



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA-UFPB**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CCA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**RAYANE AMARAL DE ANDRADE**

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA FÓSFORO E ENXOFRE NO  
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

**AREIA**  
**2022**

**RAYANE AMARAL DE ANDRADE**

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA FÓSFORO E ENXOFRE NO  
ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’ EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de Concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de Pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva

**AREIA**

**2022**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A553e Andrade, Rayane Amaral de.

Eficiência nutricional para fósforo e enxofre no abacaxizeiro "Pérola" em Argissolo Vermelho-Amarelo / Rayane Amaral de Andrade. - Areia:UFPB/CCA, 2022.  
49 f. : il.

Orientação: Alexandre Paiva da Silva.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do solo. 2. Ananas comosus comosus. 3. Taxa de recuperação. 4. Balanço nutricional. I. Silva, Alexandre Paiva da. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

**RAYANE AMARAL DE ANDRADE**

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA FÓSFORO E ENXOFRE NO  
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO**

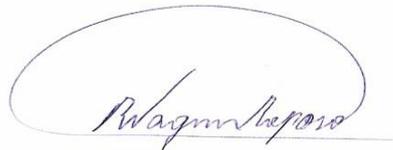
Aprovada em: 30 de setembro de 2020

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva  
PPGCS/CCA/UFPB - Orientador



---

Prof. Dr. Roberto Wagner Cavalcanti Raposo  
PPGCS/CCA/UFPB – Examinador



---

Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araujo Rocha  
CCTA/UAGRA/UFCG - Examinador

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as bênçãos derramadas na minha vida, pela saúde, sabedoria e por sustentar-me a cada dia.

Ao meu Pai Aldo de Andrade e meus avós, Pedro de Andrade e Francisca Maria, por todo esforço a mim depositado durante toda minha vida acadêmica.

A minha amada filha Clara Amaral Lopes por todo carinho e companheirismo durante toda essa trajetória.

Aos meus irmãos Rafael Amaral e Ana Luísa pelo companheirismo e irmandade.

À Universidade Federal Paraíba, ao Departamento de Solos e Engenharia Rural e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do Curso.

À CAPES, pelo financiamento e bolsa concedida.

A todos que fazem parte dos Laboratórios de Fertilidade do Solo e de Análise de Tecido Vegetal do DSER/CCA pelo apoio durante a realização das análises.

Ao meu orientador Prof. Alexandre Paiva da Silva, pela orientação, atenção, respeito, paciência, confiança, profissionalismo, e por todos os conhecimentos compartilhados.

A todos os amigos que conquistei durante minha trajetória no Centro de Ciências Agrárias, Campus de Areia, que foram meus companheiros em todos os momentos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

A vocês todo meu respeito e admiração

Meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

ANDRADE, R.A. **Eficiência nutricional para fósforo e enxofre no abacaxizeiro ‘Pérola’ em Argissolo Vermelho-Amarelo.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, setembro de 2020. 43 p. il. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Alexandre Paiva da Silva.

Apesar da considerável quantidade de informações referentes à nutrição mineral, pouco se conhece sobre a eficiência nutricional do abacaxizeiro. Este trabalho teve por objetivo estabelecer índices de eficiência nutricional para fósforo (P) e enxofre (S) no abacaxizeiro ‘Pérola’, em função da aplicação de doses destes nutrientes. O experimento foi realizado em condições de sequeiro, entre dezembro de 2014 e junho de 2016, em Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Itapororoca, Estado da Paraíba. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram arranjos numa Matriz Experimental Plan Puebla III modificada, e resultaram da combinação de cinco doses de P (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g planta<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cinco doses de S (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g planta<sup>-1</sup>). Utilizaram-se mudas do tipo ‘filhote’, plantadas em sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 0,80 × 0,40 × 0,40 m. Em amostragem realizada após a colheita, foram determinados massa da matéria seca (*ms*), teor (*t*) e acúmulo (*ac*) de P e S nas partes morfológicas raiz (*rz*), caule (*ca*), folha (*fo*), muda (*mu*), fruto (*fru*) e total (*to*). As eficiências nutricionais de P e S pelo abacaxizeiro foram avaliadas por meio das eficiências de utilização (*Efutz*), conversão (*Efcon*), translocação (*Eftra*), absorção (*Efabs*) e recuperação (*Efrec*). As doses de P e S aumentaram os valores de *msfo*, *msmu*, *msfru* e *msto*, mas diminuíram os de *msrz* e *msca*. Os teores de P e S na *rz*, *ca* e *fru* aumentaram com as doses dos respectivos nutrientes, havendo antagonismo entre os nutrientes para os *tP* e *tS* nas folhas e mudas. As doses de P aumentaram os *acPrz*, *acPfo* e *acPto*, enquanto as de S aumentam os *acSfo* e diminuíram os *acSmu* e *acSto*, havendo sinergismo nos *acPfru*, *acSfru*, *acSrz* e *acSca*, e antagonismo no *acPca*. As doses de P e S aumentaram as *Efabs* e *Eftra* (apenas P), mas reduziram a *Efrec* dos respectivos nutrientes; houve sinergismo entre as doses de P e S para a *Efutz* (apenas P) e *Efcon* desses nutrientes, e antagonismo para *EftraS*. As *EfrecP* e *EfrecS* diminuíram com o aumento das doses, passando de 0,85 para 0,03 kg kg<sup>-1</sup> e de 0,85 para 0,10 kg kg<sup>-1</sup> com a elevação das doses de 0,48 para 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente. As taxas de recuperação médias de P e S pelo abacaxizeiro ‘Perola’ foram de 23,0 e 36,0%, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus* comosus; taxa de recuperação; balanço nutricional.

## ABSTRACT

ANDRADE, R.A. **Nutritional efficiency for phosphorus and sulphur in 'Pérola' pineapple in Ultisol.** Areia - PB, Center for Agricultural Sciences, UFPB, August 2020. 43p. il. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Prof. Alexandre Paiva da Silva.

Despite the amount of information related to mineral nutrition, little is known about the nutritional efficiency of pineapples. This work aimed to establish nutritional efficiency indexes for phosphorus (P) and sulfur (S) in the pineapple 'Pérola', depending on the application of nutrient doses. The experiment was carried out under rainfed conditions, between December 2014 and June 2016, in Argissolo Vermelho-Amarelo in the municipality of Itapororoca, in Paraíba State. The experimental design was a randomized blocks with three replications. The treatments were arranged in a modified experimental Plan Puebla III Matrix, and resulted from the combination of five doses of P (0.48; 2.8; 4.8; 6.7 and 9.1 g plant<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and five doses of S (0.48; 2.8; 4.8; 6.7 and 9.1 g plant<sup>-1</sup>). Seedlings of the type 'young' were used, planted in double rows, with no spacing of 0.80 × 0.40 × 0.40 m. In sampling performed after harvest, dry matter mass (*ms*), content (*t*) and accumulation (*ac*) of P and S in the root (*rz*), stem (*ca*), leaf (*fo*), seedling (*mu*), fruit (*fru*) and total (*to*). The nutritional efficiency of pineapple is assessed through the efficiencies of use (*Efutz*), conversion (*Efcon*), translocation (*Eftra*), absorption (*Efabs*) and recovery (*Efrec*). The doses of P and S increased the values of *msfo*, *msmu*, *msfru* and *msto*, but decreased those of *msrz* and *msca*. The levels of P and S in *rz*, *ca* and *fru* increased with those of specific nutrients, with antagonism between nutrients for *tP* and *tS* in leaves and seedlings. P doses increased *acPrz*, *acPfo* and *acPto*, while S doses increased *acSfo* and decreased *acSmu* and *acSto*, with synergism in *acPfru*, *acSfru*, *acSrz* and *acSca*, and antagonism in *acPca*. As doses of P and S increased as *Efabs* and *Eftra* (only P), but reduced the *Efrec* of the respective nutrients; there was synergism between the doses of P and S for *Efutz* (only P) and *Efcon* nutrients, and antagonism for *EftraS*. The *EfrecP* and *EfrecS* decreased with increasing doses, from 0.85 to 0.03 kg kg<sup>-1</sup> and from 0.85 to 0.10 kg kg<sup>-1</sup> with increasing doses from 0.48 to 9.1 g plant<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and S, respectively. The recovery rates of the P and S media by the 'Perola' pineapple were 23.0 and 36.0%, respectively.

**Keywords:** *Ananas comosus* comosus; recovery rate; nutritional balance.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
2.1 Dinâmica de P e S no solo e na planta.....	9
2.2 Adubação fosfatada no abacaxizeiro.....	11
2.3 Adubação sulfatada no abacaxizeiro.....	12
2.4 Eficiência nutricional.....	13
2.5 Interação entre o P x S.....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
4.1 Massa da matéria seca.....	21
4.2 Teores.....	24
4.2.1 Fósforo.....	24
4.2.2 Enxofre.....	27
4.3 Acúmulos.....	30
4.3.1 Fósforo.....	30
4.3.2 Enxofre.....	33
4.4 Eficiência Nutricional.....	36
4.4.1 Eficiências de P.....	36
4.4.2 Eficiências de S.....	40
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	45
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46

## **Introdução**

A abacaxicultura é uma atividade de alta rentabilidade econômica e de papel social relevante nas regiões onde sua exploração é mais difundida, sendo Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailândia e Indonésia os principais produtores mundiais (CONAB, 2020). No Brasil, o agronegócio do abacaxi encontra-se em franca recuperação, sendo os estados do Pará, Paraíba, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Tocantins os principais produtores nacionais (IBGE, 2020).

O Estado da Paraíba foi, no ano de 2018, o segundo produtor nacional de abacaxi, com área colhida de aproximadamente 11 mil ha e produção de 335 milhões de frutos, representando 15% da área colhida e 19% da produção nacional (IBGE, 2020). A zona abacaxicultora paraibana está concentrada nas microrregiões litorâneas, com destaque para os municípios de Pedras de Fogo, Itapororoca, Araçagi, Santa Rita e São Miguel de Taipu, responsáveis por 77% da área colhida e dos frutos comercializados no Estado e exportados (IBGE, 2020).

A crescente demanda da sociedade por alimentos, fibras e combustível, associada às crescentes preocupações com os impactos na qualidade da água e do ar, impõe à agricultura a melhoria simultânea da produtividade e da eficiência na utilização de recursos, incluindo a eficiência no uso de fertilizantes.

De forma geral, a eficiência nutricional expressa a relação entre produção obtida e quantidade de fertilizante aplicada. Todavia, esse termo é definido na literatura de diferentes formas (eficiência agrônômica, eficiência fisiológica, eficiência de utilização, eficiência de translocação e eficiência de recuperação), razão pela qual a interpretação dos seus resultados deve ser feita de forma cautelosa (FAGERIA et al., 2008).

A eficiência nutricional baseada no índice de recuperação para as culturas anuais é normalmente baixa; por exemplo, em média, a eficiência é de 50% para N; de 10% para P e S e de 40% para K. (FAGERIA et al., 2008). Tais valores estão relacionados com condições adversas de clima, solo, planta e suas interações, razão pela qual para se aumentar a eficiência nutricional das culturas é necessário se entender melhor o efeito desses fatores na absorção e na utilização de nutrientes pela planta (AMADO et al., 2013).

As quantidades de nutrientes absorvidas pelo abacaxizeiro são elevadas e influenciadas por diversos fatores (clima, solo, cultivar, densidade de plantio, práticas de manejo, produtividade esperada, doses etc) (SILVA et al., 2009). Apesar de o fósforo (P) e o enxofre

(S) serem os macronutrientes absorvidos em menores quantidades, os mesmos estão envolvidos no metabolismo energético e proteico da cultura, respectivamente (SILVA et al., 2009).

A adubação influencia diretamente a produção e a qualidade dos produtos colhidos. Assim, o entendimento da eficiência de uso dos fertilizantes, da aquisição de nutrientes pelas raízes (e parte aérea) e da utilização desses pelas plantas para transformação em produto agrícola é uma exigência cada vez mais importante para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (FAGERIA et al., 2008).

A dose aplicada é o fator relacionado ao manejo nutricional que mais interfere nos valores de eficiência nutricional das culturas. Teoricamente, a eficiência nutricional diminui com o aumento das doses, se houver resposta da cultura, devido à diminuição relativa da produção com sucessiva adição de nutriente (lei dos rendimentos decrescentes); entretanto, como o produtor recebe maior lucro com a alta produtividade, a melhor eficiência nutricional é normalmente considerada aquela obtida com a dose de nutriente associada à produtividade máxima (WEIH et al., 2010).

Apesar de sua importância para o desenvolvimento e ajustes nos programas de adubação, são bastante escassas na literatura as informações sobre eficiência nutricional do abacaxizeiro, o que compromete o estabelecimento de recomendações de adubação mais embasadas cientificamente, bem como o aperfeiçoamento de sistemas de recomendação de fertilizantes e corretivos, a exemplo do FERTCALC<sup>®</sup>-Abacaxi (SILVA, 2006).

Pelo exposto, objetivou-se com o presente trabalho estabelecer índices de eficiência nutricional para fósforo e enxofre no abacaxizeiro 'Pérola', em função da aplicação de doses crescentes destes nutrientes, em Argissolo Vermelho-Amarelo da zona abacaxicultora do Estado da Paraíba.

## 2. Revisão de literatura

### 2.1. Dinâmica de P e S no solo e na planta

O fósforo (P) é um elemento bastante abundante na crosta terrestre, sendo encontrado em diferentes materiais, incluindo rochas, minerais, plantas, animais e solo. No solo, o P pode ser encontrado em formas orgânicas (fosfolipídeos, ácidos nucleicos e fosfatos de inositol) e inorgânicas, com teores de P total variando de 0,2 a 0,8 g kg<sup>-1</sup> (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O P do solo é proveniente do intemperismo da apatita e, ou, da mineralização da matéria orgânica, cuja degradação resulta na formação de compostos fosfatados de diferentes graus de solubilidade. A partir do P solúvel podem ser formados os fosfatos de cálcio (Ca), ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn). O P também pode se ligar às superfícies reativas de minerais de argila, tais como a caulinita, e os oxihidroóxidos de Fe e Al, o que diminui a disponibilidade de P para as plantas (SOUZA JÚNIOR et al., 2012).

