

DJALMA EUZÉBIO SIMÕES NETO

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E
RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA
CANA-PLANTA EM SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2008

DJALMA EUZÉBIO SIMÕES NETO

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E
RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA
CANA-PLANTA EM SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

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

Orientador

Professor Fernando José Freire – D. Sc.

Conselheiros

Professora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire – D. Sc.

Professor Clístenes Williams Araújo do Nascimento – D. Sc.

RECIFE – PE

2008

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S593a Simões Neto, Djalma Euzébio
Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação
de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de
Pernambuco / Djalma Euzébio Simões Neto. – 2008.
105 f. : il.

Orientador: Fernando José Freire
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade
Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.
Inclui bibliografia.

CDD 631.85

1. Fertilidade do solo
2. Cana-de-açúcar
3. Adubação fosfatada
- I. Título

DJALMA EUZÉBIO SIMÕES NETO

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E
RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA
CANA-PLANTA EM SOLOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Tese defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 28 de março de 2008

ORIENTADOR:

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

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Gilson Moura Filho, D.Sc. (UFAL)

Prof. Gustavo Pereira Duda, D.Sc. (UAG/UFRPE)

Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira, D.Sc. (UFPB)

Prof. Orlando Silvio Caíres Neves, D.Sc. (UAG/UFRPE)

Ao meu pai Engenheiro Agrônomo
José Euzébio Simões Neto (in memória)

Ofereço

A minha mãe Zélia, minha esposa Fátima,
meus filhos José Neto, Marília e Rafael, meu
neto Caio Vinícius e meus irmãos Eliana,
Tereza, Aluízio e Manoel.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS por tudo, está conquista foi conseqüência.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Ciências do Solo pela oportunidade.

Ao Professor Fernando José Freire pela orientação, pelo seu amor e dedicação a academia e por formar pessoas, muito mais que mestres e doutores.

A todos os professores que fazem o programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRPE pela dedicação e profissionalismo, saúdo a todos em nome de Maria Betânia Freire, Mário Lira Júnior, Newton Stanford e do nosso coordenador Clístenes Willians do Nascimento.

Aos diretores, gerentes, técnicos e trabalhadores das conceituadas empresas do setor sucroalcooleiro de Pernambuco que colaboraram com este trabalho, Usinas Bom Jesus, Cucau, Pumaty, Salgado e Santa Teresa.

Ao Pós-graduando em Ciência do Solo da UFRPE, Alexandre Campelo pelo apoio, colaboração e dedicação em todas as etapas deste trabalho e acima de tudo pela amizade.

Ao amigo José Fernando (Zeca), a grande Socorro e a “seu Noca”, sempre alegres e presentes no cotidiano dos pós-graduandos e professores do Centro de Pesquisa de Solos.

A todos os colegas pós-graduando em Ciência do Solo, pela amizade, companheirismo.

Aos que fazem o Instituto Agronômico de Campinas, em especial a pesquisadora e grande amiga Dra. Raffaella Rossetto, pelo apoio nas análises com o método da resina (RTA).

A todos os colegas da pesquisa sucroalcooleira que fazem a Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina – EECAC da UFRPE, pela compreensão e apoio, em especial a Andréa Chaves pelo incentivo desde o período da inscrição no programa de ciência do solo, até a conclusão.

A todos os colaboradores na administração da EECAC, em especial Morgana Kelly Rufino dos Santos pela paciência, colaboração e dedicação que tornaram possível conciliarmos o curso com as atividades profissionais.

A todos que direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras	8
Lista de Quadros	9
Resumo	11
Abstract	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1. A Cana-de-açúcar: Classificação botânica, aspectos históricos e econômicos	18
2. Relações fósforo/solo	19
3. Relações fósforo/planta	24
4. Extratores de P nas relações solo/planta	25
5. Adubação fosfatada em cana-de-açúcar	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
1. Identificação dos locais dos experimentos e classificação dos solos	34
2. Caracterização química e física dos solos	34
3. Caracterização mineralógica	36
4. Caracterização pluvial	38
5. Tratamentos	39
6. Variedades	39
7. Condução do experimento e amostragem do solo	40
8. Extratores de P	40
9. Amostragem do material vegetal e mensurações	41
10. Análise estatística	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
1. Relações de P nos solos	42

2. Relações de P nas plantas	50
3. Estimativa da disponibilidade de P	55
4. Níveis críticos de P nos solos	59
5. Níveis críticos de P nas plantas	64
6. Relações entre os níveis críticos de P em solo e planta	68
7. Alocação de P nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar	69
8. Efeito da adubação fosfatada nas características agroindustriais da cana-de-açúcar	76
9. Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do Estado de Pernambuco	84
.....	
5. CONCLUSÕES	92
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Difractogramas de raio-X das argilas dos solos (Ct = culinita; Gb = gibbissita; Gt = goethita; Qz = quartzo; Mi = Mica; Ha = halita).	37
2. Equações de Regressão que estimam o fósforo extraído pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em função de doses de fósforo aplicados aos solos, baseadas em % da CMAP	45
3. Equações de Regressão do teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar em função do fósforo aplicado nos solos.	65
4. Extração total de fósforo pela cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.	72
5. Exportação de fósforo pelo componente colmo da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.	73
6. Extração de fósforo acumulado no componente ponteiro da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.	74
7. Extração de fósforo acumulado no componente folha da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.	75
8. Extração de fósforo acumulado no componente folha senescente pela cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.	76
9. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar, como variável dependente do fósforo aplicado em Argissolo Amarelo distrocoeso (PAdx).	79
10. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Latossolo Amarelo distrófico (LAd).	80
11. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Argissolo Amarelo distrófico (PAd).	81
12. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Gleissolo Háplico Eutrófico (GXve).	82
13. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Espodossolo Humilúrico Órtico (EKO).	83

LISTA DE QUADROS

QUADRO	Página
1. Identificação das classes dos solos e localização dos cinco experimentos conduzidos no campo.	34
2. Características químicas e físicas dos solos	35
3. Identificação dos minerais predominantes nos solos e ferro amorfo e cristalino determinados	37
4. Precipitação pluvial mensal durante o período de condução dos experimentos (mês do plantio ao mês da colheita), nos anos de 2005 e 2006	38
5. Irrigação realizada durante a condução dos experimentos	38
6. Níveis de P em função da CMAP e doses correspondentes de fósforo aplicado nos solos	39
7. Teor de fósforo extraído dos solos pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em função de doses de fósforo aplicadas.	43
8. Coeficiente de correlação linear entre a taxa de fósforo extraída por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) e características químicas e físicas dos solos.	48
9. Teores de fósforo nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar em função do fósforo aplicado nos solos.	51
10. Conteúdo de fósforo nos componentes da parte área da cana-de-açúcar e produção agrícola (TCH) em função do fósforo aplicado nos solos.	53
11. Coeficientes e correlação linear entre o conteúdo de fósforo acumulado nos componentes da parte área da cana-de-açúcar e produção agrícola (TCH) com o teor de fósforo extraído nos solos por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA)	56
12. Correlação linear entre o fósforo acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar e características químicas e físicas dos solos.	58
13. Equação de regressão da produção agrícola de cana-de-açúcar (TCH) como variável dependente do fósforo aplicado nos solos e dose de máxima eficiência econômica (MEE)	60
14. Níveis críticos de fósforo no solo para os extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em cana-de-açúcar.	61

15. Coeficientes de correlação linear entre nível crítico de fósforo no solo em cana-de-açúcar pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) e características químicas e físicas dos solos.	63
16. Nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar nos solos.	66
17. Correlação linear entre o nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar e características químicas e físicas dos solos.	67
18. Correlação linear entre o nível crítico de fósforo nos solos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina de Troca Aniônica (RTA) com o nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar.	68
19. Teor de fósforo nos componentes da parte aérea de cana-de-açúcar nos solos	70
20. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) em função do fósforo aplicado nos solos.	77
21. Dados tecnológicos em função do fósforo aplicado nos solos	85
22. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e a Argila a característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo.	88
23. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e o P remanescente for a característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo.	89
24. Tabela de Recomendação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e interpretação considere poder tampão de fosfato do solo por % argila ou P remanescente.	89
25. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for a Resina de Troca Aniônica (RTA).	90
26. Tabela de recomendação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for a Resina de Troca Aniônica (RTA).	91

RESUMO

SIMÕES NETO, Djalma Euzébio; **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do Estado de Pernambuco.**

