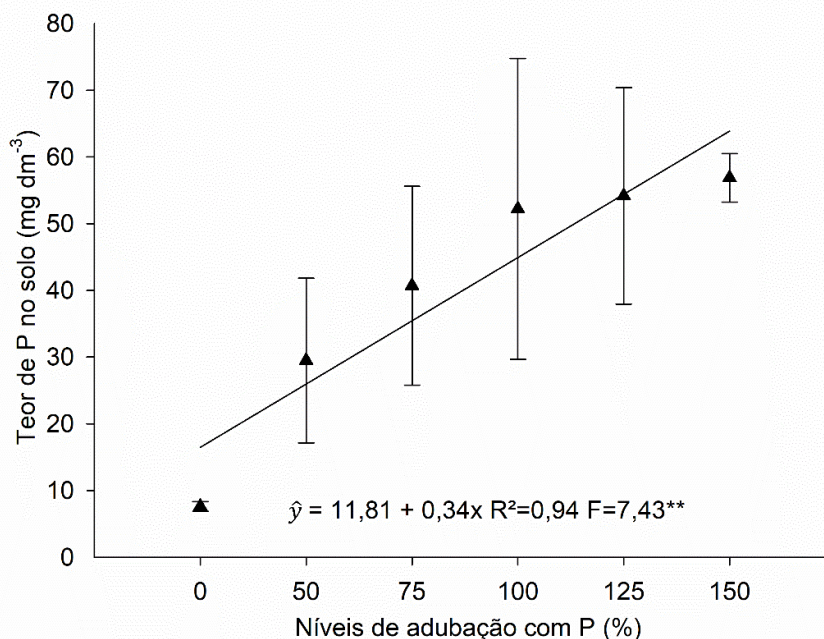
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não são significativamente diferentes de acordo com teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Embora o teor de fósforo na folha tenha respondido de forma quadrática à adubação fosfatada, o teor disponível de fósforo no solo, ao final do experimento, aumentou de forma linear em função dos níveis de P aplicados durante os três ciclos de produção (Figura 7).

O teor inicial de P no solo da área experimental (16 mg dm^{-3}), classificado como médio, segundo Raij et al. (2001), indica que a capacidade de retenção de P por esse solo não é elevada, uma vez que se trata de um solo com textura média. A disponibilidade de fósforo é influenciada por fatores, dentre os quais se destaca a textura do solo. Quanto menor o teor de argila no solo menor a capacidade ou poder-tampão do solo para ânions, como os fosfatos (MALUF et al., 2015). Silva et al. (2011) avaliando o efeito da adubação fosfatada em mudas de bananeira 'Prata anã' (AAB), cultivadas em dois Latossolos, verificaram que o teor disponível de fósforo no solo de textura média foi maior quando comparado ao solo argiloso, em função das doses de P_2O_5 aplicadas.

Portanto, o resultado do teor de P no solo explica o efeito negativo observado a partir dos níveis estimados de fósforo para a maioria das características avaliadas, pois o teor de P remanescente do solo estava próximo ao suficiente para a bananeira 'FHIA 18', logo, os maiores níveis de adubação com P constituíram-se em excesso às plantas, que é prejudicial e provoca redução do crescimento vegetal (LIMA et al., 2014). Além disso, altos teores de fósforo no solo podem afetar a disponibilidade de outros nutrientes e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento das plantas, pois os fosfatos tendem a reduzir a solubilidade do zinco, pela formação de fosfatos de zinco no solo e induzir a deficiência de ferro e manganês, pela redução da mobilidade desses no tecido vegetal (NOVAIS, et al., 2016). Portanto, é imprescindível que as características do solo sejam levadas em consideração no momento de realizar o manejo nutricional de um bananal, pois o excesso de um determinado nutriente pode trazer danos à planta em decorrência da restrição na absorção de outros elementos.

Figura 7 - Teor de fósforo disponível no solo, cultivado com a bananeira 'FHIA 18' (AAAB), em função dos níveis de adubação com P. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018

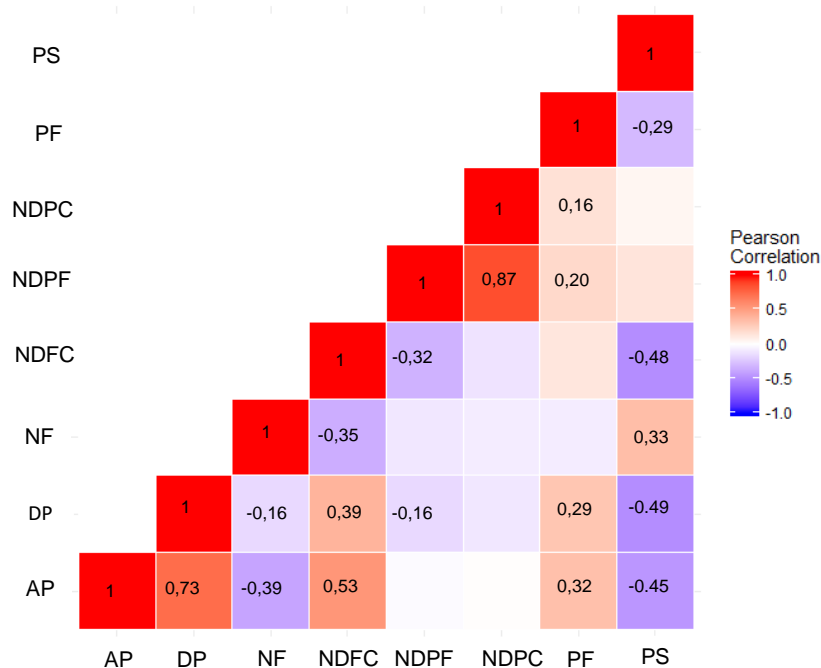


As barras de erros apresentam $n = 4$.

Quanto aos estudos de correlação, nota-se que para a altura de plantas, a relação foi positiva e significativa com o diâmetro do pseudocaule e o número de dias do florescimento à colheita, sendo possível afirmar que existe uma associação genética entre essas variáveis para a bananeira 'FHIA 18'. Dentre estas correlações, a de maior magnitude, ocorreu entre a altura de plantas e o diâmetro do pseudocaule ($0,7$ $p < 0,05$). Para o teor de fósforo disponível no solo, foram observadas correlações negativas e significativas com a altura de plantas, diâmetro do pseudocaule e número de dias do florescimento à colheita (Figura 8).

De maneira geral, a correlação positiva entre o número de dias do plantio ao florescimento e o número de dias do plantio à colheita, foi a que apresentou maior magnitude dentre as variáveis estudadas (Figura 8), o que já era esperado, pois um período fenológico está diretamente relacionado ao outro, isto é, quanto maior o período entre o plantio e o florescimento, maior será a duração do ciclo da cultura, sendo o contrário verdadeiro.

Figura 8 - Mapa de calor das correlações entre as variáveis analisadas na bananeira 'FHIA 18' (AAAB) submetida a níveis e P ao longo de três ciclos. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Dados apresentados significativos a 5%. AP: altura de plantas; DP: Diâmetro do pseudocaule; NF: número de folhas; NDPF: número de dias do plantio ao florescimento; NDFC: número de dias do florescimento à colheita; NDPC: número de dias do plantio à colheita; PF: teor de fósforo na folha; PS: teor de fósforo no solo.

A correlação de alta magnitude (0,73 $p < 0,05$) e positiva entre a altura de plantas e o diâmetro do pseudocaule comprova que essas características vegetativas são diretamente proporcionais. Resultados semelhantes foram encontrados por Lessa et al. (2012), estudando correlações em treze genótipos de bananeira, onde observaram relação positiva entre a altura de plantas e o diâmetro do pseudocaule, nos três ciclos de produção. O aumento da altura de plantas em virtude do aumento da massa vegetal durante o desenvolvimento vegetativo, também leva ao incremento no diâmetro do pseudocaule, o que possivelmente explica a correlação entre essas características morfológicas (LESSA et al., 2012). De acordo com Jarman et al. (1997), o pseudocaule da bananeira é constituído por feixes fibrosos (1-1,5%), substâncias mucilaginosas (4-8%) e água (90-96%). Embora plantas mais altas apresentem maior suscetibilidade ao tombamento pela ação de ventos fortes, este efeito é reduzido pelo maior diâmetro do pseudocaule. Conforme Guimarães et al. (2014), a altura e o diâmetro do pseudocaule se correlacionam positivamente com as características de produção, podendo ser utilizados como indicativo vegetativo e prático para estimativa do vigor e produtividade das bananeiras.

A variação inversa do teor de fósforo disponível no solo com a altura de plantas e o diâmetro do pseudocaule, reforça a hipótese de que altas quantidades de fósforo no solo reduzem o crescimento da bananeira 'FHIA 18', devido à toxidez proporcionada pelas altas concentrações do adubo fosfatado reduzirem o crescimento das raízes das plantas (LIMA et al., 2014), pelos efeitos prejudiciais do excesso de P no processo fotossintético; além do alto teor de P no solo afetar a disponibilidade de outros nutrientes, principalmente o zinco (NOVAIS et al., 2016).

Para o número de dias do florescimento à colheita, a correlação negativa com o teor de fósforo no solo, demonstra que a redução do intervalo desse período fenológico quanto o maior o teor de P, pode ser decorrente de uma adaptação da planta à condição de estresse provocada pelo excesso de fósforo no solo (NORD et al., 2011). Porém, o fato do cacho ser formado mais precocemente, não significa que o mesmo tenha alcançado desenvolvimento satisfatório. Segundo os mesmos autores, contrariamente, a baixa disponibilidade de fósforo, pode atrasar tipicamente a fenologia das plantas, sendo esta uma estratégia do vegetal para adquirir maior período de absorção e utilização do P disponível no solo.

1.4 CONCLUSÕES

A bananeira 'FHIA 18' requer a aplicação de 55% da recomendação de adubação com fósforo (22 kg ha^{-1} de P_2O_5), no 2º e 3º ciclo agrícola, para alcançar o máximo desempenho vegetativo, em virtude do incremento no diâmetro do pseudocaule das plantas.

As doses de P aplicadas aumentam linearmente o teor de fósforo disponível no solo, mas o máximo teor de fósforo na folha diagnóstico é estimado no nível de 90% da recomendação com fósforo (36 kg ha^{-1} de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ano}^{-1}$).

Há correlação negativa entre o teor de fósforo disponível no solo com a altura de plantas, diâmetro do pseudocaule e o número de dias do florescimento à colheita, visto que quanto maior o teor de P no solo, menor é o teor de P na folha.

REFERÊNCIAS

BORGES, A. L. et al. Distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' em duas freqüências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, p. 259-262, 2008.

BROWN, L. K. et al. What are the implications of variation in root hair length on tolerance to phosphorus deficiency in combination with water stress in barley (*Hordeum vulgare*)? **Annals of Botany**, Oxford, v. 110, p. 319-328, 2012.

Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO. Instituto Agrônomo de Campinas–IAC. **Monitoramento agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

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

DONATO, S. R. L. et al. Comportamento fitotécnico da bananeira 'Prata Anã' e de seus híbridos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1608-1615, 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GUIMARÃES, B. V. C et al. Phenotypical correlations between agronomical characters in Prata type bananas (*Musa*) and its implications on yield estimate. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 9, n. 17, p. 1358–1365, 2014.

HARTHI, K.; YAHYAI, R. Effect of NPK fertilizer on growth and yield of banana in northern Oman. **Journal of Horticulture and Forestry**, Peshawar, v. 1, n. 8, p. 160-167, 2009.

HENRY, A. et al. Responses to low phosphorus in high and low foliar anthocyanin coleus (*Solenostemon scutellarioides*) and maize (*Zea mays*). **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 3, p. 255-265, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2018.

IFA – International Fertilizer Industry Association (Paris). **World fertilizer use manual**. Limburgerhof: BASF. Agricultural Research Station, 1992. 631p.

JARMAN, C. G. et al. Banana fibre: a review of its properties and small-scale extraction and processing. **Tropical Science**, London, v. 19, n. 4, p. 173-185, 1997.

KURIEN, S. et al. Intermat and intramat competition in banana studied using ³²P. **Fruits**, Paris, v. 61, p. 225-235, 2006.

LESSA, L. S. et al. Características vegetativas e seus efeitos sobre a produção de bananeira em três ciclos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, p. 1098-1104, 2012.

LIMA, P. R. et al. Effects of different rates of nitrogen (N) and phosphorus pentoxide (P₂O₅) on eggplant yield. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 9, n. 19, p. 1435-1441, 2014.

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. 319 p.

MALUF, H. J. G. M. et al. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1681-1689, 2015.

MARTIN-PRÉVEL, P. Bananier. In: MARTINPRÉVEL, P.; GAGNARD, J.; GAUTIER, P. **L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales**. Paris: Tec&Doc, 1984. p. 715-751.

MELO, A. S. et al. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, 2010.

MOREIRA, R. A. et al. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3, p. 230-237, 2016.

NAVANEETHAKRISHNAN, K. S.; GILL, M. I. S.; KUMAR, S. R. Effect of different levels of N and P on ratoon banana (*Musa* spp. AAA). **Journal of Horticulture and Forestry**, Lagos, v. 5, n. 6, p. 81-91, 2013.

NIU, Y. et al. Phosphorus and magnesium interactively modulate the elongation and directional growth of primary roots in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 13, p. 3841-3854, 2015.

NOMURA, E. S. et al. Avaliação agronômica de genótipos de bananeiras em condições subtropicais, Vale do Ribeira, São Paulo - Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 112-122, 2013.

NORD, E. A.; SHEA, K.; LYNCH, J. P. Optimizing reproductive phenology in a two-resource world: a dynamic allocation model of plant growth predicts later reproduction in phosphorus-limited plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 108, n. 2, p. 391-404, 2011.

NOVAIS, S. V. et al. Phosphorus-Zinc Interaction and Iron and Manganese Uptake in the Growth and Nutrition of *Phalaenopsis* (Orchidaceae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-10, 2016.

RAIJ, B. V. et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. IAC, 2001. 285p.

REIS, E. L.; CHEPOTE, R. E. Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento e produção da bananeira no sul da Bahia. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 20, p. 13-20, 2008.

ROBINSON, J. C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains**. 2nd ed. Oxford: CAB International, 2010. 311p. (Crop Production Science in Horticulturae Series, 19).

RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, C.; CAYÓN SALINAS, D. G.; MIRA CASTILLO, J. J. Efecto del número de hojas funcionales a La floración sobre La producción de banano Gran Enano (*Musa* AAA Simmonds). **Revista da Facultad Nacional de Agronomía de Medellín**, Medellín, v. 65, n. 2, p. 6585-6591, 2012.

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata Anã' para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 16p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira Prata anã (AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, p. 238-242, 2011.

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, M. G. V. Produção da bananeira 'Prata Anã' em função da aplicação de adubo fosfatado, em quatro ciclos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 613-618, 2013.

SMITH, M. K. et al. Growth, yield and Fusarium wilt resistance of six FHIA tetraploid bananas (*Musa* spp.) grown in the Australian subtropics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 170, p. 176-181, 2014.

STIGTER, K. A.; PLAXTON, W. C. Molecular mechanisms of phosphorus metabolism and transport during leaf senescence. **Plants**, Switzerland, v. 4, n. 4, p. 773-798, 2015.

TAULYA, G. et al. Phenological development of East African highland banana involves trade-offs between physiological age and chronological age. **European Journal of Agronomy**, Montpellier, v. 60, n. 1, p. 41-53, 2014.

TEIXEIRA, L.A.J. et al. Banana. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Eds.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 46-51. Boletim Técnico, 200.

TURNER, D. W. Ecophysiology of bananas: The generation and functioning of the leaf system. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 490, p. 211-221, 1998.

WEBER, O. B. et al. Performance of banana genotypes with resistance to black leaf streak disease in Northeastern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 3, p. 161-169, 2017.

CAPÍTULO 2 – ADUBAÇÃO FOSFATADA EM TRÊS CICLOS CONSECUTIVOS E SEU IMPACTO NO DESEMPENHO PRODUTIVO DO HÍBRIDO DE BANANEIRA ‘FHIA 18’

RESUMO

A bananeira ‘FHIA 18’ apresenta grande potencial produtivo e pode substituir o cultivar Prata, que é suscetível à Sigatoka-negra e ao Mal-do-Panamá. Porém, pouco se conhece sobre as necessidades nutricionais desse híbrido, principalmente em fósforo. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da adubação fosfatada em três ciclos consecutivos sobre o desempenho produtivo da bananeira ‘FHIA 18’, cultivada nas condições edafoclimáticas de São Manuel-SP. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas (6 x 3), sendo as parcelas representadas pelos níveis de recomendação com fósforo (0, 20, 30, 40, 50 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹) e as subparcelas pelos três ciclos agrícolas, com dez repetições e uma planta por parcela experimental. Avaliou-se a massa do cacho, massa da ráquis, massa de frutos, número de frutos por cacho, número de pencas por cacho e massa, número, comprimento e diâmetro dos frutos da segunda penca. O cultivar FHIA 18 requer para atingir máxima produção por planta, a aplicação de 22 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹, quantidade menor do que a recomendada para a cultura da bananeira no estado de São Paulo. Há incremento nas características produtivas do primeiro ciclo para os ciclos subsequentes, independente da dose de P utilizada.

Palavras-chave: *Musa* spp., produção, nutrição, P₂O₅.

Phosphate fertilization subjected to three consecutive cycles and its impact on production performance of banana hybrid ‘FHIA 18’

ABSTRACT

The ‘FHIA 18’ banana plant has great productive potential and can replace the Prata cultivar, which is susceptible to black Sigatoka and Panama disease. However, little is known about the nutritional requirements of this hybrid, especially in phosphorus. The objective of this work was to evaluate the phosphate fertilization impact on three consecutive cycles on productive performance of the ‘FHIA 18’ banana plant, cultivated under the edaphoclimatic conditions of São Manuel-SP. A completely randomized

design in a 6 x 3 arrangement of subdivided plots was used, the plots being represented by the phosphorus doses (0, 20, 30, 40, 50 and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ year⁻¹) and subplots for the three agricultural cycles, with ten replicates and one useful plant per experimental plot. The bunch mass, rachis mass, mass of fruits, number of fruits per bunch, number of hands per bunch, and mass, number, length and diameter of the fruits on the second hand were evaluated. The FHIA 18 cultivar requires a maximum of 22 kg ha⁻¹ of P₂O₅ year⁻¹, which is lower than that recommended for banana cultivation in São Paulo state. There is an increase in the productive traits of the first cycle for the subsequent cycles, regardless of the P dose used.

Keywords: *Musa* spp., production, nutrition, P₂O₅.

2.1 INTRODUÇÃO

O cultivo da bananeira apresenta grande importância socioeconômica para os países que executam essa atividade, pois a banana é uma das frutas mais populares e consumidas no mundo, o que resulta em produção e comercialização significativa, com destaque no mercado internacional (GHAG e GANAPATHI, 2017).

No Brasil, a evolução da bananicultura foi possível em virtude dos progressos obtidos em todos os setores da cadeia produtiva, dentro da qual a adubação é uma prática indispensável, cujo correto manejo proporciona ganhos em produção. As bananeiras exigem quantidades expressivas de nutrientes, pois são altamente eficientes na produção de fitomassa, e além disso, são comumente cultivadas em solos com baixa fertilidade, carentes principalmente em potássio, nitrogênio e fósforo (NOMURA et al., 2017; SILVA e RODRIGUES, 2013).

O fósforo faz parte da estrutura química de vários compostos essenciais das células vegetais, como fosfolípidios, açúcares, ácidos nucleicos e coenzimas intermediárias da respiração e da fotossíntese, apresentando papel crucial nos processos de armazenamento e transferência de energia (ZHANG et al., 2014; NAVANEETHAKRISHNAN et al., 2013). Na bananeira, o P é essencial para o desenvolvimento do rizoma e do sistema radicular (MUSTAFA e KUMAR, 2012), sendo que sua deficiência acarreta baixo desenvolvimento das plantas e a produção de cachos raquíticos (SILVA et al., 2011). A aplicação de doses adequadas de P

favorece o desenvolvimento do sistema radicular e aumenta a absorção de água e de nutrientes, podendo estimular a frutificação (ATTIA et al., 2009).

Há evidências que a adubação fosfatada influencia a produtividade da banana, porém as respostas são variáveis. Liu et al. (2015), avaliando o efeito de fertilizantes na cultura da bananeira na China, verificaram efeito quadrático de doses crescentes de fósforo sobre a produtividade das plantas. Já nas condições edafoclimáticas brasileiras, a aplicação de doses crescentes de P_2O_5 no primeiro ciclo de cultivo da bananeira 'Prata Anã' aumentou a massa do cacho e o número de frutos por cacho (SILVA e RODRIGUES, 2013). Al-Harhi e Al-Yahyai (2009) avaliando a adubação com NPK no rendimento produtivo de bananeiras 'Williams' verificaram que $100\text{ g planta}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de P conferiu maior peso de cacho, pencas e número de frutos por penca. Estas pesquisas evidenciam a importância de se revisar e adequar as recomendações de adubações à base de fósforo, utilizadas para a cultura da bananeira.

O interesse pelo cultivo de bananeiras resistentes às principais doenças fúngicas que atingem a cultura, como a Sigatoka-amarela (*Mycosphaerella musicola*), a Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijienses*) e o Mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), tem sido crescente no Brasil. A bananeira 'FHIA 18' (AAAB), híbrido do cultivar Prata Anã (AAB), produzido pela Fundação Hondurenha de Investigação Agrícola (FHIA), apresenta boa produtividade, seus frutos são semelhantes aos do grupo Prata e tem como principal característica a resistência à Sigatoka-negra e ao Mal-do-Panamá (PEREIRA et al., 2015; SMITH et al., 2014). Porém, pouco se conhece sobre as necessidades nutricionais dos cultivares resistentes, principalmente em fósforo, pois as recomendações de nutrientes para a cultura, em sua maioria, baseiam-se em dados científicos obtidos para bananeiras do subgrupo Cavendish (NOMURA et al., 2017).

Com relação à adubação fosfatada, deve-se considerar ainda que a disponibilidade de P está diretamente ligada à presença de formas assimiláveis do nutriente no solo e aos fatores inerentes à morfologia e crescimento radicular. Para íons pouco móveis, como o fosfato, a absorção é frequentemente relacionada com o comprimento radicular (ATTIA et al., 2009), isto é, a morfologia das raízes pode determinar a resposta da bananeira à adubação fosfatada.

O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto da adubação fosfatada em três ciclos consecutivos sobre o desempenho produtivo da bananeira 'FHIA 18', cultivada nas condições edafoclimáticas de São Manuel-SP.