O P encontra-se distribuído no solo em cinco compartimentos: a) precipitado com Al, Fe ou Ca; b) adsorvido aos coloides da fração argila; c) em solução; d) na forma orgânica; e) ou fazendo parte de compostos insolúveis (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Em ordem crescente de disponibilidade, o compartimento de P em solução representa a forma mais disponível, seguido dos compartimentos orgânico, adsorvido aos coloides, precipitado, e por último, na forma de compostos insolúveis de Fe, Al, Mn e argilossilicatos (SOUZA JÚNIOR et al., 2012).

A disponibilidade de P na maioria dos solos tropicais é baixa devido a elevada adsorção do ânion fosfato nos solos mais intemperizados, sendo a disponibilidade das formas iônicas controlada pelo pH do solo (NOVAIS et al., 2007). O íon ortofosfato primário (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH entre 2,0 e 7,0, enquanto o ortofosfato secundário (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) tem sua disponibilidade aumentada em valores de pH entre 7,0 e 12,0 (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O P é essencial para o crescimento das plantas, pois integra importantes compostos das células vegetais, incluindo fosfato-açúcares e compostos intermediários da respiração e fotossíntese, bem como os fosfolipídios que compõem as membranas vegetais (MAIA et al., 2019). É também componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (como ATP), e do DNA e RNA (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Para que ocorra a absorção de P pelas plantas é necessário o contato íon-raiz, que ocorre, quase exclusivamente, por difusão (MALAVOLTA, 2006). Em seguida, o P entra nas células através do mecanismo de absorção ativa secundária, por carreadores do tipo simporte (MARSCHNER, 2012). Na planta, o P se movimenta de forma rápida dos tecidos mais velhos para os mais novos, razão pela qual as deficiências aparecem primeiro nas folhas mais velhas (NOVAIS et al., 2007).

Em geral, os sintomas de deficiência de P incluem plantas pequenas, folhas retorcidas com coloração púrpura e, ou, avermelhadas (acúmulo de antocianinas), além de áreas mortas nas folhas, caule e frutos (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

No abacaxizeiro, plantas com deficiência de P apresentam folhas de coloração vermelho-arroxeadas no centro, com os bordos verdes bem pronunciados; as margens das folhas são mais escuras do que a parte central da folha e, posteriormente, as folhas mais novas apresentam coloração amarelada (MALEZIEUX & BARTHOLOMEW, 2003). Em deficiências mais severas, as folhas apresentam necrose e se desprendem da planta; os frutos apresentam tamanho reduzido e casca avermelhada (RAMOS et al., 2009; MAIA et al., 2019).

O enxofre (S) é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, com as formas sulfetos, sulfatos e enxofre elementar representando de 0,06 a 0,10%. No solo, embora a quantidade de S seja insignificante em relação aos grandes reservatórios terrestres (oceanos e rochas sedimentares), a vida no planeta e a produção de alimentos dependem da ciclagem desse nutriente no sistema solo-planta (ALVAREZ V. et al., 2007).

O S distribui-se no solo em diferentes reservatórios, em formas orgânicas e inorgânicas, sendo o fluxo entre esses reservatórios controlados por reações de oxidação e redução, mediadas principalmente pela microbiota (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). As formas orgânicas (S-reduzido por HI e S ligado ao C) predominam em solos bem drenados e sem restrições hídricas, podendo representar até 90% do S total. As formas inorgânicas de S encontram-se em diversos estados de oxidação no solo (sulfato, sulfeto, tiosulfato, enxofre elementar e sulfeto), com destaque para o sulfato na solução ou adsorvido à fase sólida (ALVAREZ V. et al., 2007).

A disponibilidade de S em termos físico-químicos pode ser explicada pela inter-relação entre os fatores: intensidade, quantidade (reserva lábil), capacidade tampão e a reserva não-lábil, que são formas de S fortemente retidas em frações orgânicas e inorgânicas do solo e que não se encontram, em curto prazo, em equilíbrio com o S da solução (ALVAREZ V. et al., 2007).

Na planta, o S é importante para a produção de aminoácidos, proteínas e clorofila, sendo ainda componente de vitaminas e de alguns hormônios da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). O S encontra-se nas plantas nas formas orgânicas de aminoácidos (cistina, cisteína e metionina), bem como em compostos de S (adenosina 5-fosfosulfato, por exemplo), ésteres de sulfatos, enzimas e metalo-proteínas (DECHEN & NACHTIGALL, 2007).

O S é absorvido pelas plantas, principalmente na forma inorgânica de sulfato, pelo transporte ativo secundário do tipo simporte, sendo depois reduzido e incorporado a compostos orgânicos (TAIZ & ZEIGER, 2004). É um elemento imóvel quanto a sua redistribuição na planta, sendo as deficiências reveladas primeiramente nas folhas jovens e manifestadas na forma de lâminas uniformemente amareladas ou cloróticas (MALAVOLTA, 2006).

No campo as deficiências de S no abacaxizeiro são incomuns, e têm variado em função das cultivares e se manifestado na forma de aumento no acúmulo de carboidratos solúveis, provavelmente devido a redução na síntese proteica (RAMOS et al., 2009; MAIA et al., 2019). Ademais, a deficiência de S afeta as propriedades organolépticas e reduz o tamanho dos frutos, que passam a amadurecer do ápice para a base (ALVAREZ V. et al., 2007)

## **2.2 Adubação fosfatada no abacaxizeiro**

Apesar do papel importante do P no metabolismo do abacaxizeiro, principalmente na fase reprodutiva, quando ocorre o maior acúmulo de P (PEGORARO et al., 2014), as respostas da cultura à adubação fosfatada têm sido inconsistentes (MALÉZIEUX & BARTHOLOMEW, 2003). Compilando dados obtidos em diferentes regiões do Brasil, Souza (1999) observou respostas para P em 10 dos 18 trabalhos consultados, nos quais se avaliaram doses entre 0 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Relatos sobre ausência de respostas do abacaxizeiro às doses de P foram encontrados nos trabalhos de Spironello et al. (2004) para o abacaxizeiro ‘Smooth Cayenne’, em Argissolo Vermelho-Amarelo de São Paulo, contendo 7,5 mg dm<sup>-3</sup> de P e de Caetano et al. (2013) com o abacaxizeiro ‘Vitória’, no município de Cachoeiro do Itapemirim-ES, em solo contendo 8,8 mg dm<sup>-3</sup> de P. Por outro lado, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com baixo teor de P (2,6 mg dm<sup>-3</sup>) do município de Sooretama-ES, Guarçoni e Ventura (2011) observaram

pequena resposta do abacaxizeiro ‘Gold MD-2’ à adubação fosfatada, fato que atribuíram à possível associação de fungos micorrízicos com as raízes do abacaxizeiro.

No Estado da Paraíba, as respostas do abacaxizeiro às doses de P também têm sido inconsistentes. Choairy e Fernandes (1981) não verificaram influência das doses de P sobre a produção e a qualidade do abacaxizeiro ‘Smooth Cayenne’ em Argissolo da região de Sapé-PB, contendo baixo teor de P ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Resultados semelhantes foram reportados por Choairy e Fernandes (1986) e Silva (2006) para os cultivares ‘Smooth Cayenne’ e ‘Pérola’, cultivados em Argissolos de Sapé, contendo  $5,0$  e  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, respectivamente. Em contraste, Nogueira et al. (1970) constataram aumentos na produção de 21 e 35 %, respectivamente, com a elevação das doses de P de zero para  $0,6$  e  $1,3 \text{ g planta}^{-1}$ , aplicadas na forma de superfosfato simples em Neossolo Flúvico do município de Rio Tinto.

Vários dos principais estados produtores de abacaxi no país dispõem de tabelas de recomendação de adubação, baseadas em classes de fertilidade que relacionam a disponibilidade de P (extrator Mehlich-1, com exceção de São Paulo que adota Resina) às doses de P a serem aplicadas no solo. No entanto, existe uma grande variação quanto aos teores das classes de interpretação, níveis críticos ( $10,0$ - $30,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e doses a serem recomendadas ( $0,7$ - $5,0 \text{ g planta}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), refletindo, provavelmente, as diferenças das características edafoclimáticas e as peculiaridades dos sistemas de produção (SILVA, 2006).

### **2.3 Adubação sulfatada no abacaxizeiro**

As informações sobre a adubação sulfatada do abacaxizeiro são bastante escassas na literatura; todavia, são raras as deficiências de S na cultura do abacaxi, o que se deve a pequena demanda de S pelo abacaxizeiro e a presença desse elemento como nutriente secundário nos fertilizantes fontes de N, P e K (MALÉZIEUX & BARTHOLOMEW, 2003).

Segundo Maia et al. (2019), a demanda de S pelo abacaxizeiro varia de  $17,0$  a  $143,0 \text{ kg ha}^{-1}$ . Contudo, Silva (2006) estimou demanda de  $7,0$  a  $65 \text{ kg ha}^{-1}$  de S para o abacaxizeiro ‘Pérola’, em terceiro cultivo, plantado em sistema de fileira simples, numa densidade de  $41,6$  mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  e com produtividade esperada de  $52 \text{ t ha}^{-1}$ . Ademais, estimou doses de máxima eficiência física e econômica de  $31,0$  e  $28,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de S, respectivamente.

## 2.4 Eficiência nutricional

O termo eficiência nutricional é utilizado para caracterizar a capacidade das plantas em absorver e utilizar nutrientes, e está relacionado à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes (AMARAL et al., 2011). Todavia, esse termo tem diversos conceitos, que variam em função do tipo de estudo e do objetivo do pesquisador (TOMAZ et al., 2003).

Conforme Fageria (1992), a eficiência nutricional das culturas pode ser expressa e calculada de diferentes formas. A eficiência agrônômica (EA) ou econômica significa a produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado. A eficiência fisiológica (EF) ou biológica refere-se a produção biológica (matéria seca total) obtida por unidade de nutriente acumulado, enquanto a eficiência de rendimento (ER<sub>n</sub>) indica a produção obtida por unidade de nutriente acumulado. A eficiência de recuperação (ER) ou de aquisição é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, enquanto a eficiência de utilização (EU) representa o produto das eficiências fisiológica e de recuperação (FAGERIA, 1998; PROCHNOW et al., 2009).

A ER indica a capacidade da planta em absorver nutrientes provenientes dos fertilizantes, podendo ser entendida, em termos práticos, como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicada (SILVA, 2006). Os valores de ER, geralmente expressos em percentagem, são calculados pela razão entre o acúmulo de nutrientes de uma planta fertilizada e não fertilizada e a quantidade de nutriente aplicada via fertilização (FAGERIA, 1998).

Os valores da ER são influenciados por fatores edáficos (pH, capacidade tampão, teor de matéria orgânica e umidade do solo), climáticos (temperatura, radiação e precipitação), da própria planta (cultivar, idade e balanço nutricional) e de manejo (sistema de cultivo, doses aplicadas, fonte e forma de aplicação de fertilizantes), sendo a magnitude da interferência destes fatores, também, variável em função do nutriente considerado (SANTOS et al., 2008).

A dose do nutriente aplicado é considerada, dentre os fatores relacionados ao manejo nutricional, como sendo aquele que mais interfere nas taxas de recuperação de nutrientes pelas culturas, o que se deve a capacidade limitada da planta para absorver toda a quantidade de nutriente aplicada, assim como os fatores que afetam sua dinâmica no solo (SILVA, 2006).

Apesar da quantidade considerável de informações referentes à nutrição mineral da do abacaxizeiro na literatura, pouco se conhece sobre a eficiência nutricional dessa cultura. Ao avaliar a eficiência de recuperação de P [dose de 36 kg ha<sup>-1</sup> na forma de fosfato de rocha da

China (14% de P) aos 83, 144, 209 e 263 dias após o plantio] pelo abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia, Ahmed et al. (2006) constataram que 53,0% da dose aplicada foi recuperada pela planta, fato que atribuíram a baixa dose aplicada. Verificou-se ainda que o acúmulo de P pelas diferentes partes morfológicas nas plantas adubadas e não adubadas seguiu a mesma ordem decrescente: fruto > folha > caule > coroa > pedúnculo > raiz.

Ao avaliar a marcha de absorção de S pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em Neossolo Regolítico de Piracicaba-SP, França et al. (1988) constataram que apenas 36,0% da dose de S aplicada foi recuperada pela planta. Verificaram ainda que durante o ciclo da cultura houve diminuição do teor de S apenas no caule, e que, mesmo assim, o acúmulo de S foi maior nesse órgão, seguido dos órgãos reprodutivos (frutos e mudas), de folhas e de raízes.

Em Argissolo Amarelo de Sapé-PB, Silva (2006) observou que o abacaxizeiro ‘Pérola’ exibiu ampla variação na eficiência de recuperação de P (0,07-0,76 kg kg<sup>-1</sup>) e S (0,06-0,62 kg kg<sup>-1</sup>), a qual foi influenciada, possivelmente, pelas doses aplicadas e pelas interações entre os nutrientes, estimando-se valores médios de 33% para P e 28% para S.

## 2.5 Interação entre P e S

As interações resultam da influência mútua de um elemento sobre a ação do outro, produzindo efeito positivo ou negativo sobre o crescimento, desenvolvimento e produção, sendo esta influência dependente de condições de clima, solo, espécie e de cultivares das plantas (ALVAREZ V. et al., 2007).

O P apresenta interação fortemente positiva com o S em termos de crescimento e produção das culturas, tanto no metabolismo vegetal como na adubação fosfatada na adsorção de sulfato no solo, demonstrando existir um equilíbrio dinâmico entre esses ânions (UCHÔA, 1999).