A recomendação de adubação fosfatada para o Estado de Pernambuco, apesar da preocupação com a produtividade esperada, é omissa quanto à influência da capacidade tampão dos solos na disponibilidade de P. Assim, esse trabalho objetivou avaliar a máxima eficiência agrônômica e econômica da adubação fosfatada em cana-de-açúcar, considerando o teor e qualidade da fração argila; relacionar características mineralógicas, químicas, e físicas dos solos com os níveis críticos de P no solo e na planta; estudar métodos de extração para estimativa do P disponível; avaliar a alocação de P para determinar sua extração e exportação; apresentar uma proposta de atualização da interpretação e da recomendação de adubação fosfatada para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco. Os experimentos foram conduzidos em condições de campo na Zona da Mata da região canavieira do Estado, onde predominam solos mais intemperizados e de diferentes composições mineralógicas, químicas e físicas. Foram utilizados cinco solos: Argissolo Amarelo distrocoeso (PAdx); Latossolo Amarelo distrófico (LAd); Argissolo Amarelo distrófico (PAd); Gleissolo háplico eutrófico (GXve) e Espodossolo cárbico duripânico (EKo). Os solos foram caracterizados química, física e mineralogicamente. Os tratamentos consistiram em sete doses de P, determinadas em função da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando vinte e oito parcelas experimentais. Nas amostras de solo coletadas após a aplicação dos tratamentos determinou-se o teor de P pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina de Troca Aniônica (RTA). O material vegetal foi coletado, amostrando-se quatro plantas de cada uma das três linhas centrais da parcela útil, totalizando doze plantas por parcela, as quais foram separadas em ponteiros, folhas, colmos e folhas senescentes. Avaliou-se, também, o número de plantas por metro linear e a altura de colmos até o “colarinho” da folha (+1). Determinaram-se as produtividades agrícola (TCH) e industrial (TAH) e os dados tecnológicos BRIX, POL, Pureza, Fibra, PCC E

ATR. O Mehlich-1 e a RTA foram os extratores que mais se correlacionaram com o P absorvido e acumulado pela cana-de-açúcar, porém a RTA não apresentou nenhuma correlação com características químicas ou físicas dos solos, tendo extraído P indistintamente, independente do solo. Os níveis críticos de P no solo e na planta foram dependentes do poder tampão de fosfato dos solos, quando o extrator para avaliação do disponível foi o Mehlich-1. Os níveis críticos de P no solo determinados pela RTA se correlacionaram significativamente com os níveis críticos de P nas plantas, mas não foram dependentes de nenhuma característica química ou física dos solos. Os níveis críticos de P no solo determinados pelos extratores Bray-1 e Mehlich-3 não se correlacionaram com a CMAP, nem com os níveis críticos de P nas plantas. A adubação fosfatada influenciou positivamente a TCH e a TAH. Assim, foi possível estabelecer uma sugestão de interpretação do teor de P disponível do solo e uma recomendação de adubação fosfatada para o Estado de Pernambuco baseada nos teores de argila dos solos ou no valor do P remanescente, quando o extrator para estimativa do P disponível do solo for o Mehlich-1. Sugeriu-se, também, o uso da RTA como extrator para avaliar a disponibilidade de P para solos de Pernambuco, inclusive, com uma proposta de interpretação do teor de P disponível do solo pela RTA e de recomendação de adubação fosfatada.

ABSTRACT

SIMÕES NETO, Djalma Euzébio; **Evaluation of phosphorus availability and phosphate fertilizer recommendation for sugarcane in soils of Pernambuco State**

Despite concerns with expected production, the phosphate fertilizer recommendation for Pernambuco lacks of the soil buffer capacity influence on P availability. Therefore, this work had as objective to 1) evaluate the maximum agronomic and economic influence of phosphate fertilizer in sugarcane, considering content and quality of clay fraction; 2) relate physical, chemical and mineralogical soil characteristics with critical levels of P in soil and plant; 3) study extraction methods for estimate P availability; 4) evaluate P allocation to determine P extraction and export; 5) present a proposal to bring up to date interpretation and recommendation of phosphate fertilizer for sugarcane in the State of Pernambuco. The experiments were carried out in field conditions at Zona da Mata of sugarcane cropping area of the State, where temperate soils with different mineralogical, chemical and physical composition are predominant. Five soils were used: Argis soil Yellow dystrocoeso (PAdx); Latos soil Yellow dystrofic (LAD); Argis soil Yellow dystrofic (PAd); Gleis soil haplic eutrofic (GXVe); and Espodos soil carbic duripanic (ESKo). The soils were chemically, physically and mineralogical characterized. The treatments consisted of seven doses of P, determined in function of the P maximum capacity of adsorption (PMCA). The experimental design was a completely randomized block, with four replicates, totalizing 28 experimental units. In soil samples collected after treatment application, P was determined by Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 and Anionic Change Resin (ACR) extractors. The vegetal material was collected, sampling four plants from each one of the three central lines of the utile experimental unit, totalizing 12 plants per plot. Plants were separated into pointers, leaves, stems and senescent leaves. Number of plant by linear meter and stem height to "colon" of the leaf (+1) were also evaluated. Agricultural (TCH) and industrial (TAH) productivity along with the technological data BRIX, POL, PUREZA, FIBRA, PCC E ATR were determined. Mehlich-1 and ACR were the extractors that most correlated with both P absorbed and accumulated by sugarcane. However ACR did not present correlation with any physical or chemical characteristics of the soils, having extracted P indistinctly,

and independent of the soil. The critical levels of P in soil and plant were dependents on the soils phosphate buffer power, when the extractor for evaluation of the available was Mehlich-1. The critical levels of P in soil determined by ACR correlated with the critical levels of P in plants significantly but they were not dependent on any chemical or physical characteristic of the soils. The critical levels of P in soils determined by Bray-1 and Melhich-3 did not correlate with PCMA, neither did they with critical levels in plants. Phosphate fertilizer influenced TCH and TAH positively. Therefore, it was possible to establish a suggestion for phosphate fertilizer interpretation and recommendation for Pernambuco State based on soil clay content or value of reminiscent P, when the extractor for estimating the available P in soil was Mehlich-1. It was also suggested the use of ACR as extractor for evaluating P availability to soils of Pernambuco, including a proposal for interpretation of P content available in the soil through RTA and for recommendation of phosphate fertilization.

INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil está associado a toda sua história econômica, social e cultural. Nas últimas três décadas do século XX, em decorrência do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), a cultura teve grande incremento no país, posicionando o Brasil como o maior produtor do mundo e, cresceu mais ainda, nesta primeira década do século XXI pelo aumento da demanda de etanol no Brasil e no mundo. Saliente-se neste particular, a frota nacional de carros novos com cerca de 90% sendo produzidos com a tecnologia biocombustível (gasolina ou álcool), o que pressionou substancialmente a demanda por etanol.

A cultura da cana-de-açúcar ocupa atualmente mais de 7,5 milhões de hectares e na safra 2006/2007 atingiu uma produção de mais de 500 milhões de toneladas, contribuindo com cerca de um terço da produção mundial, o que coloca o setor sucroalcooleiro numa posição de destaque na economia nacional, como grande gerador de emprego e renda.

Em Pernambuco, a agroindústria da cana-de-açúcar ocupa uma área de cerca de 400 mil hectares com uma produção próxima a 19 milhões de toneladas na safra 2006/2007, gerando cerca de 120 mil empregos diretos, nas áreas rural e industrial, proporcionando desta forma, grande contribuição social.

O fósforo é um elemento muito importante 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, como também atua nas características industriais de aumento de pol %, pureza de caldo e clarificação. A sua deficiência pode levar à diminuição na formação de sacarose. Um baixo suprimento nos estágios iniciais de crescimento da cultura, certamente comprometerá todo o desenvolvimento da planta, já que a deficiência inicial dificilmente pode ser corrigida posteriormente.

Num contexto não muito favorável, a cultura esta instalada em solos altamente intemperizados com condições propícias para alta fixação de P, ou seja, eles apresentam uma maior afinidade pelo anion fosfato, passando a funcionar como dreno de P, competindo com a planta pelo fosfato. Estes solos muito intemperizados possuem alta capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), fazendo com que o P da fonte fosfatada adicionada ao solo passe gradativamente da forma lábil para não lábil (NOVAIS & SMYTI, 1999).

É de conhecimento técnico que o envolvimento de outros fatores, além da exportação de P, devem estar envolvidos na recomendação da adubação fosfatada, como por exemplo teor e tipo de argila. Recomendações de P mais criteriosas, que envolvam essas características, certamente, darão respostas significativas no aumento da produtividade e longevidade dos canaviais.

A maior parte da adubação fosfatada no Brasil é feita utilizando fontes solúveis de P, sendo raro, principalmente na cultura da cana-de-açúcar, o uso de fosfatos naturais. Grande parte do P adicionado ao solo por meio de fontes solúveis, fica ligada à fase sólida do solo, constituindo o P lábil, devido à baixa solubilidade dos compostos e, principalmente, pela tendência do solo em adsorver o elemento. Com o envelhecimento, essa forma lábil adquire uma constituição mineralógica mais estável, tornando mais difícil sua solubilização, podendo passar a P não lábil, tornando-se indisponível às plantas. Esse fenômeno, muitas vezes, faz com que solos apresentem teores totais elevados na camada superficial e mostrem-se deficientes em P, daí a importância de pesquisas de correlação e calibração de métodos de análise de solo para P principalmente considerando características químicas e físicas que reflitam o fator capacidade de P dos solos.

