



# Eficiência nutricional de fósforo e enxofre pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ em função de doses de P e S

Nutritional efficiency of phosphorus and sulfur by pineapple ‘Pérola’ as a function of P and S doses

R. A. Andrade<sup>1</sup>; A. P. Silva<sup>2\*</sup>; R. W. C. Raposo<sup>2</sup>; J. L. A. Rocha<sup>3</sup>; A. A. Rodrigues<sup>4</sup>; J. B. B. Rodrigues<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, 58397-000, Areia-PB, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, 58397-000, Areia-PB, Brasil

<sup>3</sup>Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, 58840-000, Pombal-PB, Brasil

<sup>4</sup>Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária, 58048-010, João Pessoa-PB, Brasil

<sup>5</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 68.250-000, Óbidos-PA, Brasil

\*paivadasilva@gmail.com

(Recebido em 18 de março de 2022; aceito em 29 de junho de 2022)

A crise mundial do mercado de fertilizantes implica a necessidade de otimizar a eficiência nutricional das culturas. Este trabalho objetivou estabelecer índices de eficiência nutricional para fósforo (P) e enxofre (S) no abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses destes nutrientes num Argissolo Vermelho-Amarelo da Mata Paraibana. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram arranjados 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>). Em amostragem realizada após a colheita, determinaram-se os valores de massa da matéria seca (*ms*), teor (*t*) e acúmulo (*ac*) de P e S nas diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro; em seguida, calcularam-se as eficiências de utilização (*Efutz*), conversão (*Efcon*), translocação (*Eftra*), absorção (*Efab*) e recuperação (*Efrec*). As doses de P e S aumentaram as *Efab* 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 *Eftra*S. As *Efrec*P e *Efrec*S 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 foram de 0,23 e 0,36 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

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

The global crisis in the fertilizer market implies the need for nutritional efficiency in crops. This work aimed to establish nutritional efficiency indices for phosphorus (P) and sulfur (S) in pineapple ‘Pérola’, as a function of doses of these nutrients in a Red-Yellow Argisol of Mata Paraibana. The experimental design was randomized blocks with three replications. The treatments were arranged in a modified Plan Puebla III Experimental Matrix, and resulted from the combination of five doses of P (0.48; 2.8; 4; 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>). After harvest, the values of dry matter mass (*dm*), content (*c*) and accumulation (*ac*) of P and S were determined in different parts of the pineapple plant, then calculated as efficiency of use (*Efutz*), conversion (*Efcon*), translocation (*Eftra*), absorption (*Efab*) and recovery (*Efrec*). The doses of P and S increased as *Efab* and *Eftra* (P only), but reduced the *Efrec* of the respective nutrients. There was synergism between the doses of P and S for *Efutz* (only P) and *Efcon* these nutrients, and antagonism for *Eftra*S. *Efrec*P and *Efrec*S decrease 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 average recovery rates of P and S by pineapple were 0.23 and 0.36 kg kg<sup>-1</sup>, respectively.

Key-words: *Ananas comosus* comosus, nutritional balance, recovery rates.

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo da disponibilidade de fósforo (P) e enxofre (S) em solos tropicais é bastante complexo, devido aos diferentes equilíbrios e processos que influenciam as formas disponíveis às plantas [1]; contudo, P e S interagem positivamente no crescimento e produção das culturas, indicando a existência de um equilíbrio dinâmico entre esses ânions [1, 2].

A crise mundial de oferta de fertilizantes implica a necessidade de otimizar a eficiência nutricional das culturas. Assim, estudos sobre aquisição de nutrientes pelas raízes (e parte aérea) e utilização desses pelas plantas para transformação em produto colhido é uma exigência cada vez mais importante para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola [3].

A eficiência nutricional está relacionada à demanda de nutrientes em nível celular, à compartimentalização, utilização na parte aérea, no transporte a curta e a longa distância, na afinidade do sistema de absorção, concentração mínima e nas modificações na rizosfera [4]. Dessa forma, a eficiência nutricional engloba os processos de absorção, translocação, uso e recuperação dos nutrientes pelas plantas [3].

A eficiência nutricional baseada no índice ou taxa de recuperação de nutrientes para 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 [3]. 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 necessária melhor compreensão do efeito desses fatores na absorção e na utilização de nutrientes pela planta [5].