O efeito da interação entre P e S na produção pode ser resumido da seguinte forma: na ausência de S as respostas à aplicação de P são muito baixas ou nulas; por outro lado, na ausência de P as respostas à aplicação de S poderão ser negativas, podendo o excesso de S comprometer algumas vias metabólicas; por fim, a adição conjunta de P e S apresenta elevada resposta positiva no crescimento e desenvolvimento das culturas (ALVAREZ V. et al., 2007).

A interação positiva entre P e S tem sido reportada em diversos trabalhos na literatura (AULAKH & PASRICHA, 1977; CRAVO et al., 1985; ALI et al., 2004; ISLAN et al., 2013;

SALVAGIOTTI et al., 2017; MOREIRA et al., 2018). Todavia, a magnitude das respostas tem sido bastante variável e influenciada por fatores edafoclimáticos, da planta (espécie e cultivar) e de manejo (doses, fontes, etc).

Islan et al. (2013) avaliaram o efeito interativo da aplicação de enxofre e fósforo sobre a fixação de N e a absorção de nutrientes pela cultura do grão de bico em solos alcalinos do Paquistão. Verificaram interação positiva das doses de P e S sobre o número de nódulos e o acúmulo de N, P e S pelas plantas, fato que promoveu a melhoria da qualidade da produção.

Ao avaliarem os efeitos da interação P e S sobre o rendimento de grãos, a fertilidade do solo, os componentes de rendimento, o estado nutricional e os componentes fisiológicos de plantas de soja cultivadas em solo ácido do Cerrado brasileiro, Moreira et al. (2018) observaram que as doses de P e S influenciaram a maioria das variáveis avaliadas de forma isolada, registrando-se efeito positivo da interação P x S apenas para a variável matéria seca da parte aérea das plantas.

As informações referentes a interação entre P e S na produção do abacaxizeiro na literatura são bastante escassas. Ao avaliar os efeitos da aplicação de doses de N, P, K e S sobre o estado nutricional do abacaxizeiro Pérola, Rodrigues (2016) constatou que as doses dos nutrientes aumentaram a massa da matéria fresca da folha 'D', embora as respostas para P e S foram condicionadas às doses de N e K, respectivamente. Os acúmulos de P aumentaram com as doses de P e S, não havendo efeitos das doses dos nutrientes sobre o estado nutricional da planta quanto ao S.

### 3. Material e métodos

O presente estudo constou de um ensaio de adubação realizado no período de dezembro de 2014 à junho de 2016 na propriedade Quandu, localizada no município de Itapororoca, microrregião do Litoral Norte, e inserido na unidade geoambiental de Tabuleiros Costeiros, o qual está definido pelas coordenadas geográficas 6°49'48"S, 35° 14'49"W e altitude de 81 m.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo As' (quente e úmido), com chuvas de outono-inverno, temperatura média de 25°C e precipitação anual de 1.634.2 mm (CPRM, 2005).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006) e o relevo local é do tipo suave ondulado (BRASIL, 1972). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,20 m para caracterização química e física (TEDESCO et al., 1995; EMBRAPA, 1997) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos do solo da área experimental, na profundidade de 0,20m, antes da instalação do experimento

Atributo	Valor
pH em água 1:2,5	4,80
MO <sup>1/</sup> , g kg <sup>-1</sup>	18,3
P disponível <sup>2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	25,6
P-rem <sup>3/</sup> , mg L <sup>-1</sup>	31,9
CMAP <sup>4/</sup> , mg g <sup>-1</sup>	0,338
K <sup>+ 2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	52,4
Ca <sup>++ 5/</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,30
Mg <sup>++ 5/</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,25
S disponível <sup>6/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	14,2
Na <sup>+ 2/</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,19
H + Al <sup>7/</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,70
Al <sup>+++ 5/</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,55
SB, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,87
t, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,42
T, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,57
V, %	24,7
B disponível <sup>8/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	0,40
Cu disponível <sup>2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	0,13
Fe disponível <sup>2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	37,5
Mn disponível <sup>2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	25,1

Zn disponível <sup>2/</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	0,82
Areia, g kg <sup>-1</sup>	763
Silte, g kg <sup>-1</sup>	74
Argila <sup>9/</sup> , g kg <sup>-1</sup>	163
Classe textural	Franco Arenosa
Dens. Solo <sup>10/</sup> , g cm <sup>-3</sup>	1,56
Porosidade total, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,40
Mineralogia da fração argila <sup>11/</sup>	Ct, Gt

MO = Matéria orgânica; SB = Soma de bases (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>); t = capacidade de troca catiônica efetiva (SB + Al<sup>3+</sup>); T = Capacidade de troca catiônica a pH (SB + H + Al); V = Saturação por bases = (SB/T) × 100; <sup>1/</sup> Walkley e Black; <sup>2/</sup> Mehlich-1; <sup>3/</sup> Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000); <sup>4/</sup> Capacidade máxima de adsorção de P; <sup>5/</sup> KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>6/</sup> Fosfato monocalcico (500 mg L<sup>-1</sup> em ácido acético 2 mol L<sup>-1</sup>); <sup>7/</sup> Acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0; <sup>8/</sup> Água quente. <sup>9/</sup> Método do Hidrômetro (Bouyoucos); <sup>10/</sup> Densidade medida pelo método do torrão parafinado; <sup>11/</sup> Conforme Farias et al. (2009); Ct = caulinita; Gt = goethita

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 26 tratamentos e três repetições, totalizando 78 unidades experimentais. Os tratamentos foram arranjados conforme matriz experimental Plan Puebla III modificada (2<sup>k</sup> + 2k + 1 + 1) e resultaram da combinação de cinco doses de P (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g/planta P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cinco doses de S (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g/planta), cinco doses de N (1,2; 7,2; 12; 16 e 22,8 g/planta) e cinco doses de K (1,2; 7,2; 12; 16 e 22,8 g/planta K<sub>2</sub>O) (Tabela 3).

A unidade experimental constou de três fileiras duplas, contendo 12 plantas em cada fileira simples, totalizando 72 plantas por parcela numa área de 13,4 m<sup>2</sup>. Foi considerada como parcela útil a fileira dupla central, totalizando 24 plantas.

As doses de P foram divididas em duas aplicações, sendo a primeira aos 70 dias após o plantio (dap) via fórmula comercial 20-10-20 e a segunda aos 110 dap na forma de MAP (52% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 10% de N). As doses de S foram parceladas em quatro aplicações (70, 110, 200 e 290 dap), utilizando-se a fonte sulfato de potássio. As doses de N e K foram parceladas em quatro aplicações (70, 110, 200 e 290 dap), utilizando-se 6 g/planta da fórmula comercial 20-10-20 aos 70 dap e as fontes ureia (45% de N) e sulfato de potássio (50% de K<sub>2</sub>O e 17% de S) nas demais aplicações, respectivamente.

Além das doses de N, K, P e S, as plantas de todos os tratamentos receberam 2,5 g/planta de FTE BR 12 (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 3% de Fe e 2% de Mn) parceladas em duas aplicações (aos 200 e 290 dap). A aplicação dos fertilizantes, contendo macro e micronutrientes foi feita no solo, junto à base da planta.

O plantio foi realizado em 17 de dezembro de 2014, após as operações de preparo do solo, que constaram de subsolagem, até a profundidade de 0,40 m, duas gradagens cruzadas e abertura dos sulcos de plantio.

**Tabela 3.** Níveis e doses de N, P, K e S dos tratamentos avaliados, conforme a matriz Plan Puebla III modificada

Tratamento	Nível				Dose (g/planta)			
	N	P	K	S	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	7,2	2,8	7,2	2,8
2	-0,4	-0,4	-0,4	0,4	7,2	2,8	7,2	6,7
3	-0,4	-0,4	0,4	-0,4	7,2	2,8	16	2,8
4	-0,4	-0,4	0,4	0,4	7,2	2,8	16	6,7
5	-0,4	0,4	-0,4	-0,4	7,2	6,7	7,2	2,8
6	-0,4	0,4	-0,4	0,4	7,2	6,7	7,2	6,7
7	-0,4	0,4	0,4	-0,4	7,2	6,7	16	2,8
8	-0,4	0,4	0,4	0,4	7,2	6,7	16	6,7
9	0,4	-0,4	-0,4	-0,4	16	2,8	7,2	2,8
10	0,4	-0,4	-0,4	0,4	16	2,8	7,2	6,7
11	0,4	-0,4	0,4	-0,4	16	2,8	16	2,8
12	0,4	-0,4	0,4	0,4	16	2,8	16	6,7
13	0,4	0,4	-0,4	-0,4	16	6,7	7,2	2,8
14	0,4	0,4	-0,4	0,4	16	6,7	7,2	6,7
15	0,4	0,4	0,4	-0,4	16	6,7	16	2,8
16	0,4	0,4	0,4	0,4	16	6,7	16	6,7
17	-0,9	-0,4	-0,4	-0,4	1,2	2,8	7,2	2,8
18	0,9	0,4	0,4	0,4	22,8	6,7	16	6,7
19	-0,4	-0,9	-0,4	-0,4	7,2	0,48	7,2	2,8
20	0,4	0,9	0,4	0,4	16	9,1	16	6,7
21	-0,4	-0,4	-0,9	-0,4	7,2	2,8	1,2	2,8
22	0,4	0,4	0,9	0,4	16	6,7	22,8	6,7
23	-0,4	-0,4	-0,4	-0,9	7,2	2,8	7,2	0,48
24	0,4	0,4	0,4	0,9	16	6,7	16	9,1
25	0	0	0	0	12	4,8	12	4,8
26	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	1,2	0,48	1,2	0,48

A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método da neutralização do  $Al^{3+}$  e suprimento de Ca e Mg (ALVAREZ V. & RIBEIRO, 1999). A calagem foi realizada 60 dias antes do plantio, utilizando-se calcário dolomítico (PRNT de 62 %) na dose de 1,0 t/ha. A aplicação foi feita em área total na profundidade de 0,20 m.

Foram utilizadas mudas tipo filhote do abacaxizeiro 'Pérola', previamente selecionadas (peso médio de 578 g e 64 cm de comprimento), e tratadas quimicamente com Parathion metílico a 0,1% do princípio ativo. As mudas foram plantadas no sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 0,80 m  $\times$  0,40 m  $\times$  0,40 m, resultando numa densidade de 41.667 plantas/ha.

Os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas e ao controle preventivo de pragas (cochonila e broca dos frutos) e doenças (fusariose) foram realizados conforme as recomendações para o sistema de produção local (OLIVEIRA et al., 2002). O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, com irrigação suplementar, por meio de aspersão, nos períodos de menor precipitação.

A indução floral foi feita aos 12 meses após o plantio (map), mediante aplicação de 50 mL planta<sup>-1</sup> de solução de carbureto de cálcio a 1%, no centro da roseta foliar (OLIVEIRA et al., 2002). A colheita foi realizada aos 18 map, ocasião em que os frutos da área útil foram contados, pesados, classificados e os valores extrapolados para t ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita, foram selecionadas duas plantas em cada unidade experimental nas quais foram quantificadas as massas da matéria fresca das partes vegetativas (raiz, caule e folha) e reprodutivas (fruto e muda). Em laboratório, as amostras dos respectivos tecidos vegetais foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C, até peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley (malha de 2 mm) e retiradas sub amostras para determinação dos teores de P e S, conforme Tedesco et al (1995).

Os acúmulos de P e S de cada parte morfológica foram obtidos multiplicando-se o teor de cada nutriente pela respectiva massa de matéria seca, sendo o acúmulo total obtido pelo somatório dos acúmulos das partes morfológicas.

A eficiência nutricional do abacaxizeiro foi estimada por meio das eficiências de utilização, conversão, translocação, absorção e recuperação, estabelecidas a partir das seguintes expressões (LI et al., 1991; FAGERIA, 1992; SWIADER et al., 1994):

Eficiência de utilização (EU) (mg de matéria seca mg de P ou S) = (massa da matéria seca da planta inteira) / (acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira), conforme Swiader et al. (1994);

Eficiência de conversão (EC) – ( $\text{mg mg}^{-1}$ )

= (massa da matéria seca da planta inteira) / (acúmulo de P ou S na matéria seca da parte aérea), conforme Li et al. (1991)

Eficiência de translocação (ET) – (%)

= (acúmulo de P ou S na matéria seca da parte aérea) / (acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira), de acordo com Li et al. (1991);

Eficiência de absorção (EA) – ( $\text{mg mg}^{-1}$ )

= (acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira) / (massa da matéria seca da raiz), conforme Swiader et al. (1994);

Eficiência de recuperação (ER) – (%)

= (acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira adubada - acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira não adubada) / (dose de P ou S aplicada via fertilizante), de acordo com Fageria (1992)

Os dados foram inicialmente submetidos às análises de variância ( $p \leq 0,05$ ); em seguida, os efeitos dos fatores doses de P e S foram analisados por meio de regressão polinomial ou superfície de resposta quando se observou significância para a interação ( $p < 0,10$ ). A escolha dos modelos de regressão foi feita com base na significância dos estimadores dos parâmetros da regressão ( $p < 0,10$ ), no significado biológico do fenômeno estudado e no coeficiente de determinação. Em todas as análises foi utilizado o software SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS, 2015).

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Massa da matéria seca

As doses de P e S influenciaram os valores de massa da matéria seca das diferentes partes morfológicas (*vegetativas* – raiz, caule e folha; *reprodutivas* – muda e fruto; e *total*) do abacaxizeiro (Tabelas 4 e 5). Contudo, com exceção da matéria seca do caule (MSc), cuja interação P × S foi significativa ( $p \leq 0,10$ ), as demais variáveis responderam às doses de P e S aplicadas de forma isolada, ou seja, a interação P × S foi não significativa.

**Tabela 4.** Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para as variáveis massa da matéria seca de raiz (MSr), caule (MSc), folha (MSf), muda (MSm), fruto (MSfr) e total (MSt), em função das doses de P e S aplicadas.