Dentre os nutrientes, certamente o P é o que mais suscitou trabalhos visando à determinação de métodos para a sua extração dos solos. Foram utilizadas para determinação soluções das mais diversas naturezas como, por exemplo, soluções tamponadas de bases, soluções diluídas de ácido, entre outras. Em Pernambuco, o método mais utilizado é o Mehlich-1 ou Carolina do Norte. Porém, não se tem considerado que os valores estimados de nível crítico por este extrator são variáveis de acordo com o poder tampão de P dos solos. Assim, as recomendações de adubação fosfatada para cana-planta no Estado de Pernambuco (CAVALCANTI et al, 1998) podem estar superestimando as doses recomendadas em solos arenosos ou subestimando-as em solos argilosos. É necessário mais pesquisas com esse extrator, comparando a outros métodos como Mehlich-3, Bray-1 e, principalmente, a Resina de Troca Aniônica (RTA), muito utilizada para avaliar a fertilidade de solos cultivados com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

As recomendações de P no Nordeste do Brasil estão baseadas em trabalhos que foram conduzidos por MARINHO & ALBUQUERQUE (1978) em Alagoas, e por SOBRAL & LIRA (1984) em Pernambuco, portanto, é premente

uma atualização dessa recomendação, principalmente pelo avanço dos novos conhecimentos adquiridos nos últimos vinte anos e que precisam ser incorporados a recomendação fosfatada em Pernambuco.

Apesar de o Brasil ser o país maior produtor de cana-de-açúcar, ainda há vários problemas a serem solucionados, dos quais muitos referem-se ao manejo inadequado da adubação. A necessidade da cana-de-açúcar por nutrientes é suprida com fertilizantes e o custo desse insumo representa uma significativa parcela na composição do custeio de produção. Desse modo, é evidente a necessidade do desenvolvimento de técnicas que considerem o maior número de variáveis possíveis e ajuste adequadamente a adubação ao tipo de solo de cada região.

A recomendação de adubação fosfatada para o Estado de Pernambuco, apesar da preocupação com a produtividade esperada, é omissa quanto à influência da capacidade tampão dos solos na disponibilidade de P. Assim, esse trabalho objetivou avaliar a máxima eficiência agronômica e econômica da adubação fosfatada em cana-de-açúcar, considerando o teor e qualidade da fração argila; relacionar características físicas, químicas e mineralógicas dos solos com os níveis críticos de P no solo e na planta; estudar métodos de extração para estimativa do P disponível; avaliar a alocação de P para determinar sua extração e exportação; apresentar uma proposta de atualização da interpretação de P no solo e da recomendação de P para a cultura da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. A Cana-de-açúcar: classificação botânica, aspectos históricos e econômicos

Planta de ciclo semi-perene, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, sub-classe Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e sub-tribo Saccharininae (LUCCHESI, 2001). A espécie *S. officinarum* (L.), chamada vulgarmente de “cana nobre”, foi amplamente cultivada, servindo de material para cruzamentos devido à maior riqueza sacarina (FIGUEIREDO et al., 1995; MATSUOKA et al., 1999).

Segundo MATSUOKA, et al., (1999) e CASTRO & KLUGER (2001) a espécie *S. officinarum* L. é descrita como um complexo poliplóide, sendo o centro de diversidade originário da Nova Guiné. Constitui-se a espécie-base dos programas de melhoramento, para a qual faz-se recorrência, com o objetivo de características agronômicas desejáveis, tais como, colmo suculento e alto teor de sacarose, boa pureza de caldo e teor de fibra adequado para moagem. Outras espécies são cultivadas em vários locais no mundo tais como: *S. spontaneum* L., *S. robustum* Jesw. e *S. sinense* Roxb, que, também, são originárias da Nova Guiné e ilhas vizinhas.

De acordo com BARNES (1964), a cana-de-açúcar teve origem na Ásia, no Sul do Pacífico, com migrações para várias regiões como Madagascar, Sudeste da Ásia, Índia e China. Há suposições de ter havido cana-de-açúcar na América antes da chegada dos espanhóis. Entretanto, é possível que a planta seja nativa do Pacífico, talvez Papua, Nova Guiné, onde já era conhecida há cerca de 12 mil anos (GOMES, 2006). Por outro lado, alguns pesquisadores (CASCUDO, 1971; FREYRE, 1987; ANDRADE, 2004; GOMES, 2006) afirmaram ser a cana-de-açúcar originária do Sudeste asiático, provavelmente da Índia, onde alcançou a Pérsia, sendo, posteriormente, levada pelos conquistadores árabes à costa oriental do Mediterrâneo.

Trazida nas expedições portuguesas ao Brasil, a cana-de-açúcar tornou-se para Pernambuco um grande investimento na época da colonização. Oficialmente, foi introduzida no Brasil por Martim Afonso de Souza, na

Capitania de São Vicente, em 1532. No entanto, a cana-de-açúcar já havia sido instalada no país em meados de 1526, antes da chegada do primeiro donatário. Em Pernambuco, a civilização do açúcar iniciou-se com Duarte Coelho, dois anos após a introdução no Brasil. A ascendência vertiginosa da cultura foi proporcional ao seu declínio, em meados do século XVI, devido à rápida expansão do cultivo no Brasil. (VARNHAGEN, 1975; FERNANDES, 1990; GOMES, 2006).

Em função da extensão territorial, o cultivo da cana-de-açúcar ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas. Possivelmente, o Brasil é o único país com duas épocas de colheita anuais: a safra de parte da Região Nordeste vai de setembro a abril e a do Centro-Sul e demais regiões vai de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nessas regiões (ALFONSI et al., 1987).

Na safra 2006/2007, a cana-de-açúcar cultivada no Brasil, maior produtor mundial, teve expressiva participação no mercado mundial com produção de 514.079.729 t em 7.822.342 ha e produtividade de 76,594 t ha⁻¹. No Nordeste foram produzidas 67.844.327 t em 1.230.061 ha; suplantado apenas pelo Sudeste, com 345.627.058 t em 5.219.368 ha. O Estado de São Paulo é o primeiro produtor nacional de cana-de-açúcar com 295.477.005 t em 4.328.450 ha cultivados. Pernambuco participa com 18.866.525 t em 369.683 ha colhidos, ocupando o quinto lugar no ranking (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras servindo como matéria prima de grande flexibilidade. Além de ser considerada fonte de alimentação animal, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como cachaça, licor, rum e vodka e gera eletricidade a partir do bagaço via alcoolquímica. Da cana-de-açúcar aproveita-se absolutamente tudo: bagaço, méis, torta e resíduos de colheita (UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO, 2006).

2. Relações fósforo/solo

A evolução do conhecimento científico em várias áreas da ciência do solo é uma realidade e o manejo da fertilização fosfatada tem acompanhado

essa evolução. Contudo, a eficiência de extratores na predição do P disponível e o uso de níveis críticos para recomendar adubação fosfatada são temas de largo interesse em fertilidade do solo pela carência de informações mais atualizadas, principalmente para solos do Nordeste do Brasil cultivados com cana-de-açúcar.

A retenção de P no solo, genericamente chamada de adsorção, é conhecida há muito tempo e intensamente estudada. É um fenômeno favorável à utilização do P pelas plantas quando se trata de se evitar perdas provocadas por lixiviação, por exemplo. Porém, é problemática quando a retenção é forte e o P se transforma em formas não labéis. A retenção do P adicionado ao solo ocorre pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, e mais significativamente pela adsorção do P pelas argilas tipo 1:1 e pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, presentes em grandes quantidades em solos tropicais, bastante intemperizados, sobretudo naqueles com maiores teores de argila. Na adsorção de P por óxidos e hidróxidos, há uma troca de ligantes na reação, como OH^- e OH_2^+ , da superfície dos óxidos, por fosfatos da solução (NOVAIS & SMYTH, 1999). ROLIM NETO et al. (2004), observaram que a proporção e a área superficial dos argilominerais têm participação destacada na adsorção de P.

O preparo convencional do solo favorece um maior contato entre o íon fosfato e a superfície dos colóides, permitindo uma maior adsorção do P pelo solo e a redução de sua disponibilidade para as plantas; esta adsorção relaciona-se com a fração argila dos solos, particularmente quando há predomínio de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Nestes colóides, a formação de cargas negativas é dependente do pH e em condições de acidez, a elevada afinidade do íon fosfato pela superfície dos colóides inorgânicos favorece o mecanismo de adsorção (RAIJ, 1991).

O P quando comparado a outros macronutrientes é requerido em menor quantidade pela planta, mas as adubações são elevadas, pois características inerentes a determinados tipos de solo faz com que a maior parte do P adicionado se torne indisponível à planta. Segundo ROBINSON & SYERS (1991), o teor e o tipo de argila, a capacidade de troca de cátions (CTC), o poder tampão, a adsorção de Ca e de P, o teor de matéria orgânica e a umidade afetam a solubilização de P no solo.

As recomendações de P devem considerar não apenas o P disponível, mas também características do solo que reflitam o fator capacidade de fósforo (FCF), uma vez que elas determinam a variação entre os solos quanto ao requerimento de P. Assim, isotermas de adsorção são ajustadas e, por meio delas, pode-se estimar as quantidades de P que devem ser aplicadas ao solo (CARVALHO et al., 1989).

A fixação de P pode ocorrer de duas formas no solo: precipitação em solução e adsorção específica. O P que se encontra na solução do solo pode ser precipitado pelo Al, Fe e Ca, que se encontram livres no solo e essas reações são dependentes do pH; quando baixo, as reações se processam com o Al e Fe; quando alto, ocorrem, principalmente com Ca; quando corrigido o pH, essas reações são minimizadas e o P torna-se mais disponível. Segundo NOVAIS & SMYTH (1999), o aumento do pH torna a carga superficial de partículas do solo mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, tendo como consequência uma menor adsorção.