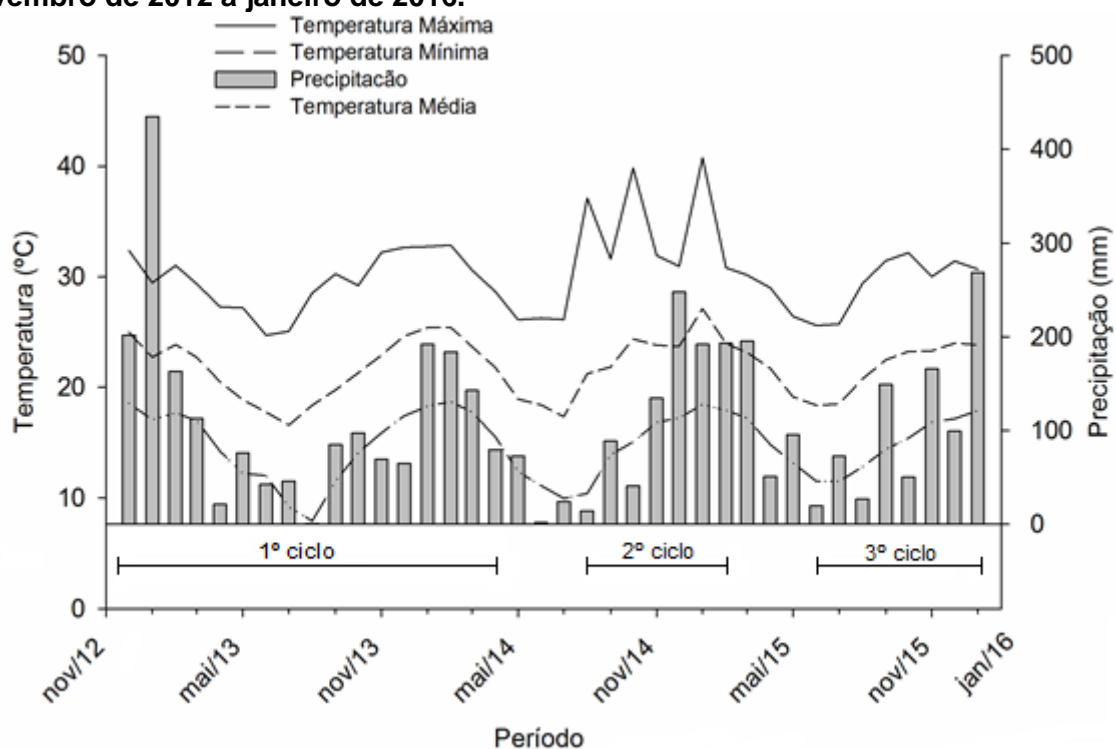
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização e instalação da área experimental

O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho, na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) pertencente à UNESP, localizada em São Manuel-SP (22° 44' 28" S, 48° 34' 37" O, a 740 m de altitude). O clima do município é do tipo *Cfa*, ou seja, temperado quente (mesotérmico), com chuvas concentradas de novembro a abril (verão) e precipitação pluvial média anual de 1.376,70 mm, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

Durante toda a condução do experimento foram coletados os dados de precipitação (mm) e temperaturas (°C) máxima, média e mínima, por meio do Sistema CIIAGRO/IAC (CIIAGRO, 2017), conforme apresentados na Figura 1. O primeiro ciclo compreendeu de novembro de 2012 a abril de 2014, enquanto o segundo ciclo, de agosto de 2014 a fevereiro de 2015 e o terceiro ciclo, de junho de 2015 a janeiro de 2016.

Figura 1 - Dados climáticos mensais do município de São Manuel, São Paulo, durante novembro de 2012 a janeiro de 2016.



Fonte: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO, 2017).

Antes da adubação e do plantio, coletaram-se amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm, para a análise de fertilidade, conforme os métodos descritos por Raij et al. (2001), cujos resultados foram: pH em CaCl₂, 5,5; M.O., 12 g dm⁻³; P (resina), 16 mg dm⁻³; H+Al, 15 mmol_c dm⁻³; K, 1 mmol_c dm⁻³; Ca, 13 mmol_c dm⁻³; Mg, 5 mmol_c dm⁻³; SB, 19 mmol_c dm⁻³; CTC, 34 mmol_c dm⁻³; V%, 57; S, 1 mg dm⁻³; B, 0,30 mg dm⁻³; Cu, 0,86 mg dm⁻³; Fe, 20 mg dm⁻³; Mn = 13 mg dm⁻³; Zn = 1,40 mg dm⁻³.

A área experimental foi previamente preparada com aração, gradagem e calagem, com base na análise do solo e indicação para a cultura (TEIXEIRA et al., 2014). O plantio das mudas, oriundas do processo de microporpagação, foi realizado no dia 8 de novembro de 2012, no espaçamento de 4 x 2,5 m, totalizando 1000 plantas ha⁻¹.

2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subdivididas (6 x 3), sendo as parcelas correspondentes aos níveis

de adubação com fósforo e as subparcelas aos ciclos agrícolas, utilizando-se dez repetições e uma planta por parcela experimental.

O padrão de adubação com P (100%) foi definido conforme análises químicas do solo e na produtividade esperada menor que 20 t ha⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2014). As doses de adubação com P foram as seguintes: D1 = sem aplicação (testemunha); D2 = aplicação de 50% do padrão recomendado de fósforo (20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D3 = aplicação de 75% do padrão recomendado de fósforo (30 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D4 = aplicação de 100% do padrão recomendado de fósforo (40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D5= aplicação de 125% do padrão recomendado de fósforo (50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D6= aplicação de 150% do padrão recomendado de fósforo (60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹). A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo (46% de P₂O₅).

A adubação fosfatada foi realizada segundo recomendações propostas por Teixeira et al. (2014), sendo metade das doses de fósforo aplicadas de forma localizada na cova de plantio e o restante, aplicado aos 80 dias após o plantio, em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor das plantas. Nas adubações de produção do primeiro, segundo e terceiro ciclo foram aplicadas as doses de P₂O₅, mantendo as devidas porcentagens de avaliações (0, 50, 75, 100, 125 e 150% da dose recomendada), sendo parceladas em três aplicações e distribuídas em cobertura, na forma de semicírculo de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem.

2.2.3 Condução do experimento

As plantas foram conduzidas em sistema de sequeiro e com a formação de “famílias”. O manejo nutricional complementar do bananal foi realizado com base nas análises de solo e recomendações propostas por Teixeira et al. (2014). Na fase de formação foram aplicados 600 g de sulfato de amônia e 550 g de cloreto de potássio por planta, parcelados ao longo do período de dezembro de 2012 a junho de 2013. Nesta etapa, os fertilizantes foram aplicados em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor da planta. Nas adubações de produção foram aplicados em semicírculos de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem: 267 g de uréia e 217 g de cloreto de potássio, por família, parcelados ao longo do primeiro ciclo; 422 g de uréia e 250 g de cloreto de potássio ao longo do segundo ciclo; e 422 g de uréia e 350 g de cloreto de potássio, ao longo do terceiro ciclo de produção. Também foram aplicados por família,

10 g de ácido bórico, 25 g de sulfato de zinco e 2 kg do composto orgânico PROVASO® por família, ao longo dos ciclos.

O controle de plantas daninhas, desbaste de perfilhos, retirada de folhas secas e doentes, controle de pragas e doenças, eliminação do coração, retirada dos pistilos e a colheita foram realizados conforme as práticas preconizadas para a cultura (Teixeira et al., 2014).

A colheita dos cachos foi realizada pela manhã, quando os frutos centrais da segunda penca atingiram um calibre mínimo de 36 mm (Figura 2).

Figura 2 - Aspecto geral do cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



2.2.4 Características avaliadas

Nos três ciclos de produção, no início da formação dos cachos, coletaram-se amostras foliares da 3ª folha a partir do ápice, de onde se retirou 10 cm do centro do limbo, eliminando-se a nervura central (MARTIN-PRÉVEL, 1984). Os materiais coletados foram lavados com água deionizada, secos em estufa a 65°C, por 60 horas,

moídos e encaminhados para laboratório, onde se realizou a análise química e a determinação do teor de fósforo (MALAVOLTA et al., 1997).

Com a colheita dos cachos, no final de cada ciclo, foram avaliadas as variáveis produtivas: massa do cacho (kg), massa da ráquis (kg), massa de frutos (kg), número de frutos por cacho e número de pencas por cacho. Na segunda penca foi determinada a massa total (kg), o número de frutos, o comprimento (cm) e o diâmetro (mm) dos cinco frutos centrais. A massa do cacho foi obtida por meio da pesagem das pencas e da ráquis.

- **Massa de frutos:** foi calculada pela diferença entre a massa do cacho e a massa da ráquis, expressa em quilos (kg).

- **Comprimento dos frutos:** distância entre as extremidades de cinco frutos centrais da segunda penca, com o uso de fita métrica, sendo os resultados expressos em centímetros (cm).

- **Diâmetro dos frutos:** foi medido na região central de cinco frutos da segunda penca, com o auxílio de um paquímetro digital e os resultados expressos em milímetros (mm).

Após a colheita das bananas, no terceiro ciclo de produção, foram retiradas quatro amostras simples de solo por tratamento, na profundidade de 0-20 cm, na região de aplicação dos adubos, que foram utilizadas para determinar o teor de P disponível no solo após três ciclos consecutivos, pelo método resina (RAIJ et al., 2001).

2.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando significativos, as médias dos dados quantitativos foram submetidas à análise de regressão, ajustando-se a um modelo com significância de no mínimo 5% ($p < 0,05$). Para os dados qualitativos, utilizou-se o teste Tukey ($p < 0,05$). As análises de variância e de regressão foram realizadas pelo Programa Computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2011). Os modelos das curvas de regressão foram ajustados pelo Programa Computacional SigmaPlot versão 12.5.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre todas as características avaliadas, somente número de frutos por cacho foi influenciado significativamente pela interação, níveis de P e ciclos de produção, evidenciando que para a maioria das características produtivas da bananeira FHIA 18, os níveis de fósforo agem de forma isolada, independente do ciclo de produção. Porém, quando analisados isoladamente os fatores citados, verificou-se significância dos níveis de fósforo para massa de frutos, massa do cacho, número de frutos por cacho, número de pencas por cacho, massa da segunda penca, comprimento e diâmetro dos frutos centrais. Quando avaliado o fator ciclos de produção, além das características produtivas já citadas, este fator foi significativo também para número de frutos na segunda penca. Apenas para a variável massa da ráquis não houve efeito significativo dos fatores estudados, doses e ciclos de produção, apresentando valor médio de 2,14 kg (Tabelas 1 e 2). Em solo com textura arenoargilosa, Fehlauer et al. (2010), no município de Bonito, MS, relata para a bananeira FHIA 18, massa média de ráquis igual a 1,06 kg, valor inferior ao obtido neste trabalho.

Tabela 1 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da massa do cacho, massa da ráquis, massa de frutos, número de frutos por cacho e número de pencas por cacho de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), cultivadas em São Manuel-SP

FV	Massa do cacho (kg)	Massa da ráquis (kg)	Massa de frutos (kg)	Número de frutos	Número de pencas
Níveis de P (A)	4,62**	2,84 ^{NS}	4,74**	6,30**	2,85*
Ciclos (B)	10,59**	0,22 ^{NS}	12,93**	32,25**	6,82**
A x B	1,17 ^{NS}	1,49 ^{NS}	1,19 ^{NS}	2,44*	1,51 ^{NS}
CVA (%)	23,48	27,37	23,80	13,16	10,75
CVB (%)	18,15	25,70	18,32	11,66	9,68
Média	24,35	2,14	22,21	157,41	9,85

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

Tabela 2 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da massa da 2ª penca, número de frutos da 2ª penca, comprimento e diâmetro dos cinco frutos centrais de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), cultivadas em São Manuel-SP

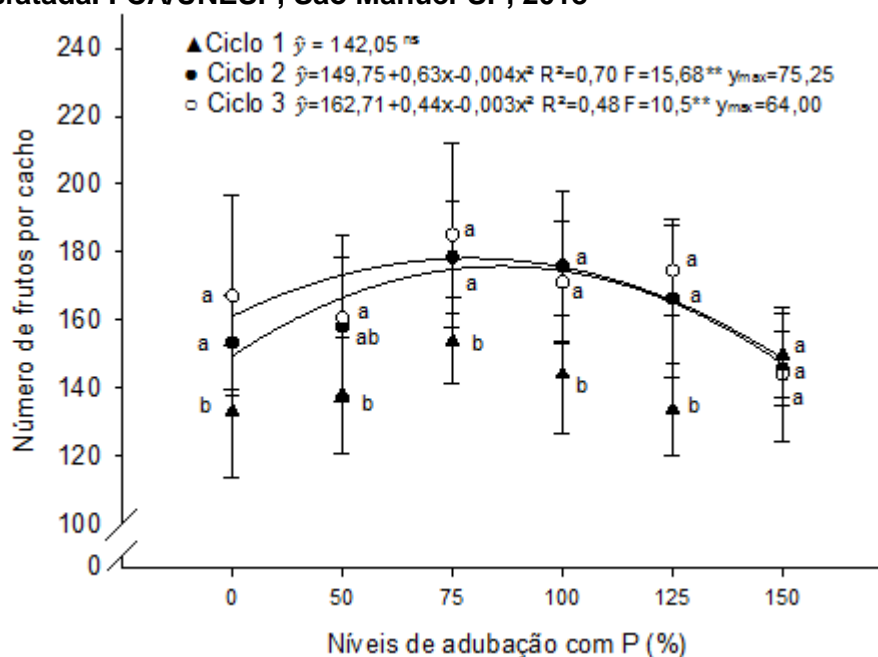
FV	Massa 2ª penca (kg)	Nº frutos 2ª penca	Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)
Níveis de P (A)	5,48**	1,17 ^{NS}	3,45*	3,18*
Ciclos (B)	9,19**	8,44**	10,82**	0,23 ^{NS}
A x B	0,74 ^{NS}	1,60 ^{NS}	1,46 ^{NS}	1,89 ^{NS}
CVA (%)	22,35	18,33	11,14	7,30
CVB (%)	22,27	15,01	8,25	6,42
Média	2,56	17,66	16,56	37,07

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

No primeiro ciclo, não foi verificado efeito significativo da aplicação de fósforo no solo para o número de frutos por cacho, sendo obtido um número médio de 142,05 frutos por cacho (Figura 3), possivelmente porque a bananeira apresenta baixo requerimento em fósforo (MUSTAFFA e KUMAR, 2012), além disso, o menor aporte de nutrientes no primeiro ciclo em relação aos demais ciclos (BORGES et al., 2006), colabora com tal resultado. Porém, para o segundo e terceiro ciclo de produção, a bananeira FHIA 18 respondeu à aplicação de P_2O_5 , com comportamento quadrático, sendo que os maiores números de frutos estimados foram de 173 e 177, com as aplicações de 75,3% e 64% (30,10 e 25,6 kg de P_2O_5 ha^{-1}) da recomendação de fósforo, respectivamente (Figura 3). A menor quantidade de fósforo requerida no terceiro ciclo quando comparado ao segundo ciclo de produção deve-se ao maior acúmulo e translocação de nutrientes entre a planta filha e a neta, pois com o estabelecimento da touceira as bananeiras tornam-se interdependentes, de tal forma que uma se beneficia da absorção de nutrientes do sistema radicular da outra (KURIEN et al., 2006), logo, as plantas do terceiro ciclo têm maior disponibilidade natural de P. Além disso, a liberação de nutrientes resultantes da decomposição dos resíduos vegetais da cultura contribuiu com a menor demanda de P pelas bananeiras (MOREIRA e FAGERIA, 2009).

O número de frutos por cacho apresentou aumento gradativo do primeiro para o segundo e terceiro ciclo de produção, exceto com a aplicação de 150% da recomendação de fósforo (60 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1}), onde os valores médios de 149,80, 145,70 e 144, não diferiram entre os ciclos, respectivamente (Figura 3). Portanto, o excesso de fósforo nas bananeiras FHIA 18 resulta em efeito prejudicial, o que explica a redução do número de frutos por cacho a partir dos níveis estimados de fósforo, no segundo e terceiro ciclo de produção.

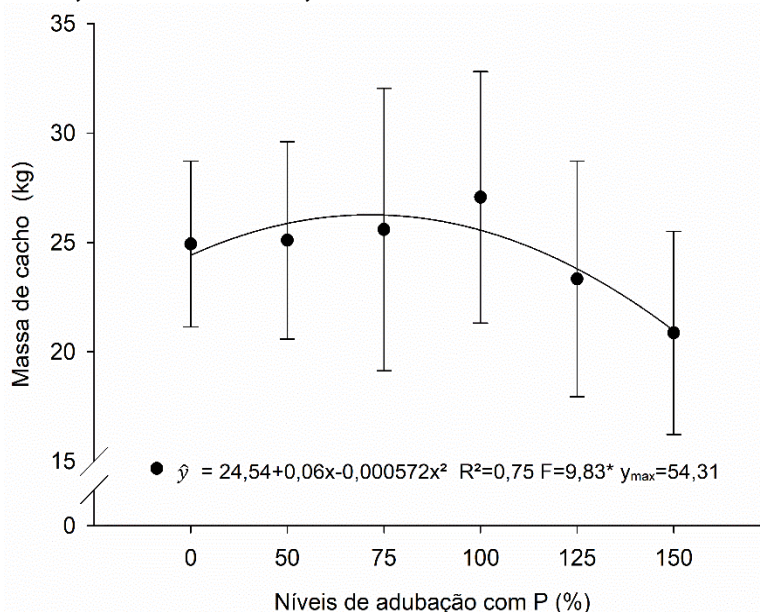
Figura 3 - Número de frutos por cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Letras iguais entre os ciclos não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erros apresentam $n = 10$. y_{max} trata-se da determinação do número de frutos por cacho máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

A massa do cacho apresentou comportamento quadrático em resposta ao aumento dos níveis de fósforo, corroborando com os resultados observados por Reis e Chepote (2008). A maior massa do cacho (26,23 kg) foi estimada na dose de 21,72 kg ha^{-1} de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ano}^{-1}$, que corresponde a 54,3% da dosagem de fósforo recomendada. A partir de tal dose estimada, a massa do cacho apresentou tendência de redução (Figura 4). Em relação à testemunha, a dose estimada de fósforo proporcionou aumento de 5,3% na massa do cacho da bananeira FHIA 18.

Figura 4 - Massa do cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 10$. Y_{\max} trata-se da determinação da massa do cacho máxima em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

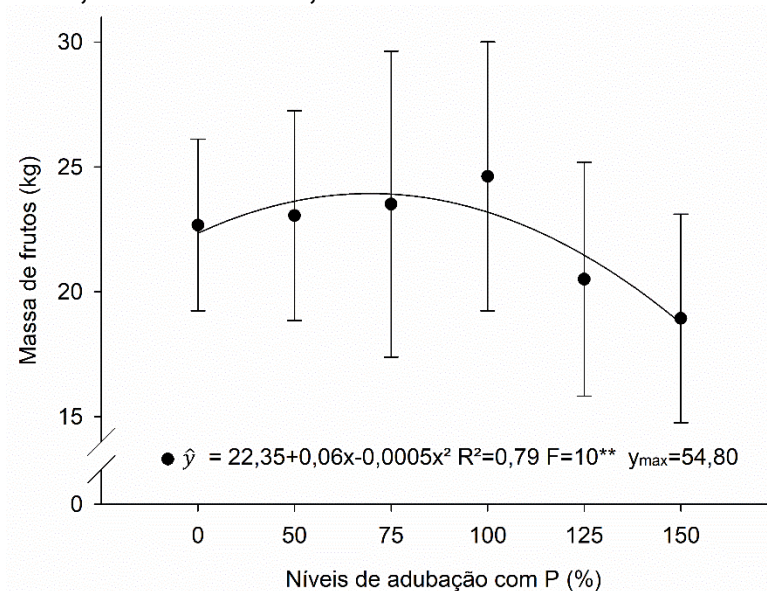
Os resultados da resposta produtiva da bananeira em relação aos níveis crescentes de fósforo são dependentes da condição de cultivo e do genótipo explorado. Por exemplo, no trabalho de Silva e Rodrigues (2013), onde se estudou o efeito da aplicação de cinco doses de superfosfato triplo (0, 50, 100, 200 e 300 g de P_2O_5), em Latossolo Vermelho, argiloso, com teor de P disponível muito baixo, na produção da bananeira 'Prata Anã' (AAB), foi observado aumento linear da massa do cacho em função das doses. Ao passo que Liu et al. (2015), avaliando o efeito de fertilizantes na cultura da bananeira na China, também verificaram efeito quadrático das doses crescentes de fósforo sobre a massa do cacho, porém, com doses superiores de fósforo às avaliadas no presente trabalho. Fato também observado por Reis e Chepote (2008), em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, sobre a produção da bananeira 'Pacovan' (AAB), em que a maior massa do cacho foi alcançada com a aplicação de 154 kg de P_2O_5 ha^{-1} . A utilização de doses menores de fertilizantes, quando eficientes, é interessante por diminuir o custo final da produção.

A menor exigência em fósforo pela bananeira 'FHIA 18' para atingir a máxima produção, quando comparada a dose recomendada para o estado de São Paulo (40 kg P_2O_5 ha^{-1}), relaciona-se possivelmente ao teor inicial de P no solo (16 mg dm^{-3}) estar próximo à suficiência da planta e ao fator inerente à distribuição do sistema

radicular do cultivar, pois para íons pouco móveis, como o fosfato, a absorção é frequentemente relacionada com o comprimento radicular (ATTIA et al., 2009).

Como a massa da ráquis não foi influenciada de forma significativa pelos níveis de fósforo, era esperado que a massa de frutos apresentasse resposta semelhante à obtida para a massa do cacho em função da aplicação de P_2O_5 , uma vez que a massa do cacho é diretamente relacionada à massa de frutos. A máxima resposta para a massa de frutos, correspondente a 24,01 kg, foi alcançada com a aplicação de 54,8% da recomendação de adubo fosfatado (Figura 5).