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
MSr	$\hat{y} = 46,19 + 3,88^{\circ}P - 0,523^{**}P^2$	0,84
	$\hat{y} = 52,09 - 0,88^{\circ}S + 0,121^{**}S^2$	0,19
MSc	$\hat{y} = 107,62 - 5,38^{ns}P + 7,11^{*}S + 0,997^{*}P^2 - 0,902^{\circ}PS$	0,69
MSf	$\hat{y} = 314,80 + 5,868^{**}P$	0,18
	$\hat{y} = 262,28 + 36,48^{*}S - 3,138^{**}S^2$	0,44
MSm	$\hat{y} = 123,78 + 2,68^{***}P + 0,617^{***}P^2$	0,95
	$\hat{y} = 98,98 + 6,63^{***}S + 0,873^{\circ}S^2$	0,98
MSfr	$\hat{y} = 179,58 + 5,67^{***}P - 0,183^{*}P^2$	0,96
MSt	$\hat{y} = 779,10 + 19,39^{***}P$	0,73
	$\hat{y} = 709,90 + 47,27^{***}S - 2,108^{*}S^2$	0,88

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Os valores de massa da matéria seca de raiz (MSr) e mudas (MSm) variaram de forma quadrática com as doses de P e S; os de folha (MSf) e total (MSt) linearmente com as doses de P e de forma quadrática com as doses de S. Por outro lado, a massa da matéria seca do fruto (MSfr) variou de forma quadrática com as doses de S, enquanto a do caule (MSc) variou de forma quadrática com as doses de P e linearmente com as doses de S, sendo negativa a interação entre esses dois fatores (Tabela 4).

**Tabela 5.** Massa da matéria seca de raiz (MSr), caule (MSc), folha (MSf), mudas (MSm), fruto (MSFr) e total (MSt) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função das doses de P e S aplicadas

Dose				Parte morfológica/Massa					
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	MSr	MSc	MSf	MSm	MSfr	MSt
----- g planta <sup>-1</sup> -----				----- g planta <sup>-1</sup> -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	47,0	96,9	258,1	166,4	205,5	774,2
7,2	2,8	16	6,7	50,5	122,6	356,0	138,9	194,6	862,5
7,2	2,8	7,2	2,8	44,6	110,3	299,9	108,1	206,5	769,4
7,2	2,8	16	6,7	67,2	109,4	248,9	164,3	201,7	791,6
7,2	6,7	7,2	2,8	48,9	122,4	331,8	100,9	214,9	960,9
7,2	6,7	16	6,7	75,7	132,4	404,9	184,4	204,0	1001,3
7,2	6,7	7,2	2,8	46,8	119,7	307,4	91,3	201,0	766,1
7,2	6,7	16	6,7	67,3	162,0	342,9	182,3	208,3	962,6
16	2,8	7,2	2,8	36,9	135,2	356,2	78,0	192,9	799,3
16	2,8	7,2	6,7	51,1	149,2	258,2	179,9	207,2	845,8
16	2,8	16	2,8	29,7	107,9	223,5	133,2	214,0	708,3
16	2,8	16	6,7	47,1	128,2	411,2	132,0	197,0	915,5
16	6,7	7,2	2,8	40,2	134,3	285,9	191,6	207,0	858,9
16	6,7	7,2	6,7	47,3	94,9	274,1	242,8	219,8	878,9
16	6,7	16	2,8	50,2	122,3	313,5	180,1	217,5	883,6
16	6,7	16	6,7	50,3	140,5	363,3	150,1	213,8	918,1
1,2	2,8	7,2	2,8	69,4	136,0	323,7	90,7	171,2	791,0
22,8	6,7	16	6,7	44,3	105,5	293,7	145,7	209,8	832,3
7,2	0,48	7,2	2,8	40,7	128,7	360,3	166,0	185,5	881,3
16	9,1	16	6,7	36,8	128,7	362,1	198,1	216,5	942,3
7,2	2,8	1,2	2,8	51,0	91,8	267,2	89,9	186,2	686,1
16	6,7	22,8	6,7	44,7	136,1	317,9	159,3	189,5	847,3
7,2	2,8	7,2	0,48	48,5	100,6	309,5	109,1	200,7	768,5
16	6,7	16	9,1	53,1	129,2	341,0	235,8	217,3	976,4
12	4,8	12	4,8	53,3	111,7	413,0	158,5	199,4	936,0
1,2	0,48	1,2	0,48	58,3	107,4	265,2	90,9	176,3	698,2
Média				50,0	121,7	318,8	148,8	202,2	848,3

As doses que maximizaram os valores de MSr foram de 3,7 e 3,6 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente, enquanto que para MSf as doses de máxima foram de 9,1 e 5,8 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente. Para MSc, devido a interação negativa, verificou-se nas doses máximas de P e S combinadas valor inferior (131,2 g) ao obtido com as doses máximas isoladas de P (141,2 g) e S (172,3 g). Os valores máximos de MSm foram obtidos com 2,2 e 3,8 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente, enquanto que os valores de MSfr e MSt foram maximizados com a aplicação das doses máximas de P e S (9,1 g planta<sup>-1</sup>).

O efeito positivo das doses de P sobre a massa da matéria seca das partes morfológicas do abacaxizeiro concorda com as funções desempenhadas pelo nutriente na cultura, as quais incluem estímulo ao desenvolvimento radicular, formação da planta, crescimento, espessamento do caule, florescimento, frutificação e formação de rebentos (RAMOS et al., 2009); isto se deve, a participação do P em importantes compostos das células vegetais e atuação em processos de acúmulo e transferência de energia na forma de ATP, principalmente (TAIZ & ZEIGER, 2004). Contudo, o P é o nutriente que normalmente menos influencia a produção do abacaxizeiro, mesmo em solos com baixa disponibilidade de P (SPIRONELLO et al., 2004; GUARÇONI & VENTURA, 2011; CAETANO et al., 2013).

As respostas positivas das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro às doses de S se devem a participação do S na produção de aminoácidos, proteínas, clorofila, vitaminas e hormônios, produtos essenciais ao metabolismo e crescimento das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004; MARSCHNER, 2012). Por outro lado, a ausência de efeitos das doses de S sobre a MSfr indica que a redistribuição de S para os frutos não foi limitada pelo suprimento de S no solo. Conforme Alvarez V. et al. (2007), em condições de deficiência de S, há redução do tamanho e piora das qualidades organolépticas (acidez, açúcares, etc) dos frutos do abacaxizeiro.

O efeito negativo da interação P × S sobre os valores de MSC indica que houve, provavelmente, comprometimento de algumas vias metabólicas nesse órgão, em decorrência de um provável desbalanceamento entre esses ânions (MARSCHNER, 2012). Em geral, a adição conjunta de P e S apresenta elevada resposta positiva no desenvolvimento e crescimento da cultura, sendo essa influência dependente de condições de clima, solo, espécie e de cultivares de plantas (ALVAREZ V. et al., 2007).

## 4.2 Teores

### 4.2.1 Fósforo

As doses de P e S influenciaram de forma diferenciada os teores de P das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro. As doses de P e S influenciaram os teores de P na raiz (TPr), no caule (TPc) e nos frutos (TPfr) de forma isolada, sendo a interação P × S significativa ( $p \leq 0,10$ ) apenas para o teor de P na folha (TPf) e muda (TPm). Além disso, as doses de S não influenciaram os TPr e TPfr (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 6.** Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para os teores de P nas partes morfológicas raiz (TPr), caule (TPc), folha (TPf), muda (TPm) e fruto (TPfr), em função das doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
TPr	$\hat{y} = 0,0373 + 0,0014^*P$	0,73
TPc	$\hat{y} = 0,0552 + 0,003^oP + 0,0004^oP^2$	0,70
	$\hat{y} = 0,142 - 0,0238^{***}S + 0,0019^{**}S^2$	0,79
TPf	$\hat{y} = 0,00528 + 0,00207^{***}P - 0,00112^{ns}S + 0,00000012^{***}P + 0,000281^{***}S^2 - 0,00039^{***}PS$	0,42
TPm	$\hat{y} = 0,0976 + 0,0021^{ns}P + 0,004^*S - 0,0005^{***}PS$	0,11
TPfr	$\hat{y} = 0,0362 + 0,0048^*P - 0,0003^*P^2$	0,91

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

De forma geral, os valores de R<sup>2</sup> das equações de regressão ajustadas foram elevados, exceto quando a interação P × S foi significativa (Tabela 6). Ademais, houve grande variação nos teores de P nas diferentes partes morfológicas avaliadas, com tendência de teores médios na seguinte ordem decrescente: TPm > TPc > TPf > TPr > TPfr (Tabela 7).

Apesar disso, observou-se que os TPr aumentaram linearmente com as doses de P, enquanto que os TPc variaram de forma quadrática com as doses de P e S; os TPfr também variaram de forma quadrática, mas apenas com as doses de P. Por outro lado, os TPf e TPm foram influenciados positivamente pelas doses de P e S quando avaliadas de forma isolada; contudo, para ambas as variáveis a interação entre as doses desses dois nutrientes foi negativa (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 7.** Teor de P nas partes morfológicas raiz (TPr), caule (TPc), folha (TPf), muda (TPm) e fruto (TPfr) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Dose				Parte Morfológica/Teor				
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	TPr	TPc	TPf	TPm	TPfr
-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----dag kg <sup>-1</sup> -----				
7,2	2,8	7,2	2,8	0,05	0,11	0,11	0,19	0,057
7,2	2,8	16	6,7	0,06	0,10	0,10	0,16	0,060
7,2	2,8	7,2	2,8	0,05	0,12	0,13	0,11	0,057
7,2	2,8	16	6,7	0,06	0,07	0,13	0,16	0,057
7,2	6,7	7,2	2,8	0,05	0,11	0,10	0,11	0,060
7,2	6,7	16	6,7	0,06	0,33	0,12	0,14	0,063
7,2	6,7	7,2	2,8	0,06	0,07	0,12	0,13	0,057
7,2	6,7	16	6,7	0,03	0,06	0,06	0,05	0,050
16	2,8	7,2	2,8	0,06	0,06	0,08	0,11	0,057
16	2,8	7,2	6,7	0,04	0,07	0,11	0,12	0,043
16	2,8	16	2,8	0,05	0,11	0,11	0,14	0,050
16	2,8	16	6,7	0,02	0,05	0,06	0,09	0,057
16	6,7	7,2	2,8	0,05	0,15	0,09	0,09	0,057
16	6,7	7,2	6,7	0,04	0,06	0,07	0,06	0,057
16	6,7	16	2,8	0,05	0,09	0,11	0,11	0,030
16	6,7	16	6,7	0,05	0,06	0,06	0,08	0,050
1,2	2,8	7,2	2,8	0,03	0,09	0,10	0,08	0,055
22,8	6,7	16	6,7	0,04	0,05	0,07	0,04	0,060
7,2	0,48	7,2	2,8	0,06	0,04	0,05	0,12	0,020
16	9,1	16	6,7	0,05	0,12	0,01	0,13	0,060
7,2	2,8	1,2	2,8	0,01	0,02	0,02	0,03	0,010
16	6,7	22,8	6,7	0,06	0,04	0,06	0,08	0,053
7,2	2,8	7,2	0,48	0,05	0,21	0,12	0,12	0,057
16	6,7	16	9,1	0,05	0,08	0,12	0,13	0,060
12	4,8	12	4,8	0,04	0,06	0,08	0,11	0,053
1,2	0,48	1,2	0,48	0,03	0,06	0,04	0,09	0,053
Média				0,05	0,09	0,08	0,11	0,052

Os TPr e TPc máximos foram estimados com a dose 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, representando aumentos de 26,0 e 92,0 %, respectivamente, em relação aos teores obtidos com a menor dose de P (0,48 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O TPfr máximo de 0,055 dag kg<sup>-1</sup> de P foi obtido com a dose 8,0 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Com relação as doses de S estimaram-se TPc mínimo de 0,067 g kg<sup>-1</sup> de P com a dose de 6,3 g planta<sup>-1</sup> de S. Por outro lado, devido a interação negativa, verificou-se que os TPf e TPM estimados com as doses de P e S isoladas foram superiores aos estimados com as doses combinadas desses dois nutrientes (Tabelas 6 e 7).

O aumento dos TPr e TPc com a elevação das doses de P concorda com os resultados obtidos por outros autores (MARCHAL, 1971; SILVA, 2006; GUARÇONI & VENTURA, 2011). Em geral, a elevação do suprimento de P no solo de uma condição de deficiência para outra de adequada disponibilidade de P resulta em aumento das principais frações de P contidas nos órgãos vegetativos das plantas (HAWKESFORD et al., 2012). Ademais, o P promove a rápida formação e crescimento das raízes, além de desempenhar papel importante na divisão e crescimento celular (MAIA et al., 2019).

A redução no TPc com a elevação das doses de S até 6,3 g planta<sup>-1</sup> de S, e o posterior incremento a partir dessa dose demonstra a ocorrência de um possível equilíbrio dinâmico entre esses dois ânions (ALVAREZ V. et al., 2007). Aulakh & Pasricha (1977) também reportaram reduções no teor de P no caule de *Phaseolus aureus* L. com a elevação das doses de P, fato que atribuíram ao antagonismo entre P e S.

A interação negativa para TPf e TPM indica que houve influência mútua de um elemento sobre a ação do outro, produzindo nesse caso efeito negativo sobre os teores de P em ambas as partes morfológicas (Tabela 7). Esse efeito antagônico entre P e S pode ser atribuído à competição dos íons sulfato e fosfato pelos sítios de absorção nas raízes ou pelas mesmas vias de absorção dentro das raízes, caule e células foliares (HAWKESFORD et al., 2012).

O aumento dos TPfru com a elevação das doses de P concorda com os resultados obtidos por Marchal (1971) para o abacaxizeiro ‘Smooth Cayene’ na ilha de Guadalupe, América Central. Ademais, os teores obtidos no presente trabalho corroboram àquele (0,060 dag kg<sup>-1</sup>) reportado para o abacaxizeiro ‘Pérola’ por Silva (2006).

