

DANIELA BATISTA DA COSTA

ADUBAÇÃO FOSFATADA DA CANA-DE-AÇÚCAR: DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO E FORMAS DE APLICAÇÃO

RECIFE

2012

DANIELA BATISTA DA COSTA

ADUBAÇÃO FOSFATADA DA CANA-DE-AÇÚCAR: DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO E FORMAS DE APLICAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

Orientador

Professor Fernando José Freire – D. Sc.

Conselheiros

Djalma Eusébio Simões Neto – D. Sc.

Professor Alexandre Tavares da Rocha – D. Sc.

RECIFE – PE

2012

DANIELA BATISTA DA COSTA

ADUBAÇÃO FOSFATADA DA CANA-DE-AÇÚCAR: DISPONIBILIDADE DE
FÓSFORO E FORMAS DE APLICAÇÃO

Banca examinadora

Prof. Fernando José Freire D. Sc. (UFRPE)
(Orientador)

Prof^a. Maria de Fátima Cavalcanti Barros D. Sc. (UFRPE)
(Examinador)

Prof. Emídio Cantídio de Almeida Oliveira D. Sc. (UFRPE/UAAT)
(Examinador)

Prof. Fabio Herinque Tavares de Oliveira (UFERSA)
(Examinador)

Dsc. Fábio Cesar da Silva (EMBRAPA/CNPTIA)
(Examinador)

Agradecimentos

Não tem como não começar agradecendo a minha família, que sempre me apoiou em todas as decisões que tomei na vida, mesmo não sendo as escolhidas por eles.

Agradeço ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, não apenas pela oportunidade de realização profissional, mas por todas as pessoas maravilhosas que tive a oportunidade de conhecer aqui: Socorro, um verdadeiro anjo na vida de todos nós desse programa, S. Josué, S. Camilo e todos que se dedicam a esse programa e nos ajudam tão prestativamente.

Ao prof. Fernando pela excelente orientação e pelo cuidado que sempre teve com todos os seus orientandos.

Aos professores Emídio, Fátima, Fábio Henrique e ao Dr. Fábio César pela honra de terem na minha banca examinadora.

A todos os professores do PPGCS por todos os ensinamentos e ótima convivência.

Ao prof. Adailson Pereira pela colaboração e por todo apoio durante todo o doutorado.

Aos amigos que aqui fiz e vou guardar no meu coração onde quer que eu vá: Fabiana, Raquel Berger, Agenor, Márcio, Israel, Cláudio, Jane, Edivan, Laerte, Carla, Terezinha, Zil, João Paulo, Maria, Marize, Guilherme, Rômulo, Bianca, Priscila, Vagner e em nome desses estendo a todos os demais alunos do PPGCS.

Aos “irmãos de orientação” Leila, Alexandre Campelo, Renato, Marilúcia, Michelângelo e especialmente a Patrícia, cuja ajuda não tenho como quantificar e a qual faz parte desse trabalho.

Aos estagiários Natalia, Jaciane, Ricardo, Silas, Maércio, Clóves, Vital, Vitor, Diógenes e Fernando, sem os quais esse trabalho não teria se concretizado.

À Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina, onde me senti tão acolhida que tinha como minha segunda casa, em nome de Djalma, que sempre esteve disponível para ajudar no que foi necessário, aos funcionários Josias, que nunca mediu forças para me ajudar em tudo que precisei, em nome do qual agradeço a todos do laboratório de solos; a Seu Geraldo, por todo apoio que sempre nos deu; a Suzana, que sempre me recebeu com um sorriso e pela qual tenho imenso carinho, a seu irmão Badé, igualmente prestativo, a Marilúcia, Kelly, Rosângela, D. Célia, D. Severina, a todos os funcionários do melhoramento e aos demais integrantes dessa família que construí.

Um agradecimento mais que especial ao Seu Rafael, a quem tenho um carinho de pai e sei que a recíproca é verdadeira, esse sim esteve comigo nessa caminhada desde o início até o último dia, sempre paciente e cuidadoso.

As amigas Rossana, Socorro, Mirella, Sandra, Eugênia, Jussara, Aninha, Poliana... que mesmo sem estarem perto sempre me deram muita força pra vencer todos os desafios.

Aos pesquisadores da Embrapa Meio-Norte, Luiz Fernando, Dr. Valdenir e Dr. Aderson, por todo apoio que me deram para iniciar essa jornada.

Enfim, a todos que comigo conviveram nesses anos que serão inesquecíveis em minha vida.

Aos meus pais Teodoro da Costa Neto, A minha mãe Maria de Fátima, aos meus irmãos Danilo e Denise, a minha cunhada Mariana e a minha sobrinha “Gabi” ..

Dedico

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	i
LISTA DE TABELA	iii
RESUMO	v
SUMMARY	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Avaliação da disponibilidade de P.....	3
2.2. Formas de aplicação da adubação fosfatada.....	6
2.3. Adubação fosfatada de socaria na cana-de-açúcar	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Caracterização dos solos e da área experimental.....	14
3.2. Tratamentos de P utilizados nos ensaios.....	16
3.3. Condução dos experimentos.....	18
3.4. Mensurações e amostragem das plantas	20
3.5. Análises estatísticas	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Extração de P e suas relações com características físicas, químicas e mineralógicas em diferentes solos	22
4.1.1. P recuperado em função de P aplicado em diferentes solos.....	22
4.1.2. Relações do P recuperado com características físicas e químicas dos solos.....	25
4.2. Crescimento da cana planta e soca em função da adubação fosfatada.....	26
4.3. Produtividade de cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos	33
4.4. Níveis críticos de P no solo e suas relações com características físicas, químicas e mineralógicas em diferentes solos	38
4.5. Teor de P na cana planta e na cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos	41
4.6. Extração e exportação de P em cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos	46
4.7. Qualidade tecnológica da cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos.....	58
4.8. Formas de aplicação de P no solo e suas relações com o rendimento da cana-de-açúcar em dois ciclos de cultivo	61
4.8.1. Crescimento da cana planta e da cana soca.....	61
4.8.2. Teores de P nos componentes da parte aérea de cana planta e de cana soca.....	63
4.8.3. Extração e exportação de P em cana planta e cana soca	65
4.8.4. Produtividade de cana planta e de cana soca.....	68
4.8.5. Qualidade tecnológica da cana planta e da cana soca.....	70
5. CONCLUSÕES.....	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURA

Figura

1.	Precipitação pluviométrica (mm) mensal no primeiro ciclo da cana-de-açúcar	19
2.	Precipitação pluviométrica (mm) mensal no segundo ciclo da cana-de-açúcar	20
3.	Equações de regressão que estimam o P extraído pelos extratores Mehlich-1 (A) e RTA (B) em função de doses de P aplicada em de diferentes solos	24
4.	Estande da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	28
5.	Altura da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	29
6.	Diâmetro do colmo da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	30
7.	Área foliar da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	31
8.	Produção de cana-de-açúcar e dose de máxima eficiência agrônômica na cana planta em função da adubação fosfatada em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (C)	34
9.	Produção de cana soca em função da adubação fosfatada de socaria em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (C)	37
10.	Teor de P nas folhas da cana planta em função da adubação fosfatada em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (C)	43
11.	Conteúdo de P nas folhas da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	48
12.	Conteúdo de P no ponteiro da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	49
13.	Conteúdo de P no colmo da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	50
14.	Conteúdo total de P em cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	52
15.	Conteúdo de P nas folhas da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos	54

16.	Conteúdo de P no ponteiro da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos	55
17.	Conteúdo de P no colmo da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos	56
18.	Conteúdo total de P em cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos	58

LISTA DE TABELA

Tabela

1.	Características físicas e químicas dos solos em estudo	15
2.	Minerais presentes na fração argila nos solos e quantidade de ferro amorfo e cristalino e sua relação	16
3.	Descrição dos tratamentos do ensaio de campo I realizado em cana soca na Usina Bom Jesus/PE, Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Usina Japungu/PB	17
4.	Descrição dos tratamentos do ensaio de campo II realizado em cana planta na Usina Bom Jesus/PE, Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Usina Japungu/PB	18
5.	Teores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica (RTA) em função de doses de P aplicadas em diferentes solos	23
6.	Coeficientes de correlação linear simples entre o teor de P extraído pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica (RTA) com características químicas e físicas de diferentes solos	26
7.	Estande, altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana planta submetida à adubação fosfatada em diferentes solos	27
8.	Estande, altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₂) na Usina Bom Jesus/PE.....	32
9.	Produção da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₂) na Usina Bom Jesus/PE	36
10.	Níveis críticos de P em cana planta com os extratores Mehlich-1 e RTA em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₂) na Usina Bom Jesus/PE	39
11.	Correlação linear simples entre os níveis críticos de cana planta e características químicas e físicas dos solos	40
12.	Teores de P nos componentes da parte aérea de cana planta submetida a adubação fosfatada em diferentes solos	41
13.	Níveis críticos de P nas folhas em cana planta em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₂) na Usina Bom	

Jesus/PE	44
14. Correlação linear simples entre os níveis críticos na folha da cana planta e características químicas e físicas dos solos	44
15. Teores de P nos componentes da parte aérea de cana soca submetida a adubação fosfatada de plantio em diferentes solos	45
16. Conteúdo de P nos componentes da parte aérea e total da cana planta submetida à adubação fosfatada em diferentes solos	47
17. Conteúdo de P nos componentes da parte aérea e total da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd ₂) na Usina Bom Jesus/PE	53
18. Qualidade tecnológica da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos	59
19. Qualidade tecnológica da cana soca em função da adubação fosfatada em socaria em diferentes solos	60
20. Altura das plantas, diâmetro do colmo, área foliare estante da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	61
21. Altura das plantas, diâmetro do colmo, área foliar e estante da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	62
22. Teores de P nos componentes da parte aérea da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	64
23. Teores de P nos componentes da parte aérea da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	65
24. Extração de P nos componentes da parte aérea da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	67
25. Extração de P nos componentes da parte aérea da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	68
26. Produção de cana planta e cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	70
27. Qualidade tecnológica da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	71
28. Qualidade tecnológica da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	72
29. Teores de P no caldo da cana planta e cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos	73

RESUMO

COSTA, Daniela Batista: **ADUBAÇÃO FOSFATADA DA CANA-DE-AÇÚCAR: DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E FORMAS DE APLICAÇÃO**

O fósforo é um dos nutrientes que mais limita a produção em solos tropicais, o que afeta diretamente a cultura da cana-de-açúcar, para qual a adubação fosfatada é amplamente reconhecida como uma prática eficaz para elevar a produtividade dos canaviais, porém seu manejo ainda é alvo de estudo, por não se ter uma forma ideal de utilização dessa adubação que venha refletir positivamente na sua produtividade, possibilitando um melhor aproveitamento desse nutriente pela cultura, uma maior longevidade dos canaviais e, conseqüentemente, um maior retorno econômico para os produtores. Diante disso, este trabalho objetivou estudar a influência da adubação fosfatada na produção de cana planta e soca, visando propor um manejo para este tipo de cultivo que leve em consideração características químicas e físicas dos solos que se relacionem com o poder tampão de fosfato do solo. Foram instalados dois ensaios de campo em três diferentes locais do Nordeste: Usina Bom Jesus/PE; Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e na Detilária Japungu/PB, para isso, foram selecionados solos de textura argilosa (PVAd₂), média (PAdx) e arenosa (PVAd₁), respectivamente. A pesquisa constou de dois ensaios que avaliou os dois primeiros ciclos de cultivo, num delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, tomando-se a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como referência para a distribuição dos tratamentos, que constaram das aplicações localizadas no fundo do sulco da cana planta das doses 0, 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dividindo-se a adubação fosfatada em cana soca em duas doses 0 e 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para se avaliar o efeito da adubação fosfatada, no primeiro ensaio. No segundo ensaio aplicou-se em cana planta 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no fundo do sulco de plantio, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fosfatagem, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fundação + 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fosfatagem; 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fundação + 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fosfatagem e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fundação + 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fosfatagem, e um tratamento sem adubação fosfatada. A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo. Ao final de cada ciclo procedeu-se avaliações

biométricas em doze plantas, quatro de cada um dos sulcos centrais, essas plantas foram em seguida separadas em folha, colmo e ponteiro, e extraído o caldo, para determinação do P nesses compartimentos. Foi determinada a produtividade (TCH) e os dados tecnológicos sólidos solúveis (Brix), Pureza, fibra, PCC e ATR. O P disponível foi avaliado pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca iônica (RTA), tendo seus teores disponíveis correlacionados com características químicas, físicas e mineralógicas dos solos. Conclui-se nessa pesquisa que a extração e a taxa de recuperação do P aplicado nos solos pela resina de troca aniônica não se correlacionou com nenhuma característica química e física dos solos avaliados; O P extraído por Mehlich-1 correlacionou-se com o Feo e com a relação Feo/Fed; Doses crescentes de fosfato favoreceram a produtividade da cana planta e da cana soca nos três solos estudados; As adubações de cobertura incorporadas ao solo favoreceram a extração e alocação de P pelo no e nas folhas da cana cultivada nos solos PVAd₁ e PAdx, respectivamente, e por fim nos solos estudados com menor poder tampão de fosfato é recomendável fracionar a aplicação do adubo fosfatado.

SUMMARY

COSTA, Daniela Batista: **PHOSPHATE FERTILIZER OF CANE SUGAR: PHOSPHORUS AND AVAILABILITY OF APPLICATION FORMS**

Phosphorus is a nutrient that limits production in tropical soils, which directly affects the culture of cane sugar, for which the phosphorus is widely recognized as an effective practice to increase the productivity of sugarcane, but its management is still subject of study for not having an ideal way of using this fertilizer that will reflect positively on your productivity, made possible a better utilization of this nutrient in culture, greater longevity of fields and, consequently, a higher economic return for producers . Thus, this study investigated the influence of phosphate fertilizer production plant and ratoon cane, to propose a management for this type of cultivation that takes into account physical and chemical characteristics of soils that are related to the buffering capacity of the soil phosphate . We installed two field trials in three different locations in the Northeast: Plant Bom Jesus / EP; Experimental Station Cane Sugar Carpina / PE and distillery Japungu / PB for that, were selected clayey soils (PVAd₂) , loamy-sand (PADx) and sandy (PVAd₁), respectively. The research consisted of two trials that evaluated the first two crop cycles in a randomized complete block design, with four repetitions, taking a dose of 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ as a reference for the distribution of treatments which consisted applications located at the bottom of the groove of the cane plant doses of 0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅, dividing the phosphorus in sugarcane ratoon in two doses 0 and 40 kg ha⁻¹ P₂O₅, to evaluate the effect of P fertilization in the first trial. In the second test was applied to plant cane in 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ at the bottom of the furrow, 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in phosphate, 60 kg ha⁻¹ in foundation P₂O₅ + 140 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in phosphate and 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in foundation + 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in phosphate and 140 kg ha⁻¹ in foundation P₂O₅ + 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in phosphate, and a treatment without P fertilization. The P source was triple superphosphate used. At the end of each cycle is conducted in twelve plant growth evaluation, each of the four central grooves, these plants were then separated into leaf, stem and pointer, and the juice extracted, to determine the P these compartments. We determined the yield (TCH) and data technology soluble solids (Brix), Purity, fiber, PCC and ATR. Available P was estimated by

Mehlich-1 and anion exchange resin (AER), and its levels correlated with available chemical, physical and mineralogical soil. It is concluded in this study that the extraction and recovery rate of applied P in soils by anion exchange resin did not correlate with any physical and chemical characteristics of soils evaluated; The P extracted by Mehlich-1 correlated with Feo and the ratio Feo / Fed; doses of phosphate favored the productivity of sugar cane plant and ratoon cane for the three soils; Fertilization coverage incorporated into the soil favored the extraction and allocation by the P and leaves of sugarcane grown in soil PVAd₁ and PAD_x, respectively, and finally in the soils with lower phosphate buffer is recommended to fractionate the application of phosphate fertilizer.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é reconhecidamente uma das culturas mais importantes no âmbito agrícola do Brasil, que é hoje o maior produtor mundial dessa cultura, que vem cada vez mais exercendo papel relevante na sustentabilidade ambiental, especialmente no que diz respeito à produção de combustível natural. Justamente devido ao exacerbado interesse agrícola, as pesquisas para aprimorar as técnicas de manejo que venham refletir na melhoria da produção da cana-de-açúcar têm despertado o interesse de pesquisadores de diversas partes do mundo.

Tendo em vista a importância da cana-de-açúcar para o Brasil, especialmente para a região Nordeste, onde essa cultura representa uma demanda considerável de emprego e renda, se faz necessário maximizar sua produção, a começar pelo manejo adequado da adubação, que é um dos fatores que limitam seu rendimento com maior intensidade, tornando-se assim um dos critérios fundamentais para o aumento de sua produtividade e do retorno econômico, e dentre as práticas de adubação, a fosfatada é uma das que mais necessitam de estudos para melhorar sua eficiência, haja visto o alto custo que representa na produção dessa cultura.

O P é um dos elementos mais importantes para a cultura da cana-de-açúcar, por participar direta e indiretamente de diversos processos metabólicos. Atua no desenvolvimento das raízes, aumenta a produção de colmos, aumenta o pol (%), pureza do caldo e clarificação, e sua deficiência pode levar à diminuição na formação de sacarose (Simões Neto et al., 2009). Um baixo suprimento de P nos estágios iniciais de crescimento da cultura, certamente comprometerá todo o desenvolvimento da planta, porque a deficiência inicial sofrida pela planta dificilmente pode ser corrigida posteriormente.

Devido à importância do P para o desenvolvimento, produtividade e longevidade da cultura da cana-de-açúcar e sua alta taxa de fixação nos solos tropicais, torna-se pertinente o estudo de níveis e formas de aplicação desse elemento no solo (Caione et al., 2011), visto que sua dinâmica ainda é algo que necessita de muitos estudos, justamente devido às particularidades pertinentes a esse elemento, principalmente suas relações com os constituintes do solo, que requerem um manejo diferenciado em relação aos demais elementos

fertilizantes, para que se possa minimizar suas perdas e maximizar seu aproveitamento.

Na maioria dos modelos de adubação fosfatada praticados atualmente no Nordeste para o cultivo de cana-de-açúcar, o P é utilizado em grandes quantidades apenas na fundação por ocasião do plantio, podendo está resultando em prejuízo econômico para o produtor e nutricional para a planta, sugerindo-se sua aplicação não apenas em fundação, como também nas socarias em cobertura, o que poderá proporcionar um melhor aproveitamento pela cultura, refletindo-se em maiores produtividades e, principalmente, possibilitando maior longevidade ao canavial.

Mesmo a cana-de-açúcar sendo cultivada, em média, por quatro a cinco ciclos de cortes e com a cana soca representando até 90% da área plantada, as recomendações de adubação para soqueiras têm sido pouco estudadas, o que inviabiliza expectativas futuras de aumento da eficiência e diminuição dos custos do sistema de produção dessa cultura (Weber et al., 2001).

Levando em consideração essa necessidade de melhoria no manejo da adubação fosfatada em áreas canavieiras, esse trabalho teve como objetivo geral avaliar a disponibilidade do fósforo sob diferentes formas de aplicação para cana-de-açúcar levando em consideração características dos solos, e como objetivos específicos: avaliar a disponibilidade de P e suas relações com características físicas, químicas e mineralógicas de diferentes solos, a capacidade de extração de P por diferentes extratores químicos; a extração de P pela cana-de-açúcar e alocação em diferentes componentes da parte aérea; estudar formas de adubação fosfatada, avaliando a produtividade agrônômica e respostas qualitativas e tecnológicas da cana-de-açúcar a essas adubações nos ciclos de cana planta e cana soca.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Avaliação da disponibilidade de P

O P do solo é proveniente do seu material de origem, e é encontrado, principalmente, como minerais apatíticos ou fosfato de Ca. Na natureza, a atuação dos fatores e processos de formação do solo sobre o material de origem alteram os minerais primários, produzindo novos compostos, cuja complexidade depende do grau e da intensidade da intemperização (Anjos et al., 2008). Pela ação desses processos geoquímicos, os minerais apatíticos também são alterados, resultando na liberação de P para a solução do solo, predispondo-o a reagir e recompor-se nas diferentes formas em que é detectado e, inclusive, utilizado pela biomassa (Santos et al., 2008).

Diferentes fatores afetam a relação de P com a fertilidade do solo, como: baixo teor, especialmente nos solos tropicais; baixa solubilidade dos compostos de P comumente encontrados nos solos, como os fosfatos de Fe e Al, tornando-o pouco disponível à absorção pelas plantas; e um dos problemas que mais afeta sua eficiência na produção agrícola é sua fixação no solo, quando as formas lábeis adicionadas na forma de fertilizantes ou resíduos passam para formas não-lábeis, ou seja, não disponíveis (Rolim Neto et al., 2004).

O processo de adsorção dos fosfatos no solo depende da variação do pH, onde seu aumento torna o meio mais negativo, devido a predominante presença de OH^- , fazendo com que as cargas da superfície das partículas do solo também fiquem mais negativas, o que aumenta a repulsão e conseqüentemente diminui o potencial de adsorção. Por outro lado, com o meio mais ácido e as cargas H^+ predominando, a superfície dos colóides ficam carregadas positivamente, elevando o potencial eletrostático com os íons aniônicos presentes na solução (Novais et al., 2007).

De acordo com Schwertmann & Taylor (1989), os óxidos de Fe são os colóides inorgânicos mais eficazes na adsorção do P, principalmente, nas formas de baixa cristalinidade e com alto desbalanço de cargas (Santos et al., 2008), e esse processo de adsorção é relativamente rápido, podendo ocorrer

em menos de 24 h (Costa & Bighan, 2009), e com o passar do tempo, pode ocorrer o “envelhecimento” do P adsorvido, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos de alta estabilidade e menor possibilidade de dessorção do fosfato.

Justamente pela formação de compostos de alta energia de ligação com os colóides, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida, o que reflete em uma menor disponibilidade para as plantas, é que o P é um dos elementos que mais limita a produtividade nos solos tropicais, pois a fração de P que apresenta baixa energia de ligação possibilitando sua dessorção é muito pequena em relação aos teores totais do elemento no solo (Gatiboni, 2003).

A baixa disponibilidade de P nos solos mostra o quanto é importante o estudo do comportamento desse elemento no solo, com vistas a um adequado suprimento às plantas, pois tal conhecimento contribuiria para o estabelecimento de um método apropriado para adubação fosfatada, porque a capacidade dos solos em adsorver P influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes (Moreira et al., 2006a).

Para Schlindwein & Gianello (2009), dentre outras características, as que mais exercem influência na disponibilidade de P nos solos são o tipo e teor da argila, o poder tampão e a umidade do solo. Andrade et al. (2003) ainda acrescentaram os colóides amorfos e a matéria orgânica. Porém, Vilar et al. (2010) defenderam o uso da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) como uma das principais características usadas para avaliar o grau de interação do P com os sólidos do solo, pois essa é a característica do solo que mais se correlaciona com os atributos que refletem a disponibilidade de P, porque esta medida é influenciada por diversos fatores do solo, inclusive por alguns citados por Schlindwein & Gianello (2009), como o teor de argila. Moreira et al. (2006b) encontraram relações entre a CMAP e a CTC do solo, matéria orgânica e óxidos de Fe livre e amorfo.

A quantidade de P disponível nos solos é estimada por extratores químicos, que em testes rotineiros de análise de solo são utilizados para monitorar as formas de P no solo em relação à sua disponibilidade às plantas, e para definir requerimentos de fertilizantes para crescimento ótimo das culturas (Araújo et al., 2004). Nos laboratórios de análise de rotina em fertilidade do solo, o Mehlich-1 e a resina trocadora de ânions (RTA) são os

extratores mais comumente utilizados, porém há divergências quanto à eficiência desses extratores nos solos tropicais, devido a eles apresentarem grande variação quanto ao grau de intemperismo e, conseqüentemente, quanto as suas características químicas, físicas e mineralógicas, o que pode interferir no resultado das extrações desse elemento, que apresenta uma interação muito forte com os constituintes dos solos (Simões Neto et al., 2009).

No estado de Pernambuco o extrator utilizado para aferir a disponibilidade de P é o Mehlich-1, porém, Simões Neto et al. (2009) ressaltaram que por não se considerar a sensibilidade desse extrator quanto a capacidade tampão do solo e a variação do seu nível crítico com essa característica, as recomendações de adubação fosfatada podem estar sendo subestimadas nos solos argilosos e superestimadas nos solos arenosos. Esse fato pode ocorrer devido ao Mehlich-1 se constituir da junção de dois ácidos fortes em baixas concentrações (H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e dissolver predominantemente o P ligado ao Ca (P-Ca) e quantidades menores de P ligado a Fe (P-Fe) e Al (P-Al), em função das características de solubilidade dos fosfatos (Silva & Raij, 1999), portanto em solos de pH mais elevados ou com elevado teor de Ca esse extrator pode superestimar a quantidade de P disponível, e como na maioria dos solos cultivados no Brasil, pode haver a adição de Ca por meio da prática da calagem, gessagem, ou até mesmo da adição de adubos ricos nesse nutriente, o P disponível por Mehlich-1 pode não ser o mais adequado.

Raij et al. (1984) destacaram como vantagem no uso do Mehlich-1 na rotina, o fato desse extrator formar extratos límpidos, dispensando a filtração das suspensões do solo, porém ressaltaram que com o crescente uso de fosfatos naturais derivados de apatitas, pode ser que sua utilização seja preterida por outros extratores menos ácidos, que não dissolvam esse mineral. Nesse caso seria mais indicado extratores como a Resina de Troca Aniônica (RTA), que não tem preferência pelo P-Ca (Côrrea & Haag, 1993).