A dose é o fator de manejo que mais interfere nos valores de taxa de recuperação de nutrientes pelas culturas [3, 5]. Teoricamente, esses valores diminuem 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) [6].

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 para a cultura [7]. Ao avaliarem a eficiência de recuperação de P pelo abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia, Ahmed et al. (2006) [8] constataram que 53,0% da dose aplicada foi recuperada pela planta, fato que atribuíram a baixa dose de P aplicada. Em relação ao S, França et al. (1988) [9] verificaram que apenas 36,0% da dose aplicada foi recuperada pela planta.

Pelo exposto, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer índices de eficiência nutricional para P e S no abacaxizeiro ‘Pérola’, em função da aplicação de doses crescentes destes nutrientes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo constou de um ensaio de adubação realizado no período de dezembro de 2014 a junho de 2016 na propriedade Quandú, 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 [10].

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 [10].

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, e o relevo local é do tipo suave ondulado [11, 12]. Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,20m, para fins de caracterização química e física [13, 14] (Tabela 1).

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

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.

Tabela 1: 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, conforme Alvarez V. et al. (2000) [15]; <sup>4/</sup> Capacidade máxima de adsorção de P; <sup>5/</sup> KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>6/</sup> Fosfato monocálcico (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) [16]; Ct = caulinita; Gt = goethita.

As doses de P foram divididas em duas aplicações, sendo a primeira aos 70 dias após o plantio - DAP (20-10-20) e a segunda aos 110 DAP na forma de fosfato monoamônico (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<sup>-1</sup> 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, P, K e S, as plantas de todos os tratamentos receberam 2,5 g planta<sup>-1</sup> 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.

A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método da neutralização do  $Al^{3+}$  e suprimento de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  [17]. A calagem foi realizada 60 dias antes do plantio, utilizando-se calcário dolomítico (PRNT de 62 %) na dose de  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ . 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 [18]. As mudas foram plantadas no sistema de fileiras duplas, no espaçamento de  $0,80 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}$ , resultando em uma densidade de  $41.667 \text{ plantas ha}^{-1}$ .

Os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas e o controle preventivo de pragas (cochonilha e broca dos frutos) e doenças (fusariose) foram realizados conforme as recomendações para o sistema de produção local [18]. 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 360 DAP, mediante aplicação de  $50 \text{ mL planta}^{-1}$  de solução de carbureto de cálcio a 1%, no centro da roseta foliar [18], sendo a colheita realizada aos 540 DAP.

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 foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a  $65^\circ \text{ C}$ , 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) [13].

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

A eficiência nutricional do abacaxizeiro foi avaliada por meio das eficiências de absorção (EA) e de utilização (EU), conforme Swiader et al. (1994) [19]; eficiências de conversão (EC) e de translocação (ET), de acordo com Li et al. (1991) [20]; e eficiência de recuperação (ER), segundo Fageria (1992) [21]:

a)  $EA = (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira}) / (\text{massa da matéria seca da raiz}), \text{ em } \text{mg mg}^{-1};$

b)  $EU = (\text{massa da matéria seca da planta inteira}) / (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira}), \text{ em } \text{mg de matéria seca mg}^{-1} \text{ de P ou S};$

c)  $EC = (\text{massa da matéria seca da planta inteira}) / (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da parte aérea}), \text{ em } \text{mg mg}^{-1};$

d)  $ET = (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da parte aérea}) / (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira}), \text{ em } \%;$

e)  $ER = (\text{acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira adubada} - \text{acúmulo de P ou S na matéria seca da planta inteira não adubada}) / (\text{dose de P ou S aplicada via fertilizante}), \text{ em } \%.$

Os dados foram 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 efeitos dos fatores ( $p < 0,10$ ), no significado biológico do fenômeno estudado e no coeficiente de determinação. Em todas as análises foi utilizado o software SAS [22].

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Eficiência nutricional de P

A eficiência de absorção de P (*Efabs*) aumentou linearmente com a elevação das doses de P, indicando incremento no conteúdo total de P proporcionalmente maior do que o aumento na massa da matéria seca da raiz (Tabela 2). Isso ocorre devido a relação positiva entre a concentração do nutriente no meio e o processo de absorção, o qual depende do número e comprimento de pelos radiculares, de associações simbióticas, da expressão de transportadores de alta afinidade, bem como de alterações rizosféricas [23].