#### 4.2.2. Enxofre

As doses de P e S influenciaram de forma diferenciada os teores de S das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro (Tabelas 8 e 9). As doses de P e S influenciaram de forma isolada os teores de S no caule (TSc) e as de S os de frutos (TSfr), sendo a interação P  $\times$  S significativa ( $p \leq 0,10$ ) para as variáveis teor de S na raiz (TSr), folha (TSf) e muda (TSm) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Equações de regressão ajustadas e valores de  $R^2$  para os teores de S nas porções morfológicas raiz (TSr), caule (TSc), folha (TSf), muda (TSm) e fruto (TSfr) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função das doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	$R^2$
TSr	$\hat{y} = 0,081 - 0,132^{***}P + 0,064^{***}S - 0,00190^*P^2 - 0,0075^{***}S^2 + 0,0067^{***}PS$	0,11
TSc	$\hat{y} = 0,1166 + 0,064^{***}P - 0,0066^{***}P^2$ $\hat{y} = 0,1254 + 0,074^{***}S - 0,0087^{***}S^2$	0,46 0,57
TSf	$\hat{y} = 0,023 - 0,0078^{***}P + 0,0047^{***}S + 0,0012^{***}P^2 - 0,000005^{***}S^2 - 0,000702^*PS$	0,21
TSm	$\hat{y} = 0,309 + 0,081^*P - 0,181^oS + 0,0061^oP^2 + 0,0035^*S^2 - 0,0278^oPS$	0,70
TSfr	$\hat{y} = 0,0057 - 0,0004^oS$	0,65

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

De forma geral, os valores de  $R^2$  das equações de regressão ajustadas foram relativamente baixos, com exceção da parte morfológica muda (TSm) (Tabela 8). Houve também grande variação nos teores de S das diferentes partes morfológicas avaliadas, com tendência de teores médios na seguinte ordem decrescente: TSm > TSf > TSr > TSc > TSfr (Tabela 9).

Observou-se que os TSc variaram de forma quadrática com as doses de P e S, e que os TSfr diminuíram linearmente com a elevação das doses de S; por outro lado, os TSr foram influenciados positivamente pela interação P  $\times$  S, enquanto que para os TSf e TSm a interação P  $\times$  S foi negativa (Tabelas 8 e 9).

**Tabela 9.** Teor de S nas partes morfológicas raiz (TSr), caule (TSc), folha (TSf), muda (TSm) e fruto (TSfr) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Dose				Parte morfológica/teor				
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	TSr	TSc	TSf	TSm	TSfr
-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----dag kg <sup>-1</sup> -----				
7,2	2,8	7,2	2,8	0,36	0,16	0,26	0,22	0,006
7,2	2,8	16	6,7	0,30	0,08	0,15	0,20	0,006
7,2	2,8	7,2	2,8	0,28	0,15	0,26	0,18	0,006
7,2	2,8	16	6,7	0,07	0,12	0,25	0,33	0,001
7,2	6,7	7,2	2,8	0,05	0,58	0,27	0,23	0,006
7,2	6,7	16	6,7	0,16	0,10	0,18	0,15	0,006
7,2	6,7	7,2	2,8	0,07	0,14	0,31	0,60	0,003
7,2	6,7	16	6,7	0,04	0,13	0,14	0,05	0,001
16	2,8	7,2	2,8	0,28	0,53	0,38	0,22	0,003
16	2,8	7,2	6,7	0,26	0,09	0,32	0,75	0,001
16	2,8	16	2,8	0,22	0,27	0,30	0,19	0,003
16	2,8	16	6,7	0,19	0,06	0,10	0,44	0,003
16	6,7	7,2	2,8	0,14	0,62	0,32	0,21	0,003
16	6,7	7,2	6,7	0,28	0,07	0,27	0,14	0,001
16	6,7	16	2,8	0,45	0,16	0,43	0,19	0,001
16	6,7	16	6,7	0,18	0,12	0,19	0,18	0,003
1,2	2,8	7,2	2,8	0,15	0,22	0,32	0,15	0,006
22,8	6,7	16	6,7	0,15	0,13	0,26	0,13	0,001
7,2	0,48	7,2	2,8	0,23	0,18	0,42	0,17	0,003
16	9,1	16	6,7	0,32	0,16	0,44	0,29	0,006
7,2	2,8	1,2	2,8	0,04	0,02	0,02	0,11	0,001
16	6,7	22,8	6,7	0,13	0,21	0,52	0,92	0,006
7,2	2,8	7,2	0,48	0,03	0,12	0,13	0,59	0,010
16	6,7	16	9,1	0,35	0,12	0,36	0,74	0,003
12	4,8	12	4,8	0,36	0,36	0,17	0,10	0,003
1,2	0,48	1,2	0,48	0,09	0,15	0,14	0,13	0,001
Média				0,20	0,19	0,27	0,29	0,004

Devido a interação negativa, verificou-se que os TSf e TSm obtidos com as doses de P e S de forma isolada foram inferiores aos registrados com as doses combinadas desses dois nutrientes, ocorrendo o inverso para os TSr. Os TSc máximos de 0,27 e 0,28 g kg<sup>-1</sup> de S foram obtidos com as doses de 4,84 e 4,25 g planta<sup>-1</sup> de P e S, respectivamente. Por outro lado, o maior TSfr foi estimado com a menor dose de S (Tabela 8).

O efeito positivo das doses de S sobre os TSc corrobora os resultados obtidos por França et al. (1988) ao avaliarem a marcha de absorção de Ca, Mg e S pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ e constatarem maiores teores de S nas plantas adubadas em relação às não adubadas. O S está envolvido em diversas funções na planta, tais como produção de aminoácidos, proteínas, clorofila, vitaminas e hormônios, produtos essenciais ao metabolismo e crescimento das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O efeito positivo das doses de P sobre os TSc pode ser explicado pelo papel do P na transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina (ATP), bem como componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos e substratos metabólicos (HAWKESFORD et al., 2012). Aulakh & Pasricha (1977) reportaram reduções no teor de S no caule de *Phaseolus aureus* L com a elevação das doses de P, discordando, assim, dos resultados obtidos nesse trabalho.

O efeito positivo da interação P × S para o TSr indica que a aplicação dos dois nutrientes juntos aumentou o teor de S nessa parte morfológica, corroborando as afirmações de Alvarez V. et al. (2007) de que a adição conjunta de P e de S apresenta elevada resposta positiva no crescimento e desenvolvimento das culturas. Por outro lado, o efeito negativo da interação P × S para TSf e TSm indica que houve, a exemplo do mencionado para TPf e TPm, competição dos íons sulfato e fosfato pelos sítios de absorção nas raízes ou pelas mesmas vias de absorção dentro das raízes, caule e células foliares (HAWKESFORD et al., 2012).

Considerando que as doses de S não influenciaram os valores de MSfr, a redução dos Sfr em função das doses de S pode ser explicada pela baixa translocação e limitada redistribuição de S na parte aérea da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006), pois as doses de S, isoladamente, afetaram positivamente os TSf e TSc (Tabela 8).

### 4.3 Acúmulos

#### 4.3.1 Fósforo

As doses de P e S influenciaram o acúmulo de P das partes morfológicas do abacaxizeiro de forma diferenciada (Tabelas 10 e 11). As doses de P influenciaram isoladamente os acúmulos de P na raiz (AcPr), folha (AcPf) e total (AcPt), enquanto as doses de S influenciaram os acúmulos de P na muda (AcPm) e total (AcPt). A interação P × S foi significativa ( $p \leq 0,10$ ) apenas para os acúmulos de P no caule (AcPc) e frutos (AcPfr) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para os acúmulos de P nas partes morfológicas raiz (AcPr), caule (AcPc), folha (AcPf), muda (AcPm), fruto (AcPfr) e total (AcPt) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função das doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
AcPr	$\hat{y} = 18,164 + 2,3362^{ns}P - 0,2329P^{*2}$	0,56
AcPc	$\hat{y} = 110,54 + 26,941^{*}P - 36,060^{***}S + 4,140^{**}S^2 - 3,116^{o}PS$	0,25
AcPf	$\hat{y} = 148,9 + 57,719^{***}P - 4,0138^{***}P^2$	0,69
AcPm	$\hat{y} = 116,8 + 1,241^{o}S + 1,952^{o}S^2$	0,84
AcPfr	$\hat{y} = 10,44 + 2,317^{ns}P + 1,753^{ns}S - 0,6376^{*}P^2 - 0,6094^{o}S^2 + 0,7822^{***}PS$	0,21
AcPt	$\hat{y} = 412,02 + 50,172^{***}P + 1,306^{***}P^2$ $\hat{y} = 555,92 - 6,973^{*}S + 3,618^{**}S^2$	0,62 0,62

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

De forma geral, com exceção do AcPm, os valores de R<sup>2</sup> das equações de regressão ajustadas foram relativamente baixos (Tabela 10). Ademais, observou-se grande variação nos acúmulos de P nas diferentes partes morfológicas, cujos valores médios obedeceram a seguinte ordem decrescente: AcPt > AcPf > AcPm > AcPc > AcPr > AcPfr (Tabela 11).

Os acúmulos de P das partes morfológicas raiz (AcPr), folha (AcPf) e total (AcPt) variaram de forma quadrática com as doses de P, assim como os acúmulos na muda (AcPm) e total (AcPt) em função das doses de S; por outro lado, para os acúmulos de P no caule (AcPc) e fruto (AcPfr) observou-se efeito negativo e positivo da interação de P × S, respectivamente (Tabela 10).

**Tabela 11.** Acúmulo de P nas porções morfológicas raiz (AcPr), caule (AcPc), folha (AcPf), muda (AcPm), fruto (AcPfr) e total (AcPt) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Dose				Parte Morfológica/Acúmulo de P					
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	AcPr	AcPc	AcPf	AcPm	AcPfr	AcPt
-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----mg planta <sup>-1</sup> -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	25,0	105,5	293,9	307,9	48,5	780,9
7,2	2,8	16	6,7	31,1	117,7	372,3	220,8	11,0	749,7
7,2	2,8	7,2	2,8	17,5	132,5	400,0	119,9	11,7	685,1
7,2	2,8	16	6,7	36,4	72,0	324,9	256,4	11,5	701,1
7,2	6,7	7,2	2,8	25,9	129,6	330,9	114,3	12,9	613,7
7,2	6,7	16	6,7	45,1	121,8	488,8	251,9	15,2	922,9
7,2	6,7	7,2	2,8	27,1	81,9	369,0	122,1	11,4	611,5
7,2	6,7	16	6,7	17,3	94,4	205,2	93,9	11,6	422,5
16	2,8	7,2	2,8	20,0	75,6	306,0	88,3	10,9	500,8
16	2,8	7,2	6,7	21,3	110,9	272,7	213,2	8,8	627,0
16	2,8	16	2,8	13,7	77,3	238,1	182,5	10,7	559,3
16	2,8	16	6,7	9,9	78,8	248,2	125,9	11,3	457,6
16	6,7	7,2	2,8	19,9	196,7	251,2	180,3	11,7	659,8
16	6,7	7,2	6,7	22,5	53,5	189,4	146,5	12,7	424,7
16	6,7	16	2,8	28,3	104,0	344,7	205,7	12,9	695,3
16	6,7	16	6,7	22,8	77,1	225,7	112,6	11,9	450,1
1,2	2,8	7,2	2,8	20,1	121,2	325,0	75,3	9,7	552,0
22,8	6,7	16	6,7	20,1	54,7	234,9	56,9	12,0	378,7
7,2	0,48	7,2	2,8	21,8	52,3	180,1	196,5	10,6	461,3
16	9,1	16	6,7	19,6	148,9	369,9	265,4	13,0	818,2
7,2	2,8	1,2	2,8	48,2	183,6	663,5	245,8	108,9	1250,1
16	6,7	22,8	6,7	23,8	56,0	200,3	127,7	10,44	418,3
7,2	2,8	7,2	0,48	23,1	210,4	356,6	126,3	11,32	727,8
16	6,7	16	9,1	27,0	100,7	386,6	174,1	13,03	834,7
12	4,8	12	4,8	21,3	65,0	331,0	172,3	10,95	597,3
1,2	0,48	1,2	0,48	16,3	70,6	110,9	77,7	9,82	285,2
Média				24,0	103,6	308,5	163,9	16,7	622,5

Os valores máximos de AcPr, AcPf e AcPt foram de 24,0; 356,0 e 1793 mg planta<sup>-1</sup>, os quais foram estimados com as doses de 5,0; 7,2 e 19,6 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Por outro lado, os valores máximos de AcPm e AcPt foram estimados, respectivamente, com as doses de 0,32 e 0,96 g planta<sup>-1</sup> de S. Verificou-se que os AcPc estimados com as doses de P e S de forma isolada foram superiores aos estimados com as doses combinadas desses dois nutrientes, ocorrendo o inverso para os AcPfru (Tabela 10).

Os efeitos positivos das doses de P sobre os AcPr, AcPf e AcPt são decorrentes dos incrementos promovidos pelas doses de P sobre os valores de matéria seca e teores de P das referidas partes morfológicas (Tabelas 4 e 6). Resultados semelhantes foram também reportados por diversos autores trabalhando com diferentes cultivares e solos com baixa disponibilidade de P (MARCHAL, 1971; GUARÇONI & VENTURA, 2011; RODRIGUES, 2016).

Similarmente, os efeitos positivos das doses de S sobre AcPm e AcPt também se devem ao efeito positivo das doses de S sobre os valores de matéria seca das respectivas partes morfológicas (Tabela 4), bem como sobre os TPm (Tabela 6). O S encontra-se nas plantas nas formas orgânicas de aminoácidos (cisteína, cistina e metionina), bem como em compostos de S (adenosina 5-fosfosulfato (APS) e 3-fosfoadenosina 5-fosfosulfato (PAPS)) (HAWKESFORD et al., 2012).