A RTA em suspensão aquosa com solos simula as raízes das plantas pela remoção do P dissolvido na solução do solo (Silva & Raij, 1999), e por não utilizar qualquer reagente químico, extraído em princípio, apenas as formas lábeis de P, não causa possíveis alterações nas demais formas. Araújo et al.

(2004) ainda ressaltaram que por a RTA perturbar menos a estrutura química do solo do que os extratores químicos, pode ser mais adequadamente utilizada em extrações sucessivas.

Diferentemente do Mehlich-1, o método da RTA não mostra interferência de características do solo, como do pH por exemplo, em seus resultados, o que vem a ser um ponto positivo para uso nos solos no Nordeste, que apresentam solos tanto ácidos quanto alcalinos (Raij et al., 2001).

Trabalhos em solos da região Nordeste, como o de Simões Neto et al. (2009) em solos de Pernambuco, mostraram que o Mehlich-1 apresentou correlação significativa com o teor de argila, P-rem, CMAP e com os óxidos de Fe amorfos, enquanto a RTA não se correlacionou com nenhuma dessas características, comprovando que o poder tampão do solo não influencia a extração feita pela RTA. Contudo os teores de P no solo determinados pelos dois extratores mostraram boas correlações com o conteúdo de P extraído pela planta.

2.2. Formas de aplicação da adubação fosfatada

O P, apesar de ser requerido pelas plantas em menor quantidade que o N e o K, é aplicado em maiores quantidades nos solos brasileiros que esses dois elementos, devido à sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral do solo por este elemento, o que se torna um dos fatores mais limitantes da produção agrícola em solos tropicais. A baixa disponibilidade de P nos solos da zona da mata e litoral do Nordeste Brasileiro mostra o quanto é importante o estudo do comportamento desse elemento no solo, com vistas a um adequado suprimento às plantas, pois tal conhecimento contribui para o estabelecimento de um método apropriado para adubação fosfatada, porque a capacidade dos solos em adsorver P influencia diretamente na resposta das plantas à aplicação de fertilizantes (Moreira et al., 2002).

Para que ocorra adequada absorção de P, crescimento e produtividade das culturas e elevada eficiência dos fertilizantes fosfatados, estes devem ser aplicados de maneira adequada no solo, permitindo sua melhor localização em relação às raízes das plantas (Nunes, 2010). A escolha dessa prática

dependerá do solo, da fonte de P, da espécie a ser cultivada, do sistema de preparo e do clima. As formas mais utilizadas para adicionar P ao solo são: a lanço na superfície, com ou sem incorporação; no sulco de plantio; em cova; ou em faixas (Sousa & Lobato, 2004).

O efeito do revolvimento do solo pelo preparo convencional proporciona maior superfície de contato entre os íons de fosfato e os colóides, reduzindo sua disponibilidade, devido à ação dos mecanismos que causam sua retenção (Pavinato & Ceretta, 2004). Porém, Sleight et al. (1984) afirmaram que aumentando o volume de solo fertilizado ao redor das raízes, ocorreria uma maior interceptação do adubo e, portanto, um aumento na absorção do nutriente.

Quando se faz a adubação em sulco antes do plantio, o P fica localizado no sulco e apenas uma parte do sistema radicular da cultura entra em contato com o adubo, o que poderá diminuir sua absorção pela planta (Faria & Pereira, 1993). Esses autores relataram alguns trabalhos realizados na região do submédio São Francisco, onde a adubação fosfatada foi parcelada, sendo aplicada parte no plantio e parte em cobertura, juntamente com a adubação nitrogenada e potássica, nas culturas do tomate e do milho, e sugeriram que o P seria melhor absorvido pelas culturas, atribuindo esse fato à presença de raízes adventícias que facilitariam a absorção da adubação em cobertura. Os autores também testaram a aplicação única em plantio e parcelada da adubação fosfatada na cultura do tomateiro rasteiro nessa mesma região, e concluíram que o parcelamento da dose de P em duas épocas de aplicação (metade da dose na semeadura e a outra metade aos 30 dias após o transplântio) foi mais eficiente que a aplicação única, onde toda a dose foi aplicada antes do transplântio.

A escolha da fonte e do modo de aplicação ainda representa alguns dos principais questionamentos quando se trata de estratégias de fornecimento de P (Novais & Smyth, 1999). Há ainda muita dificuldade em estabelecer recomendações de adubação otimizadas, baseadas em critérios para alta eficiência de manejo (Resende et al., 2006), tornando premente estudos sobre o modo de aplicação do fertilizante, buscando-se atender às exigências da planta, sem esquecer o aspecto operacional e econômico (Corrêa et al., 2008).

A distribuição do fosfato a lanço com incorporação em solo com baixa disponibilidade de P proporciona maior volume deste nutriente em condições para a planta absorvê-lo, bem como a água e os outros nutrientes. Para as culturas anuais, a aplicação de fertilizantes fosfatados a lanço e incorporado promove um sistema radicular mais volumoso. Essa forma de aplicação deve ser utilizada para doses superiores a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com incorporação ao solo, principalmente em solos muito deficientes neste nutriente (Sousa & Lobato, 2004).

Este fato foi comprovado por esses autores em experimento realizado na região do Cerrado, testando-se duas fontes de P, superfosfato triplo e fosfato natural reativo como fontes solúvel e insolúvel, respectivamente, na quantidade de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 em sistemas de plantio convencional e direto, ambos em sulco e a lanço, e verificaram que não houve diferença entre os tratamentos, porém a aplicação a lanço dos fertilizantes favoreceu a maior produtividade de soja e de milho, exceto no sistema de plantio direto, utilizando-se o fosfato natural reativo.

Esta tendência da aplicação do fosfato a lanço se sobressair à aplicação em sulco pode ter ocorrido devido ao pequeno volume ocupado pelo P com a localização do adubo, desfavorecendo uma maior exploração do sistema radicular e conseqüente menor absorção do nutriente (Sousa & Volkweiss, 1987).

Entretanto, para Malavolta (1981) a adubação a lanço faz com que praticamente 100% do fertilizante fosfatado entre em contato com o solo, favorecendo a adsorção de P e reduzindo o aproveitamento desse elemento pela planta, ressaltando que a utilização da aplicação localizada do adubo fosfatado é utilizado para diminuir essa adsorção, porém, como conseqüência, pequena porção do sistema radicular entra em contato com o P proveniente do adubo.

Há, também, aplicações intermediárias (adubação feita em parte da área, intermediária entre a adubação a lanço, toda a área, e na linha, concentrada), como, por exemplo, em faixa, em torno da linha de semeadura, que podem propiciar maior eficiência, principalmente em culturas com grande espaçamento entre linhas de semeadura (Marcolan, 2008).

Buscando encontrar uma melhor eficiência da adubação fosfatada em um Latossolo Vermelho Escuro na região do Cerrado, Prado et al. (2001) avaliaram a resposta do milho ao modo intermediário de aplicação do adubo fosfatado, em sulco duplo, comparado-o com a aplicação em sulco simples e a lanço, em diferentes doses de adubação de manutenção, e verificaram que o efeito do modo de aplicação do P indicou que a produção de grãos de milho no sulco duplo foi superior à do sulco simples, e este maior que a aplicação a lanço, indicando, segundo os autores, que a utilização desse modo de aplicação da adubação fosfatada, em solos com baixo teor de P disponível e nos solos de Cerrado em geral, a adsorção do P é minimizada e, ao mesmo tempo, o contato do adubo fosfatado com o sistema radicular das plantas é maximizado. Esses resultados levaram os autores a concluir que os modos de aplicação do adubo fosfatado em sulco, fossem sulcos simples ou duplos, foram mais eficientes que a aplicação a lanço, corroborando Malavolta (1981) e Grant et al. (2001), os quais afirmaram que a localização do P em sulco reduz o contato do nutriente com o solo e resulta em menor fixação que a aplicação a lanço, refletindo numa maior absorção pelas plantas.

Experimentos buscando a melhor maneira de distribuição da adubação fosfatada visando melhor eficiência no seu manejo para as culturas vêm sendo testada há muitos anos. Model & Anghinoni (1992) aplicaram adubos fosfatados e potássicos a lanço, em faixa e em linha, incorporados ou não, na cultura do milho em três tipos de cultivo, convencional, cultivo em faixas e plantio direto, onde os adubos permaneceram na superfície do solo nas aplicações a lanço nos sistemas de cultivo em faixas e no plantio direto, e na aplicação em faixas quando cultivo sob plantio direto, verificaram que as concentrações de P no solo aumentaram com a redução do volume de solo fertilizado, porém as quantidades de P e K acumuladas pelo milho até a floração não foram afetadas pelo modo de aplicação dos adubos, o que refletiu no rendimento dos grãos, onde não houve diferença quanto ao modo de aplicação dos adubos. Os autores atribuíram essa equivalência na produtividade do milho a ação do seu sistema radicular, que, com o passar do tempo, mesmo em concentrações mais baixas dos adubos, foi capaz de suprir esses nutrientes em quantidades semelhantes às aplicações localizadas.

Anghinoni (1992) também estudou os efeitos da aplicação de oito doses de superfostado triplo (0, 10, 20, 40, 80, 160, 240, 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅) misturadas a seis frações do solo (100, 75, 50, 12,5 e na linha 6,5% do volume da camada arável), e constataram que a maior eficiência de pequenas doses foi obtida quando misturadas com pequenas frações do solo, e à medida que as doses aumentaram, frações intermediárias também passaram a ser mais eficientes. Quando se utilizou doses elevadas, o efeito da mistura do superfosfato com as frações do solo passou a não ser importante, concordando com Marcolan (2008), o qual ressaltou que doses menores de P foram mais eficientes quando misturadas com pequenas frações de solo e, à medida que as doses aumentaram, frações intermediárias de mistura com o solo foram mais eficientes, e para doses elevadas de P, o efeito da mistura deixou de ser importante.

Em se tratando de solos de Tabuleiros Costeiros, onde de modo geral, os teores de óxidos de Fe e de Al em superfície são baixos e apresentam menores teores de argila, comparativamente a solos ácidos, acredita-se que a aplicação de P a lanço seja uma alternativa capaz de incrementar a eficiência de utilização dos adubos fosfatados, mesmo quando doses reduzidas forem usadas (Barreto & Fernandes, 2002).

Com o objetivo de averiguar essa hipótese, os mesmo autores testaram doses de superfosfato triplo (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas a lanço e em fundo do sulco na cultura do milho, em solos de Tabuleiro de Sergipe, e verificaram que a aplicação a lanço proporcionou maior absorção de P pelas plantas e maior produtividade de milho mesmo quando aplicada em doses baixas (50 kg ha⁻¹) e atribuíram esse fato em consequência da incorporação do adubo fosfatado com um volume maior de solo proporcionar um aumento da absorção de P, o que também foi relatado por Anghinoni & Barber (1980), que relacionaram este efeito positivo ao maior comprimento de raízes em contato com o adubo fosfatado no solo.

No mesmo trabalho anteriormente citado, também se avaliou o feito da aplicação de P sobre o desenvolvimento das raízes do milho, e observou-se uma tendência de maior distribuição das raízes em regiões de solo mais distantes da planta, comparativamente às plantas adubadas no sulco de

plantio, e esta maior expansão radicular no solo adubado com P a lanço, para os autores, pode ter contribuído para aumentar a absorção de outros nutrientes e de água, o que também favoreceu o aumento da produtividade de grãos de milho.

Essa maior resposta das culturas à aplicação a lanço em solos mais arenosos pode estar relacionada com o movimento do P, pois Faria & Pereira (1993) verificaram que nos solos arenosos o movimento do íon fosfato no solo atingiu uma distância duas vezes maior no sentido horizontal e três vezes maior no sentido vertical que no solo argiloso.

Diante desses resultados pode-se inferir que não existe recomendação prévia de melhor manejo da adubação fosfatada, sendo necessário avaliar cada situação do ponto de vista do solo, da planta cultivada e das condições climáticas da região, a fim de determinar de que forma a adubação fosfatada proporcionará a mais eficiente absorção pelas plantas e por consequência maior produtividade (Nunes, 2010).

2.3. Adubação fosfatada de socaria na cana-de-açúcar

A adubação fosfatada é amplamente reconhecida como uma prática eficaz para elevar a produtividade dos canaviais, sobretudo nos solos brasileiros, que são, em geral, pobres em P (Rosseto & Santiago, 2009).

A cultura da cana-de-açúcar responde melhor a adubação fosfatada no primeiro ano de cultivo, contudo se espera um efeito residual do P capaz de suprir a necessidade da cultura nas socas subseqüentes, especialmente em solos deficientes nesse nutriente. Contudo, este efeito residual depende de muitos fatores tais como: poder de fixação do P pelo solo, nível inicial de P disponível, taxa e forma de P aplicado (Zambello jr. & Orlando Filho, 1981).

Apesar da maioria dos experimentos demonstrarem que a cana-de-açúcar responde melhor a adubação fosfatada quando essa é feita na implantação da cultura em fundo do sulco, é possível que em solos com baixos teores de P haja respostas a adubação de socaria com esse nutriente (Rosseto & Dias, 2005).

Weber et al. (2001) verificaram em experimento conduzido em terceira soqueira não adubada anteriormente na Fazenda Fonte Clara-PR, que as maiores produtividades foram alcançadas com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de K_2O e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com ganho de 53,9% na produtividade. Quando os tratamentos foram reaplicados em quarta soqueira após a colheita, os autores observaram a acentuação do efeito negativo da retirada da adubação na produtividade, onde o efeito dos tratamentos se fez presente tanto no número de colmos por metro de sulco, quanto no peso unitário dos colmos, refletindo diretamente sobre a produtividade final de colmos. Esses autores ainda encontraram um ganho na produção de colmos nas parcelas que receberam P em cobertura, incorporado lateralmente à linha de cana juntamente com o N e com o K. O ganho com a aplicação dos três nutrientes foi de 53,9% quando comparado às produtividades das testemunhas, sem adubação, e de 4,9% quando comparado aos tratamentos que receberam N e K.

Korndorfer et al. (1998) encontraram efeito linear da adubação fosfatada aplicada no sulco de plantio sobre a produtividade da cana planta e na cana soca, porém, com efeito menor em socaria, atribuído pelos autores à falta de reaplicação do fertilizante fosfatado na soqueira.

Medeiros (1988) em ensaio realizado na Fazenda Paineiras, em Araras-SP, utilizando doses de 0, 45 e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 em socaria de cana-de-açúcar, concluiu que a utilização de doses elevadas de P no plantio (até 300 kg ha^{-1} de P_2O) podem ser insuficientes ao longo dos cortes da cultura, necessitando-se suprir as soqueiras com o nutriente e que o fornecimento de P às soqueiras promoveu aumentos significativos de produção e proporcionou efeito residual também significativo, porém, estas reações dependeram da deficiência do nutriente no solo e da adubação fosfatada de plantio, e concluiu também que a adubação fosfatada das soqueiras permitiu a recuperação de produções afetadas pelo suprimento insuficiente do elemento na fundação. Neste trabalho, o tratamento que utilizou 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 em fundação apresentou um incremento de 13 e 11 t ha^{-1} quando se adubou com 45 e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 na primeira soca, respectivamente. O efeito positivo da adubação fosfatada em socaria se tornou mais evidente nos tratamentos em que não se utilizou adubação de fundação, onde as produtividades na primeira

soca aumentaram de 69 t ha⁻¹ para 89 e 102 t ha⁻¹ quando adubadas com 45 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

Na África do Sul para a recomendação de P utiliza-se o teor disponível no solo somado ao adubo na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e nas socas, recomenda-se aplicar entre 45 e 50 ha⁻¹ kg de P₂O₅ (Bittencourt et al., 2006). Para Raij et al. (1996) a dose de P₂O₅ recomendada para a cana soca é de 30 kg ha⁻¹, em canaviais adubados no plantio, quando P (resina) for menor que 15 mg dm⁻³.

No Brasil, especialmente na região Nordeste, ainda são escassos trabalhos que tragam informações relevantes sobre adubação fosfatada em socaria de cana-de-açúcar, como também que avaliem formas de aplicação do P no solo, sendo comum a prática de uma adubação localizada em fundação considerada suficiente para suprir o canavial durante todo ciclo, porém essa forma de adubação pode ocasionar perdas nutricionais às plantas, pois não levam em consideração características físicas, químicas e mineralógicas dos solos e suas interações com esse elemento, podendo ser determinante para baixas produtividades de soqueiras e perda de longevidade dos canaviais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização dos solos e da área experimental

Foram conduzidos dois estudos, cada um deles com três experimentos de campo em áreas predominantemente cultivadas com cana-de-açúcar em regiões com características edafoclimáticas distintas: Usina Japungú, localizada nos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba, onde o clima é quente e úmido com precipitação média anual de 1.600 mm, e o solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa (PVAd₁); Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), localizada na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco, com clima quente e úmido, relevo levemente ondulado, precipitação média anual em torno de 1.300 mm e o solo caracterizado por Argissolo Amarelo Distrocoeso de textura média (PA_{dx}); e Usina Bom Jesus, localizada na região da Zona da Mata Sul de Pernambuco, onde o clima é quente e úmido, relevo ondulado e precipitação média anual de 2.200 mm, sendo o solo da área experimental classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argilosa (PVAd₂);

A seleção das áreas experimentais foi realizada usando como critério a granulometria dos solos, onde procurou-se solos que estivessem nas classes texturais arenosa (PVAd₁), média (PA_{dx}) e argilosa (PVAd₂). Os solos foram amostrados na profundidade de 0,0-0,30 m e caracterizados física e quimicamente (Tabela 1).

Os solos foram caracterizados fisicamente segundo os métodos da EMBRAPA (1997), onde se determinou a densidade do solo, densidade das partículas, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, condutividade hidráulica saturada e a granulometria.

Quimicamente os solos foram caracterizados pelo pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, (H+Al), P, Fe, Cu, Zn, Mn, P-remanescente (P-rem) e CMAP. O Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e Al³⁺ foram extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹; O Fe, Cu, Zn, Mn e ainda P e K por Mehlich-1; e o (H+Al) por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, conforme EMBRAPA (2009). O Ca²⁺ e o Mg²⁺ foram determinados por

espectrofotometria de absorção atômica, o K^+ e o Na^{+1} por fotometria de chama e o P por colorimetria. O Fe, Cu, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica, o Al^{3+} e o (H+Al) por volumetria e o P-rem segundo metodologia descrita por Alvarez V. et al., (2000).

Tabela 1. Características físicas e químicas dos solos em estudo

Características	Solos		
	PVAd ₁	PAdx	PVAd ₂
Ds (g cm ⁻³)	1,50	1,36	1,08
Dp (g cm ⁻³)	2,67	2,56	2,53
CC (Mg Mg ⁻¹)	0,044	0,115	0,221
PMP (Mg Mg ⁻¹)	0,028	0,067	0,163
Areia (g Kg ⁻¹)	887	704	474
Silte (g Kg ⁻¹)	35	80	70
Argila (g Kg ⁻¹)	78	216	456
K _o (cm h ⁻¹)	39,12	58,78	19,52
Porosidade (%)	43,82	46,87	57,31
Classe textural	Arenosa	Franco Arenosa	Argilo Arenosa
pH (H ₂ O)	6,5	6,0	4,4
(H + Al) (cmol _c dm ⁻³)	5,1	7,9	7,6
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,00	1,20
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,00	2,53	0,50
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,90	1,55	0,50
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,02	0,03	0,03
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,04	0,15	0,06
P (mg dm ⁻³)	7,00	13,6	4,02
CMAP (mg cm ⁻³)	0,26	0,52	0,90
P-rem (mg L ⁻¹)	40,67	34,72	11,99
MO (%)	1,21	2,6	5,79
Fe (mg dm ⁻³)	29,70	101,1	186,6
Cu (mg dm ⁻³)	0,90	0,50	0,40
Zn (mg dm ⁻³)	5,30	8,70	4,90
Mn (mg dm ⁻³)	1,80	10,3	0,80
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	7,06	12,16	8,69
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	1,96	4,26	2,29
m (%)	0,00	0,00	52,4
V (%)	27,76	35,03	12,54

Para a avaliação da CMAP, as amostras de solo receberam doses de P baseadas no valor de P-rem (Alvarez V. & Fonseca, 1990). Amostras de TFSA de cada solo foram saturadas com soluções de concentrações crescentes de P em CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, adotando-se as isotermas de Langmuir para estimar a CMAP (Novais & Smith, 1999).

A caracterização mineralogia da fração argila foi determinada por difratometria de raios-X (Whitting & Allardice, 1986) para determinação dos principais minerais da fração argila dos solos. Foram determinados também o Fe amorfo por Oxalato ácido de amônio (Feo) e o Fe cristalino por Ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960) e determinado por espectrofotometria de absorção atômica (Tabela 2)

Tabela 2. Minerais presentes na fração argila nos solos e quantidade de ferro amorfo e cristalino e sua relação

Solos	Local	Minerais	Feo	Fed	Feo/Fed
			g kg ⁻¹		
PVAd ₁	Japungú	Ct, Gt, Hm, An, Rt, Qz	0,18	13,81	0,01
PAdx	EECAC	Ct, Gb, Gt, An, Qz	2,79	18,15	0,15
PVAd ₂	Bom Jesus	Ct, Gb, Qz	2,65	18,98	0,14

Ct=caulinita; Gt=Goethita; Hm=hematita; An=Anatásio; Rt=Rutilo; Qz=Quatzo; Gb=Gibsite

3.2. Tratamentos de P utilizados nos ensaios

A pesquisa abrangeu os dois primeiros anos de cultivo da cana-de-açúcar, avaliando a cana planta e a primeira soca. Os tratamentos avaliaram a utilização de doses e modos de aplicação de P ao solo em dois ensaios de campo. Para a escolha dos tratamentos se tomou como referência a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso com quatro repetições, onde as parcelas constaram de sete sulcos de dez metros de comprimento, sendo a área útil das parcelas constituídas das três fileiras centrais, retirando-se um metro na extremidade de cada parcela para eliminar possíveis efeitos de bordadura. A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo, e a variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utilizada na pesquisa foi a RB 92 579 desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), das Universidades Federais integradas da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA).

os tratamentos foram constituídos por seis doses de P (0; 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas na cana-planta no fundo do sulco mediante o plantio, ou seja, todo em fundação, juntamente com a adubação

nitrogenada e potássica, distribuídos em blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais.

Neste mesmo ensaio, no segundo ano (cana soca) as parcelas que receberam as doses de P_2O_5 no fundo do sulco foram subdivididas, e metade recebeu 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e a outra metade não recebeu adubação fosfatada (Tabela 3), caracterizando um experimento em parcelas subdivididas, onde na parcela principal estavam as doses de P aplicadas na fundação em cana planta e as subparcelas eram constituídas das doses de P em cobertura aplicadas na socaria, perfazendo 12 tratamentos e um total de 48 parcelas. A dose de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 é a recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem do Estado de Pernambuco (IPA, 2008). As subparcelas foram constituídas de sete sulcos de cinco metros de comprimento e a área útil formada pelos três sulcos centrais, retirando-se um metro na extremidade de cada subparcela para eliminar possíveis efeitos de bordadura.

Os dados das subparcelas que não receberam P foram analisados separadamente para se avaliar o efeito residual do P aplicado na cana planta para algumas variáveis.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos do ensaio de campo I realizado em cana soca na Usina Bom Jesus/PE, Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Usina Japungu/PB

1º ano		2º ano	
Adubação de fundação		Adubação de socaria	
-----		-----	
kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅		kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	
0	0	0	40
40	0	0	40
80	0	0	40
120	0	0	40
160	0	0	40
200	0	0	40

Para se avaliar as formas de aplicação do P no solo foi realizado um segundo ensaio concomitante com o primeiro nas mesmas áreas, em que fracionou-se a dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicada no fundo do sulco em aplicações em cobertura, totalizando seis tratamentos e 24 parcelas experimentais (Tabela 4). Para este ensaio não se aplicou P em cana soca.

Tabela 4. Descrição dos tratamentos do ensaio de campo II realizado em cana planta na Usina Bom Jesus/PE, Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Usina Japungu/PB

Tratamentos
Testemunha
200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no fundo do sulco
200 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ em cobertura
140 kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ no fundo do sulco e 60 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ em cobertura
100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ () no fundo do sulco e 100 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ em cobertura
60 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ no fundo do sulco e 140 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ em cobertura

3.3. Condução dos experimentos

Os plantios foram realizados nos meses de agosto no PVAd₂, setembro no PAdx e outubro no PVAd₁, todos no ano de 2009, e as áreas foram preparadas de acordo com o manejo adotado por cada unidade produtora, com espaçamento entre fileiras de 1,5 m no PVAd₁, 1,15 m no PAdx e 1,10 m do PVAd₂. As adubações nitrogenada e potássica foram baseadas no Manual de Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de Pernambuco (IPA, 2010), utilizando-se como fonte uréia e KCl nas doses de 60 e 80 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente, em todos os solos. Os adubos foram aplicados no fundo do sulco de plantio, juntamente com a adubação fosfatada de fundação. A correção do solo foi feita antes do plantio de acordo com o Manual de Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de Pernambuco (IPA, 2010), utilizando-se 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1 t ha⁻¹ de gesso no solo PVAd₂ da Usina Bom Jesus. No solo PVAd₁ da Usina Japungú e no PAdx da EECAC não houve necessidade de correção.