Sob o ponto de vista da nutrição das plantas, as três principais frações do P no solo são: P na solução do solo, P mantido sob a forma lábil e o P da fração não lábil. O P lábil corresponde ao adsorvido à superfície dos minerais de argila, hidróxidos, carbonatos, apatitas, bem como os fosfatos de Fe e Al. Esta fração está em equilíbrio com o P da solução do solo e com o P não lábil, apesar da recíproca, neste último caso, ainda, não estar comprovada. A relação entre a quantidade de P adsorvida e a concentração de P da solução de equilíbrio do solo, pode ser descrita por uma isoterma do tipo da de Langmuir (MENGEL & KIRBBY, 1982).

A isoterma de Langmuir foi utilizada pela primeira vez por (OLSEN & WATANABE, 1957) para descrever a adsorção de P pelo solo. A maior vantagem da equação de Langmuir, sobre outras isotermas, é que a CMAP e a constante relacionada com a energia de adsorção podem ser calculadas e estes valores podem ser relacionados com várias propriedades do solo, que fornecerão informações sobre a natureza da reação entre o solo e o fertilizante fosfatado (OLSEN & WATANABE, 1957; NOVAIS & SMYTH, 1999).

Os solos tropicais apresentam-se, em geral, associados com: pH baixo, quantidades elevadas de hidróxidos de Fe e Al e de cargas eletropositivas responsáveis pela adsorção de P. Associado ao pH baixo, há o aumento das quantidades de Fe e Al solúveis, resultando na elevada precipitação do P do

solo. O P adsorvido e precipitado em compostos insolúveis, que não estão em equilíbrio com o P solução, representa o P não lábil (NOVAIS & SMYTH, 1999; ALVAREZ et al. 2000).

FERREIRA et al. (2007), estudando o efeito do pH na adsorção do P na ausência e na presença de calcário e P, concluíram que os solos que receberam calcário e P, simultaneamente, apresentaram-se estatisticamente iguais aos solos que receberam somente P, devido ao fato de que o calcário adicionado ao mesmo tempo com o P, favorece o processo de precipitação do P por compostos de Ca.

Desta forma, em solos tropicais, as condições são favoráveis à fixação deste elemento, tanto por adsorção quanto por precipitação (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1987). Essa adsorção foi, em alguns estudos, relacionada com a quantidade de adubo fosfatado que deve ser aplicada ao solo para um ótimo desenvolvimento das culturas, como por exemplo, os de HOLANDA & MEDEIROS (1984).

As características do solo que podem influenciar a adsorção de P em solos intemperizados, como os da região canavieira do Nordeste do Brasil, são o tipo e teor de argila, a presença de colóides amorfos e matéria orgânica (NOVAIS & SMYTH, 1999; ANDRADE et al., 2003). O papel desempenhado pela matéria orgânica é ambivalente, porque ela tanto pode adsorver o P, como também, bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de Fe e Al (SANYAL & DE DATTA, 1991).

SOUZA et al. (2006), avaliando a aplicação de calcário e esterco bovino em relação à capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), verificaram que a adição desses insumos promoveu a redução da CMAP e o aumento do P-rem; os pesquisadores destacaram que a alteração nesses valores foi atribuída à mineralogia e à textura, sendo a adsorção de P incrementada com o caráter oxidico dos solos.

Segundo MOREIRA et al. (2006), as características do solo mais estreitamente correlacionadas com a adsorção de P foram o teor de matéria orgânica e a CTC. Os pesquisadores observaram, ainda, que a adsorção de P na fração areia pode ser atribuída à matéria orgânica ou a resíduos de óxidos de Fe livres.

Trabalhando com solos de texturas variadas, HOLANDA & MEDEIROS (1984), encontraram maiores valores para a CMAP à medida que o teor de

argila aumentava, mostrando que essa adsorção dependia de algumas características dos solos, como a textura. Da mesma forma, RANNO et al. 2007, concluíram que a CMAP teve correlação significativa com os teores de argila, matéria orgânica e óxidos de Fe extraídos por ditonito e oxalato de amônio. Nesse mesmo contexto, VALLADARES (2003) mostrou que os coeficientes de correlação entre CMAP e algumas características dos solos têm associação com o teor de argila, Fe e Al.

BASTOS et al. (2007), estudando seis solos plantados com milho, onde foram aplicadas diferentes doses de P com base em níveis da CMAP, em experimento realizado em casa de vegetação, observaram que o Neossolo Quartzarênico apresentou os maiores teores de P disponível, devido ao menor poder tampão de fosfato desse solo.

Algumas características que refletem a CMAP podem indicar a magnitude com que o solo pode fixar o P. Dentre elas o valor do P-rem pode ser facilmente adotada nos laboratórios de análises de solo do país. Assim, é que essa metodologia tem sido utilizado para estimar o FCP de solos de algumas regiões do Brasil (ALVES & LAVORENTI, 2004). Entre outras finalidades, o P-rem pode, também, ser utilizado para estimar níveis críticos de P, S e Zn no solo, determinados com extratores sensíveis ao FCP e, para a definição das doses de P e S a serem usadas, tanto em estudos de adsorção como no estabelecimento de curvas de resposta a esses nutrientes.

À medida que se adiciona periodicamente P via fertilização, o solo aproxima-se gradualmente de seu caráter fonte a partir da diminuição da energia de ligação das partículas do solo com o P. De forma recíproca, com a ausência de fertilizações essa energia aumenta. Portanto, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, a chance de existir teores residuais que mantenham a capacidade produtiva da cultura aumenta pelo uso intenso de fertilizantes fosfatados nessa cultura. No entanto, esse efeito residual é dependente da capacidade tampão de fosfato do solo. Segundo NOVAIS & SMYTH (1999), os baixos teores de P disponível nos solos tropicais são provavelmente a maior causa dos baixos índices de produtividade.

É premente, portanto, estudos que relacionem características químicas e físicas do solo com a adsorção de P na região, para que seja possível uma recomendação mais criteriosa da adubação fosfatada que se adeque satisfatoriamente a essas características.

3. Relações fósforo/planta

Embora o P seja absorvido em pequenas quantidades pela cana-de-açúcar, comparado com o N e K, ele exerce funções primordiais no metabolismo da planta, particularmente na formação de proteínas, na divisão celular, na fotossíntese, no armazenamento de energia, no desdobramento do açúcar, na respiração e no fornecimento de energia e na produção de sacarose (ALEXANDER, 1973).

A presença de P no caldo da cana-de-açúcar exerce papel fundamental no processo de clarificação (KORNDORFER, 1994). Caldos contendo baixos teores de P são de difícil floculação, e neste caso, a decantação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila, entre outros) é reduzida (MARINHO E OLIVEIRA, 1980). Caldo turvo e de coloração intensa implica produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial, chegando até a inviabilizar o produto para exportação devido às exigências de cor.

O maior conteúdo de P em cana-de-açúcar, segundo DILLEWIJN (1952), ocorre nos centros de maior atividade da planta, como regiões de crescimento e de assimilação de carbono. Uma ordem decrescente de quantidade de P na cana-de-açúcar foi apresentada por CLEMENTS (1955) da seguinte forma: tecidos meristemáticos, colmos em elongação, folhas jovens, folhas velhas e colmo maduro.

De acordo com GRANT et al. (2001), apenas uma pequena quantidade de P na planta está ativamente envolvida no metabolismo. Se o suprimento de P for adequado, grande parte do reservatório de P inorgânico permanece não metabólico e é armazenado no vacúolo como orto-fosfato. Sob estresse, as reservas inorgânicas são exauridas, enquanto os níveis metabólicos praticamente não são afetados. Assim, as altas concentrações de P armazenadas na semente, ou provenientes do consumo de luxo nos estádios iniciais de desenvolvimento, formam as reservas de P disponível que podem satisfazer as necessidades advindas das flutuações no suprimento, na fase tardia do ciclo de vida das plantas. Assim, o tempo necessário para que a planta demonstre deficiência de P dependerá de suas reservas iniciais.

Na cana-de-açúcar os sintomas de deficiência por diagnose visual, inicialmente aparece nas folhas mais velhas. As folhas ficam estreitas e apresentam coloração verde escura ou azulada, posteriormente tornam-se

cloróticas e senescem da extremidade para as margens. Em estágio mais avançado aparecem manchas vermelhas pequenas e espaçadas ao longo do limbo foliar. Paralelamente à manifestação desses sintomas, a planta apresenta um sistema radicular pouco profundo, com limitação no perfilhamento e o colmo manifesta internódios curtos com diâmetro reduzido. A deficiência de P acarreta muitos prejuízos, pois um deficiente suprimento nos estágios iniciais dificilmente pode ser compensado posteriormente, prejudicando todo o desenvolvimento da cultura (ORLANDO FILHO et al, 1980).

A cana-de-açúcar é grande extratora de nutrientes, além de apresentar muita diversidade nesta extração, que depende de diversos fatores, entre eles: solo, variedade e clima. MALAVOLTA et al. (1997) constataram extrações em colmo, folhas e palmito para 1,25 toneladas de cana de 1,2 kg de N; 0,37 kg de P_2O_5 ; 1,49 kg de K_2O ; 1,12 kg de CaO; 0,68 kg de MgO e 1,07 kg de SO_4 .