Figura 5 - Massa de frutos da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



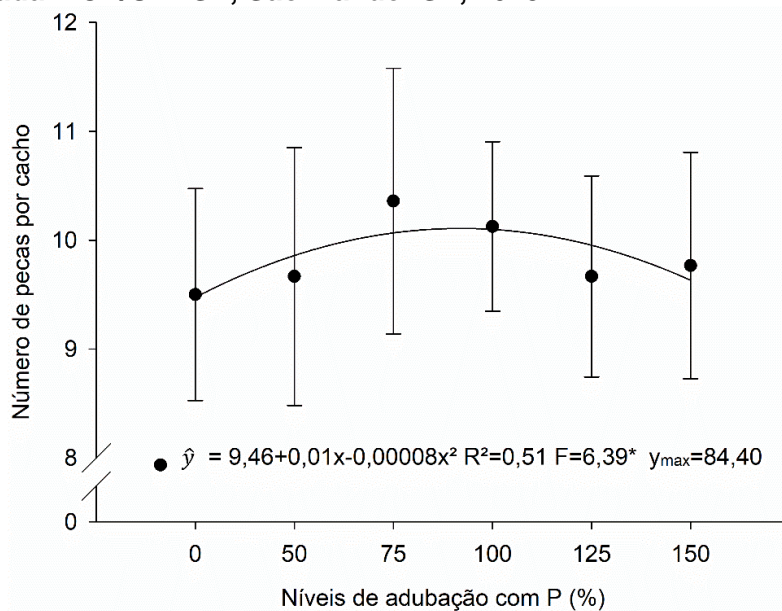
As barras de erros apresentam $n = 10$. y_{max} trata-se da determinação da massa de frutos máxima em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

As necessidades de fósforo para a produção da bananeira são relativamente baixas (MUSTAFA e KUMAR, 2012), porém precisam ser asseguradas (SILVA e RODRIGUES, 2013). O fósforo é essencial para o desenvolvimento do rizoma e formação de um sistema radicular forte, além disso, também desempenha papel vital no desenvolvimento geral das plantas e no florescimento (MUSTAFA e KUMAR, 2012). Al-Harthi e Al-Yahya (2009) avaliando a produção da bananeira cv. Williams (AAA), submetida à aplicação de quatro combinações de N (uréia), P_2O_5 (superfosfato triplo) e K_2O (cloreto de potássio): 0-0-0; 300-50-250; 600-100-500 e 900-150-750 g planta⁻¹ ano⁻¹, em solo arenoso, observaram que a combinação contendo 100 g planta⁻¹ ano⁻¹ de P_2O_5 contribuiu para a maior massa de frutos. Contudo, nota-se que o fósforo

deve ser fornecido em quantidades adequadas à bananeira, pois a redução da massa de frutos, bem como a massa do cacho, a partir das dosagens ótimas de P_2O_5 , sugere que existe um efeito negativo de níveis elevados de fósforo na produção das bananeiras.

O número de pencas por cacho também foi influenciado significativamente pelos níveis de fósforo, com aumento quadrático, sendo o valor máximo (10 pencas por cacho) obtido com a aplicação de 84,4% da recomendação de P (33,60 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1}). Em relação à ausência da aplicação de fósforo no solo, essa dose estimada promoveu incremento de 6,3% no número de pencas por cacho (Figura 6). O aumento da massa de frutos e conseqüentemente da massa do cacho até os níveis ótimos de fósforo, pode ser atribuído, em grande parte, pelo incremento no número de frutos e pencas por cacho, o que pode estar relacionado à disponibilidade de fósforo em níveis adequados para a planta. O fósforo é essencial para os processos de armazenamento de fotoassimilados e transferência de energia que ocorrem nos tecidos vegetais (ZHANG et al., 2014), contudo, em excesso, interfere de forma negativa na produção das plantas, conforme relatado por Abrêu et al. (2011), em experimento avaliando o efeito da adubação fosfatada no rendimento produtivo do melão-amarelo. Corroborando com essas respostas, Attia et al. (2009) investigando o uso de bactérias que solubilizam P (BSP) e doses de fósforo (25%, 50% e 75% P_2O_5) em relação à dose comercial (100% P_2O_5), na produção da bananeira 'Maghrabi', constataram que, quando utilizadas as bactérias em associação com 25% da dose comercial de P_2O_5 , foi obtido maior número de pencas por cacho em comparação com a dose 75% P_2O_5 .

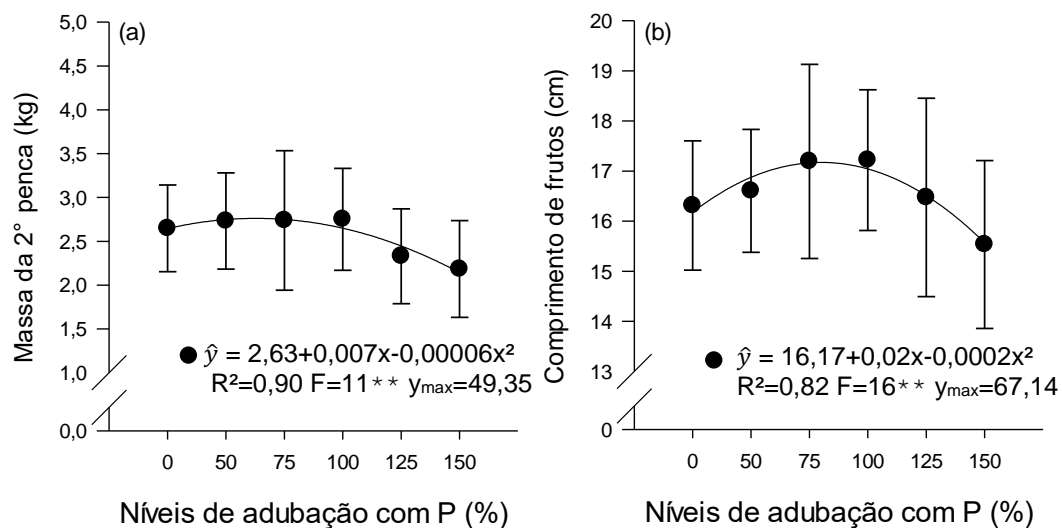
Figura 6 - Número de pencas por cacho da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 10$. y_{\max} trata-se da determinação do número de pencas por cacho máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

A aplicação de fósforo também promoveu aumento quadrático nos valores da massa e comprimento dos frutos da segunda penca, com o máximo da função alcançado pelas doses estimadas de 19,74 e 26,92 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1} (49,4% e 67,1% da dosagem recomendada de fósforo), respectivamente, o que equivale a um incremento de 4,9% na massa da segunda penca e 5,0% no comprimento dos frutos, quando comparado às plantas que não foram submetidas à adubação fosfatada (Figuras 7A e 7B). Contudo, o número de frutos na segunda penca não foi influenciado pelas doses de P_2O_5 (Tabela 2), evidenciando que esta variável é condicionada ao fator genético e às condições climáticas, que variam ao longo dos anos, pois dentre os componentes produtivos da segunda penca foi o único a ser influenciado somente pelos ciclos de produção.

Figura 7 - Massa (a) e comprimento (b) de frutos da segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



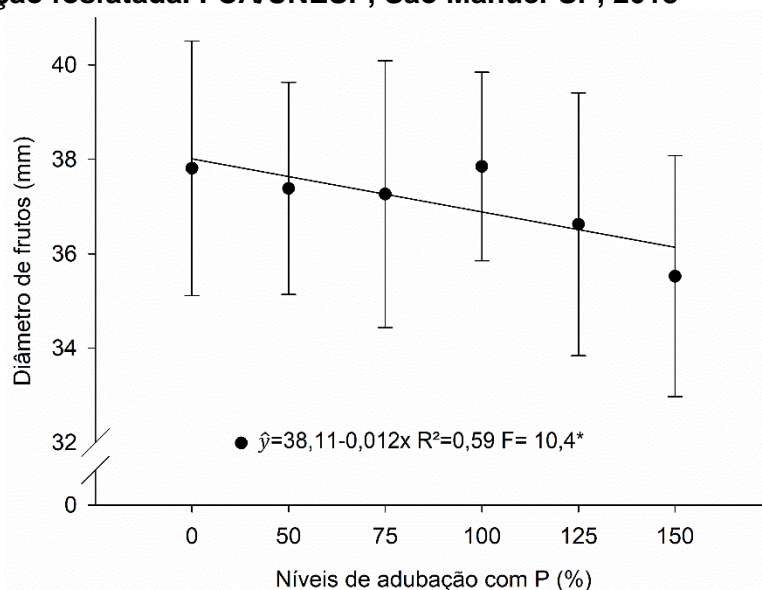
As barras de erros apresentam $n = 10$. Y_{max} trata-se da determinação da massa da 2^a penca e do comprimento de frutos máximos em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

O aumento da massa e comprimento dos frutos da segunda penca até os níveis máximos estimados de P pode estar relacionado à importante participação do fósforo na síntese de proteínas (ZHANG et al., 2014) e no alongamento celular (NIU et al., 2015). Além disso, o P favorece o desenvolvimento do sistema radicular e o crescimento das bananeiras, refletindo conseqüentemente em maior rendimento produtivo. No entanto, em altas quantidades, resulta em efeitos depressivos sobre a massa e o comprimento dos frutos (MUSTAFA e KUMAR, 2012). De acordo com Ramaswamy (1974), há incremento no comprimento e diâmetro do fruto até a dose de 60 g de P_2O_5 planta⁻¹, resposta semelhante à encontrada por Navaneethakrishnan et al. (2013), avaliando a influência de doses de nitrogênio e fósforo sobre a produção do cv. Grand Naine (AAA), no norte da Índia, onde observaram diferença significativa entre os dois níveis de fósforo testados (60 e 90g de P_2O_5 por planta), sendo que a menor dose de fósforo resultou em maior massa da penca. Altos teores de fósforo no solo podem afetar a disponibilidade de outros nutrientes, principalmente o zinco e, logo, prejudicar o desenvolvimento vegetal (NOVAIS et al., 2016), culminando no menor rendimento produtivo da planta. Em condições de baixa disponibilidade de zinco para as bananeiras há redução considerável no comprimento dos frutos (SILVA et al., 2007).

Para o diâmetro dos frutos, a bananeira 'FHIA 18' apresentou menor exigência em fósforo quando comparado à massa e o comprimento de frutos na segunda penca,

pois houve comportamento linear decrescente em função da adubação fosfatada (Figura 8). Tal resultado pode estar relacionado à inibição da síntese de amido por altas concentrações de fósforo inorgânico, que prejudicam a ação da ADP-Glicose Pirofosforilase, enzima chave na síntese do amido nos amiloplastos (MARSCHNER, 2012). Além disso, a baixa concentração de fósforo no tecido vegetal promove a expressão de genes envolvidos na biossíntese do amido, bem como inibe sua degradação, resultando no acúmulo desse carboidrato (ZHAO et al., 2014).

Figura 8 - Diâmetro de frutos da segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em função da adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 10$.

O efeito quadrático da adubação fosfatada para a maioria das características produtivas condiz com o comportamento do teor de fósforo na folha. O maior valor de P nas folhas, correspondente a $1,63 \text{ g kg}^{-1}$, foi obtido com a aplicação de 89,7% da recomendação de adubo fosfatado. Em relação aos ciclos de produção, foi observado maior teor de P foliar no segundo ($1,63 \text{ g kg}^{-1}$) e terceiro ciclo ($1,64 \text{ g kg}^{-1}$), tais teores encontram-se dentro da faixa de suficiência estabelecida por Ifa (1992) e Silva et al. (2002a). Ao final do experimento, em função das aplicações sucessivas do adubo fosfatado, foi obtido o valor médio de $56,88 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo disponível no solo com a dose máxima de P_2O_5 aplicada ($60 \text{ kg de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Quando avaliado isoladamente o fator, ciclos de produção, verificou-se efeito significativo para praticamente todas as características produtivas, com exceção da massa da ráquis e diâmetro dos frutos centrais da segunda penca, o que pode ser

explicado pela forte influência do vigor e potencial produtivo das plantas, bem como das condições climáticas, que variam ao longo dos anos, sobre as características de produção.

As médias de massa do cacho, massa de frutos, massa da segunda penca, número de frutos e comprimento dos frutos da segunda penca, no segundo e terceiro ciclo, foram superiores em relação ao primeiro ciclo de produção. No entanto, para o número de pencas por cacho, não houve diferença estatística entre os valores obtidos no primeiro e segundo ciclo (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias da massa do cacho (MC), massa de frutos (MF), número de pencas por cacho (NP), massa da segunda penca (M 2ºP), número de frutos na segunda penca (NF 2ºP) e comprimento dos frutos (CF) de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP

Ciclos	MC (kg)	MF (kg)	NP	M 2ºP (kg)	NF 2ºP (kg)	CF (cm)
Primeiro ciclo	22,32 b	20,15 b	9,54 b	2,33 b	16,51 b	15,90 b
Segundo ciclo	24,78 a	22,66 a	9,82 ab	2,77 a	18,23 a	16,77 a
Terceiro ciclo	25,96 a	23,85 a	10,18 a	2,59 a	18,23 a	17,00 a
DMS	1,92	1,77	0,41	0,25	1,15	0,59

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não são significativamente diferentes de acordo com teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, mesmo nas condições edafoclimáticas de Cruz das Almas-BA, Silva et al. (2002b) avaliando genótipos de bananeiras durante quatro ciclos de produção, relataram para o híbrido 'FHIA 18' estabilização da produção a partir do segundo ciclo, sendo obtida massa média de 21,4 kg no terceiro ciclo de produção. Pereira et al. (2003) também confirmam tal comportamento em Lavras-MG, onde para todas as características produtivas avaliadas, as médias foram semelhantes entre o segundo e terceiro ciclo.

Na maioria dos genótipos, os caracteres produtivos podem aumentar do primeiro para o segundo ciclo da cultura, por isso, o primeiro ciclo de produção não é considerado o momento mais oportuno para se analisar o comportamento produtivo das bananeiras. Esse incremento de produção deve-se provavelmente à mudança no vigor e potencial produtivo das bananeiras com o decorrer dos ciclos. Conforme Nomura et al. (2017), as bananeiras no segundo ciclo apresentam melhores condições nutricionais em relação ao primeiro, pois no segundo ciclo já ocorre a conexão entre o rizoma da planta mãe e da planta filha, atuando como um "cordão umbilical", onde a seiva e hormônios podem ser trocados. Portanto, a premissa de que as bananeiras

de uma mesma família são interdependentes justifica o aumento gradativo do vigor e produção das plantas ao longo dos ciclos (KURIEN et al., 2006; SILVA e RODRIGUES, 2013). Por isso, é recomendado que as plantas colhidas permaneçam no campo durante pelo menos um mês para que haja a transferência de nutrientes entre as plantas de uma mesma touceira (SOTO- BALLESTERO, 2008).

Além disso, a genética, o ciclo de crescimento, temperatura, vigor e o manejo da planta durante o estágio de diferenciação floral influenciam o número de pencas e frutos da bananeira (SOTO-BALLESTERO, 2008; ROBINSON e GÁLAN-SAÚCO, 2011).

Considerando os dados climáticos (Figura 1) é possível constatar que as maiores precipitações foram registradas durante as fases produtivas do segundo (setembro/2014 a fevereiro/2015) e terceiro ciclo (julho/2015 a janeiro/2016) quando comparadas a fase produtiva do primeiro ciclo (dezembro/2013 a abril/2014), o que pode ter contribuído também para o rendimento produtivo ter sido maior no segundo e terceiro ciclo de forma geral, em relação ao primeiro ciclo de produção. A menor disponibilidade de água para as plantas durante a fase de frutificação prejudica o enchimento dos frutos (TURNER et al., 2007), provavelmente porque para tal evento fisiológico há a necessidade da movimentação de carboidratos dentro da planta, a qual é dependente do conteúdo de água. Além disso, a expansão e/ou alongamento celular, processos que ocorrem durante a fase de frutificação, dependem de grande disponibilidade de água na planta (TAIZ et al., 2017).

2.4 CONCLUSÕES

Nas condições edafoclimáticas de São Manuel-SP foi possível concluir que:

- O cultivar FHIA 18 requer para atingir máxima produção por planta, a aplicação de 22 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹, quantidade menor do que a recomendada para a cultura da bananeira no estado de São Paulo;
- Há incremento nas características produtivas do primeiro ciclo para os ciclos subsequentes, independente da dose de P utilizada.

REFERÊNCIAS

- ABRÊU, F. L. G. de.; CAZETTA, J. O.; XAVIER, T. F. Adubação fosfatada no meloeiro-amarelo: reflexos na produção e qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1266-1274, 2011.
- AL-HARTHI, K.; AL-YAHYAI, R. Effect of NPK fertilizer on growth and yield of banana in northern Oman. **Journal of Horticulture and Forestry**, Peshawar, v. 1, n. 8, p. 160-167, 2009.
- ATTIA, M.; AHMED, M. A.; EL-SONBATY, M. R. Use of biotechnologies to increase growth, productivity and fruit quality of 'Maghrabi' banana under different rates of phosphorus. **World Journal of Agricultural Sciences**, Deira, v. 5, n. 22, p. 211-220, 2009.
- BORGES, A. L. et al. foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 314-318, 2006.
- Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO. Instituto Agrônomo de Campinas–IAC. **Monitoramento agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 jun. 2017.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- FEHLAUER, T. J.; RODRIGUES-OTUBO, B. M.; SANDRINI, M.; DESTRO, B. Caracterização da produção de genótipos de banana introduzidos na região de Bonito – MS. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 938-943, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GHAG, S. B.; GANAPATHI, T. R. Genetically modified bananas: To mitigate food security concerns. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.214, p.91-98, 2017.
- IFA – International Fertilizer Industry Association (Paris). **World fertilizer use manual**. Limburgerhof: BASF. Agricultural Research Station, 1992. 631p.
- KURIEN, S. et al. Intermat and intramat competition in banana studied using ³²P. **Fruits**, Paris, v. 61, p. 225-235, 2006.
- LIU, Y. et al. Studies on the fertilization effect and optimal fertilizing amount of Brazil banana based on “3414” field trials. **Agricultural Science and Technology**, v. 16, n. 9, p. 1950-1954, 2015.
- 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. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MARTIN-PRÉVEL, P. Bananier. In: MARTINPRÉVEL, P.; GAGNARD, J.; GAUTIER, P. **L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales**. Paris: Tec&Doc, 1984. p. 715-751.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 574-581, 2009.

MUSTAFFA, M. M.; KUMAR, V. Banana production and productivity enhancement through spatial, water and nutrient management. **Journal of Horticultural Sciences**, Bangalore, v. 7, n. 1, p. 1-28, 2012.

NAVANEETHAKRISHNAN, K.S.; GILL, M. I. S.; KUMAR, S. R. Effect of different levels of N and P on ratoon banana (*Musa* spp. AAA). **Journal of Horticulture and Forestry**, Lagos, v. 5, n. 6, p. 81-91, 2013.

NIU, Y. et al. Phosphorus and magnesium interactively modulate the elongation and directional growth of primary roots in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 13, p. 3841-3854, 2015.

NOMURA, E. S. et al. Fertilization with nitrogen and potassium in banana cultivars 'Grand Naine', 'FHIA 17' and 'Nanicão IAC 2001' cultivated in Ribeira Valley, São Paulo State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 4, p. 505-513, 2017.

NOVAIS, S. V. et al. Phosphorus-Zinc Interaction and Iron and Manganese Uptake in the Growth and Nutrition of *Phalaenopsis* (Orchidaceae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-10, 2016.

PEREIRA, L. V. et al. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 17-25, 2003.

PEREIRA, M. C. T. et al. Aplicação em pré-colheita de cloreto de cálcio no controle do despencamento natural dos frutos de bananeira 'FHIA-18'. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 11, v. 45, p. 1925-1931, 2015.

RAIJ, B. V. et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. IAC, 2001. 285 p.

RAMASWAMY, N.; MUTHUKRISHNAN, C. R. Correlation studies in nutrition of Robusta banana. **Indian Journal of Horticulture**, New Delhi, v. 30, p. 145-147, 1974.

REIS, E. L.; CHEPOTE, R. E. Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento e produção da bananeira no sul da Bahia. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 20, p. 13-20, 2008.

ROBINSON, J. C.; GÁLAN-SAÚCO, V. **Bananas y plantains**. 2. ed. Madri: Mundi-Prensa, 2011. 321 p.

SILVA, E. B. et al. Aplicação de doses de zinco, via solo, na bananeira “prata anã” (AAB) irrigada, no norte de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1497-1502, 2007.

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira ‘Prata Anã’ para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002a. 16 p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira Prata anã (AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, p. 238-242, 2011.

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, M. G. V. Produção da bananeira ‘Prata Anã’ em função da aplicação de adubo fosfatado, em quatro ciclos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 613-618, 2013.

SILVA, S. O.; FLORES, J. C.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1567-1574, 2002b.

SMITH, M. K. et al. Growth, yield and Fusarium wilt resistance of six FHIA tetraploid bananas (*Musa* spp.) grown in the Australian subtropics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 170, p. 176-181, 2014.

SOTO-BALLESTERO, M. **Bananos: técnicas de producción, poscosecha y comercialización**. 3.ed. San José: Litografía e Imprenta Lil, 2008. 1 CD-ROM.

TAIZ, L. et al. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. edn. Porto Alegre, Artmed.

TEIXEIRA, L. A. J. et al. Banana. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Eds.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 46-51. Boletim Técnico, 200.

TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal Plant Physiology**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 463-484, 2007.

ZHANG, Z.; LIAO, H.; LUCAS, W. J. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, Victoria, v. 56, n. 3, p. 192-220, 2014.

ZHAO, Z. et al. Effect of nitrogen and phosphorus deficiency on transcriptional regulation of genes encoding key enzymes of starch metabolism in duckweed (*Landoltia punctata*). **Plant physiology and biochemistry**, Paris, v. 86, p. 72-81, 2015.

CAPÍTULO 3 – PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DOS FRUTOS DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE ADUBO FOSFATADO, EM TRÊS CICLOS AGRÍCOLAS

RESUMO

Os frutos da bananeira ‘FHIA 18’ possuem características sensoriais semelhantes à banana ‘Prata’, porém, não existem informações sobre as reais necessidades em P deste híbrido e seus efeitos na qualidade pós-colheita. O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil físico-químico dos frutos da bananeira ‘FHIA 18’ submetida à níveis de fósforo, nas condições edafoclimáticas do município de São Manuel-SP, durante três ciclos sucessivos. Os níveis de adubação com P_2O_5 aplicados em três ciclos de produção foram: sem adubação com P; $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Nos frutos verdes (estádio 1 de maturação) foram avaliados os teores de matéria seca, amido, açúcares totais, açúcares redutores e de fósforo. Já nos frutos maduros (casca totalmente amarela) avaliou-se a firmeza, os descritores de coloração da casca, acidez titulável, sólidos solúveis, índice de maturação, açúcares totais e açúcares redutores. A adubação fosfatada proporciona aumento nos teores de fósforo nos frutos da bananeira ‘FHIA 18’ até a aplicação de 100% da recomendação ($40 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No entanto, a aplicação de $21 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ permite a obtenção de frutos menos ácidos e com maior índice de maturação. Os teores de matéria seca, amido e de fósforo, nos frutos verdes, bem como, a firmeza, teores de sólidos solúveis, o índice de maturação e teores de açúcares nos frutos maduros, aumentam do primeiro ciclo de produção para os ciclos subsequentes, independente da dose de P_2O_5 utilizada.

Palavras-chave: *Musa* spp., adubação fosfatada, banana, nutrição, acidez, índice de maturação.