Antes do plantio foram coletadas amostras de cada solo na profundidade de 0,0-0,30 m para a realização de um ensaio em casa de vegetação utilizando as doses 0; 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a obtenção do P recuperado, pesando-se 1 kg de solo e adicionando-se a quantidade de adubo (N,P e K) equivalente à aplicada em campo para cada tratamento, as amostras foram elevadas até a capacidade de campo e ficaram incubadas por trinta dias. Após o período de incubação as amostras foram secas ao ar, destorroadas e

passadas em peneira de 2 mm de malha, para determinação do P disponível pelos extratores Mehlich-1 (H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1}) e Resina de Troca Aniônica (RTA).

A primeira colheita foi realizada quatorze meses após o plantio, nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2010 nos solos PVAd₂, PAdx e PVAd₁, respectivamente, e trinta dias após o corte foram aplicadas em cobertura nas fileiras de cana as doses de 80 e 100 kg ha^{-1} de uréia e de KCl, respectivamente, juntamente com a adubação fosfatada nas parcelas que receberam esse tratamento.

Antes da primeira e da segunda colheita (420 e 780 DAP, respectivamente) o solo foi amostrado na profundidade de 0,0-0,30 m, onde foram retiradas três amostras simples nas parcelas para a formação de uma composta, sempre dos três sulcos centrais, para determinação do P disponível, pelo extrator Mehlich-1.

A precipitação pluviométrica foi registrada mensalmente nos três locais em que foram realizados os experimentos durante os dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar (Figuras 1 e 2). Na Usina Japungú e na EECAC nos meses que a precipitação não foi suficiente para suprir a demanda da cultura foram aplicadas irrigações de salvação.

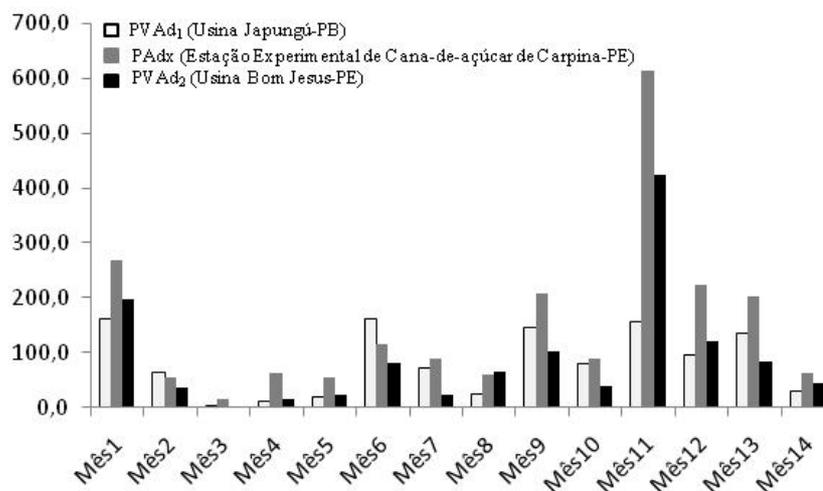


Figura 1. Precipitação pluviométrica (mm) mensal no primeiro ciclo da cana-de-açúcar, sendo o mês 1 referente ao mês de plantio, ou seja, outubro, setembro e agosto de 2009 para PVAd₁, PAdx e PVAd₂, respectivamente.

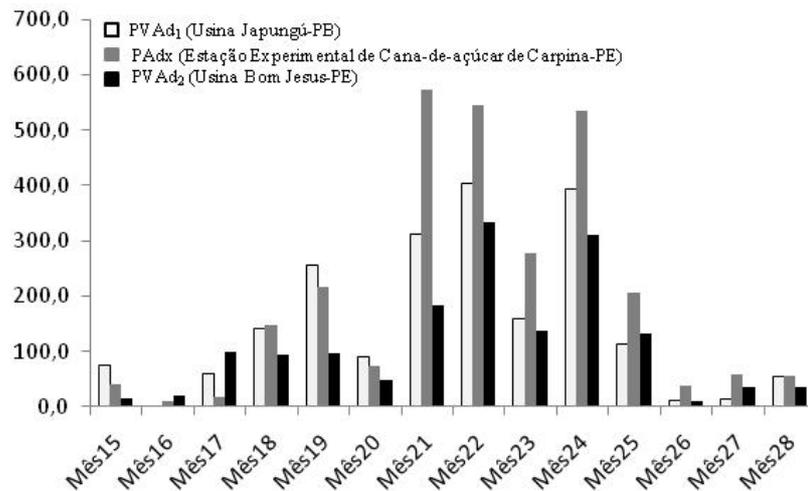


Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) mensal no segundo ciclo da cana-de-açúcar, sendo o mês 15 referente ao início da socaria, ou seja, dezembro, novembro e outubro de 2010 para os solos PVAd₁, PAdx e PVAd₂.

3.4. Mensurações e amostragem das plantas

Antes da colheita da cana planta e da cana soca foram retiradas amostras com doze canas em cada parcela, sendo quatro canas de cada fileira central, nas quais se mediu a altura das plantas, o diâmetro no terço médio, e o número de folhas, comprimento e largura mediana da folha +3 para se calcular a área foliar, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999), onde $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, em que C é o comprimento da folha +3, L é a largura da folha +3, ambos em cm, e 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Após as medições as plantas foram separadas em folha, ponteiro e colmo, pesadas, passadas em forrageira e retirada uma amostra que foi pesada e posta para secar em estufa a 60 °C até atingir peso constante, para se determinar a umidade. Essas amostras foram moídas e procedida a digestão nitroperclórica (Malavolta, 1989) para determinação do teor de P do extrato, utilizando-se o método colorimétrico (EMBRAPA, 2009). Também foi determinado o teor de P no caldo da cana pela mesma metodologia.

Antes das colheitas da cana planta e da cana soca foram retiradas amostras de dez canas ao acaso dentro de cada parcela útil para determinação

dos dados tecnológicos, realizada no laboratório de qualidade de cada unidade sucroalcooleira, em que foram analisados o Brix^o, Pureza, Fibra, PCC e ATR.

3.5. Análises estatísticas

Os tratamentos avaliados qualitativamente, referentes à forma de aplicação do P na adubação (fundação e cobertura) na cana planta e cana soca, e os tratamentos em parcelas subdivididas na cana soca, foram submetidos à análise de variância, e os resultados significativos analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados referentes aos tratamentos com a aplicação de doses em fundação foram submetidos à análise de variância e realizada análise de regressão para os efeitos significativos. Foram realizadas também correlações entre os teores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1 e RTA com as características do solo que influenciam o poder tampão de fosfato do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Extração de P e suas relações com características físicas, químicas e mineralógicas em diferentes solos

4.1.1. P recuperado em função de P aplicado em diferentes solos

Os teores de P extraídos por Mehlich-1 e RTA na cana planta foram crescentes de acordo com as doses de P aplicadas nos solos estudados (Tabela 6), onde os teores extraídos pelo Mehlich-1 foram menores no solo PVAd₂, devido provavelmente ao maior poder de adsorção desses solos (Tabela 1) e a uma provável maior sensibilidade desse extrator ao poder tampão do solo (Novais & Smyth, 1999). Por outro lado, a RTA extraiu mais P do solo mais argiloso (PVAd₂), resultados também verificados por Simões Neto et al. (2009) trabalhando em solos das mesmas regiões, que atribuíram o fato de a RTA extrair mais P de solos mais tamponados a maior reserva de P existente nesses solos.

Ambos os extratores retiraram maior quantidade de P com o aumento das doses aplicadas, porém esse aumento não foi proporcional às doses, o que pode ser atribuído as características do solo, especialmente quanto à mineralogia, devido a presença de óxidos de Fe e Al (Tabela 2), que têm grande poder em adsorver fosfato. Esse fato foi observado por Simões Neto et al. (2009), que também atribuíram o aumento dos teores de P por diferentes extratores não ser proporcionais às doses aplicadas às diferenças nas características dos solos.

A RTA retirou mais P que o Mehlich-1 nos solos de textura média (PAdx) e argilosa (PVAd₂) em todas as doses aplicadas, resultado encontrado também por Farias et al. (2009), em solos representativos do Estado da Paraíba, onde constataram que a RTA extraiu mais P que o Mehlich-1 mesmo em solos com alto teor de Ca, que é a forma preferencial de extração do Mehlich-1, indicando que o P adicionado pode ter se ligado a outros componentes do solo, como o Al e o Fe, o que também pode ter ocorrido nessa pesquisa para o solo PAdx, que possui teor de Ca bem mais elevado em relação aos demais solos (Tabela 1). Segundo os autores essa maior extração da RTA em relação ao Mehlich-1

nesses solos pode ser atribuída à alta capacidade tampão do solo, associada ao elevado teor e tipo de argila, que podem ter proporcionado um desgaste do Mehlich-1 e promovido a readsorção de P dissolvido, o que acarretaria menor extração em solos mais argilosos quando comparados a solos com maior teor de areia (Novais & Smyth, 1999). Porém isso não ocorre com a RTA, que promove um equilíbrio químico no solo por meio da troca de ânions provenientes da própria resina e do P em solução, quando a concentração desse P da solução vai diminuindo é repostado pelas formas mais lábeis, portanto quanto maior o poder tampão do solo maior a reposição do P para a solução e maior a quantidade de P extraído pela RTA, isso justificaria esse extrator retirar mais P dos solos mais argilosos (Schlindwein & Gianello, 2009).

Entretanto, o Mehlich-1 extraiu mais P no solo mais arenoso (PVAd₁), porém isso ocorreu apenas na dose mais baixa (Tabela 5), devido provavelmente ao seu menor tamponamento, porém nas doses mais elevadas a RTA extraiu maior quantidade de P, fato também verificado por Farias et al. (2009), que encontraram resultado semelhante em solos da Paraíba, em que a

Tabela 5. Teores de P extraídos pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica (RTA) em função de doses de P aplicadas em diferentes solos

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Solos		
	PVAd ₁	PAdx Mehlich-1	PVAd ₂
	mg dm ⁻³		
0	11,33	13,80	5,78
40	17,75	15,13	6,90
80	20,00	14,28	10,83
120	22,63	20,93	11,78
160	25,20	23,30	14,15
200	28,65	24,13	19,35
Média	20,90	18,59	11,46
	Resina de Troca Aniônica		
0	7,32	15,04	15,85
40	13,58	23,58	20,94
80	23,15	25,49	28,59
120	19,98	32,72	38,33
160	26,17	28,15	48,81
200	32,69	40,26	55,84
Média	20,49	27,54	34,73

RTA também retirou mais P do solo que o Mehlich-1 quanto aplicadas doses mais elevadas de P, porque provavelmente o P proveniente dessas doses ficou retido nas frações mais lábeis do solo, contribuindo para uma maior retirada da RTA, como comentado anteriormente.

As equações de regressão obtidas a partir das doses aplicadas ao solo e o teor de P recuperado pelos extratores se ajustaram a modelo linear nos três solos estudados (Figuras 3), com a maior taxa de recuperação apresentada pela RTA em todos os solos. Esse resultado difere do encontrado por Rossi et al. (1999), que verificaram que a RTA e o Mehlich-1 extraíram quantidades semelhantes de P em um Latossolo de textura média.

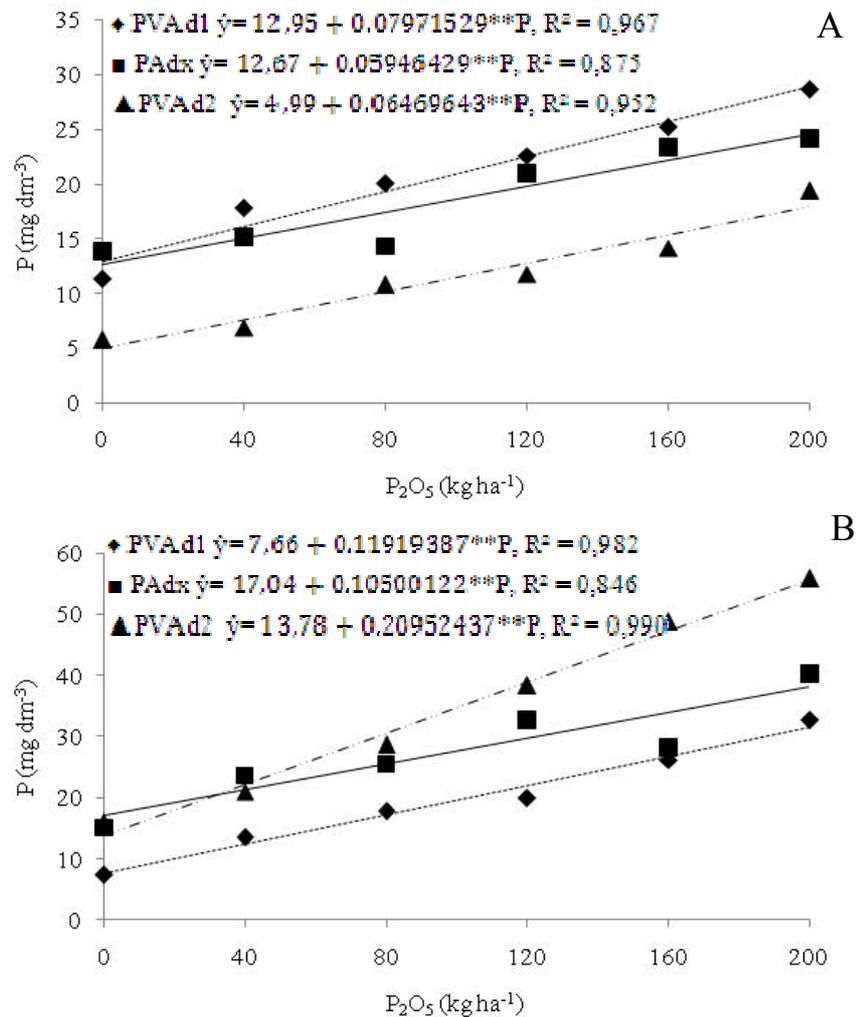


Figura 3. Equações de regressão que estimam o P extraído pelos extratores Mehlich-1 (A) e RTA (B) em função de doses de P aplicadas em de diferentes solos.

As taxas de extração mostraram maior variação para a RTA, onde a taxa do solo PAVd₂ foi de 0,21 mg dm⁻³/kg ha⁻¹ e nos solos PAVd₁ e PAdx de 0,12 mg dm⁻³/kg ha⁻¹ e 0,10 mg dm⁻³/kg ha⁻¹, respectivamente, bem maiores que as verificadas para Mehlich-1, que foram de 0,08 mg dm⁻³/kg ha⁻¹ para o solo PVAd₁ e 0,06 mg dm⁻³/kg ha⁻¹ para os solos PAdx e PVAd₂. Esse resultado contrasta com o verificado por outros autores, como Silva & Rajj (1999) que em uma revisão bibliográfica sobre extratores de P em diversos tipos de solos, chegaram a conclusão que a RTA foi a que se apresentou mais estável dentre os extratores mais usados no Brasil.

4.1.2. Relações do P recuperado com características físicas e químicas dos solos

Foram realizadas correlações entre as taxas de recuperação de P pelos extratores e características físicas e químicas dos solos (Tabela 7), onde foram verificadas correlações significativas e negativas entre taxa de extração do Mehlich-1 com o teor de Fe determinado com oxalato (Feo) e a relação deste teor com o teor de Fe determinado com ditionito (Feo/Fed), indicando que o grau de cristalinidade dos óxidos influenciaram a adsorção do fosfato nos solos, fato verificado também por Hernández & Meurer (1998) em solos do Uruguai, Moreira et al. (2006a) em solos do Estado do Ceará e Simões Neto et al. (2009) em solos de Pernambuco, todos trabalhando com solos de diferentes texturas.

Para Moreira et al. (2006a) os óxidos amorfos, como os determinados com oxalato são os principais responsáveis no processo de adsorção dos fosfatos, isso se dá principalmente devido sua alta área de superfície específica (Kämpf & Curi, 2000) que aumenta sua efetividade em adsorver ânions.

Valladares et al. (2003) não encontraram correlações entre o Feo e a adsorção de fosfato em solos com argila de atividade alta de diversas regiões do Brasil, e atribuíram esse fato à baixa concentração desse tipo de Fe nos solos estudados.

Simões Neto et al. (2009) verificaram correlações entre a taxa de extração de P por Mehlich-1 com o teor de argila, a CMAP e o P-rem dos solos estudados por eles, que não foram observadas nesse trabalho. O extrator

Mehlich-1 apresentou nesta pesquisa um comportamento semelhante a RTA, inclusive com menor variação nas taxas de extração do que a RTA (Figura 1), refletindo na obtenção de correlações não significativas estatisticamente.

A RTA não apresentou correlação com nenhuma característica do solo, apesar de ter apresentado elevados coeficientes de correlação linear simples (Tabela 6), corroborando Simões Neto et al. (2009), que também não verificaram correlação da RTA com características químicas e físicas de solos de Pernambuco, e segundo os autores isso vem comprovar que o poder de recuperação do P pela RTA não sofre interferência das características que influenciam a capacidade de adsorção de fosfatos no solo, não subestimando o P lábil.

Tabela 6. Coeficientes de correlação linear simples entre o teor de P extraído pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica (RTA) com características químicas e físicas de diferentes solos

Características	Extratores	
	Mehlich-1	RTA
Argila	-0,6053 ^{ns}	-0,8577 ^{ns}
CMAP	-0,6418 ^{ns}	-0,8577 ^{ns}
P-rem	0,4608 ^{ns}	0,9485 ^{ns}
MO	-0,4809 ^{ns}	-0,9411 ^{ns}
Feo	-0,9811 ^o	-0,3444 ^{ns}
Fed	-0,9239 ^{ns}	-0,5221 ^{ns}
Feo/Fed	-0,9841 [*]	-0,3289 ^{ns}

*^o significativo a 5 e 10% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} não significativo.

4.2. Crescimento da cana planta e soca em função da adubação fosfatada

Na cana planta, em média, as mensurações de crescimento vegetativo da cultura variaram nos diferentes solos, com exceção do estande nos solos PVAd₁ e PAdx, onde foram contabilizadas 11 plantas por metro linear, valores maiores do que no solo PVAd₂, que teve uma média de 9,9 plantas por metro linear (Tabela 8). As maiores alturas e áreas foliares da cana foram verificadas no solo PVAd₁, possivelmente pelo maior espaçamento utilizado nesse solo

(1,5 m entre fileiras), o que pode ter favorecido um maior crescimento das plantas e maior produção de folhas.

As plantas de cana-de-açúcar cultivadas no solo PAdx apresentaram os maiores diâmetros de colmos, seguidas daquelas cultivadas no solo PVAd₂, variável essa decisiva para definir produtividade.

A adubação fosfatada influenciou o crescimento das plantas, exceto a área foliar da cana cultivada no PVAd₁, que apresentou valores menores que a testemunha sem adubação em algumas doses de P aplicadas, mas todas as demais variáveis de crescimento apresentaram incremento com a aplicação do adubo fosfatado (Tabela 7). Esse resultado evidencia que o P é um elemento limitante para a cana-de-açúcar, e sua falta acarreta em plantas menos nutridas, afetando conseqüentemente a produtividade.

Tabela 7. Estande, altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana planta submetida à adubação fosfatada em diferentes solos

Solos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Estande Plantas/m	Altura m	Diâmetro mm	Área foliar cm ²
PVAd ₁	0	10,58	2,76	21,76	2.100,7
	40	10,92	2,81	23,92	2.194,1
	80	10,67	2,86	22,48	2.190,1
	120	12,00	2,89	23,25	2.245,7
	160	10,83	3,00	22,91	2.041,5
	200	10,75	2,83	22,58	2.001,6
	Média		11,0	2,9	22,8
PAdx	0	9,43	2,49	26,33	2.642,8
	40	10,78	2,74	26,53	3.177,1
	80	11,59	2,65	26,74	3.001,2
	120	11,75	2,59	27,16	3.046,2
	160	11,43	2,62	27,31	3.012,4
	200	11,17	2,56	32,18	3.009,1
	Média		11,0	2,6	27,7
PVAd ₂	0	9,09	2,27	26,80	2.993,8
	40	9,47	2,37	27,40	3.393,3
	80	10,13	2,43	27,43	3.549,8
	120	10,33	2,51	27,40	3.502,9
	160	10,13	2,49	27,60	3.417,1
	200	10,33	2,45	27,25	3.480,9
	Média		9,9	2,4	27,3

Esse fato verificado também por Simões Neto (2008) com relação ao estande e altura das plantas de cana-de-açúcar em diferentes solos e Oliveira et al. (2000) para essas mesmas variáveis em *Panicum maximum*. Santos et al. (2009), utilizando uma dose de 132 kg ha^{-1} de P_2O_5 nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, encontraram altura média da cana-de-açúcar de 2,42 m, inferiores as encontradas nas plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PAdx, e equivalente a encontrada para a cana plantada no PVAd₂ deste trabalho.

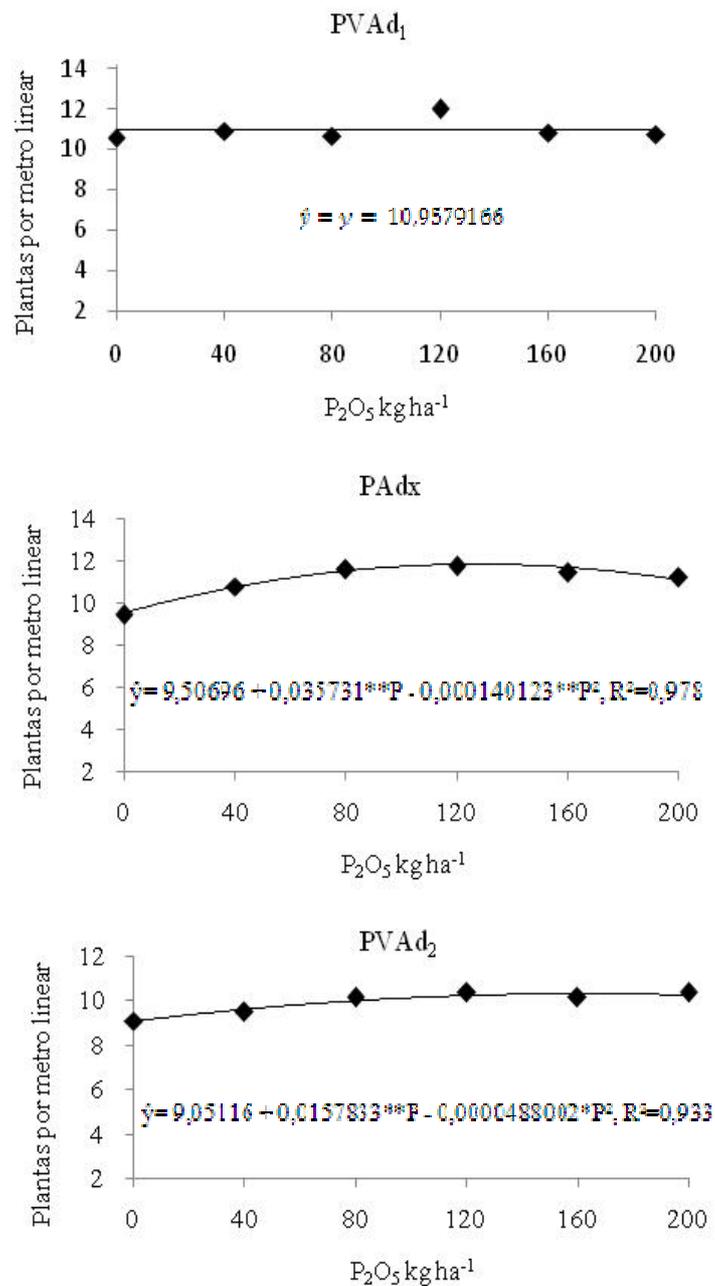


Figura 4. Estande da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

Os dados de estande de plantas no PVAd₁ não se ajustaram a nenhum modelo matemático, o que pode ser atribuído ao alto valor dessa variável na dose 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, que ficou distante das demais médias. No entanto, nos outros solos obteve-se efeito quadrático entre estande de plantas como função da adubação fosfatada (Figura 4).