Para DEMATTÊ (2005) na formação de uma tonelada de colmo são necessárias extrações de 0,9 a 1,32 kg de N; 0,20 a 0,69 kg de P_2O_5 ; 1,2 a 1,8 kg de K_2O ; 0,70 a 0,95 kg de CaO; 0,56 a 0,86 kg de MgO e 0,30 a 0,36 kg de S.

OLIVEIRA (2008), estudando o comportamento de onze variedades de cana-de-açúcar em condições de irrigação em solo de textura média, verificou que o colmo apresentou teores médios de 0,2 a 0,8g kg^{-1} de P. MOURA FILHO (2006), também, estudando extração de macronutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar, obteve resultados decrescentes de conteúdo de P nas partes da planta na seguinte ordem: colmos > ponteiros > folhas > folhas senescentes. SILVA (2006), em sua pesquisa sobre extração de nutrientes pela cana-de-açúcar, envolvendo sete variedades, verificou médias de extração mais expressivas nas partes mais ativas da planta.

FREIRE (2001) considera que haja uma variação do coeficiente de utilização biológico (CUB) em relação às características dos solos e deduz que em solos arenosos, menos intemperizados, o CUB seja menor do que nos argilosos (elevado poder tampão de fosfato pela alta CMAP e baixo P-rem).

A maior ou menor competição entre planta e solo pelo P aplicado como fertilizante, reflete-se num maior ajuste da planta na utilização do teor de P que lhe é colocado a disposição (NOVAIS & SMYTH, 1999). Alguns pesquisadores (FREIRE, 2001; SILVA et al., 2004) têm mostrado grande ajuste da planta à

utilização de P absorvido em solo com diferentes valores de capacidade tampão. Espera-se que o coeficiente de utilização de P em solos intemperizados ou arenosos seja menor do que nos solos argilosos e intemperizados que apresentam alta CMAP, baixo P-rem e, conseqüentemente, maior poder tampão de fosfato.

GOMES (2003), estudando exportação de P nos colmos da cana-de-açúcar, verificou que no solo de textura argilosa (51% de argila) a concentração de P nos colmos foi menor do que no de textura média (12% de argila). ORLANDO FILHO et al. (1980), verificaram comportamento semelhante e constataram que colmos desenvolvidos em solo com baixo teor de argila apresentaram maiores teores de P, em relação aos colmos desenvolvidos em solos argilosos.

Como descrito, diversos pesquisadores relatam a influência de características químicas e físicas dos solos nos teores de P nas plantas. Destacam, também, a competição entre planta e solo pelo P aplicado, relacionando essa competição com o poder tampão de fosfato. Portanto, acredita-se que as recomendações de adubação deva considerar as características do solo, o caráter fonte e dreno de P do solo, o que não ocorre nas recomendações de adubação fosfatada propostas para Pernambuco atualmente.

4. Extratores de P nas relações solo/planta

Vários mecanismos utilizados pelas plantas podem interferir no aumento da disponibilidade de P, como a produção de fosfatases, que atuam nas macromoléculas dos ácidos orgânicos liberando P. A acidificação da rizosfera com a liberação de ácidos orgânicos, também, aumenta a disponibilidade de P. Além do ajuste metabólico que a planta pode dispor para aumentar a sua eficiência na absorção e utilização de P.

O contato entre o P da solução do solo e a raiz se realiza quase que, exclusivamente, por difusão, processo segundo o qual o elemento caminha a curtas distâncias numa fase aquosa estacionária a favor de um gradiente de concentração. BARBER (1980) constatou que, em quatro dias, as distâncias percorridas pelo P variou de 0,0059 cm a 0,083 cm.

Segundo KORNDORFER (1990), a eficiência da cana-de-açúcar em absorver P do solo está diretamente relacionada à sua capacidade em explorá-lo. Assim, a cana soca, ainda que possua um ciclo menor (12 meses, em média) do que a cana planta (18 meses, em média), tem a vantagem de iniciar seu crescimento com um sistema radicular estabelecido, sendo esta uma das possíveis razões para a maior facilidade da cana soca em aproveitar o P disponível.

Extratores químicos são utilizados para estimar o P disponível. Para isso precisam reproduzir quanto é possível desse nutriente a planta retirar do solo. Porém, cada solo, devido as suas características químicas e físicas, responde de maneira diferente à ação dos extratores, sendo necessário encontrar um extrator que reproduza a ação da planta para um maior número possível de solos diferentes e ainda seja de fácil operacionalidade em laboratórios de análises de rotina. Na busca desse extrator é preciso encontrar qual característica química e, ou, física do solo se correlaciona de maneira mais efetiva com a capacidade de extração do extrator e da planta.

O P é o nutriente que tem recebido maior atenção da pesquisa em análise de solo. Entretanto, na prática no Brasil apenas dois métodos são usados. O mais antigo, é denominado Mehlich-1; o outro é corriqueiramente chamado de P-resina. Esse é mais recente e só é usado em larga escala nos Estados de São Paulo e Paraná (RAIJ et al., 2001).

A maior parte dos extratores de P usados em análise de solo é constituída por combinações de reagentes com o objetivo de dissolver ou remover as diferentes formas de P do solo. KAMPRATH & WATSON (1980) classificaram em quatro as principais reações da fase sólida do solo por soluções extratoras: ação solvente de ácidos, substituição de ânions, complexação de cátions combinados com P e hidrólise de cátions combinados com P.

Segundo FONSECA (1987), MOURA FILHO (1990) e NOVELINO (1999) o aumento do poder tampão de fosfato do solo diminui a extração de P, constatando-se que em solo com menor teor de argila, elevado valor de P-rem e baixa CMAP, as extrações de P são maiores.

Em São Paulo até o início da década de 80, utilizou-se solução extratora contendo $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 , que já era conhecida desde antes do extrator Mehlich-1 (CATANI & GARGANTINI, 1954) fornecendo resultados semelhantes

aos obtidos por este. A grande vantagem destes métodos é a extrema simplicidade de extração, que consiste basicamente em agitar o solo com a solução extratora e determinar o P. RAIJ et al. (2001) ressaltam que a vantagem é apenas operacional. Os autores salientam que o método da RTA para a extração de P, ao contrário do Mehlich-1, é um procedimento com embasamento teórico mais consistente. Buscava-se algo que imitasse a absorção de P pelas raízes. A RTA tem propriedades que permitem a avaliação apenas do P lábil. É um material sintético, orgânico, poroso, com estrutura que contém grupos químicos com cargas positivas, que adsorvem os ânions H_2PO_4^- da solução aquosa em contato com o solo.

RAIJ (1978), em revisão sobre extratores de P, constatou que o método da Resina era o que mais se adaptava a diferentes tipos de solos, principalmente ácidos e alcalinos. Este trabalho mostrou que o método da Resina foi superior aos demais métodos, deixando o Olsen em segundo lugar e o Mehlich-1 em terceiro, com um valor bem mais baixo para a correlação entre P no solo e P na planta; métodos importantes como o Bray-1 apresentou valores ainda mais baixos nessa correlação.

Numa revisão realizada por SILVA & RAIJ (1999) foram confirmadas as melhores correlações favoráveis à RTA. Os pesquisadores comentam sobre os seguintes aspectos favoráveis a RTA: (a) apresenta valores de coeficientes de determinação para a correlação entre P absorvido pelas plantas e P do solo, consistentemente superiores aos dos demais métodos na maior parte dos trabalhos revisados; (b) pode ser usado tanto em solos ácidos como alcalinos, o que não é o caso para outros extratores; (c) revela, adequadamente, o efeito da calagem em aumentar a disponibilidade de P para as plantas, o que não acontece com os métodos Mehlich-1, Bray-1 e Olsen; (d) não superestima, como os extratores ácidos, a disponibilidade de P em solos tratados com fosfatos naturais; (e) é o que apresenta o melhor embasamento teórico para a determinação do chamado “fator quantidade” de P em solos, que é o mais importante índice da disponibilidade do nutriente.

Pela reação dos solos pode-se afirmar que os métodos Mehlich-1 e Bray-1 são melhores em solos ácidos e o método Olsen é melhor em solos alcalinos. A RTA não é afetada pela reação do solo, o que é uma vantagem em regiões que têm solos ácidos e alcalinos, como é o caso do Nordeste do Brasil (RAIJ et al., 2001).

Aspecto relacionado a disponibilidade de P e ao pH do solo foi abordado por RAIJ & QUAGGIO (1990). Os autores argumentaram que, em solos ácidos, a calagem aumentou a disponibilidade de P para as plantas, constatado pela elevação dos teores de P nas folhas das plantas. Entretanto, o P determinado por Mehlich-1 e Bray-1 não indicou o efeito do calcário e os resultados do Olsen deram uma correlação negativa com o P no solo; apenas RTA refletiu o comportamento da planta em termos da fitodisponibilidade de P no solo.

O método Mehlich-1 é utilizado na maioria dos laboratórios de análises de solo da região Nordeste do Brasil para determinação do P disponível (OLIVEIRA, 1994). É um extrator ácido que tem a vantagem de possibilitar extratos límpidos e facilidade de execução de análise, devido a maior velocidade de decantação das suspensões com baixo pH, dispensando filtração, apresentando, porém, baixa extração de P em Latossolos com textura argilosa e com teores elevados de óxidos de Fe e Al (SILVEIRA, 2000).