Physico-chemical profile of ‘FHIA 18’ banana fruits submitted to the application of phosphate fertilizer in three agricultural cycles

ABSTRACT

The fruits of ‘FHIA 18’ banana have similar sensorial characteristics to ‘Prata’ banana; however, there is no information about the actual P needs of this hybrid and its effects

on post-harvest quality. The objective of this work was to evaluate the physico-chemical profile of 'FHIA 18' banana fruits submitted to phosphorus levels, under the edaphoclimatic conditions of São Manuel-SP, during three successive cycles. The levels of P_2O_5 fertilization applied in three production cycles were: without P fertilization; 20 kg ha⁻¹ year⁻¹; 30 kg ha⁻¹ year⁻¹; 40 kg ha⁻¹ year⁻¹; 50 kg ha⁻¹ year⁻¹; 60 kg ha⁻¹ year⁻¹. In green fruits (stage 1 of maturation) the contents of dry matter, starch, total sugars, reducing sugars and phosphorus were evaluated. In riped fruits (totally yellow peel) the firmness, full descriptors of peel color, titratable acidity, soluble solids, maturation index, total sugars and reducing sugars were evaluated. Phosphorus fertilization provide an increase in phosphorus levels in 'FHIA 18' banana plant to the 100% of the recommendation application (40 kg of P_2O_5 ha⁻¹ year⁻¹). However, the application of 21 kg of P_2O_5 ha⁻¹ year⁻¹ allows obtaining less acidic fruits and with a higher maturation index. The dry matter content, starch and phosphorus in green fruits, as well as firmness, soluble solids contents, maturation index and sugar content in mature fruits, increased from the first production cycle to subsequent cycles, independently of the P_2O_5 dose used.

Keywords: *Musa* spp., phosphorus fertilization, banana, nutrition, acidity, maturation index.

3.1 INTRODUÇÃO

A banana é uma das mais importantes culturas alimentícias e comerciais nos países subtropicais e tropicais do mundo. De forma geral, as condições climáticas nessas regiões são ideais para o cultivo das bananeiras, mas também são locais com altas taxas de doenças, pressão de pragas e estresse abiótico que afetam fortemente a qualidade dos frutos (LIU et al., 2017).

A produção da fruta no Brasil está presente em praticamente todos os estados da união e concentrada em alguns cultivares do grupo Prata e Cavendish. Embora esses cultivares sejam largamente cultivados no mundo e apresentem alto potencial produtivo, são suscetíveis às principais doenças fúngicas que acometem a cultura, como a Sigatoka-amarela (*Mycosphaerella musicola*), Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijienses*) e o Mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) (PEREIRA et al., 2015).

Por esse motivo, outros genótipos de bananeira têm sido recomendados, pela Embrapa, para plantio em áreas comerciais, como a bananeira 'FHIA 18', híbrido tetraploide (AAAB) desenvolvido pela Fundação Hondurenha de Investigação Agrícola (FHIA) a partir do cultivar Prata Anã. Tal híbrido apresenta resistência à Sigatoka-negra e ao Mal-do-Panamá, sendo moderadamente resistente à Sigatoka-amarela (GODOY et al., 2016). Porém, a alta susceptibilidade à queda natural, ou seja, o desprendimento dos frutos da almofada floral, os maiores teores de acidez e o menor teor de açúcares nos frutos em relação aos demais cultivares tipo Prata, tem dificultado a expansão do híbrido FHIA 18 (DONATO et al., 2009; PEREIRA et al., 2015).

O manejo da adubação é um dos fatores mais importantes para a maioria das culturas, podendo influenciar significativamente a qualidade pós-colheita dos frutos. As características de qualidade são definidas geneticamente, porém, a expressão desses genes depende de vários fatores, dentre eles o adequado estado nutricional das plantas.

Na cultura da bananeira, tem sido mencionado de forma geral o papel preponderante do fósforo na qualidade dos frutos (AULAR e NATALE, 2013), porém, as pesquisas nessa linha são raras, dando-se mais ênfase ao potássio (K). No Egito, Attia et al. (2009) avaliando o uso de bactérias que solubilizam o P e doses de P (25%, 50% e 75% P_2O_5) em relação à dose comercial (100% P_2O_5), na qualidade dos frutos da banana 'Maghrabi', observaram que a utilização das bactérias associada à dose de 25% P_2O_5 promoveu incremento no teor de sólidos solúveis e redução na acidez titulável. Além disso, há indícios de que a síntese e o uso dos carboidratos pelas plantas, como o amido, é influenciada drasticamente pelo teor de fósforo no tecido vegetal (PARK et al., 2012; ZHAO et al., 2015).

O amido é a principal fonte de carboidrato da banana verde, sendo que seu teor varia muito entre e dentro de espécies botânicas, e até mesmo em um mesmo cultivar, quando cultivado sob diferentes condições (MESQUITA et al., 2016). A Embrapa, principalmente, tem investido no aproveitamento da fruta para outros fins, dentre os quais produtos processados a partir da banana verde, como geleias e farinhas. O uso de bananas verdes como fonte de amido mostra-se como solução às grandes perdas pós-colheita que ocorrem na cadeia produtiva da cultura (LEONEL et al., 2011).

Considerando que durante o amadurecimento da banana ocorre a decomposição de carboidratos, marcada pela conversão do amido em açúcares solúveis (ADÃO e GLÓRIA et al., 2005), a variação no teor de amido promovido pela aplicação de fósforo

pode resultar em alterações na qualidade organoléptica das bananas. Conforme Carvalho et al. (1994), a deficiência de P na bananeira acarreta produção de frutos com maturação irregular e pouco saborosos, visto que tendem a apresentar menor teor de açúcar.

A avaliação de cultivares em diferentes condições de cultivo é crucial para determinar sua adaptabilidade, sendo que as características de pós-colheita de frutos são um parâmetro importante para analisar a qualidade final dos frutos produzidos (GODOY et al., 2016). Poucos estudos avaliaram novos genótipos de banana e suas necessidades nutricionais em diferentes situações de solo e clima, porém, essa investigação é necessária, pois as exigências nutricionais desses materiais genéticos não são iguais às bananas tradicionalmente cultivadas (NOMURA et al., 2017).

Dada a importância da fruta para a economia do Brasil e a escassez de informações sobre as necessidades nutricionais do híbrido FHIA 18 em P, objetivou-se com este trabalho avaliar o perfil físico-químico dos frutos da bananeira 'FHIA 18' submetida à níveis de fósforo, nas condições edafoclimáticas do município de São Manuel-SP, Brasil, durante três ciclos agrícolas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de cultivo

O cultivo das bananeiras foi realizado no município de São Manuel-SP, localizado nas coordenadas geográficas 22° 46' de latitude, 48° 34' de longitude e altitude de 740m, durante três ciclos agrícolas (2014, 2015 e 2016), em Latossolo Vermelho.

Antes do estabelecimento do bananal, a área experimental foi previamente preparada com aração, gradagem e calagem, conforme análise do solo e indicação para a cultura (TEIXEIRA et al., 2014).

O transplântio das mudas micropropagadas do híbrido FHIA 18 (AAAB), para o campo, foi realizado em novembro de 2012, adotando-se o espaçamento de 2,5 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, com área equivalente a 10 m² por planta, em sistema de sequeiro.

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo de parcelas subdivididas, com dez plantas úteis do híbrido FHIA 18 por parcela experimental. A parcela principal foi composta pelos seis níveis de adubação com fósforo e as subparcelas por três ciclos de produção. Para verificar o efeito dos tratamentos sobre as características avaliadas empregou-se a análise de variância (ANOVA), e, para as situações nas quais foram detectados efeitos significativos, procedeu-se a análise de regressão para o fator “doses” e o teste Tukey para o fator “ciclos de produção”, ao nível de 1 e 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada pelo software Sisvar (FERREIRA, 2011).

O padrão de adubação com P (100%) foi definido conforme análises químicas do solo e na produtividade esperada menor que 20 t ha⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2014). Os níveis de adubação com P foram os seguintes: D1 = sem aplicação (testemunha); D2 = aplicação de 50% do padrão recomendado de fósforo (20 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D3 = aplicação de 75% do padrão recomendado de fósforo (30 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D4 = aplicação de 100% do padrão recomendado de fósforo (40 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D5= aplicação de 125% do padrão recomendado de fósforo (50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹); D6= aplicação de 150% do padrão recomendado de fósforo (60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹). A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato triplo (46% de P₂O₅).

A adubação fosfatada foi realizada segundo recomendações propostas por Teixeira et al. (2014), sendo metade das doses de fósforo aplicadas de forma localizada na cova de plantio e o restante, aplicado aos 80 dias após o plantio, em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor das plantas. Nas adubações de produção do primeiro, segundo e terceiro ciclo foram aplicadas as doses de P₂O₅, mantendo as devidas porcentagens de avaliações (0, 50, 75, 100, 125 e 150% da dose recomendada), sendo parceladas em três aplicações e distribuídas em cobertura, na forma de semicírculo de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem.

3.2.3 Colheita, preparo das amostras e avaliações

A colheita nos três ciclos de produção foi realizada no período da manhã, sendo colhidos sete cachos por parcela experimental, quando os frutos centrais da segunda penca atingiram calibre mínimo de 36 mm. Os cachos foram despencados e

selecionaram-se a segunda, terceira e quarta pencas, que foram higienizadas com água potável e transportadas imediatamente até o Laboratório de Fruticultura, do Departamento de Horticultura da FCA/UNESP, onde realizaram-se avaliações em frutos verdes e maduros. As análises de carboidratos, coloração da casca e firmeza foram realizadas no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), Unidade Complementar da FCA/UNESP.

3.2.3.1 Perfil físico-químico de frutos verdes

Para as análises físico-químicas da banana verde, selecionaram-se aleatoriamente, na terceira e quarta pencas, doze frutos no Estádio 1 de maturação (casca totalmente verde) conforme escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006), os quais foram cortados rentes à almofada floral, eliminando-se aqueles fora do padrão. Em seguida, os frutos foram deixados em repouso sobre papel absorvente por alguns minutos, para coagulação do látex, descascados e fatiados em espessuras de aproximadamente 0,6 cm, retirando-se uma amostra para a análise da umidade. O teor de matéria seca da polpa dos frutos verdes foi determinado gravimetricamente, em sete amostras por tratamento. Para isso, amostras de 16 g foram secas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105°C, até obtenção de massa constante e novamente pesadas. O procedimento foi realizado mediante recomendações estabelecidas pela AOAC (2007) e os resultados do teor de matéria seca, bem como de umidade, expressos em porcentagem.

O restante da polpa dos frutos verdes foi acondicionado em bandejas e levados para estufa com circulação de ar forçado, a 50°C, por 48 horas. Após desidratadas, as fatias foram moídas em moinho tipo faca. Neste material resultante, realizou-se as seguintes avaliações:

- **Teores de açúcares:** para a quantificação dos teores de açúcares totais e redutores foi utilizada a metodologia descrita por Somogyi, adaptada por Nelson (1944) e os resultados expressos em porcentagem.

- **Teor de amido:** determinado pelo método de hidrólise enzimática, conforme a metodologia ISO-6647 (1987). Para tal análise, foram adicionados 250 mg de amostra, 42 mL de água destilada, 100 µL de solução de alfa-amilase Termamyl 120 L (Novozymes) e 1 mL de solução tampão Acetato de Sódio (pH 4,6), em erlenmeyers de 125 mL, os quais foram mantidos em banho com agitação à temperatura de 90 °C

por 2 horas. Posteriormente, as soluções foram resfriadas a temperatura ambiente e adicionados 100 µL de amiloglicosidase A-7255 (Sigma), voltando ao banho maria por mais 2 horas sob agitação constante, à temperatura de 55 °C. Finalizado o aquecimento, as soluções foram resfriadas e transferidas para balão volumétrico de 200 mL. Deste volume, retirou-se uma alíquota de 5 mL, que foi transferida para balão volumétrico de 100 mL, onde se neutralizou o pH com 50 µL de solução NaOH (4N) e ajustou o volume com água destilada. Após a hidrólise, a porcentagem de amido foi quantificada pela metodologia descrita por Somogy e adaptada por Nelson (1944). O teor de amido foi obtido pelo seguinte cálculo: (% de Amido - % de Açúcar Total) x 0,9.

- **Teor de fósforo:** para a determinação do teor de fósforo, foram adicionadas 250 mg de amostra de frutos desidratados e 3 mL da solução nitro perclórica, em tubos de digestão. Posteriormente, os tubos foram mantidos em bloco digestor até atingirem a temperatura de 220 °C. O extrato obtido foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e o volume ajustado com água deionizada. Deste volume, retirou-se 1 mL, sendo adicionados 4 mL de água destilada, 2 mL da mistura Molibdato de amônio e Metavanadato de amônio, mantendo essa solução em repouso por cinco minutos. O P foi determinado em quatro amostras por tratamento, através de colorimetria, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), utilizando o espectrofotômetro UV-VIS (FEMTO) a 420 nm e os resultados expressos em gramas por quilograma (g kg^{-1}) de matéria seca.

Os resultados dos teores de açúcares e amido foram posteriormente convertidos para a base úmida, utilizando para isso os valores de umidade presentes tanto na polpa dos frutos verdes, quanto no material desidratado.

3.2.3.2 Perfil físico-químico de frutos maduros

Na avaliação da qualidade pós-colheita da banana madura, utilizaram-se as 2ª pencas dos sete cachos, por tratamento, que foram mantidas em bancadas expostas à temperatura ambiente (valor mediano de 25°C), até sua completa maturação (Figura 1).

Figura 1 - Segunda penca da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em estágio de amadurecimento 6. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Foto: Ana Carolina Batista Bolfarini, 2015

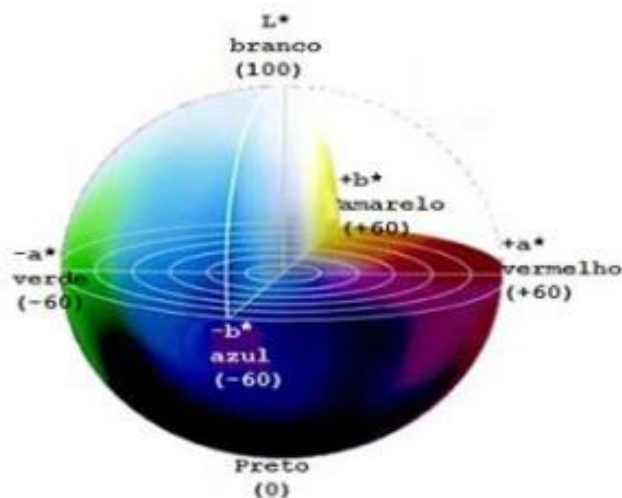
Quando os cinco frutos centrais das pencas atingiram o estágio de amadurecimento 6 (casca 100% amarela), segundo a escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006), foram analisados, determinando-se:

- **Descritores de coloração da casca:** a coloração da casca foi determinada com o auxílio do colorímetro Minolta CR-300 (Konica Minolta Sensing, Inc.) e as leituras realizadas na região equatorial dos frutos, produzidos no primeiro ciclo de produção. Os resultados foram expressos em coordenadas de cor no espaço L^*a^*b (escala CIElab), o L indica a luminosidade, variando em uma escala de preto (0) ao branco (100); o parâmetro a^* indica a variação de pigmentos de cor que varia entre o verde (-60) e o vermelho (+60); e b^* indica intensidade de pigmentos de cor variando entre o azul (-60) e o amarelo (+60) (Figura 2). Com os valores de a^* e b^* calculou-se o ângulo hue (h°) e a cromaticidade (C^*), conforme as equações 1 e 2, respectivamente. O $^\circ h$ indica a tonalidade cromática, para as quais 0° refere-se à coloração vermelha, 90° à coloração amarela, 180° à coloração verde e 270° à coloração azul; e o C^* indica a intensidade da cor.

$$^\circ h = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

Figura 2 - Representação da cor sólida segundo escala CIELab.



Fonte: GARCIA, E.L. (2017).

- **Firmeza:** obtida com o auxílio do texturômetro (TA. XT Plus Texture Analyser) com ponta de prova SMS P/2N e velocidade de penetração de $2,0 \text{ mm s}^{-1}$. A leitura foi realizada em dois diferentes pontos centrais dos frutos com casca e os resultados expressos em Newton (N). Foi realizada para os frutos produzidos no primeiro e segundo ciclo de produção.

- **Acidez titulável:** determinada com base nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2005). Utilizaram-se 5 g de polpa homogeneizada em triturador doméstico tipo 'mixer', que foi diluída em 95 mL de água destilada e titulada com solução padronizada de NaOH a 0,1N, tendo como indicador o ponto de viragem da fenolftaleína. Os resultados foram expressos em porcentagem, correspondente à gramas de ácido málico em 100 gramas da polpa.

- **Sólidos solúveis:** expresso em °Brix, por meio da leitura refratométrica direta de uma alíquota da polpa homogeneizada, em refratômetro digital tipo Palette PR – 32, marca ATAGO, com compensação de temperatura automática.

- **Índice de maturação:** obtida por meio da relação entre o conteúdo de sólidos solúveis e a acidez titulável.

- **Teores de açúcares:** a análise dos teores de açúcares totais e redutores presentes na polpa dos frutos maduros, também foi realizada conforme a metodologia descrita por Somogy, adaptada por Nelson (1944). O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro Celm E-225D com fluxo contínuo EVLAB, EV 013 e leitura realizada a 535 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Perfil físico-químico de frutos verdes

Quando avaliados os frutos verdes, verificou-se que houve interação significativa entre a adubação fosfatada e os ciclos de produção somente para o teor de açúcares redutores, permitindo inferir que tal característica físico-química varia conforme os níveis de P aplicados de modo diferente para cada ciclo produtivo. Ao passo que, para o teor de fósforo nos frutos, a adubação fosfatada atuou de forma isolada, não sendo assim dependente do ciclo de produção. Para as demais características, o efeito isolado do ciclo foi significativo (Tabelas 1).

Tabela 1 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias do teor de umidade (UM), matéria seca (MS), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), amido e fósforo (PFRUTO), nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018

FV	UM (%)	MS (%)	AT (%)	AR (%)	Amido (%)	P _{FRUTO} (g kg ⁻¹)
Níveis de P (A)	1,78 ^{NS}	1,78 ^{NS}	1,41 ^{NS}	4,53 ^{**}	1,11 ^{NS}	5,95 ^{**}
Ciclos (B)	5,06 [*]	5,06 [*]	7,30 ^{**}	2,97 ^{NS}	5,02 [*]	35,16 ^{**}
A x B	1,43 ^{NS}	1,43 ^{NS}	0,78 ^{NS}	3,38 ^{**}	1,93 ^{NS}	1,35 ^{NS}
CVA (%)	3,73	6,96	20,30	13,29	14,93	5,31
CVB (%)	3,67	6,85	19,20	17,57	13,94	5,35
Média	65,11	34,90	1,26	0,94	25,54	0,95

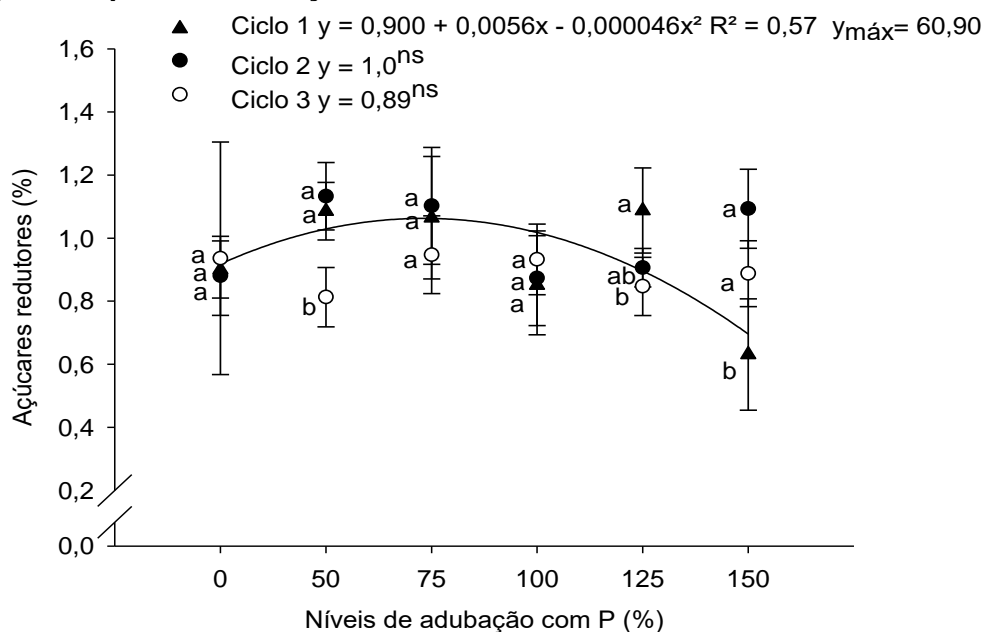
^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

As análises físico-químicas nos frutos verdes permitem verificar que os teores de açúcares redutores, no primeiro ciclo de cultivo, alcançaram o máximo teor (1,07%) com a aplicação de 61% da dosagem recomendada de fósforo (24,4 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹), o que equivale a um incremento de 18,9% nos teores de açúcares redutores, quando comparado aos frutos oriundos de plantas que não foram submetidas à adubação fosfatada. Entretanto, no segundo e terceiro ciclo de produção, os teores de açúcares redutores não foram afetados pelos níveis de adubação com P, sendo obtido os teores médios de 1% e 0,89%, respectivamente (Figura 3). Tais resultados indicam que a condição de média disponibilidade de P no solo (16 mg dm⁻³), durante o início do cultivo, para uma de maior disponibilidade, resultante da aplicação do fósforo, traz alterações na deposição de açúcares redutores nos frutos verdes da bananeira FHIA 18. Essa resposta ocorreu, possivelmente, porque a síntese e o uso dos carboidratos pelas plantas são influenciados pelo teor de fósforo no tecido vegetal,

o que é confirmado por Park et al. (2012), os quais constaram que a menor aplicação de P diminui a biossíntese da glicose. Contudo, a ausência de resposta ao P após o primeiro ciclo deve-se ao aumento do sistema radicular com o avançar dos ciclos, o que pode favorecer a absorção de P em camadas mais profundas do solo (SILVA e RODRIGUES et al., 2013). Além disso, com o estabelecimento da touceira, as bananeiras tornam-se interdependentes, de tal forma que uma se beneficia da absorção de nutrientes do sistema radicular da outra (KURIEN et al., 2006).