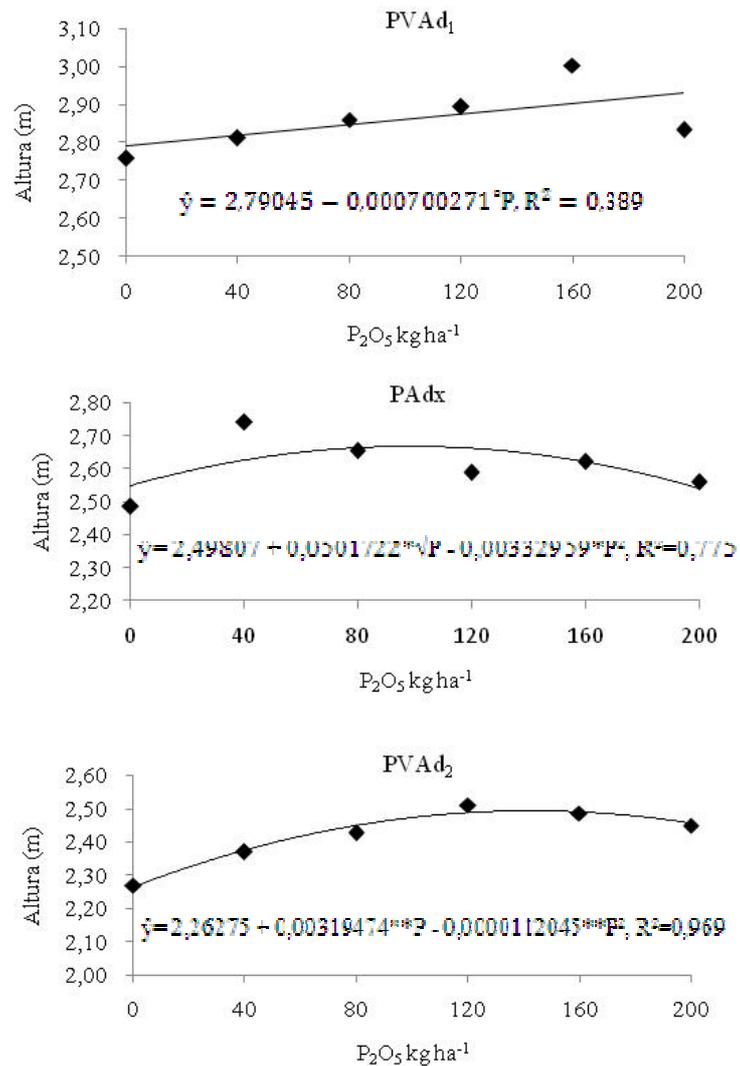


Figura 5. Altura da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

Simões Neto (2008) encontrou efeito quadrático para o estande da cana-de-açúcar em cinco solos com diferentes teores de argila e pôde inferir que o P não limitou o perfilhamento. Santos et al. (2010) também encontraram esse

mesmo efeito no perfilhamento da cana-de-açúcar em um solo de textura média aos 120 DAP, com efeitos significativos das doses de P aplicadas.

A cana planta apresentou crescimento linear na variável altura quando cultivada no PVAd₁, porém com baixo coeficiente de determinação (Figura 5). Esse resultado demonstra que doses mais elevadas de P poderiam proporcionar maior crescimento das plantas nesse solo.

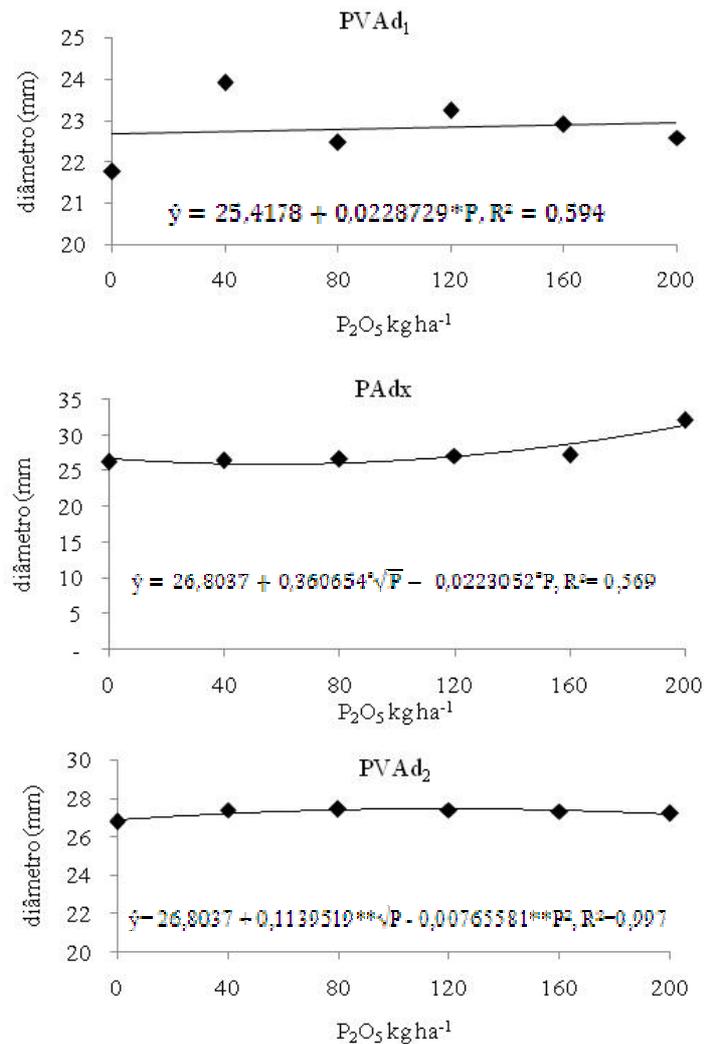


Figura 6. Diâmetro do colmo da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

Nos demais solos, o P também não foi fator limitante no crescimento da cultura, comprovado pelo crescimento curvilinear, onde foram atingidos patamares máximos de altura, como foi verificado também por Simões Neto (2008).

Nos demais solos, o P também não foi fator limitante no crescimento da cultura, comprovado pelo crescimento curvilíneo, onde foram atingidos patamares máximos de altura, como foi verificado também por Simões Neto (2008).

O aumento do diâmetro do colmo da cana-de-açúcar em função da aplicação de P no primeiro ciclo de cultivo apresentou ajustes diferentes em cada solo (Figura 6), indicando que o P não foi fator limitante para o crescimento do diâmetro.

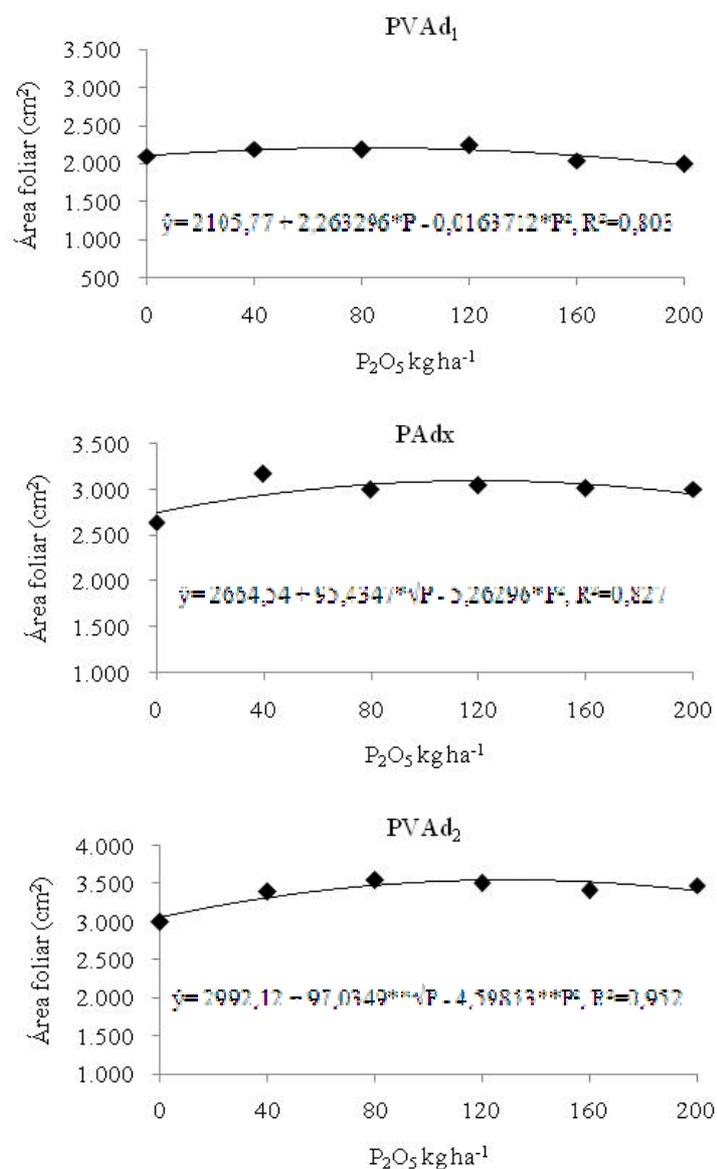


Figura 7. Área foliar da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

A área foliar da cana planta em função da adubação fosfatada apresentou comportamento semelhante em todos os solos, com efeito quadrático (Figura 7), inferindo-se que esse nutriente não foi limitante para o desenvolvimento foliar dessa cultura. Almeida Junior et al. (2009) também encontraram efeito quadrático da área foliar de mamoneira em virtude da aplicação de doses de P.

O crescimento da cana soca foi influenciado pela adubação fosfatada de cobertura nesse ciclo apenas para as plantas cultivadas no PAdx até a dose de 80 kg ha⁻¹ P₂O₅, proporcionando maior altura das plantas (Tabela 8), possivelmente esse maior crescimento tenha sido reflexo da maior absorção desse nutriente, determinante para proporcionar maior produtividade. Esse resultado pode indicar que quando se utiliza doses de P baixas em plantio, a adubação de socaria pode melhorar o desenvolvimento das plantas para solos com as mesmas características.

Tabela 8. Estante, Altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd1) na Usina Japungu, PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd2) na Usina Bom Jesus/PE.

Adubação de plantio (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Adubação de socaria (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)					
	PVAd ₁		PAdx		PVAd ₂	
	0	40	0	40	0	40
Estante (planta/metro linear)						
0	7,61 a	8,21 a	7,54 a	7,84 a	5,50 a	5,62 a
40	8,51 a	8,73 a	8,84 a	8,51 a	6,25 a	6,37 a
80	8,32 a	8,40 a	9,49 a	9,38 a	6,62 a	6,12 a
120	9,36 a	9,24 a	9,63 a	9,40 a	6,37 a	7,12 a
160	8,44 a	8,74 a	9,37 a	9,50 a	6,62 a	6,25 a
200	8,38 a	8,35 a	9,15 a	8,95 a	6,50 a	6,00 a
CV (%)	9,14	5,27	7,46	5,78	12,05	11,35
Altura de planta (m)						
0	1,91 a	1,99 a	1,87 b	2,05 a	1,19 a	1,18 a
40	2,07 a	2,05 a	2,02 b	2,21 a	1,31 a	1,28 a
80	2,12 a	2,07 a	2,10 b	2,23 a	1,34 a	1,23 a
120	2,12 a	2,20 a	2,12 a	2,11 a	1,34 a	1,40 a
160	2,17 a	2,16 a	2,03 a	2,15 a	1,34 a	1,24 a
200	2,11 a	2,15 a	2,01 a	2,09 a	1,31 a	1,35 a
CV (%)	5,59	4,73	4,94	4,19	7,22	6,73
Diâmetro do colmo (mm)						
0	17,49 b	20,98 a	20,91 a	21,86 a	20,89 a	20,18 a
40	19,65 a	19,50 a	23,68 a	22,47 a	21,66 a	20,90 a

80	21,02 a	19,47 a	24,90 a	24,19 a	20,83 a	20,26 a
120	19,93 a	21,00 a	23,50 a	23,48 a	20,55 a	21,02 a
160	19,66 a	20,64 a	22,69 a	21,79 a	21,69 a	20,08 a
200	18,22 a	19,54 a	23,49 a	22,61 a	19,29 a	20,20 a
CV (%)	9,10	8,58	11,17	10,24	6,67	5,72
Área foliar (cm ²)						
0	3005 a	2660 a	3768 a	4278 a	2654 a	2924 a
40	3134 a	2942 a	4372 a	4386 a	3134 a	2740 a
80	3204 a	2854 a	4633 a	4536 a	3203 a	3008 a
120	3100 a	3526 a	4034 a	4097 a	3465 a	3163 a
160	3866 a	3443 a	4142 a	4531 a	3555 a	3138 a
200	2915 a	2772 a	4239 a	4050 a	3255 a	2932 a
CV (%)	18,41	13,36	9,88	13,71	16,05	12,84

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. Produtividade de cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos

Os dados de produção da cana planta em função da adubação fosfatada permitiu ajuste de modelo curvilinear para os três locais e solos estudados, o que possibilitou a estimativa das doses de máxima eficiência agrônômica (MEA) por meio das equações de regressão obtidas para cada solo (Figura 8). Esse resultado corrobora Reis & Cabala-Rosand (1986), para os quais as respostas ao P na cana planta são significativas e de natureza quadrática. Porém, Korndörfer et al. (1998) encontraram efeito linear quando utilizaram doses até 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ num solo de textura média em Minas Gerais, indicando que a cana planta responderia a doses mais elevadas de P. Esse efeito quadrático das doses de P sobre a produtividade reflete que doses desse nutriente acima do requerido pela planta pode promover um consumo excessivo, mas sem reflexo direto no aumento de produtividade (Santos, 2009).

O autor acima citado avaliando a produtividade de colmos na cana-de-açúcar em um Latossolo de Alagoas em resposta a adubação fosfatada encontrou resposta semelhante à dessa pesquisa, com produtividade máxima de 112,84 t ha⁻¹ para uma dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, muito próxima da encontrada para a cana cultivada no PAdx nessa pesquisa, que foi de 112,95 t ha⁻¹ para a dose de 80 t ha⁻¹ (Figura 8), tendo esse solo possibilitado as maiores produtividades médias, seguido pelo PVA_{d2} e PVA_{d1}, cujas canas produziram 100,94, 88,47 e 79,28 t ha⁻¹, respectivamente.

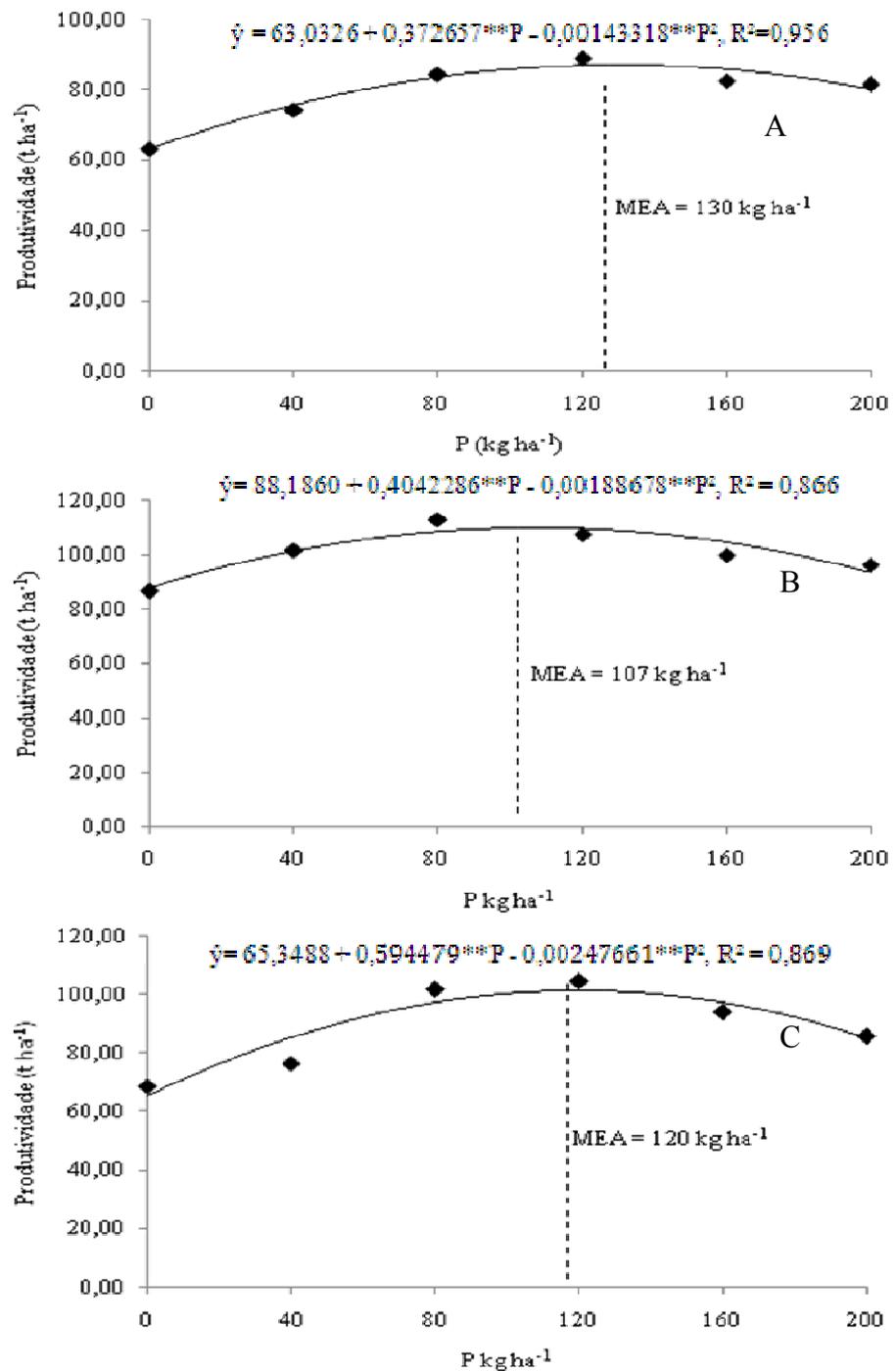


Figura 8. Produtividade de cana-de-açúcar e dose de máxima eficiência agrônômica na cana planta em função da adubação fosfatada em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (C).

As produtividades mesmo quando não se aplicou P foram elevadas, chegando a mais de 86 t ha⁻¹ no PADx, fato verificado também por Simões Neto

(2008), que avaliou a produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de P em solos de Pernambuco, e encontrou produtividades de até 70 t ha⁻¹ sem a adição do nutriente e Santos et al. (2009) utilizando diferentes fontes de P em solos de Alagoas, que encontraram produtividades médias superiores a 80 t ha⁻¹ sem adição do adubo. Os autores atribuíram essas elevadas produtividades ao efeito residual dos insumos utilizados nas áreas de produção agrícola, onde as pesquisas foram realizadas. Nessa pesquisa, em particular, some-se a isso, os elevados teores de P encontrados antes da aplicação de P (Tabela 1). Apesar de apresentar essas elevadas produções na ausência de P, a adubação fosfatada proporcionou resposta positiva para a cana planta, chegando a elevar a produção em até 30% no PVAd₁, 23% no PAdx e 34% no PVAd₂.

A maior dose de MEA foi constatada no solo PVAd₁, que foi de 130 kg ha⁻¹, seguida do PVAd₂ (120 kg ha⁻¹) e do PAdx (105 kg ha⁻¹), essas doses foram maiores do que as doses de máxima eficiência econômica (MEE) encontradas por Simões Neto (2008) para solos da mesma região, porém estão dentro das doses econômicas propostas por Zambello Júnior & Azeredo (1983), que estabeleceram doses econômicas para a cana planta em São Paulo entre 80 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A diferença encontrada entre as doses desse trabalho e o de Simões Neto (2008) pode ser explicada porque ele trabalhou com doses de MEE e nesse trabalho estimou-se doses de MEA. Normalmente doses de MEE são menores do que as de MEA. Como a MEE se relaciona diretamente com preço de insumo e de produto, optou-se nessa pesquisa a considerar-se apenas critérios agrônômicos de produção.

Essa elevada dose de MEA de cana obtida no PVAd₁ e as produções mais baixas encontradas nesse solo podem ser em virtude de outras características, como a baixa CTC em relação aos demais solos, e a baixa capacidade de retenção de água (Tabela 1), que é fundamental para o suprimento desse elemento, por ele se movimentar primordialmente por difusão, o que dificulta sua absorção pelas raízes das plantas, mesmo o solo apresentando baixa CMAP. No PAdx suas boas condições de fertilidade proporcionaram maiores produtividades com uma dose mais baixa de P (Figura 8).

A adubação fosfatada em socaria refletiu em aumento de produção de cana nos solos PAdx e PVAd₂ (Tabela 10). Efeito positivo da adubação de socaria em cana-de-açúcar havia sido relatado por Korndorfer & Alcare (1992), onde a utilização de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumentou significativamente a produção de colmos quando se usou 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em plantio. Porém Schmitz et al. (2007) não encontraram resposta na produtividade da cana soca quando aplicaram P na forma de superfosfato triplo. Korndörfer & Melo (2009) também não verificaram diferença estatística na produtividade de colmos com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em cana soca.

Tem sido verificado benefício da adubação de cobertura em outras culturas anuais, como no trabalho de Sousa & Lobato (2004) que verificaram aumentos na produtividade de 98% e 110% em pastagem estabelecida com aplicação de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na superfície do solo a cada dois anos.

A adubação fosfatada da cana soca no solo PAdx apresentou efeito positivo e significativo da dose de P aplicada em cobertura, exceto quando se aplicou 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio (Tabela 9). No PVAd₂, a adubação de cobertura na cana soca ajudou a incrementar a produtividade no tratamento que recebeu 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio.

Tabela 9. Produção da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd₂) na Usina Bom Jesus/PE

Adubação de plantio (Kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Adubação de socaria (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)					
	PVAd ₁		PAdx		PVAd ₂	
	0	40	0	40	0	40
	----- t ha ⁻¹ -----					
0	52,77 a	55,78 a	68,84 b	94,20 a	24,69 a	23,70 a
40	62,56 a	61,11 a	79,71 b	90,58 a	30,26 a	32,36 a
80	51,39 a	62,50 a	81,52 b	96,01 a	39,43 a	35,20 a
120	58,33 a	58,33 a	84,24 b	94,20 a	34,13 b	39,48 a
160	58,33 a	58,33 a	86,97 a	88,77 a	43,19 a	38,50 a
200	61,11 a	70,83 a	86,97 b	99,64 a	30,39 a	31,20 a
CV (%)	19,30	14,02	11,23	8,74	24,46	13,08

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção da cana soca em virtude das doses aplicadas no plantio seguiram a mesma ordem de resposta curvilínea da cana planta (Figura 9).

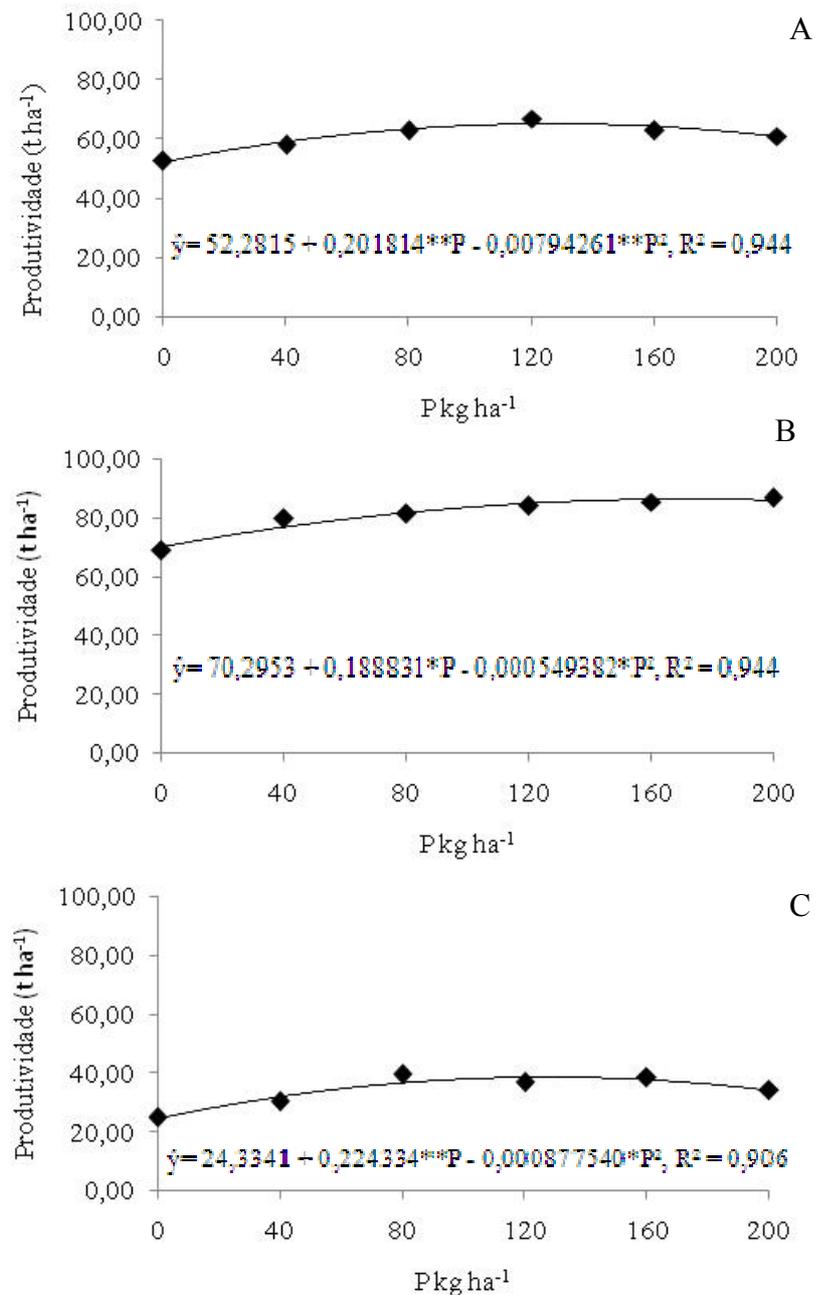


Figura 9. Produtividade de cana soca em função da adubação fosfatada de socaria em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (C).

Pereira et al. (1995) avaliando o efeito residual do P na produtividade da cana-de-açúcar, encontraram resultado semelhante quanto a resposta da socaria, com efeito quadrático do rendimento da cana soca em virtude das doses de P aplicadas na implantação da cultura e com menores

produtividades no segundo ciclo. Korndörfer et al. (1998) também verificaram decréscimos na produtividade de colmos em socaria quando aplicou-se doses de P apenas no plantio, e atribuíram essa queda de produção a não reposição desse nutriente no segundo ciclo da cultura.