ACCIOLY (1995), avaliando a disponibilidade de P por Mehlich-1, Mehlich -3 e RTA em quatro solos de várzea, observou que em Neossolo Fúlvico, o Mehlich-1 apresentou maior coeficiente de correlação com a produção de matéria seca da parte aérea de milho. No entanto, SAMPAIO (1995), avaliou a disponibilidade de P por Mehlich-1, Bray-1, Olsen e RTA, em ensaio em casa-de-vegetação utilizando amostras de solos da região semi-árida do Rio Grande do Norte, observando que todos os extratores mostraram-se igualmente eficientes na predição da disponibilidade de P. Também avaliando extratores para determinação de P disponível de solos cultivados com a gramínea, SILVA et al., (2004) constataram que o Bray-1 apresentou a maior extração do P aplicado e o Mehlich-1 a menor. Os extratores que melhor se correlacionaram com o P absorvido e acumulado pelas plantas foram Mehlich-1 e Mehlich-3. No entanto, ROCHA et al. (2005), avaliando solos de Fernando de Noronha, concluíram que os extratores Mehlich-3 e Olsen foram mais eficientes e tiveram melhor correlação com as frações mais lábeis de P do que o Mehlich-1.

BELTRÁN et al. (1998), em estudo sobre disponibilidade de P para a cultura do arroz avaliada por diferentes extratores químicos, verificaram diferenças significativas na extração de P. O extrator Olsen destacou-se de Mehlich-1 e RTA, mostrando-se mais eficiente em predizer a disponibilidade de P para a cultura.

MIRANDA et al. (2002), avaliando a calibração de métodos de análise de P e resposta do feijão ao P aplicado no sulco de plantio em um Latossolo Vermelho escuro, textura argilosa, concluíram que os métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA apresentaram boa capacidade de predição da disponibilidade de P no solo.

NAKAYAMA et al. (1998), avaliando a eficiência relativa de fontes de P de diferentes solubilidades na cultura do arroz por diferentes extratores em um Latossolo Vermelho Amarelo álico, verificaram que a RTA apresentou as melhores correlações entre o P do solo e a produção e extração de P pelas plantas.

SILVA & RAY (1999), pesquisando a eficiência dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA na avaliação do P disponível, observaram que o método da RTA, independente do tipo de solo e da fonte de P aplicada, apresentou as melhores correlações com as características das plantas avaliadas, mostrando ser o mais adequado para estimar o P disponível.

STEFANUTTI et al. (1994), estudaram o comportamento dos extratores Bray-1, Mehlich-1, RTA e valor E em solo tratado com diversas fontes de P, verificaram correlações mais altas entre o P disponível e matéria seca produzida para RTA e Mehlich-1.

MOREIRA et al. (1997), avaliando a disponibilidade de P no solo em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico por cinco extratores de P, verificaram que os melhores métodos para avaliar o P disponível e a produção de matéria seca de arroz foram os extratores Mehlich-1 e RTA.

É evidente os resultados contraditórios de pesquisa com extratores de P para estimativa do disponível, principalmente para o Nordeste do Brasil. Para solos cultivados com cana-de-açúcar nessa região, os resultados da pesquisa, também, não são diferentes. Especificamente em Pernambuco, a recomendação é utilizada baseada na extração por Mehlich-1, porém nem sequer leva em consideração alguma característica do solo que possa prever a capacidade de extração desse método.

5. Adubação fosfatada em cana-de-açúcar

Em Pernambuco o cultivo da cana-de-açúcar abrange toda Zona da Mata do Estado, predominando na região solos distróficos, bastante

intemperizados com características químicas e físicas que favorecem a fixação de P, limitando a produtividade da cultura, fazendo do P o nutriente mais presente na adubação.

O aumento da disponibilidade de P pode ser obtido pelo manejo da adubação fosfatada, bem como pela escolha do fertilizante adequado para cada tipo de solo (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Estudando a eficiência agrônômica de fontes de P na produtividade da cana-de-açúcar, KORNDÖRFER et al., (1989), apresentaram a seguinte seqüência de eficiência: superfosfatos simples > superfosfato triplo > ácido fosfórico > ácido + rocha fosfatada. Também WEBER et al. (1993) estudaram a eficiência de fosfatos solúveis, fosfatos naturais e fosfatos naturais parcialmente acidulados e verificaram que as respostas obtidas foram proporcionais às quantidades obtidas de P solúvel fornecida e que o P liberado pelas fontes menos solúveis não restabeleceu o potencial de produção da cultura. Mais recentemente, ROSSETTO et al. (2002), estudando fontes de P para cana-de-açúcar como superfosfato triplo e fosfato natural, obtiveram ganhos expressivos de produtividade da ordem de até 36% em solo arenoso para as duas fontes, enquanto que em solos argilosos, o fosfato natural promoveu aumentos de 9% a 11% na produtividade, quando aplicado no sulco ou a lanço. O superfosfato triplo, entretanto, promoveu aumento de 19%.

FIGUEIREDO FILHO (2002), estudando hiperfosfato natural Gafsa com fontes solúveis e misturas nos Estados de Alagoas e Pernambuco, não obteve diferenças de produtividade agrícola e industrial entre as fontes e, concluiu que o hiperfosfato natural Gafsa demonstra boas qualidades técnicas, alertando para utilização desse fosfato natural como promissora fonte de P nos canaviais da região.

SIMÕES NETO et al. (2005), utilizando fosfato natural com adição de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus* e fosfato solúvel em cana-de-açúcar, verificaram que até os 300 dias após o plantio, a altura das plantas e o número de plantas por metro linear, para as doses recomendadas de biofertilizante e do fertilizante fosfatado solúvel, não diferiram estatisticamente. No entanto, CANTARELLA et al. (2002), avaliando misturas de fosfato natural reativo de Marrocos (Daoui) com superfosfato simples, compondo diversas proporções do fertilizante com fosfato reativo, comparativamente ao superfosfato triplo, na produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, verificaram resposta

linear crescente de produtividade quando utilizou-se apenas o superfosfato triplo. Por outro lado, não houve efeito na solubilidade das fontes de P na produção de colmos, indicando que nas condições do experimento, a combinação do fosfato natural reativo de Daoui e fosfato solúvel, em diferentes proporções, resultou em rendimentos similares, e que o fosfato de Daoui mostrou-se uma fonte eficiente para a cultura da cana-de-açúcar.

O termofosfato tem se destacado como fonte de P, às vezes superando as fontes solúveis, pois o produto fornece, além do P, outros elementos, como Si e Mg. O termofosfato magnésiano possui efeito corretivo (neutralizante), podendo reduzir o excesso de Al e Mn no solo. O Si presente no termofosfato pode contribuir no controle de pragas e doenças, aumentar a tolerância ao estresse hídrico e aumentar a atividade fotossintética (KORNDÖRFER & GASCHO, 1999; KORNDÖRFER et al., 2002).

REIN (1994) relata que os termofosfatos apresentam eficiência superior aos fosfatos solúveis, atribuindo, também, essa maior eficiência à presença de alguns elementos na fórmula destes produtos, como Si e Mg, que podem aumentar consideravelmente a produção de gramíneas como a cana-de-açúcar.

ALBUQUERQUE & MARINHO (1984) mostraram que, quanto maior a dose de P aplicada no plantio, maior será o efeito residual e, portanto, menores as possibilidades de resposta às adições de P na cana-soca. Parte considerável de resultados experimentais (ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR, 1980; LIMA FILHO et al., 1982; RODELLA & MARTINS, 1988), também, são concomitantes com os obtidos por aqueles pesquisadores e mostram uma maior resposta ao P na cana-de-açúcar, quando ele é aplicado todo no fundo do sulco, não havendo necessidade de adubação em soqueiras. Respostas significativas em soca só foram efetivas em solos com teores muito baixos de P (RAIJ et al., 1996).

Recentemente, DEMATTÊ (2005), considerando uma produção, ao longo de cinco colheitas, de 400 toneladas de cana-de-açúcar, fez um cálculo sobre o balanço de P no solo, utilizando uma dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio, extração de 0,43 kg de P por tonelada de massa verde e fixação de P de 30%. Nesse balanço constatou-se déficit de P, que deverá ser repostado nas soqueiras. O pesquisador atenta, ainda, para que a acidez do solo nas socarias seja monitorada e que, a saturação por bases (V%) seja sempre maior que

40%, caso contrário não haverá resposta ao P adicional colocado no solo em socaria.

A adubação fosfatada da cana-de-açúcar tem sua recomendação variada para as diversas regiões produtoras do País e até mesmo dentro de cada estado. A dose a ser aplicada depende dos teores de P disponível nos solos e da produtividade esperada.

No Estado de Alagoas, a recomendação de adubação fosfatada para cana planta, segundo KORNDÖRFER (2004), além de considerar os teores de P no solo, inclui a relação entre o custo do fertilizante e o valor da tonelada de cana. Quanto maior a relação entre o valor pago pela tonelada de cana e o valor pago pela tonelada de adubo, maior é a dose de P recomendada, ou seja, há um forte componente econômico na recomendação de P.