O efeito negativo da interação de P × S nos valores de AcPca está relacionado com a redução nos valores de MSc promovida pela aplicação conjunta desses dois nutrientes (Tabela 4), em função de um provável desbalanceamento entre esses ânions. Aulakh & Pasricha (1977) reportaram antagonismo entre P e S em *Phaseolus aureus* L., fato que associaram a competição dos íons sulfato e fosfato pelos sítios de absorção nas raízes e diminuição, pelo fosfato, dos teores de sulfato em solução.

Por outro lado, o efeito positivo da interação P × S sobre os valores de AcPfr são explicados por estarem o P e o S relacionados com vários processos metabólicos na planta, tais como: síntese proteica, armazenamento e transferência de energia, crescimento e divisão celular, dentre outros (ALVAREZ V. et al., 2007; DECHEN & NACHTIGALL, 2007). Vale ressaltar, entretanto, a maior influência do P, cuja elevação das doses aumentou os valores de MSfr e TPfr, enquanto as doses de S não influenciaram ou pouco influenciaram essas variáveis, respectivamente (Tabelas 4 e 6).

### 4.3.2. Enxofre

As doses de P e S influenciaram o acúmulo de S das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro (Tabelas 12 e 13). Para as variáveis acúmulo de S na raiz (*acSr*), caule (*acSc*) e fruto (*acSfr*) a interação P × S foi significativa ( $p \leq 0,10$ ), enquanto que para as variáveis acúmulo de S na folha (*acPf*), muda (*acPm*) e total (*acPt*) a interação P × S foi não significativa, havendo, portanto, efeito isolado das doses de P e S.

**Tabela 12.** Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para os acúmulos de S nas partes morfológicas raiz (*acSr*), caule (*acSc*), folha (*acSf*), muda (*acSm*), fruto (*acSfr*) e total (*acSt*) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função das doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
<i>acSr</i>	$\hat{y} = 33,835 + 7,793^{***}P + 23,456^{***}S - 2,869^{\circ}P^2 - 3,151^*S^2 + 3,906^{***}PS$	0,52
<i>acSc</i>	$\hat{y} = 91,11 + 52,024^{\circ}P + 70,59^{***}S - 7,802^{***}P^2 - 12,725^{***}S^2 + 6,497^{***}PS$	0,10
<i>acSf</i>	$\hat{y} = 990,7 - 178,95^{***}P + 26,38^{***}P^2$	0,96
	$\hat{y} = 457,9 + 79,348^{***}S - 0,366^{***}S^2$	0,62
<i>acSm</i>	$\hat{y} = 238,8 + 34,326^{\circ}P$	0,31
	$\hat{y} = 481,5 - 165,19^*S + 26,934^*S^2$	0,93
<i>acSfr</i>	$\hat{y} = 9,17 + 0,861^{ns}P + 0,670^{ns}S - 0,320^{\circ}P^2 - 0,323^{\circ}S^2 + 0,458^{***}PS$	0,22
<i>acSt</i>	$\hat{y} = 1501,5 - 85,469^{***}P + 21,03^{**}P^2$	0,97
	$\hat{y} = 1217,0 - 83,835^{***}S + 31,97^*S^2$	0,79

\*\*\*, \*\*, \* e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Os valores de *acSt* e *acSf* variaram de forma quadrática com as doses de P e S, enquanto que o *acSm* aumentou linearmente com as doses de P e variou de forma quadrática em função das doses de S. Para as variáveis *acSr*, *acSc* e *acSfr* os fatores P e S variaram de forma quadrática, sendo a interação positiva (Tabela 12).

Houve grande variação nos acúmulos de S nas diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro, que obedeceu a seguinte ordem decrescente: *acSt* > *acSf* > *acSm* > *acSc* > *acSr* > *acSfr* (Tabela 13).

**Tabela 13.** Acúmulo de S nas partes morfológicas raiz (*acSr*), caule (*acSc*), folha (*acSf*), muda (*acSm*), fruto (*acSfr*) e total (*acSt*) de abacaxizeiros ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Dose				Parte Morfológica/Acúmulo de S					
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	<i>acSr</i>	<i>acSc</i>	<i>acSf</i>	<i>acSm</i>	<i>acSfr</i>	<i>acSt</i>
-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----mg planta <sup>-1</sup> -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	32,8	166,9	965,3	553,0	7,9	1374,1
7,2	2,8	16	6,7	25,6	212,5	490,2	91,5	7,9	1092,8
7,2	2,8	7,2	2,8	102,3	715,3	1356,1	172,6	6,4	1265,9
7,2	2,8	16	6,7	133,7	134,7	819,61	1353,6	7,7	1337,3
7,2	6,7	7,2	2,8	64,5	299,5	678,3	206,3	8,5	1890,9
7,2	6,7	16	6,7	89,3	77,3	423,8	578,2	8,7	1268,4
7,2	6,7	7,2	2,8	32,8	166,9	965,3	553,0	7,9	1725,9
7,2	6,7	16	6,7	25,6	212,5	490,2	91,5	7,9	827,9
16	2,8	7,2	2,8	102,3	715,3	1356,1	172,6	6,4	2352,5
16	2,8	7,2	6,7	133,7	134,7	819,6	1353,6	7,7	2449,4
16	2,8	16	2,8	64,5	299,5	678,3	206,3	8,5	1257,2
16	2,8	16	6,7	89,3	77,3	423,8	578,2	8,7	1177,3
16	6,7	7,2	2,8	54,6	832,9	906,2	399,6	8,9	2202,3
16	6,7	7,2	6,7	132,0	67,5	732,5	335,2	7,6	1274,9
16	6,7	16	2,8	225,2	189,8	1338,2	349,7	6,5	2124,4
16	6,7	16	6,7	89,2	166,6	679,0	263,5	8,9	1207,3
1,2	2,8	7,2	2,8	102,2	303,2	1027,8	129,3	8,5	1571,2
22,8	6,7	16	6,7	67,6	130,8	834,0	192,5	8,5	1233,4
7,2	0,48	7,2	2,8	92,0	232,6	1062,0	274,6	7,9	2127,5
16	9,1	16	6,7	117,3	199,7	1583,1	567,5	10,0	2477,7
7,2	2,8	1,2	2,8	219,9	155,5	508,8	919,8	7,9	1897,9
16	6,7	22,8	6,7	61,7	287,9	1645,9	1653,7	8,7	3457,9
7,2	2,8	7,2	0,48	16,1	123,3	361,2	630,8	9,2	1140,6
16	6,7	16	9,1	184,0	156,5	1239,2	1206,2	8,7	3323,1
12	4,8	12	4,8	191,9	406,3	716,2	162,0	8,6	1485,1
1,2	0,48	1,2	0,48	58,3	165,6	382,5	113,8	8,7	729,0
Média				96,5	255,0	864,7	504,2	8,2	1702,8

Os  $acSf$  e  $acSt$  máximos foram de 687 e 1.415 mg planta<sup>-1</sup> e estimados com as doses de 3,4 e 2,0 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, sendo o  $acSm$  máximo obtido na maior dose de P (9,1 g planta de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Quanto ao S, os valores de  $acSf$ ,  $acSm$  e  $acSto$  foram maximizados com as doses de 9,1; 3,1 e 2,0 g planta<sup>-1</sup> de S, respectivamente. Por outro lado, os  $acSr$ ,  $acSc$  e  $acSfr$  estimados com as doses de P e S de forma isolada foram inferiores aos estimados com as doses combinadas desses dois nutrientes (Tabelas 12 e 13).

O efeito positivo das doses de P sobre os  $acSf$ ,  $acSm$  e  $acSt$  revelam efeitos sinérgicos do P com S, manifestados pelo aumento na absorção e acúmulo de S nas partes morfológicas que apresentaram os maiores acúmulos de S (Tabela 13); isto se deve, provavelmente, ao fato de estarem o P e o S relacionados com diversos processos metabólicos na planta (HAWKESFORD et al., 2012).

Por outro lado, o efeito positivo das doses de S sobre os  $acSf$ ,  $acSm$  e  $acSt$  pode ser justificado pela elevação dos valores de matéria seca destas partes morfológicas em função das doses de S, pois os  $tSf$  e  $tSm$  foram influenciados de forma negativa pela interação P × S (Tabela 12). O S é fundamental para a produção de diversos produtos essenciais ao metabolismo e crescimento das plantas (aminoácidos, proteínas, clorofila, vitaminas e hormônios) (HAWKESFORD et al., 2012). França et al. (1988) também constataram efeitos positivos adubação sulfatada sobre o acúmulo de S na folha, muda e planta inteira do abacaxizeiro ‘Pérola’, cultivado em Neossolo Regolítico de Piracicaba, São Paulo.

O efeito positivo da interação P × S para  $acSr$ ,  $acSc$  e  $acSfr$  indica que a aplicação dos dois nutrientes juntos aumentou o acúmulo de S nas referidas partes morfológicas, corroborando, novamente, as afirmações de Alvarez V. et al. (2007) sobre a elevada resposta positiva das culturas à adição conjunta de P e de S. Vale ressaltar, entretanto, que individualmente os efeitos de P foram mais pronunciados sobre os valores de  $msr$ ,  $msfr$  e  $tSc$ , enquanto que o S exerceu maior influência sobre os valores de  $msc$  e  $tSr$  e  $tSc$ .

De forma geral, os resultados obtidos nesse trabalho reforçam a ideia de que a interação P × S é muito importante para a nutrição adequada do abacaxizeiro. Contudo, ela precisa ser mais estudada para melhorar a compreensão dos fenômenos envolvidos e potencializar seus efeitos no manejo nutricional e na produtividade da cultura.

## 4.4 Eficiência Nutricional

### 4.4.1 Eficiência nutricional de P

A influência das doses de P e S sobre os valores das diversas eficiências de P estudadas também ocorreu de forma diferenciada (Tabelas 15 e 16). As eficiências de translocação (*EftraP*), absorção (*EfabsP*) e recuperação (*EfrecP*) foram influenciadas apenas pelas doses de P. Contudo, para as eficiências de utilização (*EfutzP*) e conversão (*EfconP*) a interação  $P \times S$  foi significativa ( $p \leq 0,10$ ), ou seja, o efeito dos nutrientes foi interdependente.

**Tabela 14.** Equações de regressão ajustadas e valores de  $R^2$  para as eficiências de utilização (*EfutzP*), conversão (*EfconP*), translocação (*EftraP*), absorção (*EfabsP*) e recuperação (*EfrecP*) de P pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	$R^2$
<i>EfutzP</i>	$\hat{y} = 2267,29 - 304,04^{***}P - 45,35^{ns}S + 16,72^*P^2 + 14,30^{\circ}PS$	0,39
<i>EfconP</i>	$\hat{y} = 2365,95 - 329,59^{***}P - 46,30^{ns}S + 18,69^{***}P^2 + 14,99^{\circ}PS$	0,37
<i>EftraP</i>	$\hat{y} = 0,950 + 0,0015^{\circ}P$	0,36
<i>EfabsP</i>	$\hat{y} = 0,009 + 0,0009^{**}P$	0,50
<i>EfrecP</i>	$\hat{y} = 0,9485 - 0,2562^*P + 0,0185^*P^2$	0,98

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Com exceção da *EfrecP*, as equações de regressão ajustadas apresentaram valores de  $R^2$  relativamente baixos (Tabela 14). Adicionalmente, observou-se que a interação  $P \times S$  foi positiva para *EfutzP* e *EfconP*; ademais, a *EftraP* e *EfabsP* aumentaram linearmente com as doses de P, enquanto os valores de *EfrecP* variaram de forma quadrática (Tabela 14).

Os valores máximos de *EftraP* e *EfabsP* foram maximizados na dose de 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto que a *EfrecP* mínima (6,0 %) foi estimada com a dose de 6,92 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Por outro lado, devido a interação  $P \times S$  positiva os valores de *EfutzP* e *EfconP* estimados com as doses de P e S isoladamente foram inferiores aos estimados com as doses de 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente (Tabelas 14 e 15).

**Tabela 15.** Eficiências de utilização (*EfutzP*), conversão (*EfconP*), translocação (*EfraP*) e absorção (*EfabsP*) de P pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	<i>EfutzP</i>	<i>EfconP</i>	<i>EfraP</i>	<i>EfabsP</i>
-----g/planta-----				-----g g <sup>-1</sup> -----		mg mg <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
7,2	2,8	7,2	2,8	1022,4	1056,2	0,97	0,020
7,2	2,8	16	6,7	1150,8	1194,9	0,96	0,017
7,2	2,8	7,2	2,8	1123,4	1158,7	0,97	0,017
7,2	2,8	16	6,7	1130,3	1191,4	0,95	0,010
7,2	6,7	7,2	2,8	1334,6	1393,2	0,96	0,013
7,2	6,7	16	6,7	1086,0	1142,5	0,95	0,010
7,2	6,7	7,2	2,8	1254,7	1312,5	0,95	0,010
7,2	6,7	16	6,7	2383,1	2480,4	0,96	0,007
16	2,8	7,2	2,8	1596,0	1107,8	0,96	0,010
16	2,8	7,2	6,7	1349,1	1397,9	0,96	0,010
16	2,8	16	2,8	1277,9	1309,8	0,97	0,017
16	2,8	16	6,7	2120,8	2162,0	0,98	0,013
16	6,7	7,2	2,8	1302,8	1343,2	0,97	0,017
16	6,7	7,2	6,7	2102,5	2216,2	0,95	0,010
16	6,7	16	2,8	1276,8	1329,6	0,96	0,010
16	6,7	16	6,7	2040,8	2084,1	0,95	0,010
1,2	2,8	7,2	2,8	1439,6	1493,6	0,96	0,010
22,8	6,7	16	6,7	2345,0	2481,4	0,95	0,010
7,2	0,48	7,2	2,8	1909,4	2004,1	0,95	0,010
16	9,1	16	6,7	1153,4	1181,9	0,97	0,020
7,2	2,8	1,2	2,8	555,5	578,2	0,96	0,020
16	6,7	22,8	6,7	2030,4	2153,8	0,94	0,010
7,2	2,8	7,2	0,48	1057,2	1092,1	0,97	0,010
16	6,7	16	9,1	1169,7	1209,0	0,96	0,010
12	4,8	12	4,8	1567,4	1625,5	0,96	0,010
1,2	0,48	1,2	0,48	2598,2	2719,7	0,94	0,006
Média				1514,5	1554,6	0,96	0,012

O aumento da  $E_{fabsP}$  com a elevação das doses de P indica que houve aumento na taxa de absorção de P por unidade de massa radicular, sendo que, em média, cada grama de matéria seca de raiz do abacaxizeiro acumulou 12 mg de P (Tabela 15). Ademais, a variação na  $E_{fabs}$  tem sido relacionada a diferenças no número e comprimento dos pelos radiculares, estabelecimento de associações simbióticas, expressão de transportadores de alta afinidade e alterações na região da rizosfera (ZAMBROSI et al., 2012).