As maiores médias dos teores de açúcares redutores foram observadas, em sua maioria no primeiro e segundo de produção, porém, com a aplicação de 150% da recomendação de fósforo ($60 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o menor teor foi obtido no primeiro ciclo de produção (0,63%), em comparação aos teores de 1,09 e 0,89% encontrados no segundo e terceiro ciclo, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Teores de açúcares redutores nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



Letras iguais entre os ciclos não diferem pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As barras de erros apresentam $n = 7$. Y_{max} trata-se da determinação do teor de açúcares redutores máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

O aumento nos teores de açúcares redutores na banana verde até o nível estimado de adubação com P não é interessante para o processamento industrial, pois altos teores de açúcares redutores causam o escurecimento da banana durante o processo de aquecimento para fabricação da farinha, devido à reação de Maillard (MOHAMED et al., 2010), também conhecida como escurecimento não enzimático,

que ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos. Entretanto, os teores médios de açúcares redutores (0,94%), no primeiro ciclo, permaneceram em níveis adequados, pois segundo Chitarra e Chitarra (2005), os teores de açúcares na banana verde variam de 1-2%, sendo que essa variação se deve às características metabólicas intrínsecas do cultivar, bem como às condições de cultivo.

Os teores de umidade, bem como de matéria seca foram afetados apenas pelo fator ciclos de produção, o que indica que a adubação fosfatada não interfere na percentagem de matéria seca nos frutos verdes da bananeira FHIA 18 (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios de umidade, matéria seca, açúcares totais, amido e fósforo nos frutos verdes de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP

Ciclos	Umidade (%)	Matéria seca (%)	Açúcares totais (%)	Amido (%)	P no fruto (g kg ⁻¹)
Primeiro ciclo	64,91 ab	35,09 ab	1,32 a	24,87 b	0,88 b
Segundo ciclo	66,02 a	33,98 b	1,33 a	24,79 b	0,98 a
Terceiro ciclo	64,39 b	35,61 a	1,12 b	26,96 a	0,99 a
DMS	1,25	1,25	0,15	1,86	0,04

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não são significativamente diferentes de acordo com teste Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor de matéria seca no fruto é um parâmetro de qualidade importante para as indústrias de alimento, pois afetam o rendimento na elaboração de produtos concentrados e/ou desidratados, como a farinha produzida a partir da banana verde, que tem sido utilizada em vários produtos inovadores, como biscoitos lentamente digeríveis, pão rico em fibras e filmes comestíveis (OLIVEIRA et al., 2015). Como a adubação fosfatada não promoveu alterações significativas no percentual de umidade nos frutos e, portanto, não modificaram o teor de matéria seca, pode-se inferir que o rendimento de produtos alimentícios concentrados e/ou desidratados a partir dos mesmos não será modificado. O teor médio de matéria seca obtido no presente estudo foi de 34,90%, valor superior ao encontrado por Leonel et al. (2011) em frutos verdes de bananeiras 'FHIA 18' cultivadas em Botucatu-SP, onde obtiveram um teor médio de matéria seca igual a 24,09%.

Os maiores percentuais de matéria seca foram obtidos no terceiro ciclo de produção (Tabela 2), o que está relacionado ao maior teor de amido também encontrado nesse ciclo de cultivo, pois 70 a 80% da matéria seca da polpa de banana verde é constituída por amido, o qual é composto principalmente por dois polímeros,

a amilose e a amilopectina, sendo este último polímero altamente ramificado e de elevada massa molecular (JANE, 2006).

Os teores de açúcares totais e de amido também foram afetados somente pelos ciclos de produção. As maiores médias dos teores de açúcares totais foram observadas no primeiro (1,32%) e segundo ciclo (1,33%), e as menores médias (1,12%) foram encontradas no terceiro ciclo de produção. Já para o amido, o maior teor (26,96%) foi encontrado no terceiro ciclo (Tabela 2), o que demonstra uma relação inversa entre os teores de açúcares totais e os teores de amido na banana verde do cultivar FHIA 18. A polpa da banana, quando verde, não apresenta sabor, e trata-se de uma massa com alto teor de amido e baixo teor de açúcares e compostos aromáticos (OLIVEIRA et al., 2015).

O maior teor de amido observado no terceiro ciclo de produção, pode estar relacionado ao maior rendimento produtivo das bananeiras, pois segundo Silva e Rodrigues et al. (2013) há um incremento na massa de frutos com o passar dos ciclos. Esse maior vigor das plantas está associado à maior eficiência fotossintética no terceiro ciclo, pois mesmo com aumento da produção, há maior reserva de carboidratos (TAIZ et al., 2017). Associado a esse fato, o maior rendimento produtivo, e conseqüentemente, o maior teor de amido, pode ser atribuído à maior disponibilidade de nutrientes com o decorrer dos ciclos (NOMURA et al., 2017; KURIEN et al., 2006). Além disso, os teores de amido, bem como de açúcares nos frutos, podem variar em função das condições climáticas em que as bananeiras são cultivadas (SOUZA et al., 2013; LEONEL et al. 2011), pois a temperatura e a disponibilidade de água atuam diretamente sobre a atividade fotossintética e respiratória da bananeira.

Embora a adubação fosfatada pudesse gerar variações nos teores de açúcares totais, uma vez que a nutrição adequada de fósforo tende a favorecer os processos metabólicos pelo fornecimento de energia (PARK et al., 2012) e logo, incrementar a síntese de açúcares, os resultados demonstraram que os valores médios (1,26%) permaneceram em níveis normais (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

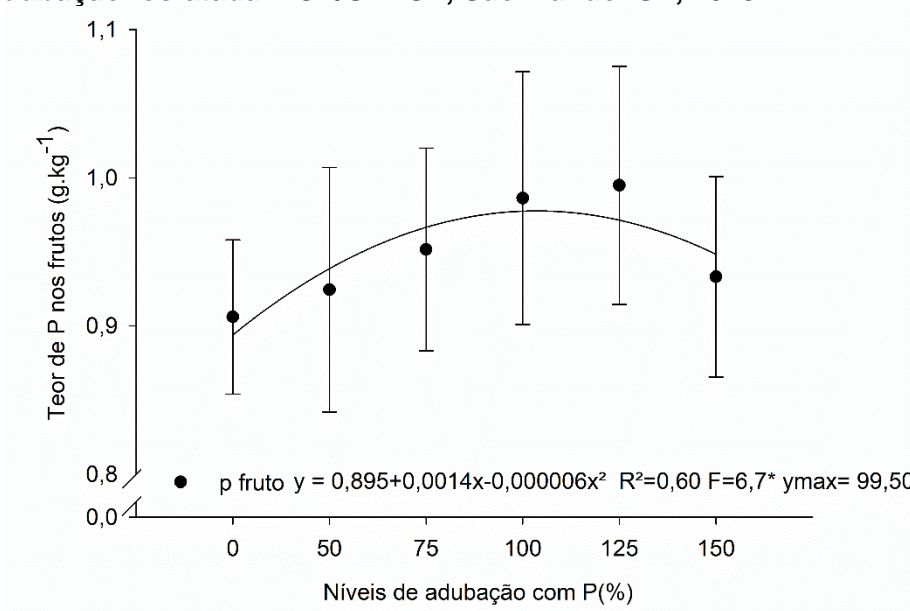
Há indicações que o P também interfere na síntese e na deposição do amido para algumas culturas (ROSEN et al., 2014; ZHAO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2005), entretanto, tal comportamento não foi constatado nos frutos da bananeira 'FHIA 18', mas os teores médios obtidos (25,54% de amido) permaneceram em níveis normais de referência para a banana verde (20 a 25%) (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Os teores de amido encontrado no presente trabalho foram superiores aos reportados por

Leonel et al. (2011), que obtiveram um teor médio de 16,7% de amido para o mesmo cultivar. O amido da banana verde apresenta imenso potencial agrícola e industrial devido às suas interessantes características de aplicabilidade na indústria alimentícia, como níveis significativos de amilose, elevado pico de viscosidade e viscosidade final, e altos teores de amido resistente (LEONEL et al., 2011; MESQUITA et al., 2016).

Os teores de fósforo nos frutos foram afetados pelos fatores isolados, níveis de adubação com P e ciclos de produção (Tabela 1). A adubação fosfatada incrementou os teores de fósforo nos frutos, sendo o máximo teor estimado ($0,96 \text{ g kg}^{-1}$) com a aplicação de 100% da dosagem recomendada de P ($39,80 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Figura 4). O fornecimento equilibrado de fósforo, desde o início do desenvolvimento vegetativo, estimula o crescimento radicular da bananeira e, logo, proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes para a planta (MUSTAFFA e KUMAR, 2012), o que pode resultar em maiores teores de minerais, como o P, na polpa dos frutos.

O fósforo quando ligado covalentemente ao grânulo de amido nativo é capaz de auxiliar a incorporação de moléculas de água, devido à sua organização iônica e, logo, modificar as propriedades funcionais do amido, tais como a gelatinização, retrogradação, viscosidade e o poder de inchaço (MESQUITA et al., 2016). Além disso, elevados conteúdos de fósforo no amido podem estar associados à baixa digestibilidade, pois a sua organização estrutural no grânulo impede a ação enzimática sob o amido fosforilado, o que retarda a absorção dos carboidratos e resulta em menor resposta glicêmica, situação desejável para indivíduos com sobrepeso ou glicemia acima do limite máximo estabelecido (ABSAR et al., 2009). Portanto, maiores níveis de fósforo nos frutos, e conseqüentemente nos amidos, são de grande importância para a aplicabilidade nas indústrias alimentícias.

Figura 4 - Teores de fósforo nos frutos verdes da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 4$. Y_{max} trata-se da determinação do teor de fósforo nos frutos máximo em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

Os teores médios de P nos frutos foram significativamente maiores no segundo e terceiro ciclo de produção (0,98 e 0,99 g kg⁻¹), quando comparados ao primeiro ciclo (Tabela 2). Tais resultados confirmam que o incremento radicular aumenta a disponibilidade de nutrientes como um todo para a planta, principalmente em relação ao íon fosfato, uma vez que sua absorção é frequentemente relacionada ao comprimento radicular (ATTIA et al., 2009), pois com o avançar dos ciclos há o aumento do sistema radicular das bananeiras (SILVA e RODRIGUES, 2013), o que favorece a maior absorção e teores de fósforo nos frutos produzidos segundo e terceiro ciclo de cultivo. Além disso, com o estabelecimento da touceira, a partir do segundo ciclo, ocorre maior acúmulo e translocação de nutrientes entre a planta filha e a neta (KURIEN et al., 2006).

3.3.2 Perfil físico-químico de frutos maduros

Para as variáveis físico-químicas dos frutos maduros não houve interação dos fatores estudados, níveis de adubação fosfatada e ciclos de produção. Porém, quando analisados isoladamente, verificou-se significância dos níveis de fósforo para a acidez titulável e o índice de maturação. Em relação ao fator, ciclos de produção, este foi significativo para a maioria das variáveis avaliadas, demonstrando que outros fatores

podem interferir na qualidade pós-colheita das bananas 'FHIA 18', como as condições climáticas, o potencial genético e a disponibilidade de nutrientes no solo, que variam ao longo dos ciclos de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da firmeza (F), acidez titulável (ATT), índice de maturação (SS/ATT), açúcares totais (AT) e açúcares redutores (AR), nos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018

FV	F ¹ (N)	ATT ² (g 100g ⁻¹)	SS (°Brix)	SS/ATT	AT (%)	AR (%)
Níveis de P (A)	2,21 ^{NS}	5,87 ^{**}	1,52 ^{NS}	4,88 ^{**}	0,64 ^{NS}	1,12 ^{NS}
Ciclos (B)	9,47 ^{**}	1,48 ^{NS}	49,34 ^{**}	7,50 ^{**}	32,39 ^{**}	50,75 ^{**}
A x B	1,40 ^{NS}	0,55 ^{NS}	1,69 ^{NS}	0,89 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,60 ^{NS}
CVA (%)	22,90	11,95	4,35	13,72	7,63	7,17
CVB (%)	23,46	12,68	4,19	13,41	7,97	7,55
Média	1,47	0,57	22,94	41,29	18,14	17,19

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F;

¹Dados referentes ao primeiro e segundo ciclo;

²Acidez titulável (ATT): expressa em g de ácido málico 100 g⁻¹ de polpa.

Em relação aos descritores de coloração da casca, avaliados nos frutos maduros do primeiro ciclo produtivo, foi constatado que os níveis de adubação com fósforo afetaram significativamente a coordenada a* e o ângulo hue (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores do teste F, coeficientes de variação (CV) e médias da luminosidade (L), coordenadas *a e *b, Chroma (C*) e ângulo hue (°h) da casca dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB). São Manuel, São Paulo, 2018

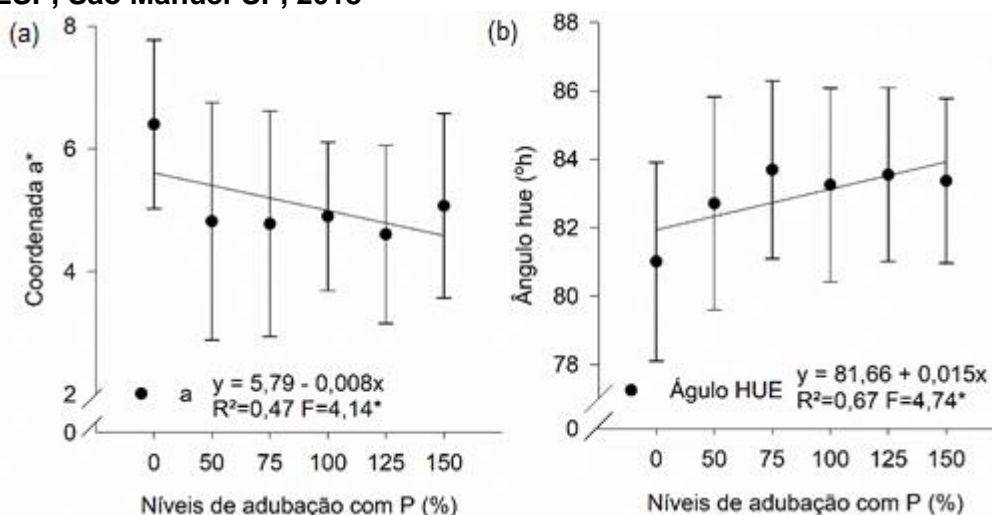
FV	L	a*	b*	C*	°h
Níveis de P	0,74 ^{NS}	1,75*	1,29 ^{NS}	1,33 ^{NS}	1,33*
CV (%)	6,43	30,83	13,32	12,86	3,31
Média	63,37	5,09	42,79	43,14	82,93

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 % pelo teste F.

No estágio 6 de maturação dos frutos, a adubação fosfatada não gerou interferências sobre a luminosidade (L*), a coordenada b* e a cromaticidade (C*). Porém, um efeito linear negativo foi observado na coordenada a*, indicando a presença do componente vermelho em maior intensidade na casca de bananas maduras oriundas de plantas que não foram adubadas com fósforo, o que levou ao efeito linear positivo no ângulo hue (h°), uma vez que esses parâmetros de cor são inversamente proporcionais (Figura 5). Quanto maior a intensidade da cor vermelha, mais maduros estão os frutos, ao passo que, menores valores da coordenada a* podem indicar a maior presença de clorofila. Ou seja, diante desses resultados é

possível inferir que a adubação fosfatada pode ter desacelerado a maturação dos frutos, o que é confirmado pelos maiores teores de acidez dos frutos nos maiores níveis de P aplicados.

Figura 5 - Coloração da casca, coordenada a* (a) e ângulo hue (°h) (b), nos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



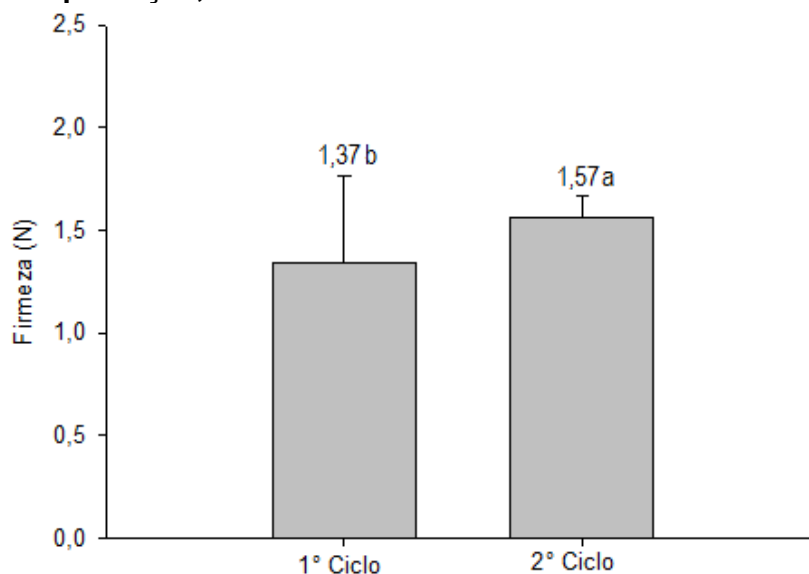
As barras de erros apresentam n = 7.

A interferência do fósforo sobre os parâmetros de cor em cascas de frutas tem sido relatada por alguns autores, os quais justificam uma possível relação desse efeito sobre a síntese de antocianinas, bem como, sobre o teor de matéria seca na polpa (LI et al., 2002; MARTUSCELLI et al., 2016).

A firmeza dos frutos maduros, avaliada nos dois primeiros ciclos de produção, apresentou valores médios de 1,37 e 1,57 N, respectivamente (Figura 6), e não foi evidenciado efeito da adubação fosfatada, provavelmente devido ao fato da ausência de efeito da aplicação de fósforo sobre a porcentagem de matéria seca nos frutos. Pesquisas avaliando a influência da adubação fosfatada na firmeza de algumas frutas, também indicaram a ausência de resposta ao P (NEILSEN et al., 2008; MEDEIROS et al., 2014; SILVA et al., 2016). No entanto, os valores de firmeza encontram-se adequados para as bananas tipo Prata no estágio 6 de maturação, pois Damatto Jr. et al. (2005), caracterizando frutos de 'Prata Anã' e 'Prata-Zulu', durante estágios de amadurecimento, relatam valores médios de 1,58 N para as bananas maduras. A maior firmeza observada no segundo ciclo de produção, pode ser atribuída às condições climáticas e disponibilidade de nutrientes nos frutos, que variam ao longo

dos ciclos. Segundo Pereira et al. (2015), frutos com maior firmeza são menos suscetíveis ao despencamento. Logo, o incremento nesta variável é interessante, principalmente em relação às bananas 'FHIA 18', que apresentam problemas com o desprendimento natural dos frutos.

Figura 6 - Firmeza dos frutos maduros de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro e segundo ciclo de produção, cultivadas em São Manuel-SP



As barras de erros apresentam n = 7.

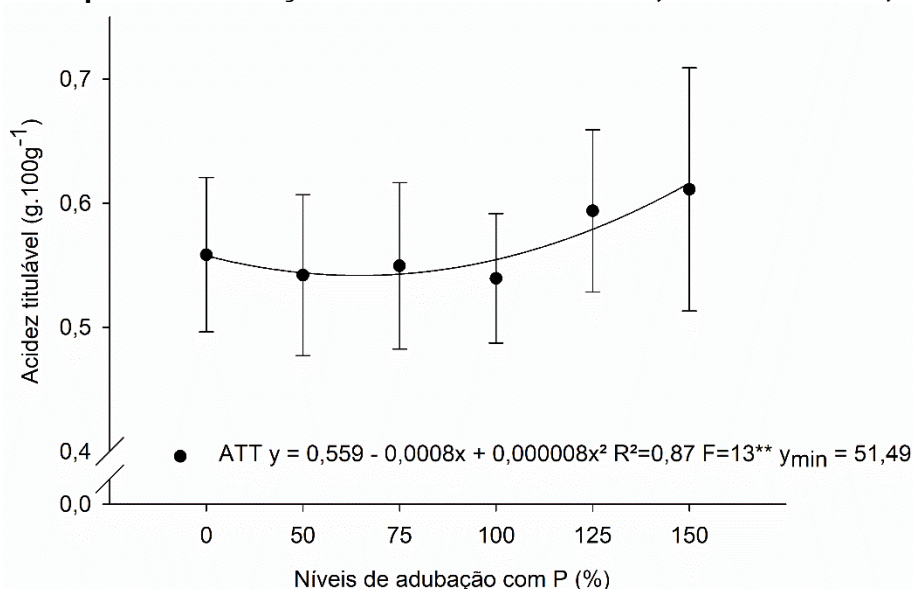
A acidez titulável dos frutos foi influenciada apenas pela adubação fosfatada, a qual promoveu diminuição quadrática. O valor mínimo de acidez estimado (0,55%) foi alcançado com 52% da recomendação de P (20,60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹) (Figura 7). O decréscimo na acidez dos frutos até tal dose estimada de fósforo, pode estar relacionado ao efeito de doses próxima à essa sobre os parâmetros produtivos, pois provavelmente com o incremento na produção de frutos houve o processo de diluição dos ácidos orgânicos nos vacúolos das células das bananas. Conseqüentemente, a tendência de aumento da acidez em função dos maiores níveis de adubação com P está associada à menor produção, devido à concentração dos ácidos nas bananas. Segundo Attia et al. (2009), a utilização de bactérias com 25% da dose comercial de fósforo promoveu maior rendimento produtivo das bananeiras e menores porcentagens de acidez nos frutos, por outro lado, nos tratamentos onde foram obtidos a menor produção também foi observado o maior teor de acidez nas bananas.

Além disso, a maior acidez apresentada pelos frutos com os maiores níveis de adubação fosfatada pode remeter à hipótese da desaceleração da maturação dos

mesmos, o que, como já mencionado, também foi evidenciado pelos resultados encontrados para os descritores de coloração da casca.

A diminuição da acidez nos frutos até determinados níveis de adubação com P é interessante, principalmente para a banana 'FHIA 18', visto que tal cultivar apresenta maior acidez quando comparada às demais bananas tipo Prata (CASTRICINI et al., 2015). A aceitação da banana pelos consumidores é significativamente influenciada por sua composição química, principalmente pelos ácidos, açúcares e compostos fenólicos. Em experimento realizado por Souza et al. (2013), o cultivar de banana com menor preferência de consumo foi aquele que também apresentou a maior porcentagem de acidez. O principal ácido orgânico da banana é o málico e fica próximo a 0,32% em cultivares do grupo Cavendish e 0,66% nos do grupo Prata (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2008). O valor mínimo de acidez encontrado no presente trabalho (0,55%) está próximo ao reportado por Oliveira et al. (2013) para a banana 'Prata Anã' (0,54%), que é genitora do híbrido 'FHIA 18' e apresenta boa aceitação no mercado, pois apresenta sabor típico de banana 'Prata'.