Tabela 2: Equações de regressão ajustadas e valores de  $R^2$  para as eficiências de absorção (*Efabs*), utilização (*Efutz*), conversão (*Efcon*), translocação (*Eftra*) e recuperação (*Efrec*) de P pelo abacaxizeiro 'Pérola', em função de doses de P e S.

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

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

Conforme Pinto et al. (2011) [24], a alta eficiência absorptiva otimiza a recuperação dos fertilizantes aplicados, sobretudo os pouco solúveis, como o P. Para eucalipto, espécie de caráter acidófilo a exemplo do abacaxizeiro, os referidos autores hipotetizaram que o mecanismo desenvolvido para sobrevivência em solos com baixa disponibilidade de P resultaria 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  $AlPO_4$  [24].

A elevação dos valores de *Efutz*P e *Efcon*P com a aplicação conjunta de P e S (Tabela 2) indica que esses nutrientes atuaram de forma sinérgica no aumento da massa de matéria seca por unidade de P acumulado na planta inteira e na parte aérea, respectivamente. Isso se deve, provavelmente, ao fato de estarem o P e o S relacionados com diversos processos metabólicos na planta, incluindo síntese proteica, armazenamento e transferência de energia, crescimento e divisão celular, dentre outros [1, 25].

Ainda com relação aos valores de *Efutz*P e *Efcon*P, 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 (dados não apresentados). Em geral, sob condições de deficiência, as *Efutz*P e *Efcon*P são aumentadas devido as 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 [23].

Os valores de *Eftra*P também aumentaram linearmente com a elevação das doses de P (Tabela 2), indicando que as mesmas influenciaram positivamente a capacidade das plantas em transportar o P da raiz para a parte aérea. Em média, 96% do P acumulado nas raízes foi transportado para a parte aérea (dados não apresentados). Esses resultados concordam com os relatados na literatura, os quais mostram que em plantas bem supridas de P, as raízes retêm menos e translocam mais P do que àquelas deficientes [25].

Os valores de *Efrec*P diminuíram com o aumento das doses de P (Tabela 2), indicando menor aproveitamento das doses aplicadas, devido a incapacidade da planta absorver toda a quantidade do P aplicado via fertilizante nas maiores doses [7]. Pela equação de regressão ajustada a máxima *Efrec*P ( $0,85 \text{ kg kg}^{-1}$ ) foi obtida na dose  $0,48 \text{ g planta}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , enquanto que

a mínima  $E_{frecP}$  (0,03 kg kg<sup>-1</sup>) foi registrada na maior dose de P (9,1 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), sendo registrada uma  $E_{frecP}$  média de 0,23 kg kg<sup>-1</sup> (Tabela 2).

Os valores obtidos neste trabalho são inferiores aos 53% reportados por Ahmed et al. (2006) [8] para o abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia. Contudo, deve-se ressaltar que o autor testou apenas uma dose de P (36 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), parcelada em quatro aplicações (83, 144, 209 e 263 DAP), o que teria contribuído para um maior aproveitamento pela planta. Conforme Baligar et al. (2001) [26], 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 [3].

### 3.2 Eficiência nutricional de S

Os valores de  $E_{fabsS}$  diminuíram com a elevação das doses de P e aumentaram linearmente com o aumento das doses de S (Tabela 3). A redução nos valores de  $E_{fabsS}$  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 por unidade de S acumulado na planta inteira [19, 23, 27]. Tais resultados são, provavelmente, decorrentes da competição entre os 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 [1, 28].

Tabela 3: Equações de regressão ajustadas e valores de R<sup>2</sup> para as eficiências de absorção ( $E_{fabs}$ ), utilização ( $E_{futz}$ ), conversão ( $E_{fcon}$ ), translocação ( $E_{fra}$ ) e recuperação ( $E_{frec}$ ) de S pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de P e S.

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

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

Por outro lado, 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 (dados não apresentados), representando um aumento de 2,5 vezes em relação a  $E_{fabsP}$ ; entretanto, esse aumento não caracterizou “consumo de luxo”, pois os valores de massa da matéria seca total aumentaram com as doses de S (dados não apresentados) [1, 28].