Esses resultados podem indicar que o suprimento de P apenas em plantio não seja suficiente para a manutenção do canavial ao longo dos ciclos, e que haja necessidade de reposição do P nas soqueiras de cana-de-açúcar, haja visto que seu efeito residual depende de muitos fatores tais como: poder de fixação do P pelo solo, nível inicial de P disponível, taxa e forma de P aplicado (Zambello jr. & Orlando Filho, 1981). Medeiros (1988) constatou que mesmo doses elevadas de P de até 300 kg ha⁻¹ em plantio, pode não ser suficiente para se manter uma adequada produção ao longo dos cortes da cultura, e verificou aumento significativo na produção quando se forneceu P na socaria.

Porém, nessa pesquisa, apesar de ter havido queda na produtividade de socaria, a produção ainda mostrou-se elevada, exceto na cana cultivada no PVAd₂, e todos os tratamentos que receberam adubação fosfatada na soca apresentaram produtividades maiores do que a testemunha sem adubação fosfatada (Tabela 10). Essa maior resposta a adubação de socaria se acentuou no PAdx, variando de 10 a 18 t ha⁻¹, da menor para a maior dose de P. Essa reposta a aplicação de P na cana soca nesse solo pode se dever ao elevado teor de P existente inicialmente no solo (Tabela 1), associada com a menor perda desse nutriente ao longo dos ciclos, o que pode ter sido suficiente para manter as produtividades elevadas, mostrando que nesse solo o P apresentou um efeito residual favorável, acrescido da adubação da soca.

4.4. Níveis críticos de P no solo e suas relações com características físicas, químicas e mineralógicas em diferentes solos

Os níveis críticos no solo foram calculados a partir das curvas de respostas referentes à produtividade dos colmos e segundo Pereira & Gomes (1998) nível crítico do solo é o valor da concentração do nutriente que permite separar as classes de solo quanto a sua resposta ao nutriente estudado, e varia principalmente de acordo com os extratores utilizados, por isso, calculou-se os níveis críticos para os extratores Mehlich-1 e RTA (Tabela 10).

Tabela 10. Níveis críticos de P em cana planta com os extratores Mehlich-1 e RTA em em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd₁) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd₂) na Usina Bom Jesus/PE

Solos	Níveis críticos	
	Mehlich-1	RTA
	----- mg dm ⁻³ -----	
PVAd ₁	10,27	15,47
PAdx	6,31	11,23
PVAd ₂	7,68	25,08

Houve variação nos valores dos níveis críticos tanto para os diferentes solos como para os dois extratores, onde se verificou o maior valor no PVAd₁ para o Mehlich-1, provavelmente por ser esse solo o que apresenta menor poder tampão (Tabela 1). Mesmo o PVAd₁ tendo apresentado em sua mineralogia óxidos de Fe como a goethita (Tabela 2) que têm poder elevado de adsorver P, porém por apresentar baixo teor de argila, a quantidade de óxidos nesse solo não foi suficiente para intervir na adsorção do P aplicado, refletindo no maior nível crítico por Mehlich-1. Esse resultado foi observado por outros autores, como Simões Neto et al. (2011) para solos da mesma região.

Pereira & Gomes (1998) relataram que diversos trabalhos que estimaram níveis críticos em solos de diferentes texturas, observaram essa mesma tendência, e evidenciaram a importância de se levar em consideração tais características para a recomendação de adubação fosfatada, porque fica evidente que características que refletem o poder tampão do solo podem influenciar os níveis críticos.

A RTA apresentou maior nível crítico no solo PVAd₂ (Tabela 10), demonstrando que a RTA não sofre influência da capacidade tampão do solo (Tabela 6), porque esse foi o solo que apresentou a maior CMAP (Tabela 1). Esse maior nível crítico pode ser consequência desse solo, provavelmente, apresentar maior quantidade de P na forma lábil, que é a forma mais extraída por esse extrator.

Os níveis críticos de P determinados com a RTA comparados com os encontrados com Mehlich-1 foram maiores nos três solos, com diferença mais evidente no PVAd₂, no qual o nível crítico foi mais de três vezes maior do que o

encontrado com o Mehlich-1. Esse resultado corrobora o encontrado por Silva et al. (2007), que encontraram níveis críticos de P para eucalipto em solo argiloso maiores com a RTA do que com o Mehlich-1. Simões Neto et al. (2011) também encontraram maiores níveis críticos com a RTA quando comparada a diversos extratores, inclusive o Mehlich-1.

Para um melhor entendimento das relações entre atributos do solo e suas interações com o sistema solo/planta foram feitas correlações entre características físicas e químicas do solo que refletem seu poder tampão e os níveis críticos no solo (Tabela 11).

Os níveis críticos de P determinados com a RTA não apresentaram correlação com nenhuma das características físicas e químicas dos solos (Tabela 11), evidenciando que esse extrator não sofre influência do poder tampão de fosfato do solo. Simões Neto (2008) encontrou correlação entre a RTA e o P-rem, porém como não houve correlação com a CMAP o autor atribuiu essa correlação muito mais ao acaso do que com a consistência da relação.

Tabela 11. Correlação linear simples entre os níveis críticos de cana planta e características químicas e físicas dos solos

Características	Níveis críticos	
	Mehlich-1	RTA
Argila	-0,5185 ^{ns}	-0,7524 ^{ns}
CMAP	0,5579 ^{ns}	0,7823 ^{ns}
P-rem	0,3652 ^{ns}	0,8770 ^{ns}
MO	-0,3863 ^{ns}	-0,8658 ^{ns}
Feo	-0,9554 ^o	-0,1717 ^{ns}
Fed	-0,8787 ^{ns}	-0,3619 ^{ns}
Feo/Fed	-0,9601 ^o	-0,1555 ^{ns}

^o significativo a 10% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Houve correlação entre o nível crítico de P determinado com o Mehlich-1 e o Feo e a relação Feo/Fed (Tabela 11), relações que também foram verificadas para P extraído por esse extrator (Tabela 7), evidenciando que essas formas de Fe devem ser as principais responsáveis pela adsorção de P nesses solos. Simões Neto et al. (2011) e Corrêa et al. (2009) também encontraram correlação significativa entre o nível crítico de P por Mehlich-1 e

formas de Fe no solo, dentre outras características que refletem o tamponamento de P, e ressaltaram que isso reflete a sensibilidade desse extrator ao poder tampão de fosfato do solo.

4.5. Teor de P na cana planta e na cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos

Os teores de P nos componentes da parte aérea da cana planta variaram com as doses de P aplicadas e os solos das áreas em que os ensaios foram conduzidos, onde os maiores teores de P nas folhas e no ponteiro foram obtidos nas plantas cultivadas no PVAd₁ e no colmo das plantas de cana cultivadas no PAdx (Tabela 12).

Tabela 12. Teores de P nos componentes da parte aérea de cana planta* submetida a adubação fosfatada em diferentes solos

Solos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Folha	Ponteiro	Colmo
		----- g kg ⁻¹ -----		
PVAd ₁	0	0,60	1,12	0,16
	40	0,67	1,61	0,20
	80	0,71	1,01	0,19
	120	0,70	1,16	0,21
	160	0,76	1,08	0,21
	200	0,79	1,40	0,23
	Média		0,70	1,23
PAdx	0	0,24	0,44	0,29
	40	0,37	0,51	0,26
	80	0,48	0,66	0,30
	120	0,47	0,72	0,29
	160	0,48	0,61	0,28
	200	0,47	0,63	0,28
	Média		0,42	0,59
PVAd ₂	0	0,52	0,79	0,16
	40	0,52	0,82	0,19
	80	0,67	1,58	0,25
	120	0,72	0,83	0,23
	160	0,72	1,01	0,29
	200	0,80	0,98	0,26
	Média		0,66	1,00

*Material colhido aos 420 DAP

Essas diferenças foram mais pronunciadas no componente ponteiro, que apresentou os maiores teores de P em relação a folha e ao colmo, fato também verificado por Simões Neto (2008), que atribuiu esses maiores teores no ponteiro por ser nele onde há maior atividade metabólica na planta, conseqüentemente concentrando mais nutrientes.

O teor de P no colmo na cana planta foi condizente com sua produtividade, seguindo a mesma seqüência (Figura 8 e Tabela 12), mostrando que pode haver relação entre a absorção desse elemento e sua concentração no colmo e a produtividade da cultura. Entretanto, essa relação não foi verificada para os demais componentes, resultado semelhante ao encontrado por Spironelo et al. (1996), que também não verificaram relação entre os teores de P das folhas com a produtividade da cana, em diferentes solos de São Paulo.

Os teores de P no componente folha da cana planta em decorrência da aplicação de doses de P aplicadas nos solos foram submetidos à análise de regressão, onde nas plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PVAd₂ se ajustaram a modelo linear e naquelas cultivadas no solo PAdx ao modelo quadrático (Figura 10). Partindo dessas equações, se substituiu os valores de MEA e encontrou-se o nível crítico de P no componente folha da cana planta (Tabela 14).

Os níveis críticos de P no componente folha da parte aérea da cana planta mostraram uma pequena variação entre os solos estudados, com menores valores para o PAdx (Tabela 13). Essa proximidade entre os valores desses níveis críticos pode indicar que a CMAP não foi o fator mais limitante na absorção de P pelas plantas. A ordem desses níveis críticos seguiram a seqüência dos valores dos teores nas folhas e das doses de MEA, podendo ter sido a junção desses dois fatores determinantes para esse resultado.

Esses níveis críticos de P são maiores do que os encontrados por outros autores em solos das mesmas regiões (Simões Neto et al., 2011), provavelmente porque nessa pesquisa usou-se a MEA para essa determinação, ao invés da MEE utilizada por outros autores.

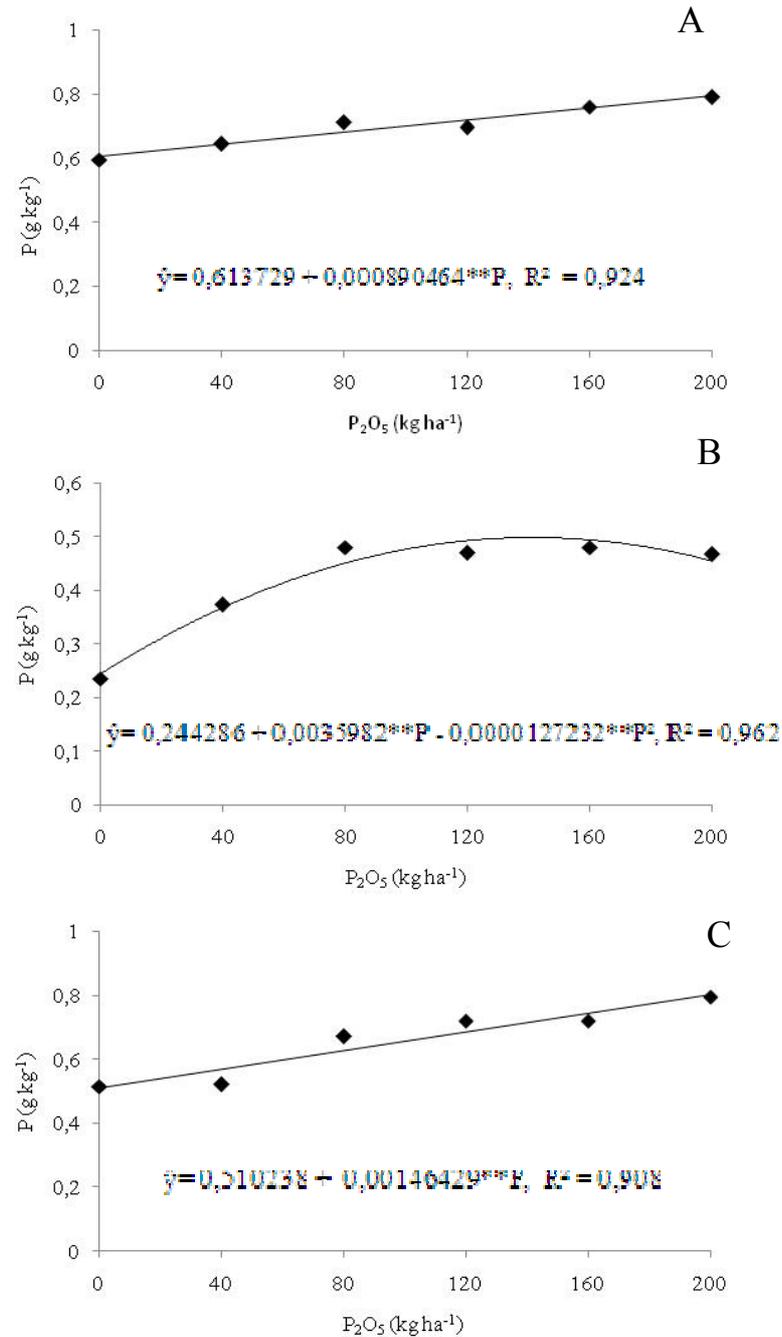


Figura 10. Teor de P nas folhas da cana planta em função da adubação fosfatada em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Japungu/PB (A), Argissolo Amarelo distrocoeso na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE (B) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Usina Bom Jesus/PE (C).

Tabela 13. Níveis críticos de P nas folhas em cana planta em em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd1) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd2) na Usina Bom Jesus/PE

Solos	Nível crítico de P	
	----- g kg ⁻¹ -----	
PVAd ₁	0,73	
PAdx	0,48	
PVAd ₂	0,69	

Os coeficientes de correlação linear simples entre características físicas e químicas e o nível crítico de P nas folhas da cana planta foram inconsistentes e não significativos para todas as características avaliadas (Tabela 14). Esse resultado evidencia que nenhuma das características avaliadas exerceram influência sobre o nível crítico de P nas folhas da cana-de-açúcar.

Tabela 14. Correlação linear simples entre os níveis críticos de P nas folhas da cana planta e características químicas e físicas dos solos

Características	Nível crítico de P na folha
Argila	-0,0361 ^{ns}
CMAP	-0,0106 ^{ns}
P-rem	0,2058 ^{ns}
MO	0,1835 ^{ns}
Feo	-0,6363 ^{ns}
Fed	-0,4724 ^{ns}
Feo/Fed	-0,6489 ^{ns}

^{ns} não significativo.

Esse resultado contrasta com o de Simões Neto et al. (2009), que com exceção do teor de argila, verificou correlações significativas entre o nível de crítico de P e as demais características de solos da mesma região. Os referidos autores trabalharam com um número mais elevado de solos, o que certamente facilitou a aplicação da análise de correlação e possibilitou encontrar relações mais consistentes entre níveis críticos de P nas folhas e características químicas e físicas do solo que refletem o poder tampão de fosfato.

A cana soca concentrou mais P em seus compartimentos da parte aérea do que a cana planta, com exceção do colmo das plantas cultivadas no solo PVAd₂ (Tabela 15), possivelmente pela produtividade mais elevada no primeiro

ciclo (cana planta), causando um efeito de diluição na concentração de P determinada na matéria seca das folhas e do ponteiro da cana.

Tabela 15. Teores de P nos componentes da parte aérea de cana soca* submetida a adubação fosfatada em diferentes solos

Solos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Componentes da planta		
		Folha	Ponteiro	Colmo
PVAd ₁	0	0,88	1,37	0,32
	40	1,05	1,39	0,33
	80	1,07	1,33	0,29
	120	1,06	1,29	0,33
	160	1,10	1,57	0,31
	200	0,86	1,44	0,35
	Média	1,00	1,40	0,32
PAdx	0	0,87	1,61	0,28
	40	0,94	1,24	0,31
	80	0,92	1,73	0,31
	120	0,97	1,50	0,29
	160	0,94	1,65	0,32
	200	0,96	1,65	0,34
	Média	0,93	1,56	0,31
PVAd ₂	0	0,88	1,31	0,22
	40	1,03	1,16	0,22
	80	1,05	1,50	0,22
	120	1,05	1,33	0,25
	160	1,05	1,46	0,28
	200	0,97	1,59	0,23
	Média	1,00	1,39	0,24

*Material colhido aos 780 DAP

Da mesma forma que na cana planta (Tabela 12), o ponteiro foi o componente que apresentou os maiores teores de P do que a folha e o colmo (Tabela 15), justificado anteriormente.

Os teores de P nos componentes da parte aérea da cana soca cultivada no solo PVAd₂ foram os mais baixos, possivelmente pelo seu desenvolvimento ter sido prejudicado pelos estresses hídricos freqüentes constatados na área desse solo, principalmente no segundo ciclo de cultivo (cana soca), o que afetou também a absorção de nutrientes, como o P.

A concentração de P nos componentes da parte aérea da cana soca não foi influenciada pela aplicação de P no plantio, havendo uma elevada variação entre os tratamentos que não permitiu ajustes estatísticos dos dados.

Resultados semelhantes foram observados por Moreira et al. (2006) estudando o efeito residual de P na manutenção de capim-elefante, em que não verificaram efeito da aplicação de P nos teores desse nutriente na matéria seca em nenhum dos ciclos de cultivo do capim, como também encontraram valores semelhantes do teor do nutriente tanto por ocasião do plantio quanto na manutenção da forrageira.

4.6. Extração e exportação de P em cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos

A extração de P pela cana planta variou entre os solos e os menores conteúdos de P foram encontrados nas plantas cultivadas no solo PVAd₁ (Tabela 16), contrariando o que se esperava, que era que o solo com menos CMAP (Tabela 1) absorvesse e acumulasse mais P que os outros, porém ocorreu justamente o contrário, onde os maiores conteúdos de P foram encontrados nas plantas cultivadas no solo PVAd₂, com exceção do P exportado (colmo) que foi maior nas plantas cultivadas no solo PAdx. Isso implica que outros fatores foram limitantes para absorção de P pelas plantas e não apenas o poder tampão de fosfato do solo.

O efeito da aplicação das doses de P em cana planta no acúmulo de P nos componentes da parte aérea das plantas foi avaliado por meio de equações de regressão, onde se escolheu os ajustes que apresentaram as maiores significâncias dos parâmetros das equações. A extração de P e alocação nas folhas em função da adubação fosfatada apresentou comportamento linear nas plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PVAd₂ e não foi possível ajuste para os dados obtidos no solo PAdx (Figura 11). Como nos solos PVAd₁ e PVAd₂ a extração de P e alocação nas folhas cresceu linearmente com as doses de P aplicadas, indicando que a variedade RB 92 479 tem capacidade de extrair mais P do que o que lhe foi fornecido com as doses utilizadas. Esse comportamento semelhante para solos com teores de

argila distintos, pressupõe que a CMAP não causou influência sobre a extração do P e sua alocação nas folhas.

No PAdx, provavelmente fatores adversos podem ter influenciado a absorção do nutriente, pois Simões Neto (2008) encontrou uma resposta quadrática para a extração de P pela cana-de-açúcar nesse mesmo solo.

Tabela 16. Conteúdo de P nos componentes da parte aérea e total da cana planta submetida à adubação fosfatada em diferentes solos

Solos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Folha	Ponteiro	Colmo	Total
		----- kg ha ⁻¹ -----			
PVAd ₁	0	1,04	1,14	4,62	6,80
	40	1,36	1,69	6,46	9,51
	80	1,43	1,80	7,30	10,54
	120	1,57	2,01	8,52	12,10
	160	2,14	1,86	5,96	9,95
	200	1,64	1,28	8,65	11,57
	Média		1,53	1,63	6,92
PAdx	0	1,12	0,91	11,34	13,37
	40	1,34	1,65	11,98	14,97
	80	3,24	2,52	15,19	20,95
	120	1,86	1,74	13,94	17,55
	160	2,17	1,87	12,73	16,77
	200	1,79	2,09	12,21	16,10
	Média		1,92	1,80	12,90
PVAd ₂	0	1,84	3,50	4,97	10,31
	40	1,95	2,31	6,59	10,85
	80	3,30	6,74	11,54	21,57
	120	2,52	3,28	10,63	16,43
	160	3,17	3,53	11,98	18,68
	200	3,06	3,67	10,14	16,87
	Média		2,64	3,84	9,31

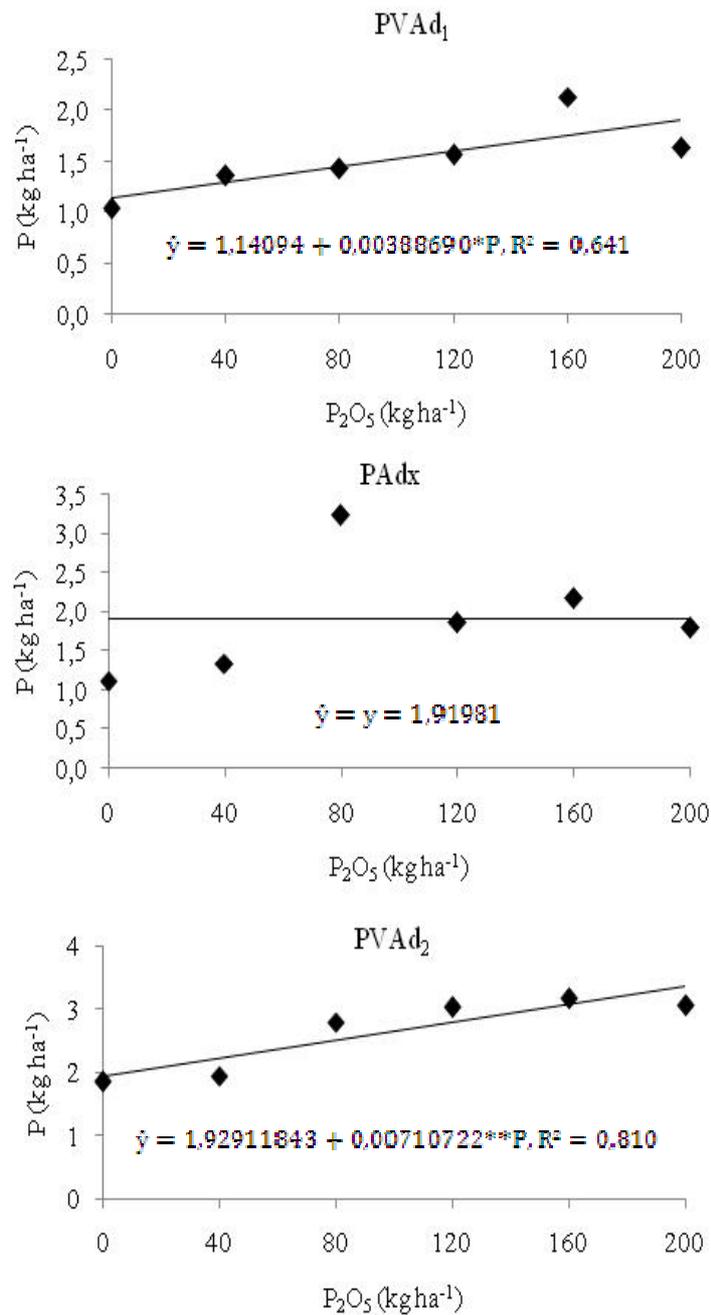


Figura 11. Conteúdo de P nas folhas da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

A alocação de P no componente ponteiro em função da aplicação de P nos solos apresentou comportamento semelhante ao observado por Simões Neto (2008), com ajustes curvilíneos (Figura 12), onde também a CMAP não apresentou influência, haja visto, que foi no solo com maior poder tampão de fosfato onde mais se alocou P no ponteiro.

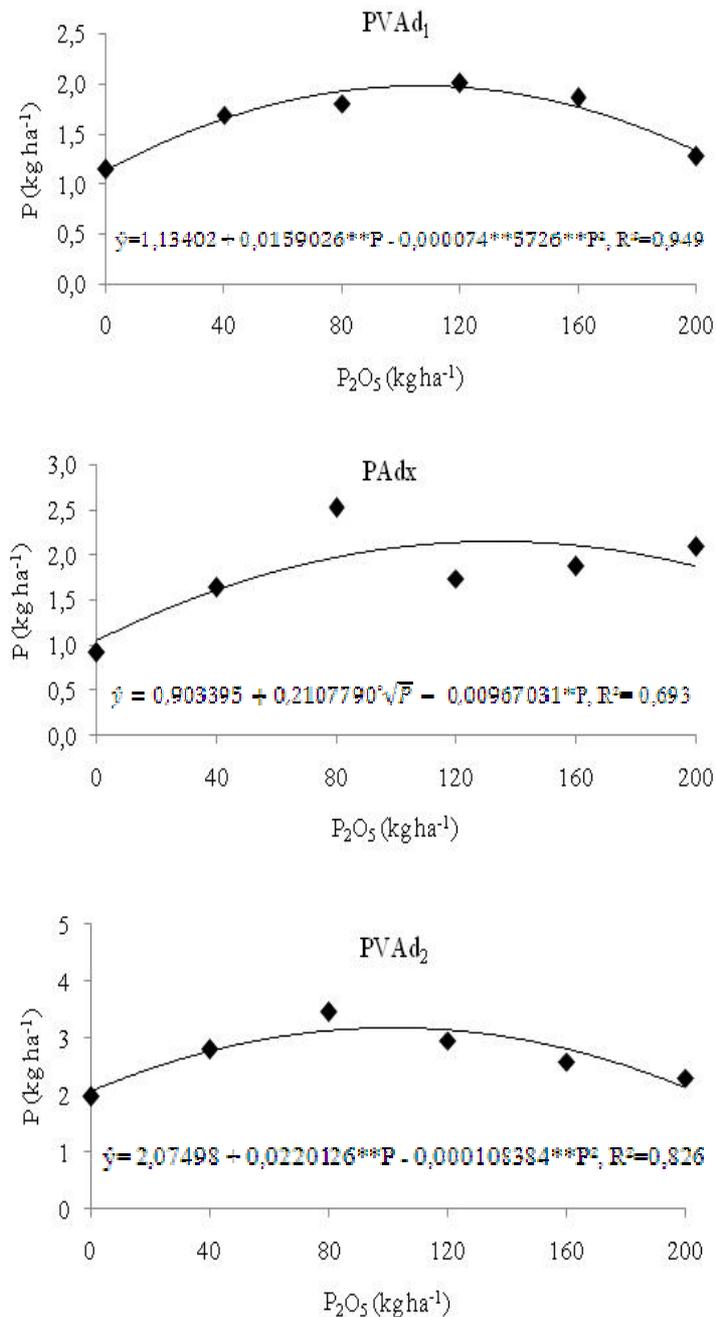


Figura 12. Conteúdo de P no ponteiro da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

A alocação de P no colmo em função da adubação fosfatada apresentou comportamento curvilíneo nas plantas cultivadas nos solos com maior teor de argila (PAdx e PVAd₂), porém não houve ajuste dos dados no solo PVAd₁ (Figura 13).