Figura 7 - Acidez titulável (% de ácido málico) dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 7$. Y_{\min} trata-se da determinação da acidez titulável mínima em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

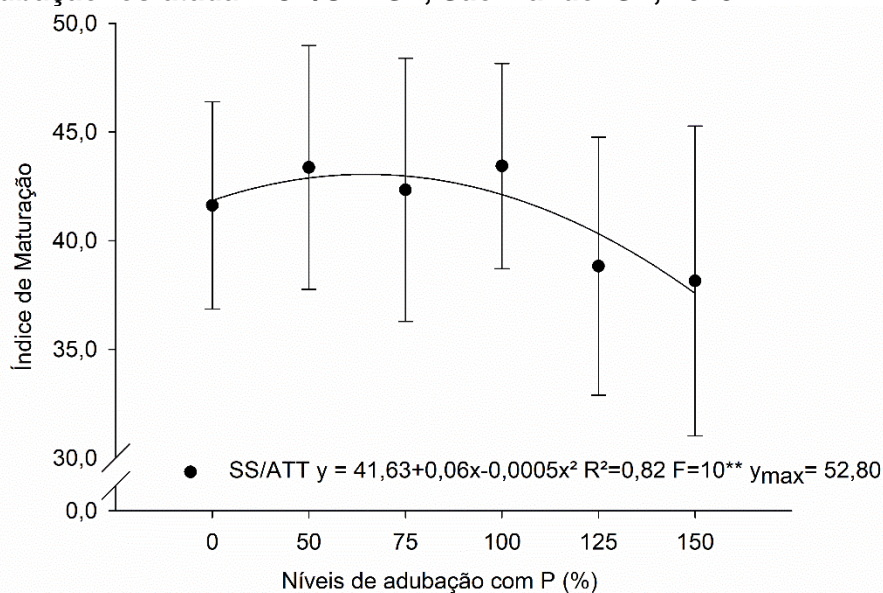
Embora não tenha sido observada modificações nos teores de sólidos solúveis em função da aplicação do fósforo, o índice de maturação foi significativamente influenciado pela adubação fosfatada, uma vez que este parâmetro qualitativo é

inversamente proporcional à acidez. Logo, o índice de maturação aumentou de forma quadrática aos níveis crescentes de P, atingindo o valor máximo estimado, que foi de 43,27, com a aplicação de 53% da recomendação de P (21,1 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹) (Figura 8).

O índice de maturação, ou comumente denominado de *ratio*, é utilizado como referência de sabor para muitas frutas e seu aumento durante a maturação, é um índice mais representativo do que a medição isolada dos sólidos solúveis ou da acidez (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Quando madura, os açúcares da banana aumentam e os ácidos reduzem à uma proporção desejável. Essa relação SS/ATT serve ainda como um importante indicativo de preferência do consumidor, pois os atributos de sabor são os mais importantes na escolha e compra de bananas, juntamente com a expectativa de sua vida útil de prateleira e aparência (SIQUEIRA et al., 2017).

O aumento do índice de maturação até a dose ótima de fósforo revela que a quantidade de sólidos solúveis sobrepôs a acidez titulável, logo, a expressão do sabor doce se torna mais evidente nas bananas produzidas nessa condição de adubação. Dentre os aspectos de qualidade dos frutos, o sabor da banana é um dos mais importantes, e tal característica está principalmente relacionada ao conteúdo de açúcares dos frutos. O máximo valor do índice de maturação verificado neste trabalho foi superior ao valor médio de 42,20, obtido por Roque et al. (2014) em bananas 'FHIA 18' no ponto de consumo, assim como o índice obtido por Godoy et al. (2016), que foi de 39,15.

Figura 8 - Índice de maturação dos frutos maduros da bananeira 'FHIA 18' (AAAB) em resposta à adubação fosfatada. FCA/UNESP, São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam $n = 7$. Y_{max} trata-se da determinação do índice de maturação máximo em que igualou-se a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

Os teores de sólidos solúveis, bem como de açúcares totais e redutores não foram influenciados pela adubação fosfatada, devido ao fato da ausência de efeito da aplicação de fósforo sobre o teor de amido nos frutos verdes, uma vez que à medida que o fruto amadurece o amido é degradado à açúcares solúveis, principalmente sacarose, glicose e frutose (ADÃO e GLÓRIA et al., 2005). Embora outros compostos como ácidos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas façam parte do teor de sólidos solúveis, grande parte é constituída por açúcares.

Os maiores teores de sólidos solúveis, açúcares totais e açúcares redutores obtidos no terceiro ciclo de produção (tabela 5), remete a hipótese da maior eficiência fotossintética e disponibilidade de nutrientes nesse ciclo de cultivo, que também culminaram nos maiores teores de amido.

Tabela 5 - Valores médios de sólidos solúveis, índice de maturação (SS/ATT), açúcares totais e açúcares redutores nos frutos maduros de bananeiras 'FHIA 18' (AAAB), no primeiro, segundo e terceiro de produção, cultivadas em São Manuel-SP

Ciclos	Sólidos solúveis (°Brix)	SS/ATT	Açúcares totais (%)	Açúcares redutores (%)
Primeiro ciclo	21,98 c	39,03 b	17,79 b	16,68 b
Segundo ciclo	23,19 b	42,51 a	17,08 b	16,09 b
Terceiro ciclo	23,67 a	42,33 a	19,54 a	18,80 a
DMS	0,42	2,40	0,76	0,68

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não são significativamente diferentes de acordo com teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Os teores de sólidos solúveis obtidos no primeiro e segundo ciclo foram superiores aos reportados por Roque et al. (2014), os quais obtiveram, nos dois primeiros ciclos, médias de 19,92 e 20,57 °Brix, respectivamente, para bananas 'FHIA 18' no estágio 6 de maturação. Já Castricini et al. (2015), relatam um teor médio de 22,9 °Brix para as bananas maduras do mesmo cultivar. O teor de sólidos solúveis é de grande importância nos frutos, tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial, visto que elevados teores desses constituintes na matéria-prima implicam em menor adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento (JESUS et al., 2005).

Os teores de açúcares totais e redutores encontrados no presente estudo estão próximos aos obtidos por GODOY et al. (2016), que observaram, para bananas do mesmo cultivar no estágio 6 de maturação, 17% de açúcares totais e 18,33% de açúcares redutores. De acordo com Carvalho et al. (2011), os teores de açúcares na banana completamente madura variam de 15 a 20%. O conteúdo de açúcares nas bananas está diretamente relacionado ao sabor das mesmas, mas também com a vida de prateleira, pois os açúcares são os principais produtos da via glicolítica, responsável pela produção de compostos que serão posteriormente utilizados na respiração para a produção de ATP (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Dessa forma, frutos que apresentam maiores reservas de açúcares, tendem a apresentar maior vida de prateleira.

3.4 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada proporciona aumento nos teores de fósforo nos frutos da bananeira 'FHIA 18' até a aplicação de 100% da recomendação (40 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹). No entanto, a aplicação de 21 kg de P_2O_5 ha⁻¹ ano⁻¹ permite a obtenção de frutos menos ácidos e com maior índice de maturação.

Os teores de matéria seca, amido e de fósforo, nos frutos verdes, bem como, a firmeza, teores de sólidos solúveis, o índice de maturação e teores de açúcares nos frutos maduros, aumentam do primeiro ciclo de produção para os ciclos subsequentes, independente da dose de P_2O_5 utilizada.

REFERÊNCIAS

- ABSAR, N. et al. Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. **Food Chemistry**, Berlin, v. 112, n. 1, p. 57-62, 2009.
- ADÃO, R. C.; GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of 'Prata' banana (*Musa acuminata* x *M. balbisiana*). **Food Chemistry**, Berlin, v. 90, p. 705-711, 2005.
- AOAC INTERNATIONAL. **AOAC - Official methods of analysis of AOAC International**. 18th edition - Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2007.
- ATTIA, M.; AHMED, M. A.; EL-SONBATY, M. R. Use of biotechnologies to increase growth, productivity and fruit quality of 'Maghrabi' banana under different rates of phosphorus. **World Journal of Agricultural Sciences**, Deira, v. 5, n. 22, p. 211-220, 2009.
- AULAR, J.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.
- CARVALHO, J.G. et al. Influência dos nutrientes na qualidade de frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 180, p. 52-55, 1994.
- CARVALHO, A.V. et al. Postharvest quality of 'maça' banana cultivars in Belém Region-PA. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1095-1102, 2011.
- CASTRICINI, A. et al. Caracterização pós-colheita e sensorial de genótipos de bananeiras tipo prata. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 27-37, 2015.
- CEAGESP. Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Frutas. **Normas de classificação de banana**. São Paulo, 2006. (Documento, 29).
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2005. 783 p.
- DAMATTO JÚNIOR, E. R. D. et al. Produção e caracterização de frutos de bananeira Prata Anã e Prata Zulu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 440-443, 2005.
- DONATO, S. R. L. et al. Comportamento fitotécnico da bananeira 'Prata Anã' e de seus híbridos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1608-1615, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GARCIA, E. L. **Amidos de tuberosas nativos e modificados por extrusão**. 2017. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017.

GODOY, R.C.B. et al. Physico-chemical characterization of banana varieties resistant to black leaf streak disease for industrial purposes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 9, p. 1514-1520, 2016.

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

JANE, J. Current understanding on starch granule structure. **Journal of Applied Glycoscience**, Tokyo, v. 53, n. 3, p. 205-213, 2006.

JESUS, S.C. et al. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 573-579, 2005.

KURIEN, S. et al. Intermat and intramat competition in banana studied using 32P. **Fruits**, Paris, v. 61, p. 225-235, 2006.

LEONEL, M. et al. Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 599-605, 2011.

LI, Z. H.; GEMMA, H.; IWAHORI, S. Stimulation of 'Fuji' apple skin color by ethephon and phosphorus–calcium mixed compounds in relation to flavonoid synthesis. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 94, p. 193-199, 2002.

LIU, J. et al. Efficient regeneration and genetic transformation platform applicable to five *Musa* varieties. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaíso, v. 25, p. 33-38, 2017.

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. 319 p.

MARTUSCELLI, M. et al. Influence of phosphorus management on melon (*Cucumis melo* L.) fruit quality. **Journal Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 8, p. 2715-2722, 2016.

MEDEIROS, P. V. Q. et al. Produção e qualidade de frutos de mangueira 'Tommy Atkins' adubadas com superfosfato simples no município de Assú – RN. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v. 7, n. 3, p. 7-16, 2014.

MESQUITA, C. de B. et al. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 89, p. 632-639, 2016.

MOHAMED, A.; XU, J.; SINGH, M. Yeast leavened banana-bread: Formulation, processing, colour and texture analysis. **Food Chemistry**, Berlin, v. 118, p. 620–626, 2010.

MUSTAFA, M. M.; KUMAR, V. Banana production and productivity enhancement through spatial, water and nutrient management. **Journal of Horticultural Sciences**, Bangalore, v. 7, n. 1, p. 1-28, 2012.

NASCIMENTO JUNIOR, B. R. et al. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físicas e químicas e compostos voláteis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 649-658, 2008.

NEILSEN, G. H.; NEILSEN, D.; TOIVONEN, P. Annual bloom-time phosphorus fertigation affects soil phosphorus, apple tree phosphorus nutrition, yield, and fruit quality. **Hortscience**, Cambridge, v. 43, n. 3, p. 885-890, 2008.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

NOMURA, E. S. et al. Fertilization with nitrogen and potassium in banana cultivars 'Grand Naine', 'FHIA 17' and 'Nanicão IAC 2001' cultivated in Ribeira Valley, São Paulo State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 4, p. 505-513, 2017.

OLIVEIRA, A. P. et al. Produção de batata-doce e teor de amido nas raízes em função de doses de P₂O₅. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 747-751, 2005.

OLIVEIRA, O. C. G. et al. Características pós-colheita de bananas 'Prata Anã' e 'BRS Platina' armazenadas sob refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 891-897, 2013.

OLIVEIRA, D. A. S. B. et al. Avaliação da qualidade de pão com adição de farinha e purê da banana verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 699-707, 2015.

PARK, M. R. et al. Transcriptome profiling characterizes phosphate deficiency effects on carbohydrate metabolism in rice leaves. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 169, p. 193-205, 2012.

PEREIRA, M. C. T. et al. Aplicação em pré-colheita de cloreto de cálcio no controle do despencamento natural dos frutos de bananeira 'FHIA-18'. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 11, v. 45, p. 1925-1931, 2015.

ROQUE, R. de L. et al. Desempenho agrônomo de genótipos de bananeira no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 598-609, 2014.

ROSEN, C. J. et al. phosphorus fertilizer management in potato production. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 91, n. 2, p. 145-160, 2014.

SILVA, A. C. et al. Efeito de diferentes doses, formas de aplicação e fontes de P na conservação de melancia sem sementes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 529-536, 2016.

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, M. G. V. Produção da bananeira 'Prata Anã' em função da aplicação de adubo fosfatado, em quatro ciclos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 613-618, 2013.

SIQUEIRA, C. L. et al. Modified atmosphere together with refrigeration in the conservation of bananas resistant to black Sigatoka. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 614-624, 2017.

SOUZA, M. E. et al. Caracterização físico-química e avaliação sensorial dos frutos de bananeira. **Nativa**, Sinop, v. 1, p. 13-17, 2013.

TAIZ, L. et al. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. edn. Porto Alegre, Artmed.

TEIXEIRA, L.A.J. et al. Banana. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Eds.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 46-51. Boletim Técnico, 200.

ZHAO, Z. et al. Effect of nitrogen and phosphorus deficiency on transcriptional regulation of genes encoding key enzymes of starch metabolism in duckweed (*Landoltia punctata*). **Plant physiology and biochemistry**, Paris, v. 86, p. 72-81, 2015.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DA BANANEIRA ‘FHIA 18’ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional e a produtividade do híbrido de bananeira ‘FHIA 18’ em função da adubação fosfatada. As plantas foram adubadas com superfosfato triplo durante três ciclos de produção, em que os tratamentos consistiram nos seguintes níveis de adubação com P_2O_5 : sem adubação com P_2O_5 ; $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis níveis de adubação com P_2O_5 e quatro repetições. No florescimento, foram retiradas amostras foliares da terceira folha, a partir do ápice, para determinação dos teores de macro e micronutrientes. Para determinação dos teores de minerais nos frutos, foram utilizadas amostras da polpa dos frutos da terceira e quarta pencas do cacho, no Estádio 1 de maturação. A produtividade foi estimada a partir da massa fresca dos cachos, densidade de plantio e duração do ciclo ($\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), considerando dez plantas por tratamento. A aplicação de 36 kg ha^{-1} de $P_2O_5 \text{ ano}^{-1}$ promove maior teor foliar de fósforo, mas o híbrido ‘FHIA 18’ necessita da aplicação de 50% da recomendação de adubação com P_2O_5 para atingir a máxima produtividade ($29,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A adubação fosfatada promove alterações significativas nos teores de P, Ca, Cu e Zn de folhas e frutos.

Palavras-chave: *Musa* spp., híbrido, fertilizante fosfatado, nutrição.

Nutritional evaluation and productivity of ‘FHIA 18’ banana according to phosphate fertilization

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the nutritional status and productivity of ‘FHIA 18’ banana hybrid in function of phosphate fertilization. The plants were fertilized with triple superphosphate during three production cycles, in which the treatments consisted of fertilization levels with P_2O_5 : without fertilization with P_2O_5 ; $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$; $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The design was completely randomized, with six levels of fertilization with P_2O_5 and four

replications. At flowering, leaf samples from the third leaf were taken from the apex to determine macro and micronutrient contents. In order to determine the mineral content of the fruits, fruit pulp samples from the third and fourth hands of the bunch were used in stage 1 of maturation. Yield was estimated from the fresh mass of the bunches, planting density and cycle length ($t\ ha^{-1}\ year^{-1}$), considering ten plants per treatment. The application of $36\ kg\ ha^{-1}$ of $P_2O_5\ year^{-1}$ promotes a higher leaf content of phosphorus, but the hybrid 'FHIA 18' requires the application of 50% of the fertilization recommendation with P_2O_5 to achieve maximum productivity ($29.4\ t\ ha^{-1}\ year^{-1}$). Phosphate fertilization promotes significant changes in P, Ca, Cu and Zn contents of leaves and fruits.

Keywords: *Musa* spp., hybrid, phosphate fertilizer, nutrition.

4.1 INTRODUÇÃO

O manejo nutricional em frutíferas caracteriza-se como fator primordial para a obtenção de rendimentos produtivos, pois grandes quantidades de nutrientes são imobilizadas pela parte vegetativa ou exportadas pelos frutos (NATALE et al., 2010). Além disso, a baixa fertilidade química dos solos da maioria das regiões produtoras, deficientes principalmente em potássio, nitrogênio e fósforo determina a demanda por nutrientes pelas plantas. Contudo, a aplicação de fertilizantes deve ser racional e sempre conciliada com o menor custo de produção possível e riscos de contaminação ao solo.

A bananeira (*Musa* spp.) é uma planta que acumula quantidades elevadas de matéria seca e possui crescimento rápido, por esse motivo demanda grandes quantidades de nutrientes, principalmente potássio e nitrogênio (SILVA et al., 2015). Porém, a demanda nutricional pode variar entre os cultivares e até mesmo dentro de um grupo genômico em função das características genéticas, dos teores de nutrientes no solo, do tipo de manejo, entre outros fatores. Aliado a isso, é relevante considerar que os nutrientes estejam em equilíbrio no solo, pois o consumo excessivo de um elemento pode induzir a deficiência de outro.

O fósforo é o macronutriente exigido em menores quantidades pelas bananeiras, porém, é um dos mais utilizados nas adubações, perante a baixa disponibilidade natural desse nutriente nos solos tropicais e à alta fixação do P aos minerais de argila,

formando compostos de baixa solubilidade. As formas predominantes de P na maioria dos solos brasileiros são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , com a quantidade de cada uma dependendo do pH da solução. Em solos com valor de pH abaixo de 7,2, condição existente na maioria dos solos cultivados, a forma H_2PO_4^- prevalece (SHEN et al., 2011). Como consequência, o P tem sido aplicado periodicamente em grandes quantidades pelos produtores. Leonel e Damatto Júnior (2007) verificaram que em alguns bananais da região de Ribeirão do Sul-SP, o teor de P no solo foi superior a 30 mg dm^{-3} , considerado como alto (RAIJ et al., 2001). Já nos bananais da região do Vale do Ribeira-SP, Godoy et al. (2012) relata a presença de solos com até 165 mg dm^{-3} de P.

Os altos teores de fósforo no solo podem afetar a disponibilidade de outros nutrientes e conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento vegetal, pois os fosfatos tendem a reduzir a solubilidade de Zn, pela formação de fosfatos de zinco no solo e induzir a deficiência de ferro e manganês, pela redução de sua mobilidade na planta (NOVAIS et al., 2016).

A deficiência de zinco promovida pelo excesso de fósforo pode ser decorrente de vários motivos, dentre eles: o excesso de P reduz a taxa de difusão do Zn (SHEN et al., 2011); alguns fertilizantes fosfatados elevam o pH do solo, aumentando a disponibilidade de cargas negativas trocáveis e conseqüentemente, a adsorção do Zn (NOVAIS et al., 2016); o teor excessivo de P promove o rápido crescimento vegetal, resultando em baixos níveis de zinco nos tecidos das plantas pelo efeito de diluição (OVA et al., 2015).

As aplicações de fertilizantes alteram as concentrações dos nutrientes nos frutos da bananeira (NDUKWE et al., 2012) e provavelmente, podem resultar em efeitos de sinergismo ou antagonismo no momento da absorção desses nutrientes pela planta. Conforme Martuscelli et al. (2016), o metabolismo do fósforo na planta interfere sobre o transporte do cálcio para os frutos. O fósforo possui ainda relação sinérgica com o magnésio, sendo que a disponibilidade inadequada de Mg no solo poder ser um fator limitante para respostas à adubação com P, pois o magnésio participa da ativação de enzimas quinases e da maioria das reações que atuam na absorção e transferência do fósforo pelas plantas (MARSCHNER, 2012).

Considerando que a resposta produtiva da bananeira à adubação fosfatada é influenciada pela interação com outros nutrientes, estudos envolvendo tal abordagem podem contribuir para avanços no manejo nutricional da cultura, evitando-se assim o

uso indiscriminado de fertilizantes, que provocam o aumento do custo de produção, desequilíbrio nutricional na bananeira e riscos de contaminação do solo.

Pela escassez de informações sobre o efeito da adubação fosfatada nos teores de nutrientes foliares e nos frutos de bananeiras, bem como no rendimento produtivo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional e a produtividade do híbrido 'FHIA 18' em função da adubação fosfatada.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Período e local do experimento

O experimento foi conduzido durante três ciclos agrícolas, no período de novembro de 2012 a janeiro de 2016, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa, atualmente denominado pela nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRAPA, 2006) como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico, que está presente na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel -SP, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu (22°44'S, 48°34'O, altitude média 750 m). O clima do município é classificado como *Cfa*, segundo Köppen. A média anual de precipitação é de 1.376,70 mm e a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

4.2.2 Tratamentos

Os tratamentos empregados foram constituídos de diferentes níveis de adubação com P: Dose 1 = 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (dose zero do adubo fosfatado - Testemunha); Dose 2 = 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (43,5 g de superfosfato triplo planta⁻¹); Dose 3 = 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (65,2 g de superfosfato triplo planta⁻¹); Dose 4 = 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (87 g de superfosfato triplo planta⁻¹); Dose 5 = 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (108,7 g de superfosfato triplo planta⁻¹); Dose 6 = 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (130,4 g de superfosfato triplo planta⁻¹). As doses de fósforo foram definidas de acordo com análises químicas do solo e na produtividade esperada menor que 20 t ha⁻¹, sendo 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a dose recomendada para a bananeira 'FHIA 18' nas condições experimentais do presente

trabalho (TEIXEIRA et al., 2014), representando 100% da dosagem recomendada. Logo, as doses subsequentes variaram acima e abaixo da recomendada.

A aplicação de fósforo foi realizada segundo recomendações propostas por Teixeira et al. (2014), sendo metade das doses de fósforo aplicadas de forma localizada na cova de plantio e o restante, aplicado aos 80 dias após o plantio, em círculos de 100 cm de diâmetro ao redor das plantas. No primeiro, segundo e terceiro ciclo de produção foram aplicadas as doses de P_2O_5 , mantendo as devidas porcentagens de avaliações (0, 50, 75, 100, 125 e 150% da dose recomendada), sendo distribuídas em cobertura, na forma de semicírculo de 100 cm de raio, na frente do rebento mais jovem.