Os valores de  $E_{futzS}$  também diminuíram com a elevação das doses de P, sendo registrados valores máximos com a menor dose de P (0,48 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Conforme mencionado anteriormente para os valores de  $E_{fabsS}$ , o P afetou negativamente a taxa de absorção de S por unidade de massa radicular e a massa de matéria seca produzida por unidade de S acumulado na planta inteira, o que se deve, provavelmente, a 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 [1, 28].

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 3). Costa et al. (2005) [29]

observaram que mesmo não havendo diferenças nos teores de S 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  $E_{fraS}$  com a aplicação conjunta de P e S indica que esses nutrientes atuaram de forma antagonista 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 (dados não apresentados). 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 [1, 28].

Os valores de  $E_{frecS}$  também diminuíram com o aumento das doses de S, indicando menor aproveitamento pela planta do S aplicado via fertilizante nas maiores doses [7]. Pela equação de regressão ajustada observa-se que a máxima  $E_{frecS}$  ( $0,85 \text{ kg kg}^{-1}$ ) foi obtida na dose  $0,48 \text{ g planta}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , enquanto a mínima  $E_{frecS}$  ( $0,10 \text{ kg kg}^{-1}$ ) foi registrada na dose de  $6,3 \text{ g planta}^{-1}$  de S, sendo observada uma  $E_{frecS}$  média de  $0,36 \text{ kg kg}^{-1}$ .

Os valores obtidos neste trabalho coincidem com os  $0,36 \text{ kg kg}^{-1}$  reportados por França et al. (1988) [9] para o abacaxizeiro 'Pérola' em Neossolo Regolítico de Piracicaba-SP, adubado com a dose de  $4,2 \text{ g planta}^{-1}$  de S, na forma de sulfato de amônio e superfosfato simples, aos 30, 120 e 240 DAP. Conforme Aula et al. (2019) [30], 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 suma, pode-se afirmar que os resultados obtidos no presente trabalho, quanto a influência das doses de P e S nos diferentes índices de eficiência nutricional avaliados, sobretudo no que diz respeito as taxas de recuperação, apontam para a necessidade de adoção e combinação de práticas agronômicas que integrem o conceito 4R (dose, fonte, época e parcelamento), visando aumentar a eficiência nutricional das adubações com P e S no abacaxizeiro [3]. Para isso, a incorporação das equações e taxas de recuperação geradas nesse trabalho à estrutura do Fertcalc-Abacaxi poderá melhorar a predição de doses de P e S para a cultura [7].

#### 4. CONCLUSÃO

A elevação das doses de P e S aumenta as eficiências de absorção e translocação (apenas P), havendo sinergismo entre as doses de P e S nas eficiências de utilização (apenas P) e conversão, além de antagonismo entre P e S na eficiência de translocação de S.

O aumento das doses de P e S reduz a eficiência de recuperação dos respectivos nutrientes, cujas taxas médias de recuperação pelo abacaxizeiro são de 23,0 e 36,0%, respectivamente.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro (Processo nº 471591/2012-2), à CAPES pela concessão de bolsas de estudo e a Fazenda Quandú pelo apoio logístico.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarez V VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira NF. Enxofre. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. Viçosa (MG): SBCS; 2007. p. 545-644.
2. Fageria NK, Oliveira JP. Nitrogen, phosphorus and potassium interaction in upland rice. J Plant Nutr. 2005 Jun;37(10):1586-600. doi: 10.1080/01904167.2014.920362
3. Fageria NK, Baligar VC, Li YC. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. J Plant Nutr. 2008 Jun;31(6):1121-57. doi:10.1080/01904160802116068
4. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 3. Ed. London (UK): Elsevier; 2012. 643 p.