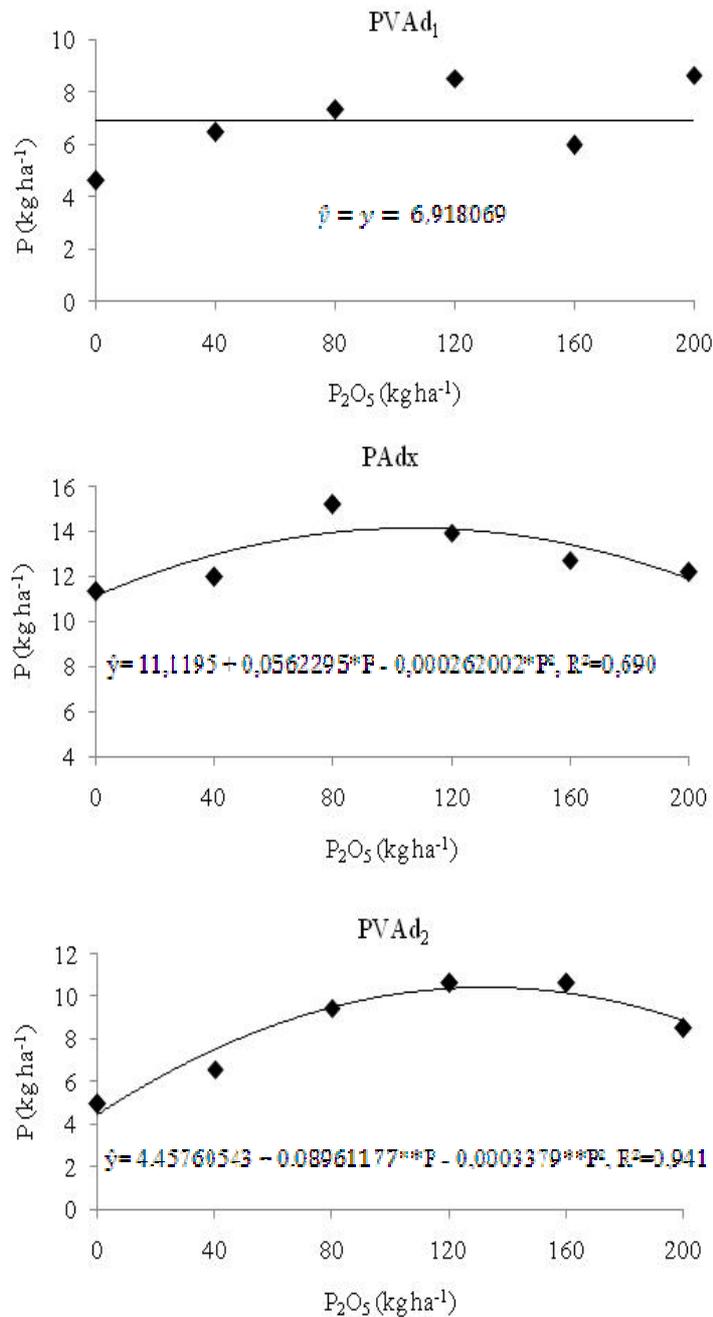


Figura 13. Conteúdo de P no colmo da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

Essa alocação de P no colmo do total extraído pela cultura é também designada de exportação, porque o P alocado nesse compartimento não retorna mais ao sistema solo/planta.

Simões Neto (2008) verificou exportação de P em cana da mesma ordem em solo de textura média, porém em solo com teor de argila semelhante ao dessa pesquisa, esse autor encontrou exportação crescente de P com as doses de P aplicadas. As baixas extrações pelas plantas cultivadas nos solos

PVAd₁ e PVAd₂ mais uma vez vem ressaltar que a CMAP não influenciou a absorção desse nutriente pela cana-de-açúcar.

Os dados de extração total de P em função da adubação fosfatada ajustaram-se a modelos curvilineares nos três solos em que a cana-de-açúcar foi cultivada, com coeficientes de determinação mais baixos nos solos PVAd₁ e PAdx (Figura 14), provavelmente pela influência dos dados de alocação de P no colmo e nas folhas que isoladamente não se ajustaram a nenhum modelo nos referidos solos, respectivamente.

Esse comportamento semelhante na extração total de P pela cana planta nos solos independentemente da CMAP, implica que as doses de P aplicadas aos solos não foi o único fator limitante que tenha influenciado a absorção pelas plantas, como verificado também por Simões Neto (2008), fatores déficit hídrico e compactação do solo podem ter influenciado nesse resultado.

A adubação de socaria promoveu maior absorção de P e alocação nos componentes da parte aérea da cana soca no PAdx (Tabela 17), com exceção das folhas do ponteiro, o que promoveu maiores produtividades como verificadas nesse solo com a adição do adubo fosfatado em socaria (Tabela 9). Na plantas cultivadas no PVAd₁ verificou-se maior acúmulo de P com a adubação de socaria apenas nas folhas da cana soca, tendo essa adubação não causado nenhum efeito na cana soca cultivada no PVAd₂. Esses resultados demonstram que a utilização de adubação fosfatada em soqueiras de cana, pode melhorar seu rendimento em solos com baixo poder tampão de fosfato, onde o P aplicado pode ficar mais disponível para a absorção pelas plantas.

A adubação fosfatada aplicada no plantio da cana planta refletiu de forma distinta na alocação de P na folha em socaria, onde no PVAd₁ o efeito foi quadrático, com menores alocações até a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 15), e crescentes nas doses acima desse valor, mostrando que maiores doses de P aplicadas em plantio proporcionam maior absorção e alocação do nutriente em socaria.

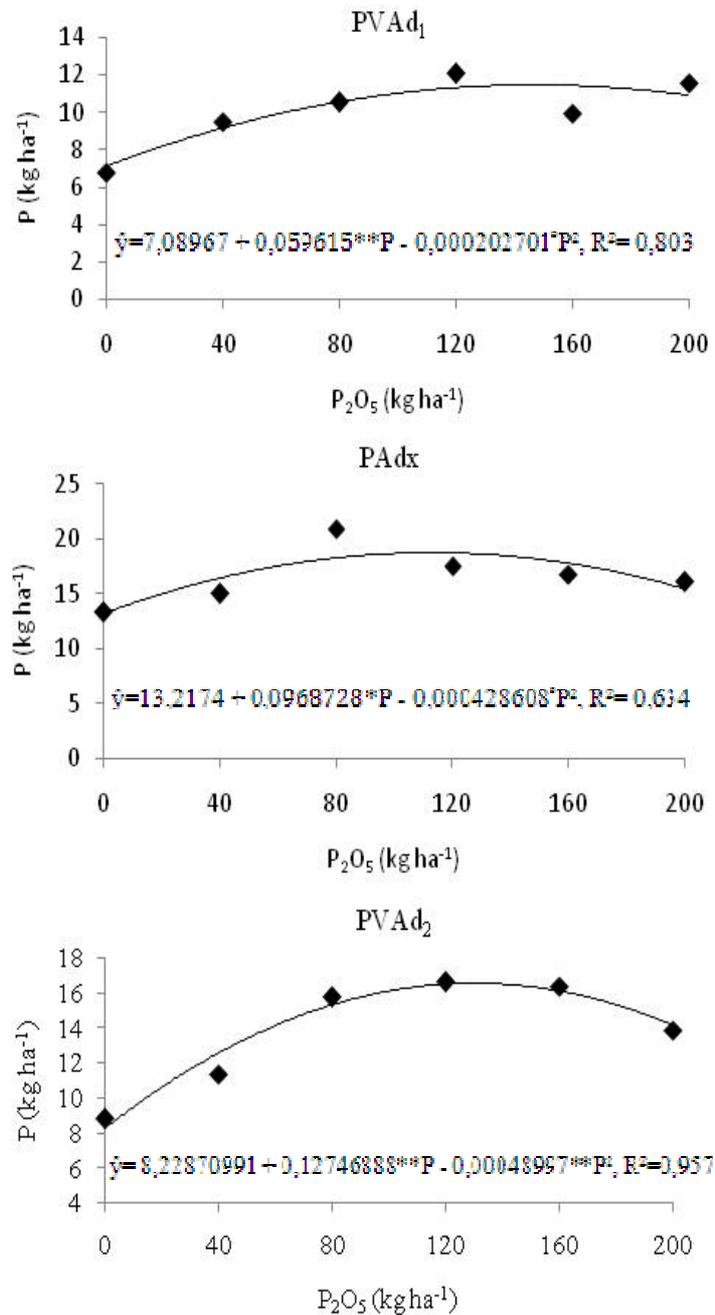


Figura 14. Conteúdo total de P em cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos.

Tal como na cana planta os dados de conteúdo de P nas folhas no PAdx não se ajustaram a nenhum modelo matemático (Figuras 11 e 15), ressaltando que fatores não relacionados ao solo podem interferir na alocação desse elemento pela planta.

Tabela 17. Conteúdo de P nos componentes da parte aérea e total da cana soca na ausência e presença de P em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd1) na Usina Japungu/PB, Argissolo Amarelo distocoeso (PAdx) na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina/PE e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd2) na Usina Bom Jesus/PE

Adubação de socaria (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Adubação de socaria (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)					
	PVAd ₁		PAdx		PVAd ₂	
	0	40	0	40	0	40
kg ha ⁻¹						
Folha						
0	0,88 b	1,44 a	2,43 a	2,58 a	0,91 a	0,77 a
40	1,62 a	1,35 a	2,19 a	2,75 a	1,00 a	1,00 a
80	1,02 b	2,47 a	2,60 a	3,13 a	1,81 a	1,22 b
120	1,27 a	1,47 a	2,17 a	2,06 a	1,03 a	1,28 a
160	1,75 a	1,76 a	2,77 a	3,12 a	1,98 a	1,63 a
200	0,84 b	2,57 a	2,50 a	3,55 a	1,16 a	0,80 a
Ponteiro						
0	0,79 b	1,81 a	1,92 a	2,16 a	1,59 a	1,40 a
40	0,81 a	0,62 a	2,04 a	2,56 a	1,16 a	1,51 a
80	1,11 a	1,40 a	3,48 a	3,16 a	2,18 a	1,66 a
120	2,13 a	0,92 a	2,13 a	2,89 a	1,31 a	1,96 a
160	1,67 a	1,55 a	3,31 a	2,53 a	2,69 a	3,00 a
200	0,79 b	1,14 a	2,84 a	2,98 a	1,40 a	1,48 a
Colmo						
0	6,68 a	7,47 a	7,56 b	11,54 a	2,48 a	2,13 a
40	8,33 a	6,77 a	9,84 b	11,03 a	3,07 a	3,51 a
80	6,02 a	8,04 a	10,10 b	12,37 a	4,06 a	3,30 a
120	7,76 a	7,02 a	9,76 b	12,59 a	3,76 a	4,22 a
160	7,16 a	6,99 a	11,30 a	11,93 a	5,45 a	4,94 a
200	8,74 a	9,10 a	11,67 b	13,16 a	3,19 a	4,18 a
Total						
0	8,36 a	10,73 a	11,92 b	16,29 a	4,99 a	4,31 a
40	10,77 a	8,75 a	14,08 b	16,35 a	5,24 a	6,03 a
80	8,16 b	11,92 a	16,20 b	18,67 a	8,07 a	6,19 a
120	11,17 a	9,43 a	14,07 b	17,54 a	6,11 a	7,47 a
160	10,59 a	10,31 a	17,39 a	17,59 a	10,14 a	9,57 a
200	10,38 a	12,82 a	17,03 b	19,70 a	5,76 a	6,47 a

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas plantas cultivadas no solo PVAd₂ a alocação de P nas folhas que havia sido crescente com as doses de P na cana planta passou a ser curvilínea em socaria, evidenciando que esse elemento deixou de ser o fator limitante nesse solo.

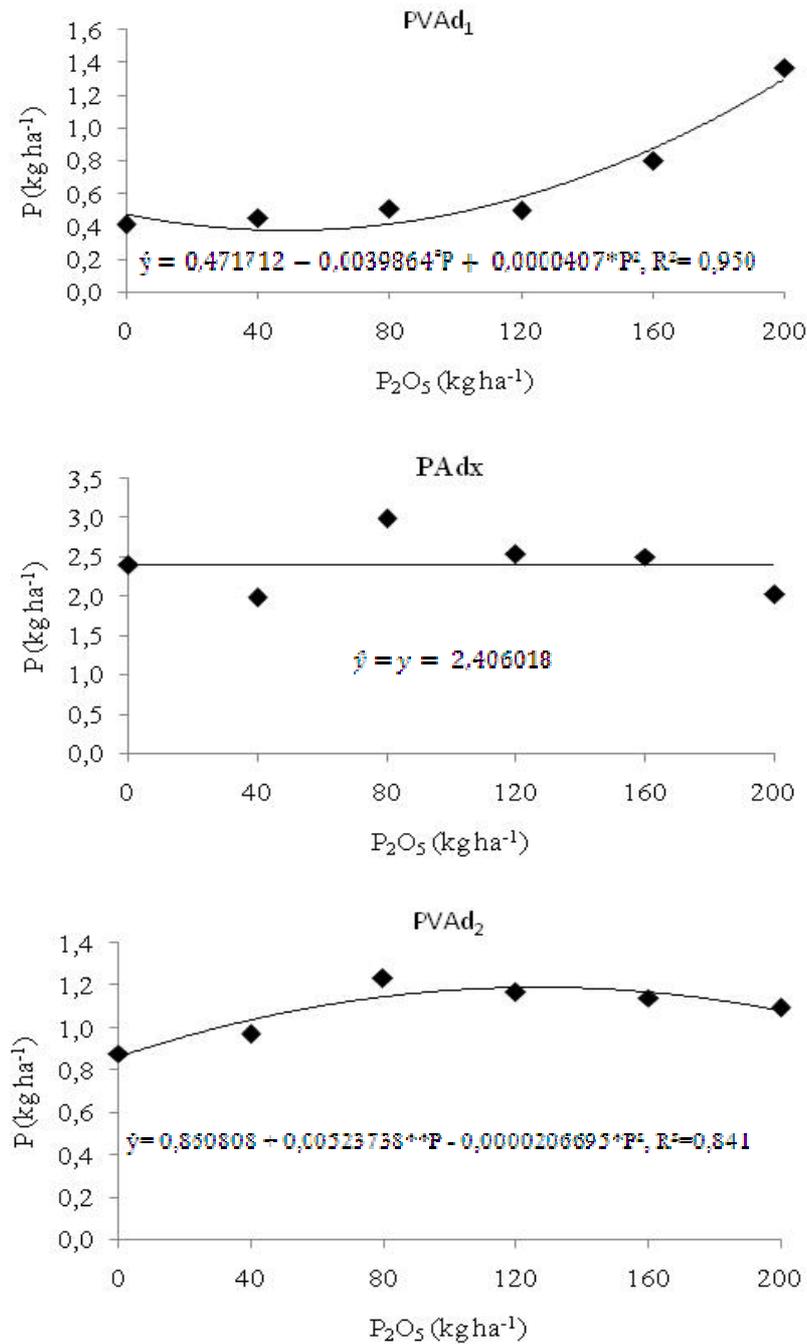


Figura 15. Conteúdo de P nas folhas da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos.

A alocação de P pelas folhas da cana soca no PVAd₁ e no PAdx apresentou efeito linear (Figura 16), crescendo com o aumento da dose de P aplicada no plantio, o que pode estar associado com as menores perdas de P nesses solos que podem estar proporcionando disponibilidade proporcional ao aumento das doses, indicando também que essas doses aplicadas no plantio

não foram suficientes para alocação máxima de P neste componente da parte aérea. O mesmo não ocorreu no PVAd₂, onde o conteúdo de P no ponteiro seguiu a mesma tendência da folha, chegando num limite de alocação desse nutriente.

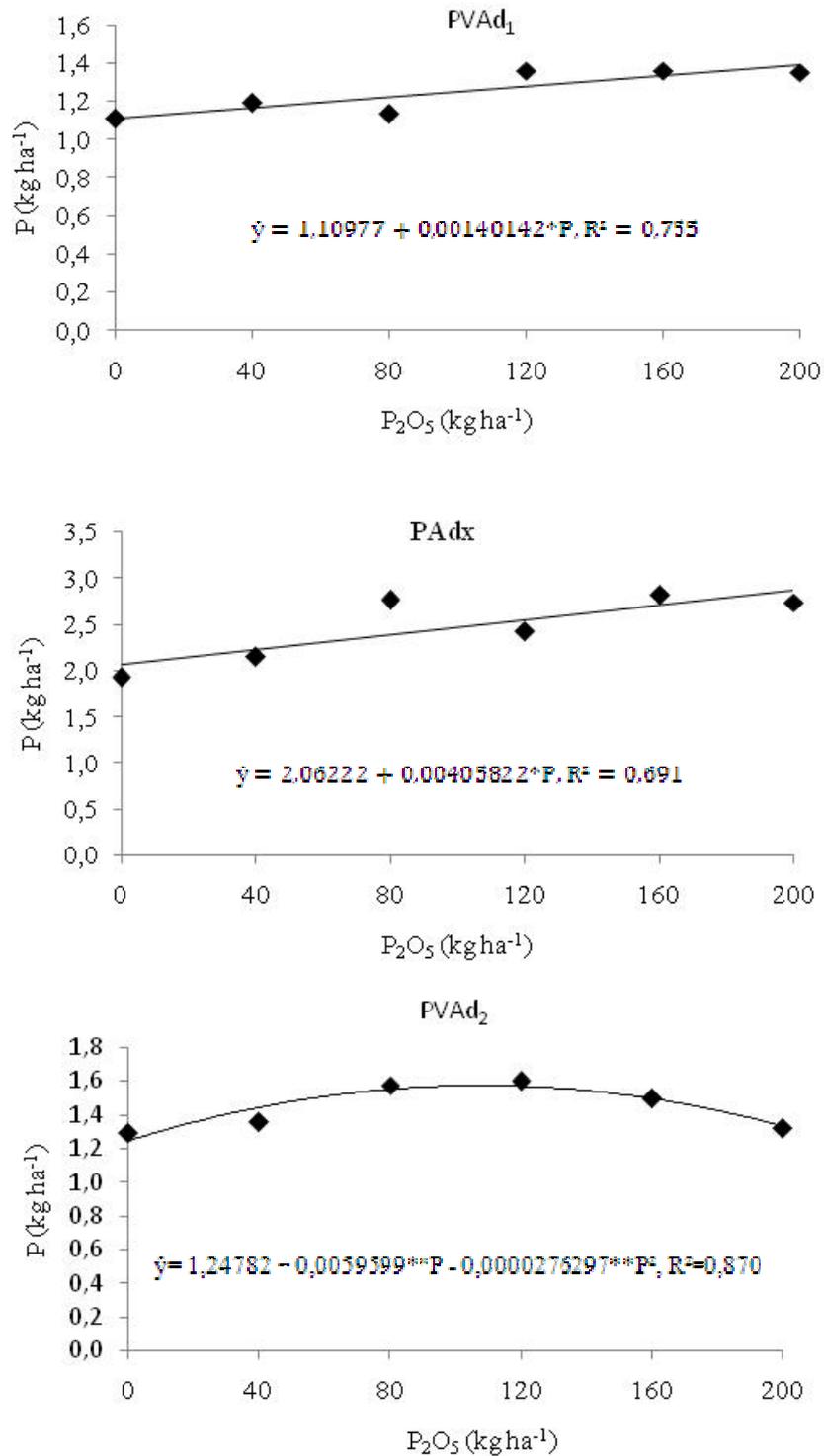


Figura 16. Conteúdo de P nas folhas do ponteiro da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos.

A exportação de P na socaria foi similar a da cana planta, tendo as plantas cultivadas no solo PVAd₁ não se ajustado a nenhum modelo e na cana soca cultivada nos solos com maiores teores de argila ajustou-se modelos quadráticos na alocação de P no colmo em função da adubação fosfatada de plantio (Figura 17).

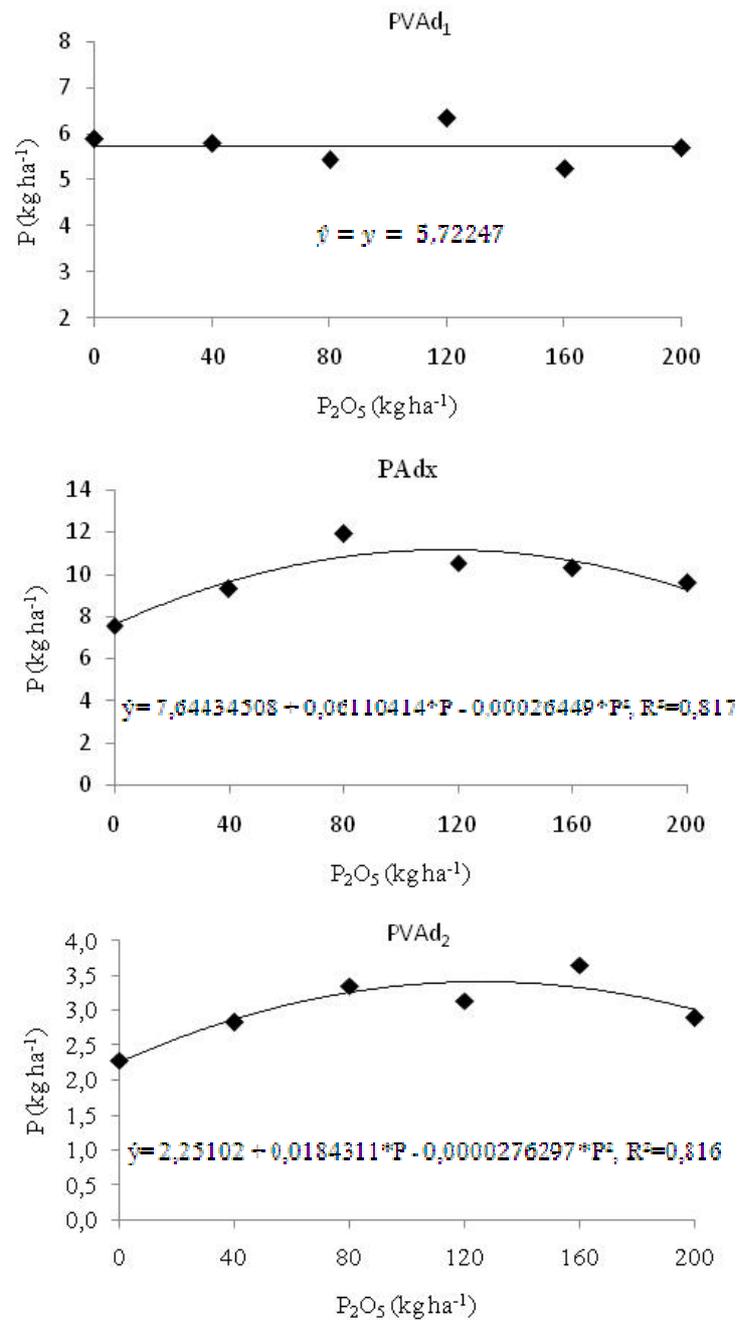


Figura 17. Conteúdo de P no colmo da cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos.

Esse comportamento distinto no conteúdo de P no colmo nas plantas cultivadas no solo PVAd₁ vem reforçar a teoria de que outros fatores não relacionados apenas ao solo podem ter interferido na absorção e acúmulo de P nesse compartimento. Fato igualmente verificado na alocação do nutriente nas folhas da cana soca cultivada no solo PAdx.

A extração total de P pela cana soca em função da adubação fosfatada de plantio ajustou-se a modelo linear apenas nas plantas cultivadas no solo PAdx (Figura 18).