Em Pernambuco, conforme CAVALCANTI et al., (1998), tanto os solos arenosos, como os argilosos, têm a mesma recomendação de P, quando a pesquisa mostra que a capacidade tampão dos solos é de fundamental importância na dinâmica deste elemento no sistema solo-planta (NOVAIS & SMYTH, 1999). Portanto, é premente o desenvolvimento de pesquisas que possam apresentar uma recomendação de P mais apropriada, fundamentada em embasamentos teóricos consistentes, com o objetivo de promover significativos aumentos de produtividade na cultura da cana-de-açúcar em Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Identificação dos locais dos experimentos e classificação dos solos

Os experimentos foram conduzidos em condições de campo na região canavieira do Estado de Pernambuco denominada Zona da Mata, em áreas de empresas do setor sucroalcooleiro e da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC) da UFRPE, onde predominam solos muito intemperizados de diferentes composições físicas, químicas e mineralógicas (Quadro 1). Estas áreas apresentam características edafoclimáticas distintas, quanto a solo, relevo e precipitação pluvial, conforme detalhadas por KOFFLER et al. (1986) que caracterizaram a Zona da Mata de Pernambuco em 5 regiões edafoclimáticas: Norte, Litoral Norte, Centro, Sul e Litoral Sul. Os experimentos de campo em número de 5 foram conduzidos em áreas de cultivo tradicional da cultura da cana-de-açúcar.

Quadro 1. Identificação das classes dos solos e localização dos cinco experimentos conduzidos no campo.

Classificação dos solos	Localidades	Municípios
PAdx - Argissolo Amarelo Distrocoeso	EECAC	Carpina/PE
LAd - Latossolo Amarelo Distrófico	Usina Cucau	Rio Formoso/PE
PAd - Argissolo Amarelo Distrófico	Usina Pumaty	Joaquim Nabuco/PE
GXve - Gleissolo Háplico Eutrófico	Usina Salgado	Ipojuca/PE
EKo - Espodossolo Humilúvico Órtico	Usina Santa Tereza	Goiana/PE

2. Caracterização química e física dos solos

Selecionadas as cinco áreas para instalação dos experimentos de campo, procurando-se solos distintos sobretudo em granulometria, foram retiradas amostras dos solos na profundidade de 0,0 - 0,2 m, em seguida, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de malha, procedendo-se a realização de análises físicas e químicas (Quadro 2).

Quadro 2. Características químicas e físicas dos solos

Características	PAdx	LAd	PAd	GXve	EKo
pH (H ₂ O 1:2,5)	5,20	4,10	4,80	4,90	5,55
pH (KCl 1:2,5)	4,00	3,60	3,80	3,60	4,40
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,20	9,24	7,00	6,77	3,22
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,35	2,00	1,00	1,20	0,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,90	0,20	0,90	5,80	2,20
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,50	0,20	0,50	2,20	0,50
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,01	0,02	0,03	0,19	0,04
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,07	0,11	0,10	0,21	0,07
P (mg dm ⁻³)	2,83	0,02	0,70	4,18	2,17
CMAP (mg cm ⁻³) ¹	0,33	0,67	0,78	0,82	0,10
P-rem (mg L ⁻¹) ²	41,00	12,00	17,00	17,00	46,00
m (%)	12,36	79,03	39,46	12,50	0,00
V (%)	32,29	5,43	17,98	55,40	46,69
PST (%)	0,45	0,94	1,29	1,95	1,55
CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	2,83	2,52	2,53	9,60	2,81
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻³)	7,68	9,76	8,53	15,17	6,03
Cu (mg dm ⁻³)	1,05	0,85	0,35	2,40	0,60
Fe (mg dm ⁻³)	76,40	140,30	190,15	215,00	52,40
Zn (mg dm ⁻³)	1,50	1,30	0,85	3,85	1,35
Mn (mg dm ⁻³)	6,20	1,12	1,15	52,00	5,60
Co (g kg ⁻¹)	8,90	9,60	17,90	13,80	10,70
Areia (g kg ⁻¹)	785,8	311,6	539,20	51,60	855,80
Silte (g kg ⁻¹)	54,6	9,2	9,20	209,20	64,60
Argila (g kg ⁻¹)	159,6	679,2	451,60	739,20	79,60
Classe Textural	Franco Arenoso	Muito Argiloso	Argilo-arenoso	Muito Argiloso	Arenoso
Ds (Mg m ⁻³)	1,41	1,13	1,05	1,02	1,50
Dp (Mg m ⁻³)	2,67	2,63	2,67	2,56	2,63
α (Mg m ⁻³)	0,47	0,57	0,60	0,60	0,43
CC (g g ⁻¹)	0,09	0,35	0,25	0,66	0,06
PMP (g g ⁻¹)	0,05	0,19	0,17	0,21	0,02
k (cm h ⁻¹)	11,60	6,32	20,92	1,12	23,05

¹Capacidade máxima de adsorção de fósforo; ²Fósforo remanescente e ³Porosidade total.

Os solos foram caracterizados fisicamente pela sua granulometria, densidade do solo, densidade das partículas, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica saturada segundo os métodos da EMBRAPA (1997). Quimicamente, os solos foram caracterizados pelo pH(H₂O); pH(KCl); Ca²⁺; Mg²⁺; Na⁺; K⁺; Al³⁺; (H+Al); P; C.O.; P remanescente (P-rem), capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), e os micronutrientes: Cu, Fe, Zn e Mn. O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹; o P e o K por Mehlich-1; e o (H+Al) por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, conforme EMBRAPA (1997). O Ca²⁺ e o Mg²⁺ foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o K⁺ por fotometria de chama, e o P por colorimetria, conforme BRAGA & DEFELIPO (1974). O Al³⁺ e o (H+Al) por titulometria; o C. O. por combustão úmida com dicromato de potássio.

O P-rem que é a concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitação durante 1h da TFSA (terra fina seca ao ar) com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação de 1:10, foi determinado de acordo com ALVAREZ V. et al (2000).

Para a avaliação da CMAP, as amostras de cada 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 a isoterma de Langmuir para estimar a CMAP.

3. Caracterização mineralógica

Foi realizada a análise mineralógica da fração argila dos solos por difratometria de raios-X (WHITTING & ALLARDICE, 1986) (Figura 1) e a identificação dos minerais predominantes (Quadro 3). Foram determinados Fe amorfo e cristalino, extraídos por Oxalato ácido de amônio (Feo) e Ditionito – citrato – bicarbonato de sódio (Fed), (MEHRA & JACKSON, 1960; SCHWERTMANN, 1964) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Quadro 2).

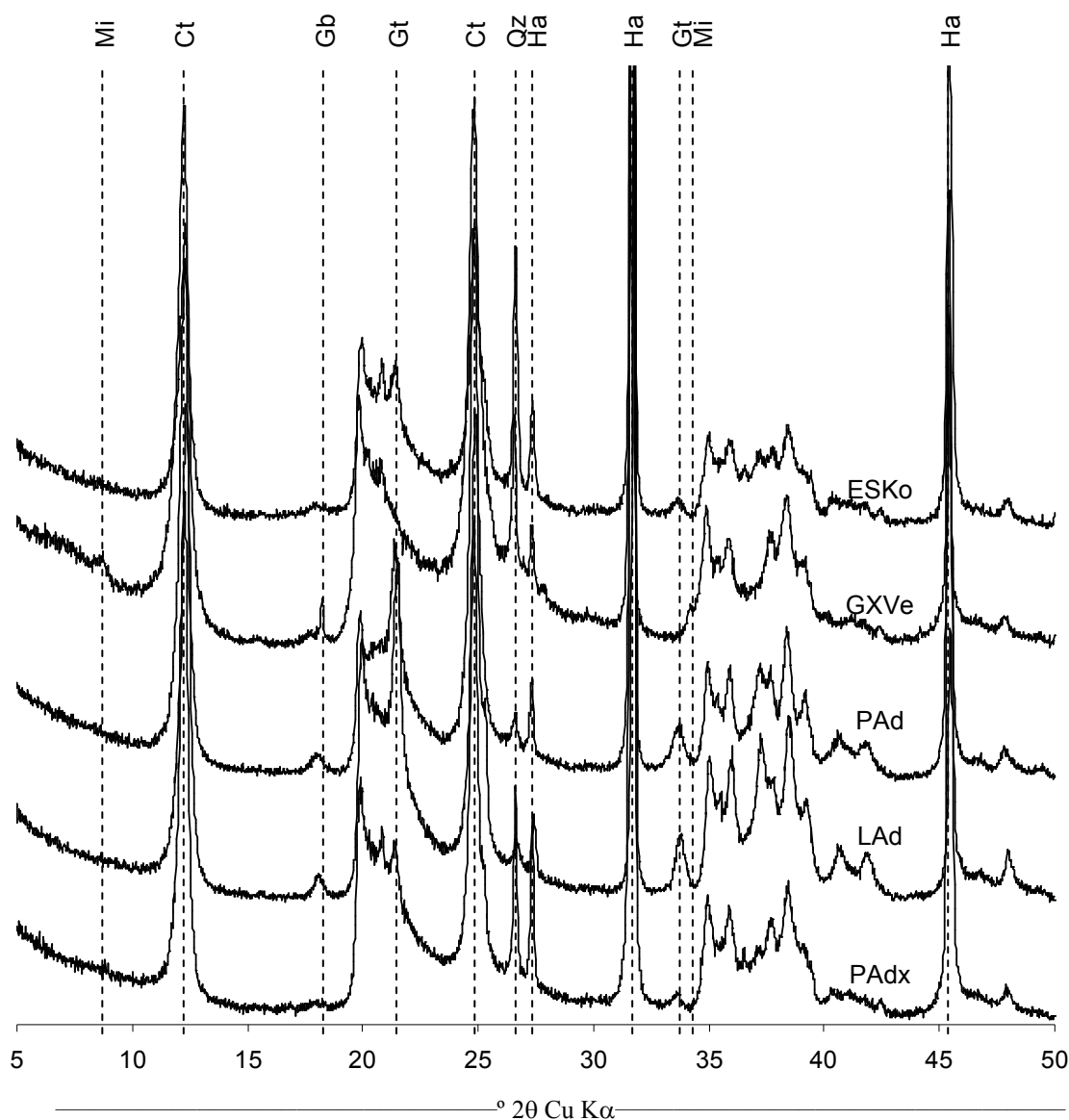


Figura 1. Difratoigramas de raio-x da fração argila dos solos sem tratamento. Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Qz = quartzo; Mi = mica; Ha = halita.