A alta eficiência absorptiva otimiza a recuperação dos fertilizantes aplicados, sobretudo os pouco solúveis, como o P (PINTO et al., 2011). Para eucalipto, planta de caráter acidófilo como o abacaxizeiro, hipotetiza-se que o mecanismo desenvolvido para sobrevivência em solos de baixo teor de P disponível seria resultado de interações entre exsudatos de raízes, microrganismos e íons  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , de maneira a promover a solubilização de  $FePO_4$  e  $AlPO_4$  (LUCA et al., 2002).

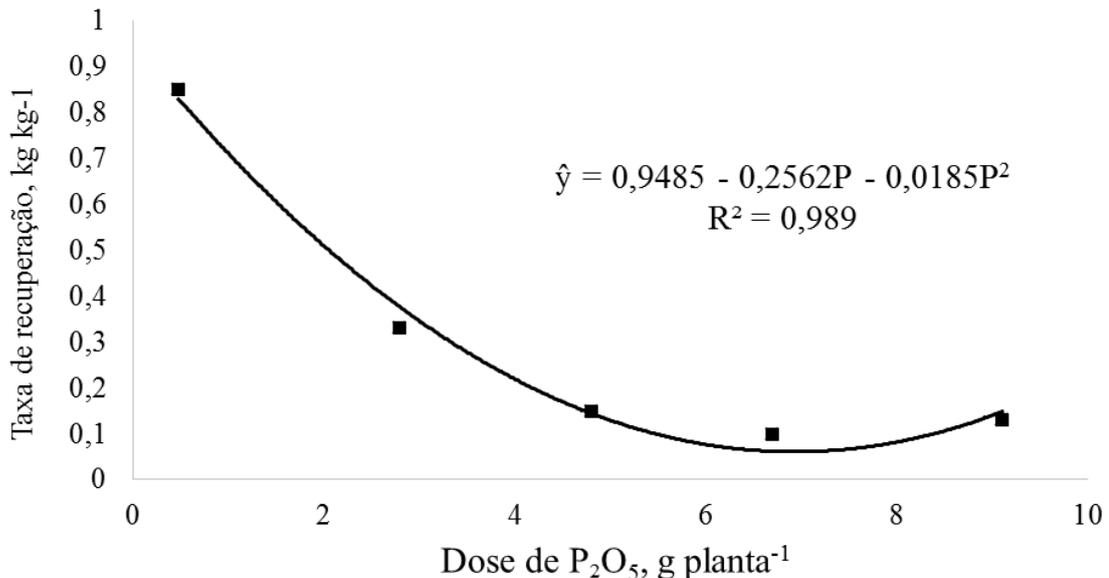
A  $E_{fraP}$  também aumentou com a elevação das doses de P, indicando que as mesmas influenciaram positivamente a capacidade das plantas em transportar o P da raiz para a parte aérea. No presente trabalho, observou-se que, em média, 96% do P acumulado nas raízes foi transportado para a parte aérea (Tabela 16). Esses resultados concordam com os relatados na literatura, os quais mostram que em plantas bem supridas em P, as raízes retêm menos P e translocam mais que as plantas deficientes (ALVES et al., 1998; ABICHEQUER et al., 2003).

A elevação dos valores de  $E_{futzP}$  e  $E_{fconP}$  com a aplicação conjunta de P e S indica que esses nutrientes atuaram de forma sinérgica na elevação da massa de matéria seca produzida pelo abacaxizeiro por unidade de P acumulado na planta inteira e na parte aérea, respectivamente (Tabela 16). Novamente, isso se deve, provavelmente, ao fato de estarem o P e o S relacionados com diversos processos metabólicos na planta (ALVAREZ V. et al., 2007; HAWKESFORD et al., 2012).

Ainda com relação aos valores de  $E_{futzP}$  e  $E_{fconP}$ , verificou-se que, em média, as plantas transformaram um grama de P acumulado na planta inteira e na parte aérea em 1,51 e 1,55 kg de matéria seca, respectivamente (Tabela 16). Em condições de deficiência, as  $E_{futzP}$  e  $E_{fconP}$  são aumentadas como resultado de alterações na atividade de enzimas na rota da glicólise, que passam a operar em vias alternativas no catabolismo de carboidratos durante a deficiência, contribuindo para uso mais eficiente do P por meio de reciclagem, redução de consumo e utilização de outras frações do nutriente (ZAMBROSI et al., 2012).

A  $E_{frecP}$  pelo abacaxizeiro diminuiu com o aumento das doses de P, indicando menor aproveitamento pela planta do P aplicado via fertilizante nas maiores doses (Tabela 16 e

Figura 1), o que se deve a incapacidade da planta absorver toda a quantidade de nutriente aplicado ao solo via fertilizante (SILVA, 2006). Pela equação de regressão ajustada observa-se que a máxima  $E_{\text{frecP}}$  ( $0,85 \text{ kg kg}^{-1}$ ) foi obtida na dose  $0,48 \text{ g planta}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , enquanto que a mínima ( $0,03 \text{ kg kg}^{-1}$ ) foi registrada na maior dose de P ( $9,1 \text{ g planta}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), sendo a  $E_{\text{frecP}}$  média de  $0,23 \text{ kg kg}^{-1}$  (Figura 1).



**Figura 1.** Eficiência de recuperação de P ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de P aplicadas

Os valores obtidos neste trabalho são inferiores aos 53% reportados por Ahmed et al. (2006) para o abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia. Contudo, deve-se ressaltar que o autor testou apenas uma dose [ $36 \text{ kg ha}^{-1}$  na forma de fosfato de rocha (14% de P) aos 83, 144, 209 e 263 dias após o plantio]. Em Argissolo Amarelo de Sapé-PB, Silva (2006) observou ampla variação nos valores de  $E_{\text{frecP}}$  pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ ( $0,07 - 0,76 \text{ kg kg}^{-1}$ ) com doses entre 8 e  $152 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , estimando-se valor médio de  $0,21 \text{ kg kg}^{-1}$ , o que se aproxima do valor desse trabalho.

Conforme Baligar et al. (2001), a recuperação do P aplicado é, geralmente, menor que 10%, devido as perdas por lixiviação, fixação e erosão. Ademais, a baixa recuperação de P está associada à baixa capacidade das plantas em absorvê-lo e a baixa difusão do P no solo, dificultando o contato com as raízes das plantas (FAGERIA, 1998).

#### 4.4.2 Eficiências de S

As doses de P e S influenciaram de forma diferenciada os valores das diversas eficiências de S avaliadas (Tabelas 16 e 17). A eficiência de utilização (*EfutzP*) foi influenciada pelas doses de P isoladamente; a de absorção (*EfabsP*) pelas doses de P e S de forma isolada e a de recuperação (*EfrecP*) apenas pelas doses de S. Contudo, para as eficiências de conversão (*EfconP*) e translocação (*EftraS*) a interação P × S foi significativa ( $p \leq 0,10$ ), ou seja, o efeito dos nutrientes foi interdependente.

**Tabela 16.** Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para as eficiências de utilização (*EfutzS*), conversão (*EfconS*), translocação (*EftraS*) e absorção (*EfabsS*) de S pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
<i>EfutzS</i>	$\hat{y} = 786,16 - 35,0^*P$	0,23
<i>EfconS</i>	$\hat{y} = 839,24 + 23,21^{***}P - 76,53^*S - 10,56^{ns}P^2 + 11,83^{**}OS$	0,36
<i>EftraS</i>	$\hat{y} = 0,961 - 0,0081^{ns}P - 0,0210^{**}S + 0,0036^{**}P^2 + 0,0042^{***}S^2 - 0,0047^{***}PS$	0,50
<i>EfabsS</i>	$\hat{y} = 0,033 - 0,0077^{***}P + 0,0012^{***}P^2$	0,94
	$\hat{y} = 0,0162 + 0,0029^{***}S$	0,62
<i>EfrecS</i>	$\hat{y} = 0,9733 - 0,275^*S + 0,0219^*S^2$	0,99

\*\*\*, \*\*, \*, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Com exceção da *EfutzS*, *EfconS* e *EftraS*, as equações de regressão ajustadas apresentaram valores de R<sup>2</sup> altos (Tabela 16). Adicionalmente, observou-se que a interação P × S foi positiva para *EfconS* e negativa para *EftraS*; ademais, a *EfutzS* diminuiu linearmente com as doses de P, respectivamente, enquanto os valores de *EfabsS* variaram de forma quadrática com as doses de P e aumentaram linearmente com as doses de S. Os valores de *EfrecS* variaram de forma quadrática com as doses de S (Tabela 16).

**Tabela 17.** Eficiência de utilização (*EfutzS*), conversão (*EfconS*), translocação (*EfraS*) e absorção (*EfabsS*) de S pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de P e S aplicadas

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	<i>EfutzS</i>	<i>EfconS</i>	<i>EfraS</i>	<i>EfabsS</i>
-----g planta <sup>-1</sup> -----				-----g g <sup>-1</sup> -----		mg mg <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
7,2	2,8	7,2	2,8	564,4	644,1	0,87	0,033
7,2	2,8	16	6,7	790,9	915,5	0,86	0,017
7,2	2,8	7,2	2,8	608,1	674,8	0,89	0,020
7,2	2,8	16	6,7	595,3	614,7	0,96	0,017
7,2	6,7	7,2	2,8	441,0	445,8	0,98	0,033
7,2	6,7	16	6,7	792,3	878,9	0,90	0,013
7,2	6,7	7,2	2,8	444,1	452,6	0,94	0,033
7,2	6,7	16	6,7	1173,5	1210,2	0,96	0,010
16	2,8	7,2	2,8	340,3	355,9	0,95	0,060
16	2,8	7,2	6,7	345,8	366,2	0,94	0,040
16	2,8	16	2,8	563,4	594,2	0,94	0,030
16	2,8	16	6,7	3030,0	844,3	0,92	0,020
16	6,7	7,2	2,8	390,9	400,8	0,97	0,050
16	6,7	7,2	6,7	697,3	779,8	0,89	0,020
16	6,7	16	2,8	422,0	473,0	0,88	0,030
16	6,7	16	6,7	765,3	825,5	0,92	0,020
1,2	2,8	7,2	2,8	503,8	538,9	0,92	0,020
22,8	6,7	16	6,7	679,7	719,3	0,94	0,020
7,2	0,48	7,2	2,8	414,7	433,4	0,95	0,040
16	9,1	16	6,7	382,5	402,0	0,95	0,060
7,2	2,8	1,2	2,8	437,1	508,5	0,86	0,030
16	6,7	22,8	6,7	245,5	250,0	0,97	0,070
7,2	2,8	7,2	0,48	715,4	726,7	0,98	0,020
16	6,7	16	9,1	294,1	311,3	0,94	0,050
12	4,8	12	4,8	633,6	730,3	0,86	0,020
1,2	0,48	1,2	0,48	958,0	1042,7	0,91	0,010
Média				662,7	620,7	0,92	0,030

Os valores máximos de  $E_{futzS}$  (769,4 g g<sup>-1</sup>) foram estimados com a dose de 0,48 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto que as doses de 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 3,2 g planta<sup>-1</sup> de S maximizaram os valores de  $E_{fabsS}$  (0,042 g g<sup>-1</sup>). Por outro lado, a  $E_{frecS}$  mínima (11,0 %) foi estimada com a dose de 6,27 g planta<sup>-1</sup> de S. Devido a interação P × S positiva os valores de  $E_{fconS}$  estimados com as doses de P e S isoladamente foram inferiores aos estimados com as doses de P e S combinadas, ocorrendo o inverso para  $E_{ftraS}$  (Tabelas 16 e 17).

O aumento da  $E_{fabsS}$  com a elevação das doses de S indica que houve aumento na taxa de absorção de S por unidade de massa radicular. Em média, cada grama de matéria seca de raiz do abacaxizeiro acumulou 30 mg de S (Tabela 17), representando um aumento de 2,5 vezes em relação a  $E_{fabsP}$  (Tabela 15); entretanto, esse aumento não caracterizou “consumo de luxo”, pois os valores de Msto aumentaram com as doses de S (Tabela 4). Para algumas fruteiras (banana, laranja, videira), a demanda por S pode ser maior que por P, indicando que a disponibilidade de S deve ser preocupação desde o plantio das lavouras, dependendo da “riqueza” desse nutriente no solo (ALVAREZ V. et al., 2007).