4.2.3 Instalação e condução da cultura

O experimento foi instalado em novembro de 2012, com mudas de bananeira, cultivar FHIA 18 (AAAB), provenientes de cultura de tecidos. A análise química do solo, antes do preparo do solo e adubação de plantio, na camada de 0 a 20 cm, apresentou os seguintes resultados: pH em $CaCl_2$, 5,5; M.O., 12 g dm^{-3} ; P (resina), 16 mg dm^{-3} ; H+Al, $15\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; K, $1\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; Ca, $13\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; Mg, $5\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; SB, $19\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; CTC, $34\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$; V%, 57; S, 1 mg dm^{-3} ; B, $0,30\text{ mg dm}^{-3}$; Cu, $0,86\text{ mg dm}^{-3}$; Fe, 20 mg dm^{-3} ; Mn = 13 mg dm^{-3} ; Zn = $1,40\text{ mg dm}^{-3}$.

O preparo do solo, realizado dois meses antes do plantio, constou de: aração, gradagem, seguidos de calagem, conforme a análise de solo, objetivando elevar a saturação por bases a 60% e o teor de magnésio acima de $9\text{ mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ (TEIXEIRA et al., 2014), utilizando-se calcário dolomítico com PRNT igual a 96%.

As mudas foram transplantadas para as covas de plantio, abertas com brocas, nas dimensões de 60 cm de diâmetro por 60 cm de profundidade, adotando-se o espaçamento de 4 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, totalizando 1000 plantas ha^{-1} . A adubação de plantio, constou da aplicação de 10 L de esterco de curral e a metade das doses de fósforo avaliadas no trabalho em questão, por cova, exceto na testemunha, onde a adubação inicial foi realizada apenas com esterco.

O manejo nutricional complementar do bananal, que correspondeu às adubações de plantio, formação e produção, foi realizado com base nas análises de solo e recomendações propostas por Teixeira et al. (2014).

A condução do bananal foi feita por meio do desbaste, utilizando-se o sistema de família, que consiste em manter a planta mãe, filha e neta, eliminando-se as demais. As bananeiras foram cultivadas em sistema de sequeiro e receberam os seguintes tratamentos culturais: controle de plantas daninhas, capinas, retirada de folhas secas e doentes, controle de pragas e doenças, eliminação do coração, retirada dos pistilos e corte do pseudocaule após a colheita. Nos três ciclos de produção, a colheita dos cachos foi realizada quando o fruto central da segunda penca atingiu um calibre mínimo de 36 mm, correspondente ao ponto de colheita estabelecido para cultivares do grupo Prata, e encontrava-se no estágio 1 de maturação (casca totalmente verde) de acordo com a escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006).

4.2.4 Delineamento experimental e análise estatística

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. Os teores de fósforo na folha e no fruto, bem como a produtividade anual foram analisados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas pelas doses de adubação fosfatada e as subparcelas, pelos três ciclos de produção. Os demais nutrientes avaliados correspondem ao período de dois ciclos (segundo ciclo, agosto de 2014 a fevereiro de 2015; e terceiro ciclo, junho de 2015 a janeiro de 2016), que foram analisados considerando a totalidade das repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância nos níveis de 1 e 5% de probabilidade pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2011). Quando significativos pelo teste F, foi realizada análise de regressão para os dados correspondentes às doses de P e o teste Tukey para os dados referentes aos ciclos de produção.

4.2.5 Características avaliadas

- **Teores de nutrientes nas folhas:** Na fase de formação dos cachos, retiraram-se amostras de tecido foliar das quatro plantas úteis por tratamento, coletadas da terceira folha a partir do ápice. Para as análises, foram utilizados 10 cm da parte interna mediana do limbo foliar, eliminando-se a nervura central (MARTIN-PRÉVEL, 1984). As amostras foliares foram lavadas rapidamente com água deionizada, secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 60 horas, moídas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de

Solos e Recursos Ambientais da UNESP/FCA, onde se realizou a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

- **Teores de nutrientes nos frutos:** Os frutos utilizados para as análises foram selecionados aleatoriamente da terceira e quarta pencas, dos quatro cachos colhidos por tratamento das parcelas úteis, descartando-se aqueles que estavam fora do padrão, higienizados com água potável e posteriormente descascados. As amostras da polpa dos frutos no Estádio 1 de maturação (casca totalmente verde), de acordo com a escala de Von Loesecke (CEAGESP, 2006), foram secas em estufa com circulação de ar forçado, a 50°C, por 48 horas, moídas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da UNESP/FCA.

O N foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método semi-micro-Kjeldahl (HELRICH, 1990), e, no extrato nitroperclórico, quantificou-se P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn. O P foi determinado por colorimetria (BRAGA e DEFELIPO, 1974), e os demais nutrientes por espectrofotometria de absorção atômica (K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn) e turbidimetria do sulfato de bário (S). Quanto ao B, este foi extraído por incineração, via seca e determinado por colorimetria da azometina H. Os resultados foram expressos em g kg⁻¹ e mg kg⁻¹ para macro e micronutrientes, respectivamente.

- **Produtividade:** determinada nos três ciclos de produção e estimada a partir da massa fresca dos cachos, densidade de plantio e duração do ciclo (t ha⁻¹ ano⁻¹), usando a fórmula: t ha⁻¹ ano⁻¹ = [produção (t ha⁻¹)/ duração do ciclo (meses)] x 12. Para o acompanhamento da produtividade anual foram utilizadas dez plantas por tratamento.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de macro e micronutrientes nas folhas e nos frutos da bananeira 'FHIA 18', avaliados no segundo e terceiro ciclo de produção, em função da adubação fosfatada, encontram-se nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Os teores de macro e micronutrientes na massa seca foliar, obedeceram a seguinte ordem de concentração: K>N>Ca>Mg>S>P e Mn>Fe>B>Zn>Cu (Tabela 1). Nos frutos, a ordem dos teores de macro e micronutrientes mostraram a seguinte ordem de concentração: K>N>Mg>Ca>P>S e Mn>Fe>B>Zn>Cu (Tabela 2).

A ordem de concentração dos nutrientes, seja nas folhas ou nos frutos, não foi alterada pelos níveis de P_2O_5 aplicados.

Tabela 1 - Dados médios de macro e micronutrientes nas folhas da bananeira 'FHIA 18' sob níveis de adubação com P, correspondentes ao segundo (agosto de 2014 a fevereiro de 2015) e terceiro ciclo de produção (junho de 2015 a janeiro de 2016), em São Manuel-SP

2º ciclo de produção											
Níveis de adubação com P_2O_5 (%)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	24,49	1,60	23,60	6,13	3,23	1,82	16,80	8,50	81,75	775,00	15,25
50	25,24	1,64	27,25	6,68	3,25	1,79	16,40	7,25	93,00	827,75	16,00
75	24,54	1,69	24,20	7,25	3,08	1,82	16,52	7,75	76,00	671,75	16,50
100	25,77	1,66	28,90	7,80	3,80	1,87	16,11	8,50	92,50	717,00	15,25
125	27,24	1,61	26,08	6,70	3,50	1,93	16,28	8,00	88,25	979,50	15,50
150	24,58	1,60	27,30	5,88	3,00	1,82	15,91	8,50	111,50	828,00	14,75
Média	25,31	1,63	26,22	6,74	3,31	1,84	16,34	8,08	90,50	799,83	15,54
3º ciclo de produção											
Níveis de adubação com P_2O_5 (%)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	27,38	1,50	26,53	6,80	3,93	1,85	16,84	10,25	112,50	1054,25	14,75
50	27,99	1,60	28,20	9,10	4,00	1,79	16,72	7,75	112,50	781,25	16,00
75	26,96	1,66	28,68	7,75	4,10	1,86	18,50	9,00	88,00	1114,00	17,00
100	27,41	1,70	28,25	8,18	3,53	1,92	15,82	9,25	103,25	838,75	15,25
125	25,93	1,66	26,40	6,43	3,75	1,88	16,48	8,75	120,75	1060,25	13,25
150	25,59	1,69	26,18	6,35	3,20	1,82	15,43	9,00	76,75	911,25	12,75
Média	26,88	1,64	27,37	7,44	3,75	1,85	16,63	9,00	102,29	959,96	14,83
Médias dos dois ciclos	26,09	1,64	26,80	7,09	3,53	1,85	16,48	8,54	96,40	879,90	15,19
Padrão*	22-28	1,3-1,8	14-28	5-11	2,6-6	1-2,7	15-96	2-14	56-186	132-519	12-59

*Padrão de nutrientes foliares para cultivares tetraploides (AAAB). Fonte: Borges et al. (2006).

Tabela 2 - Dados médios de macro e micronutrientes nos frutos da bananeira 'FHIA 18' sob níveis de adubação com P, correspondentes ao segundo (agosto de 2014 a fevereiro de 2015) e terceiro ciclo de produção (junho de 2015 a janeiro de 2016), em São Manuel-SP

2º ciclo de produção											
Níveis de adubação com P ₂ O ₅ (%)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	6,58	0,93	13,13	1,45	1,68	0,64	11,62	6,00	21,75	18,75	9,00
50	7,33	0,98	12,30	1,63	1,78	0,65	13,08	5,00	20,25	28,50	9,25
75	6,61	0,96	11,65	1,55	1,70	0,65	12,43	5,50	22,75	22,50	10,25
100	6,77	1,01	12,30	1,60	1,68	0,64	10,63	4,25	20,00	25,25	9,25
125	7,00	1,07	12,18	1,43	1,83	0,64	11,90	4,75	16,50	25,00	8,50
150	7,35	0,94	12,18	1,48	1,65	0,64	11,13	5,50	19,75	26,25	8,25
Média	6,94	0,98	12,29	1,52	1,72	0,64	11,80	5,17	20,17	24,38	9,08
3º ciclo de produção											
Níveis de adubação com P ₂ O ₅ (%)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	7,02	0,94	12,83	1,45	1,78	0,66	7,65	6,25	18,00	31,75	8,25
50	7,24	0,96	12,68	1,48	1,75	0,66	8,95	4,00	29,25	23,25	8,50
75	7,16	1,00	12,78	1,53	1,83	0,66	8,95	4,00	15,25	33,00	8,75
100	7,09	1,05	13,43	1,55	1,85	0,67	11,58	4,00	26,75	26,25	8,50
125	7,37	0,98	12,65	1,40	1,83	0,66	8,18	4,25	20,00	32,00	8,25
150	6,95	0,99	12,63	1,38	1,83	0,66	12,67	4,25	24,25	29,00	8,00
Média	7,14	0,99	12,83	1,47	1,81	0,66	9,66	4,46	22,25	29,21	8,38
Médias dos dois ciclos	7,04	0,99	12,56	1,50	1,77	0,65	10,73	4,82	21,21	26,80	8,73

Os níveis de adubação com P₂O₅ influenciaram os teores foliares de fósforo (P) (Tabela 3), cálcio (Ca), enxofre (S), cobre (Cu) e Zinco (Zn), o que confirma que o estado nutricional das bananeiras varia em função da aplicação de fósforo no solo, possivelmente devido à interação dos nutrientes no solo e no metabolismo da planta (Tabela 4).

Os teores médios de P nas folhas, bem como nos frutos foram afetados pelos fatores isolados, níveis de adubação com fósforo e ciclos de produção (Tabela 3). A aplicação de doses crescentes de fósforo aumentou os teores de P nas folhas e nos frutos até os níveis estimados de 90% e 100% da dosagem recomendada de P₂O₅, respectivamente. Essa diferença entre as doses obtidas para os teores de P na folha

e no fruto, pode estar relacionada ao fato de que o limbo da folha diagnóstico da bananeira utilizada (terceira folha a partir do ápice) para avaliar o estado nutricional da bananeira não apresenta sensibilidade para detectar deficiência ou excesso de P, pois há indicações de que a análise do pecíolo ou da nervura central pode ser melhor que o limbo da folha para diagnosticar o teor de P na bananeira (SILVA e RODRIGUES, 2013).

O aumento nos teores de P tanto nas folhas como nos frutos em função da adubação fosfatada pode estar relacionado ao incremento radicular, que o fornecimento equilibrado de fósforo proporciona para a bananeira (MOREIRA et al., 2016), uma vez que a absorção do íon fosfato é frequentemente relacionada ao comprimento radicular (ATTIA et al., 2009).

No decorrer dos ciclos avaliados, os teores de P nas folhas e nos frutos se acumularam, pois, com o avançar dos ciclos há o aumento do sistema radicular das bananeiras (SILVA e RODRIGUES, 2013), o que favoreceu a maior absorção e teores de fósforo detectados no segundo e terceiro ciclo de cultivo. Além disso, com o estabelecimento da touceira, a partir do segundo ciclo, ocorre maior acúmulo e translocação de nutrientes entre a planta filha e a neta (KURIEN et al., 2006). O teor médio foliar de P, situou-se dentro da faixa estabelecida por Ifa (1992) e Silva et al. (2002) para a cv. Prata Anã, genitora do híbrido FHIA 18. Borges et al. (2006) relatam teores médios de 1,3 e 1,5 g kg⁻¹ de P para a bananeira 'FHIA 18' no primeiro e segundo ciclo de produção, respectivamente. Porém, no primeiro e no terceiro ciclo de produção o teor foliar de P foi considerado como deficiente na testemunha, segundo Ifa (2002). Já o teor médio de P nos frutos esteve próximo ao encontrado por Moreira et al. (2007), no cv. Thap Maeo (AAB).

Tabela 3 - Teor médio de P em folhas e frutos de bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo, avaliado ao longo de três ciclos de produção. São Manuel-SP, 2018

Níveis de adubação com P ₂ O ₅ (%)	P folha			P fruto		
	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo	1° Ciclo	2° Ciclo	3° Ciclo
0	1,56	1,60	1,50	0,85	0,93	0,94
50	1,61	1,64	1,60	0,83	0,98	0,96
75	1,61	1,69	1,66	0,90	0,96	1,00
100	1,51	1,66	1,70	0,90	1,01	1,05
125	1,56	1,61	1,66	0,93	1,07	0,98
150	1,52	1,60	1,69	0,86	0,94	0,99
Média Ciclo	1,56b	1,63a	1,64a	0,88b	0,98a	0,99a
CV (%) parcela	5,34			5,30		
CV (%) subparcela	4,94			5,35		
Equação	$y = 1,55 + 0,0017x - 0,0000098x^2$ R ² =0,86 F=5*			$y = 0,89 + 0,0014x - 0,000006x^2$ R ² =0,60 F=6*		

Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, para o fator ciclos, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05); * p<0,05.

A adubação fosfatada alterou significativamente os teores foliares de cálcio (Ca) (Tabela 4), sendo o máximo teor alcançado com a aplicação de 69% da recomendação de fósforo. O aumento nos teores foliares de cálcio em função da aplicação de fósforo no solo pode estar relacionado ao fato do cálcio fazer parte da composição do superfosfato triplo. Moreira et al. (2016) avaliando o acúmulo de nutrientes na cultura da pitaiá em função da adubação fosfatada, também verificaram resposta quadrática da aplicação de fósforo sobre os teores de cálcio na parte aérea das plantas.

O teor foliar médio de cálcio obtido no presente estudo encontra-se dentro da faixa considerada adequada por Borges et al. (2006) (4,8-11,1 g kg⁻¹), para bananeiras tetraploides (AAAB). O cálcio (Ca) tem função estrutural e mensageira nas células vegetais, participa dos processos de formação e funcionamento das membranas, além da absorção iônica (MARSCHNER, 2012).

Os teores de enxofre nas folhas foram afetados pelos tratamentos e as maiores médias foram obtidas com os níveis de 100 e 125% da recomendação com P₂O₅ (Tabela 4). Os teores de enxofre verificados estão dentro da faixa estabelecida por Borges et al. (2006) (1,1-2,7). O enxofre apresenta funções estruturais na planta, atuando como componente de aminoácidos, proteínas, vitaminas e coenzimas (MARSCHNER, 2012).

Os micronutrientes, cobre (Cu) e zinco (Zn) também foram afetados pela adubação fosfatada. Contudo, para o teor foliar de cobre, os níveis de adubação com fósforo proporcionaram ligeira redução, obtendo-se o menor teor de Cu com o nível

estimado de 80% da recomendação de P_2O_5 . Já para o zinco, a aplicação de níveis de P_2O_5 acima de 59% da recomendação de adubação, promoveram redução do Zn foliar, sendo o menor teor encontrado com a aplicação de 150% da recomendação, demonstrando que a aplicação de fósforo, em doses superiores, prejudica principalmente a absorção do Zn pela bananeira (Tabela 4).

A aplicação contínua de fósforo no solo pode prejudicar a utilização dos micronutrientes catiônicos pelas plantas, especialmente do Zn, além de outros como Cu, Fe e Mn, em menor intensidade (NOVAIS et al., 2016). O fósforo possui relação antagônica com Zn e, portanto, cuidados com o equilíbrio entre nutrientes devem ser tomados. A alta disponibilidade de fósforo no solo também possui a capacidade de reduzir a absorção de cobre pelas plantas, porém essa interação ainda não é bem compreendida, mas acredita-se que é devido à fatores fisiológicos (MARSCHNER, 2012).

A adubação fosfatada diminui a disponibilidade de zinco no tecido vegetal, podendo levar a deficiência desse micronutriente, por alterar fatores relacionados ao solo e ou à planta. No solo, os fosfatos em altas concentrações tendem a reduzir a disponibilidade de zinco, pela formação de precipitados de reduzida solubilidade. Além disso, alguns fertilizantes fosfatados elevam o pH do solo, aumentando a disponibilidade de cargas negativas trocáveis e conseqüentemente, a adsorção de Zn nos coloides do solo (NOVAIS et al., 2016).

Na planta, os altos teores de P promovem o rápido crescimento vegetal, resultando em baixos níveis de zinco nos tecidos pelo efeito de diluição (OVA et al., 2015). Segundo Novais et al. (2016), nas maiores doses de P aplicadas, os sintomas da deficiência de Zn induzida podem se tornar graves, mesmo quando os níveis deste micronutriente são mantidos altos ou considerados adequados para a nutrição das plantas. Nessas condições, embora os níveis totais sejam elevados ou normais, observa-se uma menor disponibilidade fisiológica, causada pela menor proporção de Zn solúvel na planta (Zn ativa) e a menor atividade de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD) (MARSCHNER, 2012).

Os teores médios de Cu e Zn, que foram de 8,54 e 15,19 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente, estão dentro dos padrões segundo Borges et al. (2006) e Silva et al. (2002) para bananeiras tetraploides e para a genitora do híbrido 'FHIA 18'. Porém, o teor de Zn esteve abaixo do estabelecido por Raij et al. (1997) (20-50 $mg\ kg^{-1}$), embora Damatto

Júnior et al. (2011), relatam teor semelhante ao encontrado no presente trabalho, para a genitora do híbrido 'FHIA 18' (15 m kg⁻¹).

Os demais macro e micronutrientes não foram influenciados pela adubação fosfatada, porém, a maioria dos teores permaneceram em padrões normais para bananeiras tetraploides, conforme Borges et al. (2006): N (22,3-28,5 g kg⁻¹); K (14,3-28,7 g kg⁻¹); Mg (2,6-5,9 g kg⁻¹); B (15-96 m kg⁻¹); Fe (56-186 m kg⁻¹). Os teores de manganês estiveram acima da faixa estabelecida por Borges et al. (2006) (132-572 m kg⁻¹), porém, as plantas não apresentaram sintomas visuais de toxidez, e além disso, os teores estão dentro do padrão adequado estabelecidos por Rajj et al. (1997) (200-2000 mg kg⁻¹) e Ifa (1992) (200-1800 mg kg⁻¹). Damatto Júnior et al. (2011) sugerem que as faixas de nutrientes estabelecidas para a cultura devem ser ajustadas conforme o genótipo.

Tabela 4 - Teores médios de macro e micronutrientes em folhas de bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo. São Manuel-SP, 2018

Níveis de adubação com P ₂ O ₅ (%)	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----				
	N	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	25,93	25,06	6,46	3,58	1,84	16,82	9,38	97,13	914,63	15,00
50	26,62	27,73	7,89	3,63	1,79	16,56	7,50	102,75	804,50	16,00
75	25,75	26,44	7,50	3,59	1,84	17,51	8,38	82,00	892,88	16,75
100	26,59	28,58	7,99	3,66	1,90	15,94	8,88	97,88	777,88	15,25
125	26,58	26,24	6,56	3,63	1,90	16,37	8,38	104,50	1019,88	14,38
150	25,09	26,74	6,11	3,10	1,82	15,67	8,75	94,13	869,63	13,75
Média	26,09	26,80	7,09	3,53	1,85	16,48	8,54	96,40	879,90	15,19
Teste F	0,85 ^{NS}	1,70 ^{NS}	3,83 ^{**}	1,71 ^{NS}	4,93 ^{**}	2,45 ^{NS}	3,19 [*]	1,06 ^{NS}	1,88 ^{NS}	3,45 [*]
CV (%)	7,29	9,90	16,41	13,04	3,03	7,82	11,71	22,84	20,24	10,87

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

O efeito da adubação fosfatada nos teores foliares de Ca, Cu e Zn refletiu sobre os teores desses nutrientes na polpa dos frutos verdes, exceto para o enxofre (S), uma vez que não houve influência da aplicação de fósforo no solo sobre os teores desse elemento no fruto (Tabela 5), indicando sua possível translocação para outros órgãos ou até mesmo, para as outras plantas da família.

O teor de Ca na matéria seca dos frutos foi significativamente afetado pela aplicação de fósforo no solo e aumentou até o nível de 67% da recomendação de adubação com P₂O₅ (Tabela 5), o que permite inferir que o fósforo promove maior

translocação de cálcio para os frutos. Conforme Martuscelli et al. (2016), o metabolismo do fósforo na planta interfere positivamente no transporte do cálcio para os frutos. Esse incremento nos teores de cálcio em frutos verdes em função da adubação fosfatada pode trazer melhorias na qualidade dos frutos maduros, principalmente para a bananeira 'FHIA 18', que apresenta alta susceptibilidade à queda natural e perecibilidade dos seus frutos (PEREIRA et al., 2015), pois os minerais apresentam pequena variação durante a maturação da banana, sendo que seus teores nos frutos verdes são um pouco maiores do que nos frutos maduros (AQUINO et al., 2014).

O cálcio é um nutriente associado à qualidade das frutas, pois ele garante a integridade e funcionalidade da parede celular, mantendo sua firmeza. Além disso, as pontes de Ca entre os ácidos pécticos ou entre estes e outros polissacarídeos nas células dificultam a ação de enzimas pectolíticas que são produzidas pelas frutas e causam amolecimento dos tecidos, ou produzidas por fungos e bactérias que causam deterioração e modificações físico-químicas nos frutos (ORTIZ et al., 2011).

Assim como para o teor foliar de cobre, os níveis de adubação com fósforo também proporcionaram ligeira redução nos teores de Cu nos frutos, obtendo-se o menor teor com o nível estimado de 96% da recomendação de P_2O_5 (Tabela 5). O teor médio de Cu ($4,81 \text{ mg kg}^{-1}$) foi semelhante ao observado por Aquino et al. (2014) na polpa dos frutos do cv. Prata Anã ($4,87 \text{ mg kg}^{-1}$), genitora do híbrido 'FHIA 18'.