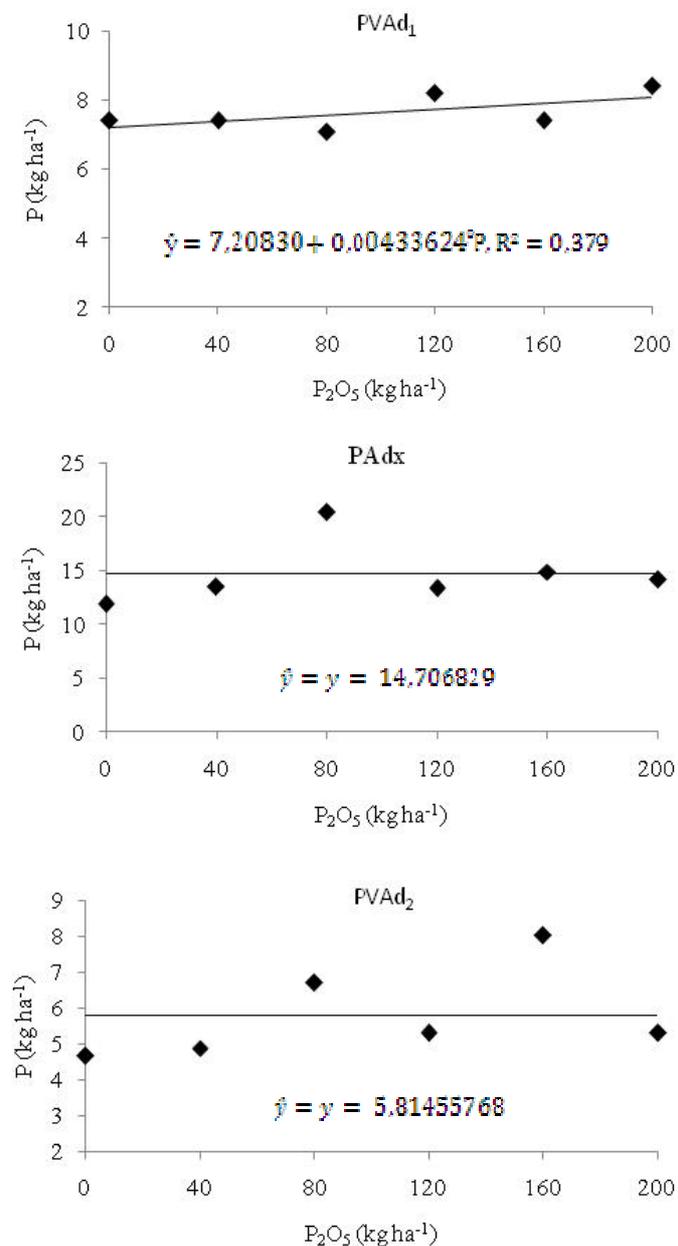


Figura 18. Conteúdo total de P em cana soca em função da adubação fosfatada de plantio em diferentes solos.

4.7. Qualidade tecnológica da cana planta e cana soca em função da adubação fosfatada em diferentes solos

A qualidade da cana-de-açúcar, que corresponde, de acordo com Moura et al. (2005), ao conjunto de características que devem corresponder às exigências da indústria, também foram testadas em função da adubação fosfatada, que influencia essa qualidade, principalmente quanto ao teor de sacarose e pureza do caldo (Simões Neto et al., 2009).

Em cana planta, as doses de P aplicadas nos solos causaram efeitos diversos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, onde nas plantas cultivadas no solo PVAd₁ a adição de P diminuiu a percentagem de fibra e elevou a percentagem de pol (PCC), teor de sólidos solúveis (Brix) e açúcar total recuperável (ATR), em relação ao tratamento sem adubação fosfatada (Tabela 18). Quanto a pureza do caldo esse efeito positivo da adição de P só foi percebido nas doses acima de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Na cana cultivada no solo PADx a adubação fosfatada ocasionou melhora na qualidade da cana-de-açúcar em todas as características avaliadas, com maior expressividade no ATR, fato que também foi verificado na plantas cultivadas no solo PVAd₂, tendo sido essa característica a única beneficiada pela adição de P nesse solo, pois nas demais características tecnológicas avaliadas, a cana cultivada no PVAd₂ não respondeu ao P, como nas plantas cultivadas nos demais solos (Tabela 18).

O decréscimo no teor de fibra da cana proporcionado pela adubação fosfatada nas plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PADx reflete-se em benefício para industrialização da cana-de-açúcar, pois a distribuição das fibras no colmo pode representar rigidez ou fragilidade, tornando-se um fator antieconômico no processo industrial (Castro et al., 2001).

A adubação fosfatada favoreceu a concentração de P no caldo na cana, pois mesmo a menor dose aplicada proporcionou aumentos nesses teores, porém foi suficiente para mantê-los na concentração mínima indicada por Silva Júnior (1975) descrita no trabalho de Lebre et al. (2010), que é de 200 mg L⁻¹ de P₂O₅ no caldo apenas na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicada no solo PVAd₂, no qual as plantas de cana cultivadas nele apresentaram os maiores teores. O teor de P no caldo está diretamente relacionado com o nível de

clarificação e a qualidade do açúcar (Ragghianti et al., 2009), sendo de fundamental importância para se obter um produto de boa qualidade industrial.

Os teores de P no caldo da cana nesse trabalho foram superiores aos encontrados por Pereira et al. (1995) em um Vertissolo na Bahia, que variaram aproximadamente entre 50 e 80 mg L⁻¹ de P₂O₅ da dose 0 até a de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 18. Qualidade tecnológica da cana planta em função da adubação fosfatada em diferentes solos

Solos	Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Teor de P no Caldo ¹ mg L ⁻¹	Fibra	Pureza	PCC	Sólidos solúveis	ATR kg t ⁻¹
				%		° Brix	
PVAd ₁	0	170,75	13,99	91,35	17,15	22,60	158,86
	40	253,00	13,36	90,50	17,17	23,15	162,61
	80	256,00	13,39	91,23	17,27	23,23	162,90
	120	266,00	13,21	92,39	17,78	23,20	163,65
	160	267,25	13,16	92,19	17,53	23,00	164,42
	200	229,00	12,56	92,07	17,53	22,93	165,52
	Média	240,33	13,28	91,62	17,40	23,02	162,99
PAdx	0	163,50	13,33	89,39	14,58	22,03	151,79
	40	197,00	12,87	90,56	15,00	22,43	160,22
	80	227,25	12,72	90,74	16,91	22,38	161,60
	120	210,50	13,27	91,45	17,33	22,50	160,01
	160	231,00	13,39	90,60	17,47	22,40	160,49
	200	247,25	12,51	90,29	16,33	22,63	160,33
	Média	212,75	13,02	90,51	16,27	22,39	159,07
PVAd ₂	0	128,00	12,56	89,27	14,62	18,63	77,75
	40	152,00	12,67	90,52	17,06	17,42	102,00
	80	166,50	13,29	88,82	14,36	17,94	127,50
	120	162,00	13,29	89,03	14,47	18,10	116,25
	160	165,50	13,43	89,68	15,44	18,92	109,00
	200	159,00	12,18	90,31	15,35	19,94	109,25
	Média	155,50	12,90	89,61	15,22	18,49	106,96

A melhoria proporcionada pela adição de P aos solos que refletiu na qualidade da cana-de-açúcar nessa pesquisa é constatada pelo aumento nos valores de ATR das plantas cultivadas em todos os solos avaliados, o que reveste-se de fundamental importância, porque é esta característica que atualmente remunera a matéria prima posta na indústria (Simões Neto, 2009). De acordo com esse mesmo autor o padrão do ATR para o Estado de Pernambuco é de 119 kg t⁻¹. A cana cultivada nos solos PVAd₁ e PAdx

apresentaram valores de ATR acima deste padrão em resposta a adição de P, e as plantas cultivadas no solo PVAd₂ não responderam satisfatoriamente a aplicação de P, com o ATR ficando abaixo do padrão do Estado.

Houve incremento também no teor de sólidos solúveis com o uso de P, especialmente na cana cultivada nos solos menos argilosos (PVAd₁ e PAdx), onde a menor dose de P elevou os valores em relação ao tratamento sem aplicação de P. Santos et al. (2011) só encontraram valores elevados de sólidos solúveis em cana-de-açúcar quanto utilizaram doses acima de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Os teores do P no caldo em socaria provenientes das plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PAdx foram superiores aos da cana planta em todas as doses de P aplicadas (Tabelas 18 e 19), inclusive quando não se aplicou P, e apenas nesse caso os teores de P no caldo ficaram inferiores ao indicado por Silva Júnior (1975) descrito no trabalho de Lebre et al. (2010). Essa maior concentração pode ter sido influenciada por fatores ambientais ou mesmo do efeito residual do P aplicado em cana planta nesses solos. A adubação de socaria elevou o teor de P no caldo das plantas oriundas do cultivo da soca no solo PAdx (Tabela 19), melhorando a qualidade do caldo e certamente o rendimento na produção de açúcar. A adubação de socaria não causou nenhum efeito sobre a qualidade da cana-de-açúcar.

Tabela 19. Qualidade tecnológica da cana soca em função da adubação fosfatada de socaria em diferentes solos

Características Tecnológicas	Adubação de socaria (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)					
	PVAd ₁		PAdx		PVAd ₂	
	0	40	0	40	0	40
P Caldo (mg L ⁻¹)	240,3 a	281,2 a	212,2 b	231,0 a	155,5 a	175,4 a
CV (%)	20,50	20,21	14,31	12,86	16,72	20,90
S. Sol. (°Brix)	21,36 a	21,52 a	22,04 a	22,09 a	21,16 a	21,14 a
CV (%)	3,91	2,90	3,10	3,56	5,98	3,53
Pureza (%)	90,68 a	90,93 a	89,24 a	88,72 a	90,29 a	89,72 a
CV (%)	1,41	1,42	2,85	2,37	2,05	2,44
Fibra (%)	13,36 a	13,15 a	15,96 a	15,91 a	14,25 a	14,69 a
CV (%)	4,46	3,16	4,55	3,52	7,94	6,52
PCC (%)	16,00 a	16,25 a	14,54 a	14,29 a	17,07 a	16,70 a
CV (%)	6,07	5,84	7,70	4,51	5,92	4,39
ATR (kg t ⁻¹)	152,6 a	154,2 a	153,6 a	153,7 a	164,0 a	164,0 a
CV (%)	3,85	4,11	3,76	3,31	6,12	4,16

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.8. Formas de aplicação de P no solo e suas relações com o rendimento da cana-de-açúcar em dois ciclos de cultivo

4.8.1. Crescimento da cana planta e da cana soca

Nas variáveis de crescimento avaliadas em cana planta, os diferentes modos de aplicação da adubação fosfatada só detectou efeito significativo estatisticamente na altura das plantas cultivadas no solo PAdx, porém em relação a testemunha foram constatados aumentos em todas as variáveis de crescimento com a adição de P (Tabela 20).

Tabela 20. Estante, altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada (Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	Variáveis de crescimento			
		Estante (planta/m linear)	Altura (m)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm ²)
PVA _{d1}	Testemunha	10,58 a	2,76 a	21,76 a	2100,72 a
	200 em fundação	10,75 a	2,83 a	22,58 a	2001,61 a
	200 em fosfatagem	11,92 a	2,78 a	24,25 a	2284,52 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	10,91 a	2,84 a	24,18 a	1990,73 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	11,50 a	2,77 a	24,11 a	2044,92 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	11,00 a	2,88 a	22,29 a	2164,47 a
	Média	11,11	2,80	23,20	2097,83
	CV (%)	7,77	4,55	6,53	11,90
PAdx	Testemunha	9,43 a	2,49 b	26,32 a	2642,81 a
	200 em fundação	11,17 a	2,56 ab	32,17 a	3009,14 a
	200 em fosfatagem	10,25 a	2,72 ab	26,75 a	2779,39 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	10,17 a	2,85 a	26,65 a	3285,49 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	10,08 a	2,80 a	26,77 a	3315,06 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	10,25 a	2,74 ab	27,07 a	3250,87 a
	Média	10,23	2,69	27,62	3.047,13
	CV (%)	8,76	4,94	17,54	10,61
PVA _{d2}	Testemunha	9,09 a	2,27 a	26,80 a	2993,81 a
	200 em fundação	10,33 a	2,45 a	27,25 a	3480,85 a
	200 em fosfatagem	10,17 a	2,35 a	28,70 a	3490,75 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	9,58 a	2,50 a	28,98 a	3757,73 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	9,67 a	2,50 a	28,40 a	3562,27 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	9,92 a	2,42 a	29,65 a	3622,72 a
	Média	9,79	2,44	28,30	3484,69
	CV (%)	8,32	7,62	5,41	13,66

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas de cana-de-açúcar cresceram mais quando se dividiu a adubação fosfatada aplicada no PAdx, tendo o tratamento em que se aplicou 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fundação e 60 Kg ha⁻¹ em cobertura apresentado o

melhor desempenho. É provável que em solos menos argilosos essa combinação de aplicação de P em fundação e fosfatagem, permita um melhor aproveitamento de P, principalmente para um desenvolvimento mais adequado do sistema radicular que impacta positivamente na absorção mais efetiva de água e de outros nutrientes.

Resposta à adubação fosfatada também foi encontrada no crescimento das plantas de cana em socaria, principalmente nas plantas cultivadas no solo PAVd₁, onde a adição do adubo proporcionou maior altura, diâmetro, área foliar e densidade de colmos. Na cana soca cultivada no solo PAdx a adubação fosfatada proporcionou maior altura da planta, e não foi verificado nenhum efeito dessa adubação nas plantas cultivadas no solo PVAd₂ (Tabela 21).

Tabela 21. Estante, altura das plantas, diâmetro do colmo e área foliar da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada (Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅)	Variáveis de crescimento			
		Estante (planta/m linear)	Altura (m)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm ²)
PVAd ₁	Testemunha	7,61 b	1,92 b	17,49 b	2.654,5 b
	200 em fundação	8,38 ab	2,11 ab	18,23 ab	3.255,5 a
	200 em fosfatagem	9,30 a	2,08 ab	21,00 a	2.882,3 ab
	140 fundação + 60 fosfatagem	8,51 ab	2,16 a	21,25 a	3.301,2 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	8,97 ab	2,11 ab	20,21 ab	2.986,2 ab
	60 fundação + 140 fosfatagem	8,58 ab	2,12 ab	21,15 a	3.070,2 ab
	Média	8,56	2,08	19,89	3.024,99
	CV (%)	8,30	4,47	7,13	8,02
PAdx	Testemunha	7,55 a	1,88 b	20,17 a	3.768,7 a
	200 em fundação	9,16 a	2,01 ab	22,69 a	4.134,8 a
	200 em fosfatagem	8,33 a	2,22 a	22,70 a	4.526,9 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	8,26 a	2,15 a	21,89 a	4.403,3 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	8,20 a	2,04 ab	22,73 a	4.242,7 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	8,33 a	2,12 a	23,30 a	4.244,0 a
	Média	8,30	2,07	22,25	4.220,07
	CV (%)	8,78	4,97	7,90	9,30
PVAd ₂	Testemunha	5,45 a	1,20 a	20,90 a	2.381,7 a
	200 em fundação	6,50 a	1,32 a	19,30 a	2.593,4 a
	200 em fosfatagem	6,00 a	1,47 a	21,52 a	3.802,0 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	5,65 a	1,46 a	20,71 a	2.747,4 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	5,70 a	1,34 a	20,28 a	2.954,2 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	5,85 a	1,34 a	19,92 a	2.861,3 a
	Média	5,81	2,44	20,44	2.890,0
	CV (%)	8,78	10,54	7,21	12,48

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Exceto o perfilhamento das plantas cultivadas nos solos PAdx e PVAd₂, que foi beneficiado pela aplicação localizada do P, a incorporação do adubo por meio da fosfatagem promoveu melhor desenvolvimento da cana soca, com maiores valores de altura, diâmetro e área foliar, embora não tenham diferido estatisticamente. Esses resultados vêm comprovar que o efeito residual do P é mais pronunciado em solos menos tamponados, e que a utilização de adubação com P incorporado ao solo em plantio, pode promover melhoria à planta nos cultivos subseqüentes.

4.8.2. Teores de P nos componentes da parte aérea de cana planta e de cana soca

Os teores de P nos componentes da parte aérea da cana planta variaram com os diferentes modos de aplicação de P nos solos, onde se observou efeito positivo nos teores de P nas plantas que receberam adubação fosfatada (Tabela 22), independente da forma de aplicação, com exceção do teor de P nas folhas das plantas cultivadas no solo PVAd₁ e colmo no solo PAdx. Os teores de P nas folhas do ponteiro foram maiores do que os das folhas, possivelmente pela maior intensidade metabólica das folhas mais novas.

Não houve diferença no teor de P nas plantas de cana planta quando se aplicou P de diferentes formas, porém houve incrementos nos teores nas folhas e no ponteiro da cana cultivada no solo PAdx e nas folhas das plantas no solo PVAd₂ quando se utilizou a fosfatagem (Tabela 22), indicando que esse tipo de manejo pode contribuir para uma melhor nutrição da planta e conseqüentemente para aumentar a produtividade da cultura.

Os teores de P nos componentes da parte aérea da cana planta também variaram entre as plantas cultivadas nos diferentes solos, observando-se os menores teores na cana cultivada no solo PAdx, com exceção do teor no colmo, que foi o mais elevado. Nos demais compartimentos, as plantas cultivadas no solo PVAd₂ foram as que apresentaram os maiores teores.

Tabela 22. Teores de P nos componentes da parte aérea da cana planta* em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Componentes da parte aérea		
		Folha	Ponteiro	Colmo
		----- g kg ⁻¹ -----		
PVAd ₁	Testemunha	0,60 a	1,12 b	0,16 a
	200 em fundação	0,79 a	1,40 ab	0,23 a
	200 em fosfatagem	0,68 a	1,05 b	0,18 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	0,54 a	0,87 a	0,19 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	0,59 a	0,83 a	0,20 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	0,68 a	0,85 a	0,22 a
	Média	0,64	1,02	0,20
	CV (%)	26,62	27,40	28,54
PAdx	Testemunha	0,24 b	0,44 b	0,29 a
	200 em fundação	0,47 a	0,63 a	0,28 a
	200 em fosfatagem	0,58 a	0,76 a	0,28 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	0,58 a	0,82 a	0,27 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	0,64 a	0,87 a	0,27 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	0,61 a	0,98 a	0,28 a
	Média	0,55	0,72	0,27
	CV (%)	42,81	30,12	17,10
PVAd ₂	Testemunha	0,52 b	0,79 a	0,16 b
	200 em fundação	0,80 ab	0,98 a	0,26 a
	200 em fosfatagem	0,87 ab	1,43 a	0,28 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	0,78 ab	1,38 a	0,20 ab
	100 fundação + 100 fosfatagem	0,80 ab	1,66 a	0,21 ab
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,03 a	1,81 a	0,21 ab
	Média	0,81	1,34	0,22
	CV (%)	22,70	30,55	18,21

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; *420 DAP.

Na cana soca as formas de aplicação do adubo fosfatado também não detectaram diferença nos teores de P dos componentes da parte aérea das plantas cultivadas em nenhum dos solos avaliados (Tabela 23). Mesmo assim pode-se constatar aumento nos teores de P com a aplicação do adubo fosfatado em praticamente todos os compartimentos da parte aérea das plantas nos três solos, evidenciando a importância desse adubo na nutrição da socaria de cana-de-açúcar.

Os teores de P nos componentes da parte aérea da socaria foram maiores do que os da cana planta (Tabelas 22 e 23), esse fato pode estar relacionado com o fator diluição, porque na cana soca as produtividades também foram menores, e conseqüentemente a produção de matéria seca também, o que pode ter aumentado a concentração desse elemento nos seus compartimentos.

Tabela 23. Teores de P nos componentes da parte aérea da cana soca* em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Componentes da parte aérea		
		Folha	Ponteiro	Colmo
		----- g kg ⁻¹ -----		
PVAd ₁	Testemunha	0,88	1,37	0,32
	200 em fundação	0,86	1,44	0,35
	200 em fosfatagem	1,19	1,48	0,55
	140 fundação + 60 fosfatagem	1,36	1,50	0,41
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,15	1,42	0,35
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,29	1,41	0,40
	Média	1,14	1,44	0,40
CV (%)		28,22	25,31	23,43
PAdx	Testemunha	0,87	1,61	0,28
	200 em fundação	0,96	1,65	0,34
	200 em fosfatagem	1,19	1,48	0,55
	140 fundação + 60 fosfatagem	1,36	1,50	0,41
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,15	1,42	0,35
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,29	1,41	0,40
	Média	1,13	1,51	0,39
CV (%)		31,78	28,69	18,19
PVAd ₂	Testemunha	0,88	1,31	0,22
	200 em fundação	0,97	1,59	0,23
	200 em fosfatagem	0,97	1,54	0,26
	140 fundação + 60 fosfatagem	1,08	1,52	0,26
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,01	1,44	0,26
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,02	1,62	0,25
	Média	0,98	1,51	0,25
CV (%)		22,15	30,06	17,84

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. * Aos 780 DAP.

4.8.3. Extração e exportação de P em cana planta e cana soca

A extração de um elemento expressa melhor a sua absorção pela planta, pois considera todo o conteúdo acumulado na matéria seca e não apenas sua concentração, e nesse caso evidenciou a importância do P na nutrição da cana-de-açúcar, pois todos os compartimentos da parte aérea da planta foram influenciados quando se aplicou o adubo fosfatado aos solos (Tabela 24), ressaltando que a absorção do nutriente esteve diretamente relacionada com sua disponibilidade no solo.

As formas de aplicação de P se diferenciaram significativamente quanto ao acúmulo de P nos diferentes compartimentos da parte aérea da cana planta apenas nas plantas cultivadas nos solos com menores teores de argila (PVAd₁ e PAdx), sendo observado maiores extrações e alocações nas folhas do ponteiro

na cana cultivada no solo PVAd₁ nos tratamentos em que se aplicou fosfatagem do que quando o adubo foi colocado todo no fundo do sulco e também quando não se utilizou adubo fosfatado. Esse mesmo resultado foi constatado no acúmulo de P nas folhas da cana planta cultivada no solo PAdx. Essa maior absorção de P pode ter sido favorecida pelo maior contato da raiz das plantas com maior volume de adubo quando incorporado ao solo, aumentando a interceptação pelo sistema radicular e melhorando a absorção (Sleight et al., 1984; Tomaz, 2009), especialmente em solos com menor poder tampão de P, o que favorece a disponibilidade do nutriente. Contudo, quando o P é colocado todo no fundo do sulco, restringe a quantidade de raízes que entra em contato com o adubo, o que segundo Faria & Pereira (1993) pode diminuir a absorção pela planta, porque a absorção das raízes é diretamente dependente do volume de solo adubado, ou seja, da distribuição dos teores de P no perfil (Nunes, 2010).

A extração total de P na cana planta foi maior nas plantas cultivadas no solo PAdx, devido a exportação de P pelas plantas cultivadas nesse solo ter sido consideravelmente mais elevada que nas cultivadas nos demais solos (Tabela 24). Na cana cultivada no solo PVAd₂ as folhas do ponteiro acumularam mais P, chegando a dobrar o que acumularam quando cultivada nos demais solos.

Maiores extrações de P na presença do adubo fosfatado continuaram sendo observadas na casa soca, porém menos expressivas nas plantas cultivadas no solo PVAd₂ (Tabela 25, provavelmente pelo seu maior poder tampão de fosfato, fazendo com que o P adicionado na adubação de plantio se adsorva mais rapidamente aos colóides do solo, dificultando a absorção pelas plantas.

A incorporação do P ao solo por meio da fosfatagem manteve o incremento na absorção de P verificada na cana planta, especialmente nas plantas cultivadas no solo PVAd₁, quando as aplicações de P em cobertura diferiram da aplicação localizada e da testemunha, sem adubação fosfatada. Isso pode ser uma evidência de que esse tipo de adubação é mais indicada em solo de menor poder tampão de fosfato, corroborando Barreto & Fernandes (2002), que relataram que em solos com baixos teores de óxidos de Fe e Al, como os dos Tabuleiros Costeiros, onde foi instalado o experimento, cujo solo é

o PVAd₁, a aplicação a lanço pode ser uma alternativa para incrementar a eficiência da adubação fosfatada.

Tabela 24. Extração de P nos componentes da parte aérea da cana planta* em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Componentes da parte aérea			
		Folha	Ponteiro	Colmo	Total
		----- kg ha ⁻¹ -----			
PVAd ₁	Testemunha	1,04 b	1,14 c	4,62 b	6,80 b
	200 em fundação	1,64 a	1,28 c	8,65 a	11,57 a
	200 em fosfatagem	1,53 a	2,12 b	7,08 ab	10,73 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	1,85 a	3,44 a	7,25 ab	11,74 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,94 a	1,56 bc	7,63 ab	11,13 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,30 ab	1,88 b	9,30 a	11,48 a
	Média	1,51	1,84	7,68	11,02
CV (%)		34,17	38,20	40,12	28,03
PAdx	Testemunha	1,12 c	0,91 b	11,34 a	13,37 b
	200 em fundação	1,79 b	2,09 a	12,21 a	16,10 ab
	200 em fosfatagem	3,99 a	2,70 a	13,58 a	20,26 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	2,23 ab	2,33 a	12,72 a	17,27 ab
	100 fundação + 100 fosfatagem	3,07 a	2,68 a	11,82 a	17,57 ab
	60 fundação + 140 fosfatagem	2,64 a	2,14 a	13,04 a	17,81 ab
	Média	2,61	1,99	12,29	16,89
CV (%)		27,91	31,35	37,28	19,93
PVAd ₂	Testemunha	1,84 b	3,50 a	4,97 b	10,31 b
	200 em fundação	3,06 a	3,67 a	10,14 a	16,87 a
	200 em fosfatagem	2,89 a	4,40 a	9,30 a	16,59 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	2,35 ab	3,79 a	7,81 ab	13,95 ab
	100 fundação + 100 fosfatagem	2,45 ab	5,58 a	6,67 ab	14,70 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	3,06 a	5,41 a	7,35 ab	15,81 a
	Média	2,61	4,26	7,45	14,32
CV (%)		31,18	29,11	33,04	23,48

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; *Aos 420 DAP.