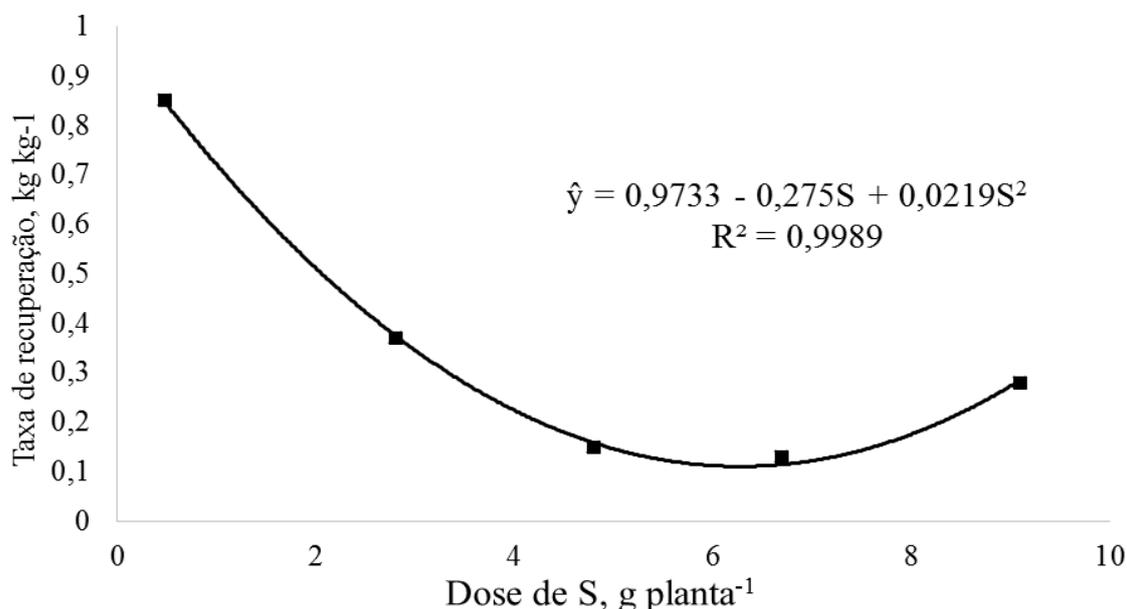
A redução nos valores de  $E_{fabsS}$  e  $E_{futzS}$  com a elevação das doses de P indica que o P afetou negativamente a taxa de absorção de S por unidade de massa radicular e a massa de matéria seca produzida pelo abacaxizeiro por unidade de S acumulado na planta inteira (Tabela 17). Tais resultados são, provavelmente, decorrentes da competição dos íons sulfato e fosfato pelos sítios de absorção nas raízes ou pelas mesmas vias de absorção no interior de células das raízes, caule ou folhas, e, adicionalmente da diminuição, pelo fosfato, dos teores de sulfato em solução (AULAKH & PASRICHA, 1977).

A elevação dos valores de  $E_{fconS}$  com a aplicação conjunta de P e S indica que esses nutrientes atuaram de forma sinérgica na elevação da massa de matéria seca produzida pelo abacaxizeiro por unidade de S acumulado na parte aérea (Tabela 17). Costa et al. (2005) observaram que mesmo não havendo diferenças nos teores em função da elevação das doses, houve maior valor de  $E_{fconS}$  para o capim Tanzânia quando se aplicaram doses mais baixas de S.

Por outro lado, a diminuição dos valores de  $E_{ftraS}$  com a aplicação conjunta de P e S indica que esses nutrientes atuaram de forma antagônica na capacidade das plantas em transportar o P da raiz para a parte aérea. No presente trabalho, observou-se que, em média, 92% do S acumulado nas raízes foi transportado para a parte aérea (Tabela 17). O sulfato absorvido é translocado através do xilema para as folhas, onde é reduzido e incorporado a

esqueletos carbônicos, sendo esses processos metabólicos influenciados e dependentes do balanceamento dos teores de P e S (ALVAREZ V. et al., 2007).

A *EfrecS* pelo abacaxizeiro diminuiu com o aumento das doses de S, indicando menor aproveitamento pela planta do S aplicado via fertilizante nas maiores doses (Tabela 17 e Figura 2), o que se deve a incapacidade da planta absorver toda a quantidade de nutriente aplicado ao solo via fertilizante (SILVA, 2006). Pela equação de regressão ajustada observa-se que a máxima *EfrecS* (0,85 kg kg<sup>-1</sup>) foi obtida na dose 0,48 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto a mínima (0,10 kg kg<sup>-1</sup>) foi registrada na dose de 6,3 g planta<sup>-1</sup> de S, sendo a *EfrecS* média de 0,36 kg kg<sup>-1</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Taxa de recuperação de S (kg kg<sup>-1</sup>) pelo abacaxizeiro, em função das doses de S aplicadas

Os valores obtidos neste trabalho coincidem com os 0,36 kg kg<sup>-1</sup> reportados por França et al. (1988) para o abacaxizeiro ‘Pérola’, em Neossolo Regolítico do Estado de São Paulo. Contudo, deve-se ressaltar que o autor testou apenas uma dose (4,2 g planta<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio e superfosfato simples aos 30, 120 e 240 dias após o plantio). Em Argissolo Amarelo de Sapé-PB, Silva (2006) observou ampla variação nos valores de *EfrecS* pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ (0,06 - 0,62 kg kg<sup>-1</sup>) com doses entre 3,0 e 42 kg ha<sup>-1</sup> de S, estimando-se valor médio de 0,28 kg kg<sup>-1</sup>, o que se aproxima do valor desse trabalho.

Conforme Aula et al. (2019), a recuperação do S aplicado via fertilizantes pelas culturas anuais é de 18%, devido as perdas por lixiviação, imobilização, retenção em resíduos e adsorção. Em razão disso torna-se necessário a adoção e combinação de práticas agronômicas que integrem o conceito 4R (dose, fonte, época e parcelamento) para aumentar a eficiência nutricional quanto ao S (FAGERIA, 1998).

## 5. Conclusão

As doses de P e S aumentam os valores de massa seca de folha, muda, fruto e total, mas diminuem os de raiz e caule;

Os teores de P e S na raiz, caule e fruto aumentam com as doses dos respectivos nutrientes, havendo antagonismo entre os nutrientes P e S nas folhas e mudas;

As doses de P aumentam os acúmulos de P na raiz, folha e total, enquanto as de S aumentam os acúmulos de S na folha e diminuem os de muda e total; P e S atuam sinergicamente nos acúmulos de P e S no fruto, e de S na raiz e caule, havendo antagonismo entre P e S no acúmulo de P no caule;

A elevação das doses de P e S aumentam as eficiências de absorção e translocação (apenas P), mas reduzem a eficiência de recuperação dos respectivos nutrientes; as doses de P e S atuam de forma sinérgica nas eficiências de utilização (apenas P) e conversão desses nutrientes, havendo antagonismo entre P e S na eficiência de translocação de S;

As eficiências de recuperação de P e S diminuem com o aumento das doses aplicadas, passando de 0,85 para 0,03 kg kg<sup>-1</sup> e de 0,85 para 0,10 kg kg<sup>-1</sup> com a elevação das doses de 0,48 para 9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S, respectivamente; as taxas de recuperação média de P e S pelo abacaxizeiro são de 23,0 e 36,0%, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A.D. et al. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.373-378, 2003.
- ALI, M.M. et al. Interaction effects of sulphur and phosphorus on wetland rice. **Asian Journal of Plant Sciences**, Dubai, v.3, n.5, p.597-601, 2004.
- AHMED, O.H. HUSNI, M.H.A.; HANAFI, M.M. Phosphorus loss of phosphorus fertilizer applied to tropical peat soils in pineapple cultivation. **International Journal of Soil Science**, Dubai, v.1, n.1, p.85-90, 2006
- ALVAREZ V., V.H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.27-32, 2000.
- ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. (eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, 359p.
- ALVAREZ V., V.H. et al. Enxofre. In: NOVAIS, R.F. et al. (eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.545-644.
- ALVES, V.M.C. et al. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho submetidos a duas doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.1047-1052, 1998.
- AMADO, T.J.C. et al. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n.6, p. 1641-1650, 2013.
- AMARAL, J.F.T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n.4, p. 621-629, 2011.
- AULA, L. et al. World sulfur use efficiency for cereal crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.111, n.5, p.2485-2492, 2019.
- AULAKH, M.; PASRICHA, N. Interaction effect of sulphur and phosphorus on growth and nutrient content of moong (*Phaseolus aureus* L.). **Plant and Soil**, Netherlands, v.47, p. 341-350, 1977.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v.32, n.7-8, p.921-95, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. **I Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 638p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE, Série Pedológica, 8).
- CAETANO, L.C.S. et al. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n.3, p.883-890, 2013.
- CHOAIRY, S.A. & FERNANDES, P.D. Adubação fosfatada em abacaxizeiro, cultivar 'Smooth Cayenne'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., Recife, PE, 1981. **Anais...** Recife, Soc. Bras. Frutic., 1981. v.1, p.59-66

- CHOAIRY, S.A.; FERNANDES, P.D. Adubação NPK em abacaxi (*Ananas comosus* L, cv. Smooth Cayenne). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.6, p. 67-76, 1986.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras**. Brasília: CONAB (Compêndio de Estudos Conab, v.24). 44p. 2020
- COSTA, K.A.P et al. Produção de massa seca, eficiência e recuperação do nitrogênio e enxofre pelo capim-Tanzânia adubado com nitrogênio, potássio e enxofre. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n.3, p.598-603, 2005.
- CPRM – COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS. **Diagnóstico do município de Itapororoca estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM. 2005. 10p.
- CRAVO, M.S. et al. Efeitos da interação fósforo x enxofre sobre a produção de matéria seca e sobre os níveis críticos de P e S no solo e em plantas de soja (*Glycine max* L.) em solos com e sem calagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, n. 179, p.12-30, 1985.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 91-132. 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212 p., 1997.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.6-16, 1998.
- FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York, Marcel Dekker, 1992. 274p.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; LI, Y.C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.31, n.6, p.1121-1157, 2008.
- FARIAS, D.R. et al. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. II - Disponibilidade de fósforo para plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.3, p.633-646, 2009.
- FRANÇA, G.E. et al. Curva de crescimento, concentração e absorção de cálcio, magnésio e enxofre pelo abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill) variedade Pérola durante um ciclo de produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 63, n.3, p.273-294, 1988.
- GUARÇONI M.A.; VENTURA, J.A. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi ‘Gold’ (MD-2). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1367-1376, 2011.
- HAWKESFORD, M. et al. Function of macronutrients. In MARSCHNER, P. (ed.) **Marschner’s mineral nutrition**. 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier Ltd., Oxford, UK. p.135-178. 2012.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 15 fev. 2020.
- ISLAM, M.; MOHSAN, S.; ALI, S. Interactive effect of sulfur and phosphorus on nodulation, nitrogen fixation, and nutrient uptake by chickpea grown on calcareous soils in Pakistan. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.36, n.11, p.1649-1658, 2013.

- LI, B. et al. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Oxford, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- LUCA, E. F. de et al. Eficiência de absorção e utilização de fósforo ( $^{32}\text{P}$ ) por mudas de eucalipto e arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n.3, p. 543-547, 2002.
- MAIA, V.M. et al. Diagnosis and management of nutrient constraints in pineapple. In: SRIVASTAVA, A.K.; HU, C. (Org.). **Fruit Crops: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints**. Amsterdam: Elsevier, p.739-757, 2019.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 638p, 2006.
- MALÉZIEUX, E.; BARTHOLOMEW, D. P. Plant nutrition. In: BARTHOLOMEW, D. P.; PAUL, R. E.; ROHRBACH, K. G. (Eds). **The Pineapple: botany, production and uses**. Honolulu: CAB, p.143-165, 2003.
- MARCHAL, J. Le phosphore chez l'ananas. **Fruits**, Paris, v.26, n.3, p.189-205, 1971.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.
- MOREIRA, A. et al. Phosphorus, potassium and sulfur interactions in soybean plants on a typic Hapludox, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v.49, n.4, p. 405-415, 2018.
- NOGUEIRA, M.A. et al. Ensaio de adubação NPK em abacaxi nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária do Nordeste**, Recife, v.2, n.1, p.57-71, 1970.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p.471-550, 2007.
- OLIVEIRA, E.F. et al. **Abacaxi: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano**. João Pessoa: EMEPA, 2002. 38p.
- PEGORARO, R.F. et al. Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated 'Vitória' pineapple plant. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p.896-904, 2014.
- PINTO, S.I.C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n.2, p. 523-533, 2011.
- PROCHNOW, L. I. et al. Nutrient use efficiency in Brazil. In: ESPINOSA, J.; GARCIA, F. (eds.). **Nutrient use efficiency**. São Jose: IPNI, p. 24-34, 2009.
- RAMOS, M.J.M. et al. Sintomas visuais de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro 'Imperial'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.252-256, 2009.
- RODRIGUES, J.B.B. **Estado nutricional do abacaxizeiro 'Pérola' adubado com NPK e enxofre**. 2016. 43f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- SANTOS, F. C. et al. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.4, p. 1661-1674, 2008.
- SAS Institute Inc. 2015. **SAS University edition virtual application**. Cary, North Caroline, USA. 2015.
- SALVAGIOTTI, F. et al. N:P:S stoichiometry in grains and physiological attributes associated with grain yield in maize as affected by phosphorus and sulfur nutrition. **Field Crops Research**, Dordrecht, v.203, n.1, p.128-138, 2017.

- SILVA, A.P. et al. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p.1269-1280, 2009.
- SILVA, A.P. **Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro**. 2006. 176f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SOUZA JÚNIOR, R. F. et al. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.159-170, 2012.
- SOUZA, L.F.S. Exigências edáficas e nutricionais. In: CUNHA, G.A.P.; CABRAL, J.R.S. & SOUSA, L.F.S. **O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia**. Brasília: EMBRAPA, 1999, p.67-83.
- SPIRONELLO, A. et al. Pineapple yield and fruit quality affected by NPK fertilization in a tropical soil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p.55-159, 2004.
- SWIADER, J. M., CHYAN, Y., FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.17, n.10, p. 1687-1699, 1994.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, (Trad.), 2004, 729p.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2 ed., Porto Alegre: UFRGS, 174p., 1995.
- TOMAZ, M.A. et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.885-892, 2003.
- UCHÔA, S. C. P. **Dinâmica de formas lábeis e não lábeis de enxofre no solo**. 1999. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant and Soil**, Netherlands ,v. 339, p.513-520. 2010.
- ZAMBROSI, F.C.B. et al. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.485-496, 2012.