5. Amado TJC, Villalba EOH, Bortolloto RP, Santi AL, León EAB, Menefee D, et al. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. *Rev Bras Cienc Solo*. 2013 Nov;37(6):1641-50. doi: 10.1590/S0100-06832013000600020
6. Weih M, Asplund L, Bergkvist G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant Soil*. 2011 Feb;339(2):513-20. doi: 10.1007/s11104-010-0599-4
7. Silva AP, Alvarez V VH, Souza AP, Neves JCL, Novais RF, Dantas JP. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro - Fertcalc-Abacaxi. *Rev Bras Cienc Solo*. 2009 Oct;33(5):1269-80. doi: 10.1590/S0100-06832009000500020
8. Ahmed OH, Husni MHA, Hanafi MM. Phosphorus loss of phosphorus fertilizer applied to tropical peat soils in pineapple cultivation. *Int J Soil Sci*. 2006 Jan;1(1):85-90. doi: 10.3923/ijss.2006.85.90
9. França GE, Brasil MOC, Sarruge JR, Moraes S. Curva de crescimento, concentração e absorção de cálcio, magnésio e enxofre pelo abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill) variedade Pérola durante um ciclo de produção. *Rev Agric*. 1988;63(3):273-94.
10. Companhia de Recursos Minerais (CPRM). Diagnóstico do município de Itapororoca estado da Paraíba. Recife (PE): CPRM/PRODEEM; 2005. 10 p.
11. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa Solos; 2006. 212 p.
12. 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 (RJ): Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo; 1972. 638 p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE, Série Pedológica, 8).
13. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani AC, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análise de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre (RS): Departamento de Solos/UFRGS; 1995. 174 p.
14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro (RJ): EMBRAPA-CNPS; 1997. 212 p.
15. Alvarez V VH, Novais RF, Dias LE, Oliveira JA. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B Inf SBCS*. 2000 Jan;25:27-32.
16. Farias DR, Oliveira FHT, Santos D, Arruda JA, Hoffmann RB, Novais RF. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. II - Disponibilidade de fósforo para plantas de milho. *Rev Bras Cienc Solo*. 2009 Jun;33(3):633-46. doi: 10.1590/S0100-06832009000300016
17. Alvarez V VH, Ribeiro AC. Calagem. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH, editores. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa (MG): CFSEMG; 1999. 359 p.
18. Oliveira EF, Carvalho RA, Lacerda JT, Choairy SA, Barreiro Neto M. Abacaxi: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano. João Pessoa (PB): EMEPA; 2002. 38 p.
19. Swiader JM, Chyan Y, Freiji FG. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J Plant Nutr*. 1994 Oct;17(10):1687-99. doi: 10.1080/01904169409364840
20. Li B, McKleand SE, Allen HL. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *For Sci*. 1991 Jun;37(2):613-26. doi: 10.1093/forestscience/37.2.613
21. Fageria, NK. Maximizing crop yields. New York (US): Marcel Dekker; 1992. 274 p.
22. SAS Institute Inc. SAS/STAT. University edition virtual application. Cary (US): SAS Institute; 2015.
23. Zambrosi FCB, Mattos Junior D, Furlani PR, Quaggio JA, Boaretto RM. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. *Rev Bras Cienc Solo*. 2012 Apr;36(2):485-96. doi: 10.1590/S0100-06832012000200018
24. Pinto SIC, Furtini Neto AE, Neves JCL, Faquin V, Boretto BS. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. *Rev Bras Cienc Solo*. 2011 Apr;35(2):523-33. doi: 10.1590/S0100-06832011000200021
25. Alves VMC, Novais RF, Oliveira MFG, Santana R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. *Pesq Agropec Bras*. 1998 Jul;33(7):1047-52.
26. Baligar VC, Fageria NK, He ZL. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci Plant Anal*. 2001 Jul-Aug;32(7-8):921-50. doi: 10.1081/CSS-100104098
27. Luca EF, Boaretto AE, Muraoka T, Chitolina JC. Eficiência de absorção e utilização de fósforo (<sup>32</sup>P) por mudas de eucalipto e arroz. *Sci Agric*. 2002 Sep;59(3):543-7. doi: 10.1590/S0103-90162002000300020
28. Aulakh M, Pasricha N. Interaction effect of sulphur and phosphorus on growth and nutrient content of moong (*Phaseolus aureus* L.). *Plant Soil*. 1977 Jun;47(6):341-50. doi: 10.1007/BF00011493
29. Costa KAP, França AFS, Oliveira IP, Monteiro FA, Barigossi JAF. Produção de massa seca, eficiência e recuperação do nitrogênio e enxofre pelo capim-Tanzânia adubado com nitrogênio,



- potássio e enxofre. *Cienc Agrotec.* 2005 Mar;29(3):598-603. doi: 10.1590/S1413-70542005000300013
30. Aula L, Dhilon JS, Omara P, Wehmeyer GB, Freeman KW, Raun WR. World sulfur use efficiency for cereal crops. *Agron J.* 2019 Jun;111(5):2485-92. doi: 10.2134/agronj2019.02.0095