Os autores supracitados também encontraram efeito positivo da adubação fosfatada a lanço na absorção de P por plantas de milho em solos de Tabuleiros Costeiros de Sergipe, e atribuíram esse fato em consequência da incorporação do adubo fosfatado com um volume maior de solo proporcionar um aumento da absorção de P, o que tem sido relatado por diversos autores, que relacionam este efeito positivo ao maior comprimento de raízes em contato com o adubo fosfatado no solo (Anghinoni & Barber, 1980).

Tabela 25. Extração de P nos componentes da parte aérea da cana soca* em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada	Componentes da parte aérea			
		Folha	Ponteiro	Colmo	Total
	Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	----- kg ha ⁻¹ -----			
PVAd ₁	Testemunha	0,89 c	0,80 b	6,68 b	8,37 b
	200 em fundação	0,84 c	0,79 b	8,75 ab	10,39ab
	200 em fosfatagem	1,28 b	1,60ab	14,28 a	17,15 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	2,43 a	1,52 a	9,55 a	13,50ab
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,80 ab	1,50ab	9,16 a	12,46ab
	60 fundação + 140 fosfatagem	2,18 a	1,95ab	10,08 a	14,21ab
	Média	1,57	1,36	9,75	12,68
	CV (%)	37,46	43,66	41,28	30,12
PAdx	Testemunha	2,43 ab	1,92 b	7,57 b	11,93 b
	200 em fundação	2,51 ab	2,85 ab	11,68 a	17,04 a
	200 em fosfatagem	3,06 a	2,48 ab	12,91 a	18,45 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	2,92 a	2,30 ab	11,23 a	16,45 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	2,97 a	3,19 a	10,24 ab	16,39 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,85 b	2,28 ab	9,89 ab	14,02 ab
	Média	2,62	2,50	10,59	15,71
	CV (%)	39,44	40,13	37,05	28,36
PVAd ₂	Testemunha	0,92 a	1,59 a	2,48 a	4,99 a
	200 em fundação	1,16 a	1,40 a	3,20 a	5,76 a
	200 em fosfatagem	1,31 a	1,84 a	3,54 a	6,70 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	0,96 a	1,24 a	3,86 a	6,08 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	1,19 a	1,67 a	4,55 a	7,43 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	1,04 a	1,62 a	3,89 a	6,56 a
	Média	1,09	1,56	3,46	6,25
	CV (%)	28,78	33,12	36,87	29,17

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; *Aos 780 DAP.

4.8.4. Produtividade de cana planta e de cana soca

Mesmo não apresentando diferença significativa para a produtividade da cana-de-açúcar nos solos avaliados nessa pesquisa, a aplicação de P favoreceu aumento nas produtividades da cana planta, com acréscimos de mais de 30 t ha⁻¹ na cana cultivada nos solos com menor teor de argila (PVAd₁ e PAdx). Esses acréscimos de produtividade também foram verificados na socaria (Tabela 26), evidenciando mais uma vez o poder residual desse elemento.

As formas de aplicação de P promoveram diferenças significativas na produtividade da cana cultivada apenas no solo PAdx, tendo o tratamento que utilizou a aplicação do adubo todo em fosfatagem apresentando maiores

produtividades do que seu uso localizado no fundo do sulco, sendo que ambos os modos de aplicação promoveram maiores produtividades da cana que a testemunha sem aplicação de P. Observou-se aumentos na produtividade da cana quando o adubo foi fornecido em fosfatagem e/ou combinado fosfatagem e fundo do sulco comparado à aplicação apenas em fundo do sulco nos solos com menor poder de adsorção, especialmente no PAdx, onde esse aumento foi expressivo tanto na cana planta quanto na cana soca (Tabela 26).

Nas plantas cultivadas no solo PVAd₁ as adubações fosfatadas apenas apresentaram efeito significativo para aumento de produtividade na cana planta em relação ao tratamento sem aplicação de P, resultado semelhante ao encontrado por Tomaz (2009), que avaliando formas de aplicação de P em um solo arenoso, aplicando doses de 100 e 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, em fundo do sulco, incorporadas ou fracionadas, metade em fundo do sulco e metade em fosfatagem, não verificou diferença significativa na produtividade da cana-de-açúcar, porém verificou diferença entre esses tratamentos e o que não usou P. Esse autor também não encontrou resposta das duas socas subseqüentes, e também não verificou efeito residual do P.

Entretanto dados de produtividades quanto à aplicação de P a lanço são divergentes. Barreto & Fernandes (2002) encontraram maiores produtividades de milho quando utilizaram doses de superfosfato triplo (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicadas a lanço em solo de Tabuleiro. Entretanto, Silva et al. (2010), trabalhando com feijão-caupi, encontraram maiores produtividades quando utilizaram adubação fosfatada em fundo do sulco comparada à aplicação a lanço.

As explicações para tais diferenças também são divergentes, enquanto autores como Sleight et al. (1984), Barreto & Fernandes (2002), Tomaz (2009) e Nunes (2010) defendem que a aplicação a lanço facilita o contato da raiz com o adubo melhorando a sua absorção, outros autores como Malavolta (1981), Prado et al. (2001) e Grant et al. (2001) defendem a teoria de que o maior contato do P com o solo quando aplicado a lanço resulta em maior adsorção e redução no aproveitamento pela planta, e nesse sentido a aplicação localizada reflete em maior absorção pelas plantas. Essas divergências devem se relacionar com as características dos solos. É provável, como constatado em alguns dados apresentados nessa pesquisa, que em solos menos tamponados,

o fracionamento do P seja mais adequado para facilitar a absorção desse nutriente. Portanto, nesse tipo de solo, o fracionamento parece ser o manejo recomendável para melhoria da eficiência fosfatada.

Tabela 26. Produtividade de cana planta e cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Adubação fosfatada (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Solos		
	PVAd ₁	PAdx	PVAd ₂
Cana planta			
----- t ha ⁻¹ -----			
Testemunha	63,15 b	86,66 a	68,33 a
200 em fundação	81,43 ab	96,44 a	85,67 a
200 em fosfatagem	88,30 a	107,99 a	74,27 a
140 fundação + 60 fosfatagem	84,42 ab	104,20 a	84,69 a
100 fundação + 100 fosfatagem	82,82 ab	96,93 a	75,18 a
60 fundação + 140 fosfatagem	93,94 a	104,06 a	77,44 a
CV (%)	19,97	17,62	19,36
Cana soca			
Testemunha	52,78 a	68,84 c	24,68 a
200 em fundação	61,11 a	86,96 b	34,14 a
200 em fosfatagem	63,89 a	101,45 a	33,66 a
140 fundação + 60 fosfatagem	56,94 a	94,20 ab	31,71 a
100 fundação + 100 fosfatagem	65,28 a	89,67 ab	30,92 a
60 fundação + 140 fosfatagem	65,28 a	88,77 ab	32,62 a
CV (%)	12,51	6,72	25,88

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.8.5. Qualidade tecnológica da cana planta e da cana soca

As diferentes formas de adubação fosfatada não afetaram a qualidade tecnológica da cana planta, porém a adição do adubo fosfatado resultou em aumento nos valores de ATR das plantas cultivadas nos três solos, tendo sido constatado os maiores valores na cana cultivada no solo PVAd₁ (Tabela 27).

A falta de resposta nas variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes modos de aplicação de P ao solo também foi descrita por Fravet et al. (2010), quando utilizou P na forma de torta de filtro aplicada em linha e à lanço num Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) textura argilosa no centro-oeste do Brasil.

Tabela 27. Qualidade tecnológica da cana planta em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Variáveis tecnológicas				
		Fibra	Pureza %	PCC	S. Sol. (°Brix)	ATR kg t ⁻¹
PVAd ₁	Testemunha	13,99 a	91,35 a	17,15 a	22,60 a	158,9 a
	200 em fundação	12,56 a	92,07 a	17,53 a	22,93 a	165,5 a
	200 em fosfatagem	13,13 a	91,70 a	17,57 a	23,08 a	166,1 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	13,42 a	90,63 a	17,33 a	23,15 a	164,4 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	13,75 a	90,27 a	17,07 a	22,95 a	161,4 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	13,42 a	91,71 a	17,21 a	22,78 a	163,2 a
	Média	13,38	91,29	17,31	22,91	163,27
	CV (%)	7,25	1,01	3,63	2,60	3,33
PAdx	Testemunha	13,33 a	89,39 a	14,58 a	22,03 a	151,8 a
	200 em fundação	12,51 a	90,29 a	16,33 a	22,63 a	160,3 a
	200 em fosfatagem	11,94 a	90,02 a	15,51 a	21,95 a	158,8 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	12,93 a	90,69 a	15,74 a	22,00 a	156,3 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	12,75 a	88,86 a	15,57 a	22,16 a	152,7 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	12,94 a	89,54 a	14,51 a	21,67 a	153,6 a
	Média	12,73	89,80	15,37	22,07	155,62
	CV (%)	9,49	2,91	10,8	1,98	3,47
PVAd ₂	Testemunha	12,56 a	89,27 a	14,62 a	18,63 a	77,7 a
	200 em fundação	12,18 a	90,31 a	15,35 a	19,94 a	109,2 a
	200 em fosfatagem	13,38 a	89,90 a	14,78 a	17,81 a	102,2 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	13,86 a	89,26 a	14,70 a	17,94 a	97,5 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	12,89 a	90,05 a	16,07 a	19,19 a	118,7 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	12,50 a	90,22 a	14,37 a	18,79 a	115,7 a
	Média	12,90	89,83	14,98	18,72	103,5
	CV (%)	8,24	1,61	9,91	5,94	9,56

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na cana soca a adubação fosfatada foi responsável por variação significativa dos dados apenas para a variável tecnológica pureza do caldo nas plantas cultivadas nos solos PVAd₁ e PAdx (Tabela 28), sendo que no primeiro não houve diferença entre as formas de aplicação de P, e no segundo a utilização da dose de 200 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ tanto em fundação como incorporada ao solo se diferenciaram das demais doses por apresentarem caldos mais puros.

Embora as plantas cultivadas no solo PVAd₂ tenha apresentado as menores produtividades (Tabela 26), constatou-se uma melhoria significativa na qualidade da cana-de-açúcar (Tabelas 27 e 28), indicando que essa variedade mostrou-se eficiente na utilização de P.

Tabela 28. Qualidade tecnológica da cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Solos	Adubação fosfatada Kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Variáveis tecnológicas				
		Fibra	Pureza %	PCC	S. Sol. (°Brix)	ATR kg t ⁻¹
PVAd ₁	Testemunha	14,03 a	88,92 b	15,17 a	20,87 a	145,2 a
	200 em fundação	13,09 a	91,00 a	16,16 a	21,50 a	155,8 a
	200 em fosfatagem	13,01 a	91,33 a	16,34 a	21,50 a	154,9 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	13,54 a	90,63 a	15,76 a	21,08 a	152,3 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	13,06 a	91,75 a	16,50 a	21,63 a	156,2 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	12,92 a	91,10 a	16,32 a	21,50 a	154,9 a
	Média	13,27	90,79	16,04	21,34	153,2
CV (%)	4,93	0,80	4,79	3,50	3,48	
PADx	Testemunha	13,92 a	87,73 a	15,82 a	22,01 a	153,6 a
	200 em fundação	14,35 a	89,31 a	16,36 a	22,55 a	157,4 a
	200 em fosfatagem	14,78 a	88,39 a	15,49 a	21,73 a	149,9 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	14,73 a	90,22 a	16,05 a	22,03 a	153,8 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	15,33 a	88,59 a	15,61 a	22,07 a	150,8 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	14,48 a	88,59 a	15,61 a	21,73 a	150,9 a
	Média	14,73	88,81	15,82	22,02	153,6
CV (%)	6,55	2,73	5,21	3,25	4,27	
PVAd ₂	Testemunha	14,57 a	88,71 c	16,23 a	20,57 a	156,6 a
	200 em fundação	14,13 a	91,85 a	17,94 a	21,84 a	167,7 a
	200 em fosfatagem	13,94 a	92,03 a	17,80 a	21,38 a	168,8 a
	140 fundação + 60 fosfatagem	14,09 a	91,61 ab	17,57 a	21,34 a	167,0 a
	100 fundação + 100 fosfatagem	14,20 a	90,93 abc	17,22 a	21,93 a	164,7 a
	60 fundação + 140 fosfatagem	14,38 a	89,40 bc	16,30 a	20,93 a	156,8 a
	Média	14,22	90,75	17,18	21,33	163,6
CV (%)	3,81	1,14	5,85	5,70	5,40	

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora não tenha sido verificada diferença significativa, o uso da fosfatagem promoveu aumento no teor de P no caldo na cana planta, exceto quando se aplicou 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fundação + 100 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ em fosfatagem no PVAd₂ (Tabela 29), indicando que esse tipo de manejo pode implicar em melhoria na qualidade do caldo. Em cana soca os maiores teores de P no caldo nas plantas cultivadas no solo PVAd₁ e no PADx foram verificados quando todo o adubo foi aplicado em fosfatagem, sendo indício que em solos com menor poder tampão de fosfato esse tipo de aplicação pode resultar em melhor qualidade do caldo em socarias. Em ambos os ciclos a aplicação de P elevou o teor de P do caldo em praticamente todos os tratamentos nas plantas cultivadas nos três solos estudados, evidenciando a importância desse nutriente na qualidade da cana-de-açúcar.

Tabela 29. Teores de P no caldo da cana planta e cana soca em função de diferentes modos de aplicação de P em diferentes solos

Adubação fosfatada (kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅)	Solos		
	PVAd ₁	PAdx	PVAd ₂
Cana planta			
----- mg L ⁻¹ -----			
Testemunha	112,0 b	111,0 a	131,0 b
200 em fundação	127,0ab	110,0 a	216,0 a
200 em fosfatagem	145,0 ab	128,0 a	260,0 a
140 fundação + 60 fosfatagem	197,0 a	122,5 a	268,0 a
100 fundação + 100 fosfatagem	139,0 ab	115,0 a	199,0 ab
60 fundação + 140 fosfatagem	142,0 ab	132,0 a	237,0 a
CV (%)	21,37	18,07	29,91
Cana soca			
Testemunha	170,7 b	163,5 b	128,0 a
200 em fundação	229,0 ab	247,2 ab	159,0 a
200 em fosfatagem	248,0 a	271,5 a	151,5 a
140 fundação + 60 fosfatagem	198,0 ab	226,0 ab	148,0 a
100 fundação + 100 fosfatagem	205,0 ab	191,0 ab	168,0 a
60 fundação + 140 fosfatagem	184,0 ab	216,5 ab	157,5 a
CV (%)	19,28	16,09	13,18

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

- A extração e a taxa de recuperação do P aplicado nos solos pela resina de troca aniônica não se correlacionou com nenhuma característica química e física dos solos avaliados;
- O P extraído por Mehlich-1 correlacionou-se com o Feo e com a relação Feo/Fed;
- Doses crescentes de fosfato favoreceram a produtividade da cana planta e da cana soca nos três solos estudados;
- As adubações de cobertura incorporadas ao solo favoreceram a extração e alocação de P pelo no e nas folhas da cana cultivada nos solos PVAd₁ e PAdx, respectivamente;
- Nos solos estudados com menor poder tampão de fosfato é recomendável fracionar a aplicação do adubo fosfatado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JÚNIOR, A.B.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; LINHARES, P.C.F. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. *Caatinga*, v.22, p.217-221, 2009.

ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, v.1: p.44-55. 1990.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Boletim Informativo), p.27-33, 2000.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.16, p.349-353, 1992.

ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.44, p.1016-1020, 1980.

ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª ed. Porto Alegre, p.65-86, 2008.

ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, v.28, p.259-268, 2004.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, v.26, p.151-156, 2002.

BITTENCOURT, V. C.; STRINI, A. C.; CESARIM, L. G.; SOUZA, S. R. Torta de Filtro enriquecida. *Revista Idea News*, v.6, p.2-6, 2006.

CAIONE, G.; TEIXEIRA, M.T.R.; LANGE, A.; SILVA, A.F.; FERNANDES, F.M. Modos de aplicação e doses de fósforo em cana-de-açúcar forrageira cultivada em Latossolo vermelho amarelo. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v.9, p.1-11, 2011.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. *Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira*. Cosmópolis: Editora Stoller do Brasil Ltda, 2001. 138p.: il.

CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich 1 e resina em Latossolo Vermelho Amarelo, álico cultivado com três gramíneas forrageiras. *Sci. Agric*, v.50, p. 287-294, 1993.

COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M. Óxidos de Ferro. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. *Química e Mineralogia do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.505-572.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. EMBRAPA, 1997, 370f.

FARIA, C.M.B. & PEREIRA, J.R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomate rasteiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.12, p.1363-1370, 1993.

FARIAS, D.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, D. ARRUDA, J.A.; (5), HOFFMANN, R.B.; NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. II - disponibilidade de fósforo para plantas de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, v.33, p.633-646, 2009.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R.A.B.; LANA, R.M.Q.; LANA, A.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciênc. agrotec*, vol.34, p. 618-624, 2010.

GATIBONI, L. C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. (Tese de doutorado) UFSM. 2003. 231f.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Potafos (Informações Agronômicas, 95), 2001, 16 p.

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. Revista da STAB, v.17, p.32-34, 1999.

HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. R. Bras. Ci. Solo, v.22, p.223-230, 1998.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2ª ed. Recife, 2008. 198p.

KÄMPF, N. & CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos, In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R, eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107-138.

KORNDORFER, G.H., ALCARDE, J.C. Aplicação de fósforo e rendimento de cana soca e ressoca. R. Bras. Ci. Solo, v.16, p.183-186, 1992.

KORNDORFER, G.H.; FARIAS, R. J.; MARTINS, M. Efeito do fósforo na produção da cana-de-ano e cana-soca cultivada em solo de cerrado. Pesq. Agrop. Bras., v.33, p.1667-1673, 1998.

KORNDORFER, G.H.; MELO, S.P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. Ciênc. agrotec. vol.33, p.92-97, 2009.

LEBRE, A. C. P.; MARQUES, M. O. ; SILVA, J. D. R. ; SILVA NETO, H. F. ; TASSO JUNIOR, L. C. . Avaliação de Fósforo Inorgânico em Cultivares Tardios de Cana-de-açúcar. Anais... XXII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Salvador, 2010.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3ª edição, São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594 p.

MARCOLAN, A.L. Modo de adubação e absorção de fósforo pelas plantas, 2008. Fonte: www.agrosoft.org.br/agropag/100409.htm, acesso em 18 de janeiro de 2012.

MEDEIROS, A.M.L. efeito da adubação fosfatada no plantio e em soqueiras. Departamento Técnico Agrícola da Cia. Indal. e Agr. São João de Araras /SP (Relatório Técnico), 1988.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from clays by dithionite – citrate – bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and clay minerals, Denver, v.7, p.317-327, 1960.

MODEL, N.S. & ANGHINONI, L. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. Rev. Bras. Ci. Solo, v.16, p.55-59, 1992.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L.A.C. Eficiência de fontes de fósforo na alfafa centrosema cultivada em Latossolo Amarelo. Pesq. Agrop. Bras., v.37, p.1459-1466, 2002.

MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M.; BOMFIM, G.V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Rev. Ciênc. Agron., v.37, p.7-12, 2006b.

MOREIRA, L.M.; FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A.; NÓBREGA, E.B. Absorção e níveis críticos de fósforo na parte aérea para manutenção da produtividade do capim-elefante (*pennisetum purpureum* cv. Napier). Ciênc. agrotec., v.30, p.1170-1176, 2006a.

MOURA, M. V. P. F.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. Ciência e Agrotecnologia, v.29, p.753-760, 2005.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 471-550.

NUNES, R.S. Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivos e diferentes manejos da adubação fosfatada. (Dissertação de Mestrado) Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília-DF, 2010, 88 f.

OLIVEIRA, I.P.; CASTRO, F.G.F.; 3 MOREIRA, F.P.; PAIXÃO, V.V.; CUSTÓDIO, D.P.; 4 SANTOS, R.S.M.; FARIA, C.D.; COSTA, K.A.P. Efeitos qualitativo e quantitativo da aplicação de fósforo no capim tanzânia-1. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, p.37-41, 2000.

PAVINATO, P.S. & CERETTA; C.A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. Ciência Rural, v.34, p.1779-1784, 2004.

PEREIRA, J. B. M.; GOMES, T. C. de A. Níveis críticos de fósforo disponível para alguns solos do Acre. Embrapa Acre (INFOTECA-E), 1998. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/492656> acesso em 12 de janeiro de 2012.

PRADO, H. Arquivo do agrônomo Nº 1: A pedologia simplificada. POTAFOS, 2ª Ed. (Boletim técnico), 1995, 6f.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. R. Bras. Ci. Solo, v.25, p.83-90, 2001.

PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B.; MORGADO, L.B. Efeito de níveis e de resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em Vertissolo. Pesq. Agrop. Bras., v.30, p.43-48, 1995.

RAGGHIANI, K. C.; SILVA NETO, H. F.; TASSO JÚNIOR, L.C. BORDONAL, R. O.; MARQUES, M. O. Teores de fosfato inorgânico em cultivares tardias de

cana-de-açúcar. Anais... XII Congresso Nacional de Fisiologia Vegetal, Fortaleza, 2009.

RAIJ, B.; CANATRELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo - Fundação IAC, Boletim Técnico 100, 1996, 285p.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agrônomo de Campinas, 285p., 2001

RAIJ, B. Van; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. *Bragantia*, v.43, p.17-29, 1984.

REIS, E.L.; CABALA-ROSAND, P. Respostas da cana-de-açúcar ao nitrogênio, fósforo e potássio em solo de tabuleiro do sul da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, v.10, p.129-134, 1986.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURTI, N.; LAGO, F.J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. *Ciênc. agrotec.*, v. 30, p. 458-466, 2006.

ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica e tributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do alto Paranaíba (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, v.28, p.953-964, 2004.

ROSSETO, R. & SANTIAGO, A.D. [online] Cana-de-açúcar – correção e adubação. 2009. Homepage: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar>.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. (Boletim Técnico) Piracicaba: potafos, 2005.

ROSSI, C.; ANJOS, A.R.M.; CAMARGO, M.S.; WEBER, O.L.S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E.. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz:

avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. *Sci. agric.*, vol.56, p. 39-46, 1999.

SANTOS, D.H. Adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. (Dissertação de Mestrado) UnoOeste. 2009. 35f.

SANTOS, D.H.; 1, SILVA, M.A.; TIRITAN, C.S.; FOLONI, J.S.S ECHER, F.R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, p.443–449, 2011.

SANTOS, D.H.; TIRITAN, C.S.; FOLONI, J.S.S.; FABRIS, L.B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Pesq. Agropec. Trop.*, v.40, p.454-461, 2010.

SANTOS, D.R.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J. & ANGHINONI, I. Fósforo orgânico no solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, 2ª ed., p.65-86, 2008.

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

SANTOS, V.R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A.W.; COSTA, J.P.V. SANTOS, C.G.; SANTOS, A.C.I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, p.389–396, 2009.

SCHMITZ, G. A. F.; SOUZA, E. P.; TEIXEIRA, E. B.; BOLONHEZI, A. C. ; FERNANDES, F. M. .Adubação fosfatada em soca da cana-de-açúcar variedade SP-79 1011.. *Anais.. XV Simpósio Internacional de Iniciação científica da USP*. São Paulo, 2007.

SCHLINDWEIN, J.A. & GIANELLO, C. Fósforo disponível determinado por lâmina de resina enterrada. *R. Bras. Ci. Solo*, v.33, p.77-84, 2009.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron Oxides. In: DIXON, J.B.; WEED S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.379-438.

SILVA, E.T. Análise de crescimento e produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) influenciada por doses de fósforo. (Dissertação de Mestrado) UFAL. 2007. 40f.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627p.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.34, p.267-288, 1999.

SIMÕES NETO, D.E.; OLIVEIRA, A.C.; ROCHA, A.T.; F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco. Rev. Ceres, v.58, p.802-810, 2011.

SIMÕES NETO, D.E.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; ROCHA, A.T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, p.840–848, 2009.

SIMÕES NETO, D.E. Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação da adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco. (Tese de doutorado) UFRPE. 2008. 105f, il.

SLEIGHT, D.M.; SANDER, D.H.; PETERSON, G.A. Effect of fertilizer of phosphorus. placement on the availability of phosphorus. Soil. Sci. Soc. Am. J., v. 48, p. 336-340, 1984.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFOS, 2004, 726p il.

SOUSA, D.M.G.; VOLKWEISS, S.J. Efeito residual do superfosfato triplo aplicado em pó e em grânulos no solo. R. Bras. Ci. Solo, v.11, p.141-146, 1987.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A. ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Fundação IAC, 1996. p.237-239. (Boletim, 100)

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, v.62, p.111-118, 2003

VILAR, C.C.; COSTA, A.C.S.; HOEPERS, A; SOUZA JUNIOR, I.G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, v.34: p.1059-1068, 2010.

WEBER, H.; DAROS, E. ; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D.. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. *Scientia Agraria*, v.2, p.99-105, 2001.

WHITTING, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part. 1 Physical and mineralogical methods*. Madison: Soil Science Society of America, p. 331-359, 1986.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AZEREDO, D.F. Adubação na região centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. São Paulo: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 368p.

ZAMBELLO Jr.; E.; ORLANDO FILHO, J.; Efeito residual da adubação fosfatada em soqueira de cana-de-açúcar. *Saccharum*, v.4, p.31-36, 1981.