O teor de zinco nos frutos foi afetado pela aplicação de fósforo no solo, com aumento até o nível de 62% da recomendação de adubação com P_2O_5 , sendo o menor teor obtido com a maior dose de fósforo (Tabela 5), corroborando com a resposta obtida por Attia et al. (2009), que observaram o menor teor médio de Zn nos frutos quando utilizado o maior nível de adubação com P.

Moreira et al. (2007) observaram para frutos do cv. Thap Maeo, com casca, teor médio de $16,10 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn. Já Aquino et al. (2014) reportam para frutos do cv. 'Prata Anã' teor médio de $22,14 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn. Essa diferença no conteúdo médio dos nutrientes citados com o obtido no presente trabalho, confirma que a composição mineral da banana pode variar em função das condições de adubação. Além disso, essas variações podem ser decorrentes das particularidades intrínsecas de cada genótipo de bananeira, pois alguns cultivares são capazes de acumular teores até três vezes mais elevados de determinado mineral em seus frutos sob as mesmas condições de cultivo (DAVEY et al., 2009; AQUINO et al., 2014).

Os macronutrientes mais acumulados nos frutos foram o K (12,56 g kg⁻¹) e o N (7,04 g kg⁻¹), respectivamente (Tabela 5). Segundo Moreira et al. (2007) e Aquino et al. (2014), o potássio é o nutriente mais encontrado nos frutos de bananeira. O teor médio de K obtido no estudo foi superior ao reportado por Souza et al. (2013) (6,66 g kg⁻¹) para a polpa de frutos da bananeira 'FHIA 18', e próximo ao encontrado por Moreira et al. (2007) (11,2 g kg⁻¹) para os frutos da bananeira 'Thap Maeo' no segundo ciclo de produção. O potássio (K) possui relação direta com a síntese, o transporte e o acúmulo de açúcares nos frutos, apresentando grande importância na qualidade, bem como na resistência das bananas (GANESHAMURTHY et al., 2011).

O teor médio de Mg nos frutos também foi superior ao encontrado por Moreira et al. (2007) (0,80 g kg⁻¹) e Aquino et al. (2014) (0,89 g kg⁻¹). Já o teor de S esteve próximo ao observado por Moreira et al. (2007) (0,50 g kg⁻¹).

Em relação aos micronutrientes, os teores de B e Fe estiveram próximos aos valores referenciados por Moreira et al. (2007) (13 mg kg⁻¹) no cv. Thap Maeo, e Aquino et al. (2014) (28 mg kg⁻¹) no cv. Prata Anã, respectivamente. Já para o Mn, o teor foi bastante superior ao encontrado por Moreira et al. (2007) (13 mg kg⁻¹). Essas diferenças se devem provavelmente às variações nas características genéticas das bananeiras e às condições edáficas e climáticas dos locais de cultivo.

Tabela 5 - Teores médios de macro e micronutrientes em frutos de bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo. São Manuel-SP, 2018

Níveis de adubação com P ₂ O ₅ (%)	N	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
0	6,80	12,98	1,45	1,73	0,66	9,64	6,13	19,88	25,25	8,63
50	7,29	12,49	1,55	1,76	0,65	11,01	4,50	24,75	25,88	8,88
75	6,88	12,21	1,54	1,76	0,66	10,69	4,75	19,00	27,75	9,50
100	6,93	12,86	1,58	1,76	0,66	11,11	4,13	23,38	25,75	8,88
125	7,18	12,41	1,41	1,83	0,65	10,04	4,50	18,25	28,50	8,38
150	7,15	12,40	1,43	1,74	0,65	11,90	4,88	22,00	27,63	8,13
Média	7,04	12,56	1,49	1,76	0,65	10,73	4,81	21,21	26,79	8,73
Teste F	1,34 ^{NS}	1,03 ^{NS}	4,21 ^{**}	0,82 ^{NS}	0,17 ^{NS}	1,12 ^{NS}	5,73 ^{**}	1,53 ^{NS}	0,35 ^{NS}	2,90 [*]
CV (%)	6,73	6,57	6,52	6,10	2,14	20,14	17,00	27,85	23,63	9,08

^{NS} = não significativo; * = significativo a 5 %; ** = significativo a 1 % pelo teste F.

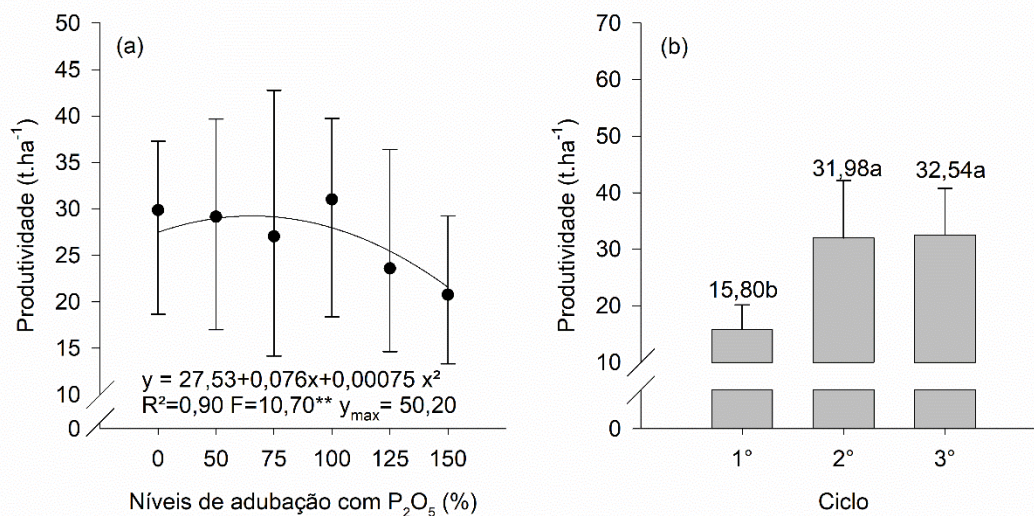
A adubação fosfatada aumentou a produtividade da bananeira 'FHIA 18' até o nível de 50,2% da dosagem recomendada de fósforo, com o valor máximo estimado

de produtividade correspondente a $29,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 1a). Esse incremento deve-se às funções exercidas pelo P nas plantas quanto à fosfoproteínas, fosfolipídios e formação de ATP e ADP (NAVANEETHAKRISHNAN et al., 2013), pois a produtividade da planta depende da fotossíntese e o processo fotossintético por sua vez, depende de diversos compostos contendo P. Assim, o uso eficiente de P na fotossíntese é potencialmente importante para incrementar o rendimento produtivo das plantas (VENEKLAAS et al., 2012), logo, as bananeiras submetidas à dose ótima de fósforo foram mais eficientes no uso do P e conseqüentemente, no processo fotossintético. Além disso, a adubação fosfatada incrementou o teor de cálcio no tecido vegetal. Vale destacar ainda, que o P é essencial para o desenvolvimento do rizoma e do sistema radicular das bananeiras (ATTIA et al., 2009).

A redução da produtividade a partir do nível estimado de fósforo pode ser atribuída às maiores doses de P terem reduzido o teor de zinco na bananeira, pois o Zn tem papel fundamental no crescimento e desenvolvimento de plantas, uma vez que é cofator de enzimas envolvidas na síntese de proteínas e na produção de energia, bem como na manutenção da integridade estrutural da membrana e na produção de AIA (ácido indolacético), que garante o alongamento celular (MARSCHNER, 2012; NOVAIS et al., 2016).

Houve incremento na produtividade no decorrer dos ciclos, sendo as maiores médias obtidas no segundo e terceiro ciclo de produção (Figura 1b). Na maioria dos genótipos, a produtividade pode aumentar do primeiro para o segundo ciclo da cultura, por isso, o primeiro ciclo de produção não é considerado o momento mais oportuno para se avaliar o comportamento produtivo das bananeiras, bem como o estado nutricional, devido neste caso principalmente ao baixo desenvolvimento do sistema radicular (SILVA e RODRIGUES, 2013). Esse incremento na produtividade deve-se provavelmente à mudança no vigor e potencial produtivo das bananeiras, além da decomposição dos resíduos vegetais da cultura com o decorrer dos ciclos pois, no segundo ciclo, bem como no terceiro ciclo, as bananeiras apresentam melhores condições nutricionais em relação ao primeiro. A produtividade da bananeira 'FHIA 18' nos três ciclos de produção superou a média internacional, que é de $14,2 \text{ t ha}^{-1}$ (NOMURA et al., 2017).

Figura 1 - Produtividade da bananeira 'FHIA 18' adubada com doses de fósforo (a) e avaliada ao longo de três ciclos de produção (b). São Manuel-SP, 2018



As barras de erros apresentam n = 10. Ymax trata-se da determinação da produtividade máxima em que se igualou a primeira derivada da regressão quadrática ajustada.

4.4 CONCLUSÕES

- A aplicação de 36 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ano⁻¹ promove maior teor foliar de fósforo, mas o híbrido 'FHIA 18' necessita da aplicação de 50% da recomendação de adubação com P₂O₅ para atingir a máxima produtividade (29,4 t ha⁻¹ ano⁻¹);

- A adubação fosfatada promove alterações significativas nos teores de P, Ca, Cu e Zn de folhas e frutos.

REFERÊNCIAS

AQUINO, C. F. et al. Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 546-553, 2014.

ATTIA, M.; AHMED, M. A.; EL-SONBATY, M. R. Use of biotechnologies to increase growth, productivity and fruit quality of 'Maghrabi' banana under different rates of phosphorus. **World Journal of Agricultural Sciences**, Deira, v. 5, n. 22, p. 211-220, 2009.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, p. 73-85, 1974.

BORGES, A. L. et al. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 314-318, 2006.

CEAGESP. Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Frutas. **Normas de classificação de banana**. São Paulo, 2006. (Documento, 29).

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

DAMATTO JÚNIOR, E. R. et al. Alterações nos teores nutricionais foliares de bananeira 'Prata-anã' adubada com composto orgânico em cinco ciclos de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 692-698, 2011.

DAVEY, M. W. et al. Genetic variability in *Musa* fruit provitamin A carotenoids, lutein and mineral micronutriente contents. **Food Chemistry**, Berlin, v. 115, p. 806-813, 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GANESHAMURTHY, N.; SATISHA, G.; PRAKASH PATIL, P. Potassium Nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes.

Karnataka

Journal of Agricultural Science, Cambridge, v. 24, n. 1, p. 29-38, 2011.

GODOY, L. J. G. et al. Variação sazonal da concentração de nutrientes em folhas de bananeiras, no Vale do Ribeira-SP. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1367-1380, 2012.

HELRICH, K. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990. 2v.

IFA – International Fertilizer Industry Association (Paris). **World fertilizer use manual**. Limburgerhof: BASF. Agricultural Research Station, 1992. 631 p.

KURIEN, S. et al. Intermat and intramat competition in banana studied using ³²P. **Fruits**, Paris, v. 61, p. 225-235, 2006.

LEONEL, S.; DAMATTO JUNIOR, E. R. Caracterização das áreas de cultivo da bananeira 'Maçã' na região de Ribeirão do Sul-SP. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 958-965, 2007.

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. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643 p.

MARTUSCELLI, M. et al. Influence of phosphorus management on melon (*Cucumis melo* L.) fruit quality. **Journal Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 8, p. 2715-2722, 2016.

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. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, p. 626-631, 2007.

MOREIRA, R. A. et al. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3, p. 230-237, 2016.

NATALE, W. et al. Viabilidade econômica do uso do calcário na implantação de pomar de goiabeiras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 708-713, 2010.

NAVANEETHAKRISHNAN, K. S.; GILL, M. I. S.; KUMAR, S. R. Effect of different levels of N and P on ratoon banana (*Musa* spp. AAA). **Journal of Horticulture and Forestry**, Lagos, v. 5, n. 6, p. 81-91, 2013.

NDUKWE, O. O. et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on nutrient concentrations in plantain (*Musa* spp.) fruit pulp. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 11, n. 7, p. 1651-1658, 2012.

NOMURA, E. S. et al. Fertilization with nitrogen and potassium in banana cultivars 'Grand Naine', 'FHIA 17' and 'Nanicão IAC 2001' cultivated in Ribeira Valley, São Paulo State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 4, p. 505-513, 2017.

NOVAIS, S. V. et al. Phosphorus-Zinc Interaction and Iron and Manganese Uptake in the Growth and Nutrition of Phalaenopsis (Orchidaceae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-10, 2016.

OVA, E. A. et al. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 393, p. 147-162, 2015.

ORTIZ, A.; GRAELL, J.; LARA, I. Cell wall-modifying enzymes and firmness loss in ripening 'Golden Reinders' apples: A comparison between calcium dips and ULO storage. **Food Chemistry**, Berlin, v. 128, p. 1072-1079, 2011.

PEREIRA, M. C. T. et al. Aplicação em pré-colheita de cloreto de cálcio no controle do despencamento natural dos frutos de bananeira 'FHIA-18'. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 11, v. 45, p. 1925-1931, 2015.

RAIJ, B. van et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. IAC, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, Vermont, v. 156, p. 997-1005, 2011.

SILVA, A. C. P.; BORGES, A. L.; COELHO, E. F. Acúmulo de nutrientes em bananeira 'D'Angola' (tipo terra) sob doses de nitrogênio via água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 488- 496, 2015.

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata Anã' para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 16 p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, M. G. V. Produção da bananeira 'Prata Anã' em função da aplicação de adubo fosfatado, em quatro ciclos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 613-618, 2013.

SOUZA, M. E. et al. Caracterização físico-química e avaliação sensorial dos frutos de bananeira. **Nativa**, Sinop, v. 1, p. 13-17, 2013.

TEIXEIRA, L.A.J. et al. Banana. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Eds.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 46-51. Boletim Técnico, 200.

VENEKLAAS, E. J. et al. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.1 95, p. 306-320, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A demanda por cultivares de bananeira resistentes às principais doenças que acometem a cultura, como a Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis*) e o Mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), é cada vez mais crescente, pois o uso do controle químico na maioria dos casos apresenta baixa eficiência e alto custo, além dos riscos ambientais. No entanto, para que esses materiais genéticos apresentem satisfatório rendimento produtivo e aceitabilidade dos seus frutos pelo mercado consumidor, estudos que avaliem o comportamento agrônomo dos mesmos em campo são extremamente necessários, principalmente os relacionados ao manejo nutricional, visto que os cultivares de bananeira apresentam diferentes exigências nutricionais. O híbrido de bananeira 'FHIA 18' é um material promissor para a substituição dos cultivares do tipo Prata disponíveis, porém, pouco se conhece sobre suas necessidades nutricionais, pois as recomendações de nutrientes para a cultura, em sua maioria, baseiam-se em dados científicos obtidos para bananeiras do subgrupo Cavendish.

O manejo nutricional é um dos principais componentes do custo de produção de um bananal, por isso, estudos que identificam o melhor nível de adubação são essenciais para o avanço da cultura, especialmente quando se trata do fósforo (P), elemento ainda pouco estudado para uma recomendação segura e com baixa disponibilidade natural na grande maioria dos solos brasileiros. Logo, a aplicação de doses de P adequadas para a bananicultura pode permitir a redução dos custos e minimizar a contaminação do solo com excessos de adubos.

Os resultados obtidos com este estudo indicam que a bananeira 'FHIA 18' requer a aplicação de 55% da recomendação de adubação com P (22 kg ha^{-1} de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ano}^{-1}$) para atingir máximo vigor vegetativo, produtividade e frutos mais saborosos. Dessa forma, a recomendação de fósforo para a cultura não deve ser baseada no teor de P na folha diagnóstico e sim na produtividade, pois o máximo teor de P foliar é alcançado com a aplicação de 90% da recomendação de adubação fosfatada. A aplicação de doses de fósforo acima da ideal obtida prejudica a disponibilidade do Zn para a planta, afetando negativamente o desempenho agrônomo, qualidade dos frutos e o estado nutricional do cultivar FHIA 18.

Vale destacar que o aumento nos teores de P e Ca nos frutos em função da adubação fosfatada, sugerem a viabilidade da fertilização com P_2O_5 , pois o maior teor

desses nutrientes nos frutos poderá elevar, respectivamente, a aplicabilidade das bananas nas indústrias de alimento e a vida útil pós-colheita.

Portanto, o híbrido de bananeira 'FHIA 18' apresenta grande potencial para substituir os cultivares do tipo Prata, porém a aplicação de doses adequadas de fósforo deve ser garantida, a fim do mesmo atingir seu máximo vigor vegetativo e produtivo, bem como produzir frutos de maior aceitabilidade pelo mercado consumidor.

REFERÊNCIAS

- ATTIA, M.; AHMED, M. A.; EL-SONBATY, M. R. Use of biotechnologies to increase growth, productivity and fruit quality of 'Maghrabi' banana under different rates of phosphorus. **World Journal of Agricultural Sciences**, Deira, v. 5, n. 22, p. 211-220, 2009.
- BHATTI, A. S.; LONERAGAN, J. F. Phosphorus concentrations in wheat leaves in relation to phosphorus toxicity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 288–290, 1970.
- BOLFARINI, A. C. B. et al. Crescimento, ciclo fenológico e produção de cinco cultivares de bananeira em condições subtropicais. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 74-89, 2014.
- BORGES, A. L. et al. **Fertirrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 8 p. (Circular Técnica, 84).
- BORGES, A. L. **Recomendação de adubação para a bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 106).
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.
- CRUZ, F. S. et al. **Catalogue of introduced and local banana cultivars in the Philippines**: results of a demonstration trial by the Institute of Plant Breeding. Los Baños: University of the Philippines, 2007. 63p.
- DELTOUR, P. et al. Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 239, p. 173–181, 2017.
- DONATO, S. R. L. et al. Comportamento fitotécnico da bananeira 'Prata Anã' e de seus híbridos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p.1608-1615, 2009.
- FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia Vegetal: Metabolismo e Nutrição mineral**. São Paulo: Andrei, 2015. 305p.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, p. 1269-1290, 2001.
- FANCELLI, M. **Cultivo da bananeira para o Estado do Amazonas**: cultivares. Cruz das Almas: EMBRAPA, CNPTIA, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaAmazonas/cultivares.htm>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

FAOSTAT. Food and agriculture organization of the united nations statistics division. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

GALÁN SAÚCO, V. et al. Comparison of protected and open-air cultivation of Grand Naine and Dwarf Cavendish banana. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 490, p. 247-259, 1998.

GODOY, R. C. B. et al. Physico-chemical characterization of banana varieties resistant to black leaf streak disease for industrial purposes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 9, p. 1514-1520, 2016.

GRANT, C. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on the environment. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2010. v. 1, cap. 3, p.62-76.

HAMMOND, J. P. et al. Shoot yield drives phosphorus use efficiency in Brassica oleracea and correlates with root architecture traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 7, p. 1953–1968, 2009.

HARTHI, K.; YAHYAI, R. Effect of NPK fertilizer on growth and yield of banana in northern Oman. **Journal of Horticulture and Forestry**, Peshawar, v. 1, n. 8, p. 160-167, 2009.

HOFFMANN, R. B. et al. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 268-275, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201803.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2018.

JESUS, S. C. et al. Caracterização física e química de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 315-323, 2004.

LAHAV, E.; TURNER, D. W. **Banana nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1983. 62p. (Bulletin, 7).

LARDIZÁBAL, R.; GUTIÉRREZ, H. **Producción de plátano de alta densidad: Manual de Producción**. Programa de Diversificación Económica Rural de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID-RED). 2006. 35 p.

LICHTEMBERG, L. A.; LICHTEMBERG, P. S. F. Avanços na bananicultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, p. 29-36, 2011. Edição Especial.

LIU, Y. et al. Studies on the fertilization effect and optimal fertilizing amount of Brazil banana based on “3414” field trials. **Agricultural Science and Technology**, v. 16, n. 9, p. 1950-1954, 2015.

LÓPEZ, A.; ESPINOSA, J. **Manual de nutrición y fertilización del banano**. Quito: CORBANA/INPOFOS, 1995. 82 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MEMON, N. et al. Status and response to improved NPK fertilization practices in Banana. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 42, n.4, p. 2369-2381, 2010.

MESQUITA, C. B. et al. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 89, p. 632-639, 2016.

NAVANEETHAKRISHNAN, K. S.; GILL, M. I. S.; KUMAR, S. R. Effect of different levels of N and P on ratoon banana (*Musa* spp. AAA). **Journal of Horticulture and Forestry**, Lagos, v. 5, n. 6, p. 81-91, 2013.

NEWLEY, P.; AKEHURST, A.; CAMPBELL, B. **Banana growing guide: Cavendish bananas**. Sidney: NSW Department of Primary Industries, 2008. 23 p.

NOMURA, E. S. et al. Nitrogen and potassium fertilization on ‘Caipira’ and ‘BRS Princesa’ bananas in the Ribeira Valley. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 8, p. 702-708, 2016.

NOMURA, E. S. et al. Avaliação agrônômica de genótipos de bananeiras em condições subtropicais, Vale do Ribeira, São Paulo - Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 112-122, 2013.

NOVAIS, S. V. et al. Phosphorus-Zinc Interaction and Iron and Manganese Uptake in the Growth and Nutrition of *Phalaenopsis* (Orchidaceae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-10, 2016.

OVA, E. A. et al. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 393, p. 147-162, 2015.

PEREIRA, M. C. T. et al. Aplicação em pré-colheita de cloreto de cálcio no controle do despencamento natural dos frutos de bananeira ‘FHIA-18’. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 11, v. 45, p. 1925-1931, 2015.

REIS, E. L.; CHEPOTE, R. E. Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento e produção da bananeira no sul da Bahia. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 20, p. 13-20, 2008.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SHANE, M. W.; McCULLY, M. E.; LAMBERS, H. Tissue and cellular phosphorus storage during development of phosphorus toxicity in *Hakea prostrata* (Proteaceae). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1033-1044, 2004.

SILVA, J. T. A.; PACHECO, D. D.; COSTA, E. L. Atributos químicos e físicos de solos cultivados com bananeira 'Prata-Anã' (AAB), em três níveis de produtividade, no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 102-106, 2007.

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira Prata anã (AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, p. 238-242, 2011.

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, M. G. V. Produção da bananeira 'Prata Anã' em função da aplicação de adubo fosfatado, em quatro ciclos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 613-618, 2013.

SMITH, M. K. et al. Growth, yield and Fusarium wilt resistance of six FHIA tetraploid bananas (*Musa* spp.) grown in the Australian subtropics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 170, p. 176-181, 2014.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use**. Rome: FAO, 2008. 108p.

TEIXEIRA, L. A. J. et al. Banana. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Eds.). **Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. p.46-51. Boletim Técnico, 200.

ZHANG, Z.; LIAO, H.; LUCAS, W. J. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, Victoria, v. 56, n. 3, p. 192-220, 2014.