Quadro 3. Identificação dos minerais predominantes nos solos e ferro amorpho e cristalino determinados.

SOLO	MINERAIS	Feo Fed		Feo/Fed
		g kg ⁻¹		
EKo	Ct, Qz, Gt	0,38	1,14	0,33
GXve	Mi, Ct, Qz, Gb	1,47	2,27	0,65
PAd	Ct, Qz, Gt, Gb	2,03	15,51	0,13
LAd	Ct, Qz, Gt, Gb	1,63	15,04	0,11
PAdx	Ct, Qz, Gt	0,54	1,39	0,39

Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Qz = quartzo; Mi = mica; Ha = halita.

4. Caracterização pluvial

A pluviometria mensal foi registrada nos cinco locais de condução dos experimentos no período compreendido entre o mês de instalação de cada campo experimental e o mês de colheita (Quadro 4), e ainda, registrou-se a irrigação efetuada em dois dos campos, necessária em função do déficit hídrico que ocorreu na época do plantio durante o início do ciclo. O experimento do PAdx da EECAC, recebeu 50 milímetros de água complementar nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2005, e ainda, em janeiro de 2006, totalizando 200 milímetros em 4 lâminas. O experimento do EKo da Usina Santa Teresa recebeu 45 milímetros complementares de água em dezembro de 2005 e janeiro e fevereiro de 2006 totalizando 135 milímetros em 3 lâminas (Quadro 5).

Quadro 4. Precipitação pluvial mensal durante o período de condução dos experimentos (mês do plantio ao mês da colheita), nos anos de 2005 e 2006.

SOLO	2005					TOTAL (mm)
	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
PAdx	183,0	23,2	29,4	6,8	12,9	255,3
LAd	373,0	111,0	74,0	10,0	68,0	636,0
PAd	280,2	57,1	37,8	9,1	44,3	428,5
GXVe	-	-	-	-	199,2	199,2
ESKo	-	-	-	-	75,5	75,5

SOLO	2006												TOTAL (mm)	TOTAL DO CICLO (mm)
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
PAdx	4,5	28,6	84,0	107,0	92,4	253,7	74,6	78,9	13,7	6,1	-	-	743,5	998,8
LAd	45,0	31,0	163,0	278,0	440,0	422,0	360,0	173,0	93,0	7,0	-	-	2012,0	2648,0
PAd	24,1	16,2	113,6	218,5	327,9	279,4	224,5	96,6	39,0	12,4	60,1	18,0	1430,3	1858,8
GXVe	29,6	73,2	85,1	143,5	421,0	456,0	173,0	155,5	33,6	10,3	19,3	33,0	1633,1	1832,3
ESKo	23,5	15,5	128,5	387,5	189,0	452,8	256,0	281,0	82,5	15,0	153,0	131,0	2115,3	2190,8

Quadro 5. Irrigação realizada durante a condução dos experimentos

Solo	2005			2006		Total (mm)
	out	nov	dez	jan	fev	
PAdx	50	50	50	50	-	200
ESKo	-	-	45	45	45	136

5. Tratamentos

Os cinco experimentos em condição de campo foram instalados em solos com diferentes mineralogias, teores de argila e valores de P-rem. Solos de grande representatividade na área cultivada com cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, fundamentais para a sustentabilidade da sugestão de atualização da recomendação de adubação fosfatada.

Os tratamentos consistiram em sete níveis de P que foram determinados em função da CMAP (Quadro 6). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, totalizando vinte e oito parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída de sete linhas com dez metros de comprimento, utilizando-se como espaçamento 1 m entre linhas, com exceção do GXve, porque optou-se por utilizar-se o manejo da empresa para esse tipo de solo.

Quadro 6. Níveis de P em função da CMAP e doses correspondentes de fósforo aplicado nos solos

Níveis P % da CMAP	PAdx	LAd	Dose de P(kg ha ¹)		
			PAd	GXve	EKo
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	13,2	25,4	30,0	32,8	4,0
4	26,4	51,1	60,2	65,6	8,0
8	52,8	102,2	126,4	131,2	16,0
12	79,2	153,3	189,6	196,8	24,0
16	105,6	204,4	252,8	262,4	32,0
20	132,0	255,5	316,0	328,0	40,0

6. Variedades

As variedades utilizadas foram a RB863129 nos solos: PAdx (EECAC), LAd (Cucaú), GXve (Salgado) e EKo (Santa Teresa); e a RB855536 no PAd (Pumaty). Estas variedades são cultivadas comercialmente na região e foram desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), das Universidades Federais integrantes da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), cujas

características foram descritas por SIMÕES NETO et al. (2005) e ARIZONO et al. (1999).

7. Condução do experimento e amostragem dos solos

Em todos os campos experimentais, o manejo dos solos foi realizado pelas empresas sucroalcoleiras e consistiu das seguintes práticas: preparo e sulcação mecanizados para os cinco solos com grade aradora, grade niveladora e sulcação com sulcador de aivecas de duas linhas. A adubação nitrogenada e potássica foi baseada na recomendação para cana planta em Pernambuco (CAVALCANTI et al. 1998). A forma de aplicação utilizada foi todo o N e K no fundo do sulco de plantio juntamente com as doses de P, que teve como fonte superfosfato triplo, ou seja, tudo em fundação. Para N a dose padrão em todos os experimentos foi de 40 kg ha⁻¹, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio. Para K utilizou-se 100 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo como fonte o cloreto de potássio.

A correção dos solos foi realizada com calcário dolomítico e baseada na recomendação para Pernambuco (CAVALCANTI et al., 1998), sendo de 3,0; 2,0 e 2,0 t ha⁻¹ de calcário para os solos LAd, PAd e GXve, respectivamente. Os solos PAdx e EKo, pelas análises químicas os resultados apresentados, não necessitaram de correção.

Foram coletadas três amostras simples em cada uma das três linhas centrais da área útil das parcelas, formando-se uma amostra composta por parcela. Essa amostragem foi realizada 30 dias após o plantio e aplicação dos tratamentos numa profundidade de 0,0-0,2m na linha da cana com uso de trado, para determinação do P extraído pelos extratores utilizados na pesquisa.

8. Extratores de P

Nas amostras de solo coletadas determinou-se o teor de P pelos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹); Mehlich-3 (NH₄F 0,015 mol L⁻¹ + CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹ HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹); Bray-1 (HCl 0,025 mol L⁻¹ + NH₄F 0,03 mol L⁻¹) e Resina de Troca Aniônica (RTA).

9. Amostragem do material vegetal e mensurações

O material vegetal foi coletado na área útil da parcela, amostrando-se ao acaso quatro plantas de cada uma das três linhas centrais, totalizando doze plantas por parcela, as quais foram separadas em ponteiros, folhas, colmos e folhas senescentes. Em seguida as amostras foram trituradas em forrageira e secas a 65-70°C em estufa com circulação forçada de ar até atingir peso constante. Posteriormente, procedeu-se a moagem (em moinho tipo Willey) das amostras para determinação do teor de P na matéria seca das partes da planta. As amostras foram submetidas a digestão nitroperclórica e no extrato realizou-se a dosagem de P por colorimetria (EMBRAPA, 1997).

Na colheita, o número de plantas por metro linear e altura de colmos até o “colarinho” da folha (+1) foram mensurados para avaliação do perfilhamento e crescimento da cultura. Os resultados de produtividades agrícola foram expressos em toneladas de cana por hectare (TCH) e com os dados tecnológicos foram calculadas as toneladas de açúcar por hectare (TAH) e, ainda, determinados para avaliação os valores de BRIX, POL, Pureza, Fibra, PCC E ATR.

10. Análise estatística

Os dados das variáveis de solo, planta, produtividade agrícola e tecnológicos foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5 % de probabilidade. Em seguida, realizou-se análise de regressão para os efeitos significativos referentes à variável quantitativa.

Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados, escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

Correlações foram realizadas entre a produção de cana-de-açúcar e a quantidade de P absorvido e acumulado pelas plantas com o teor de P determinado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e RTA. Foram, também, estudadas correlações entre níveis críticos de P no solo e na planta com características que refletem o poder tampão de fosfato dos solos, como argila, P-rem e CMAP, visando o estabelecimento de níveis críticos para

subsidiar uma recomendação de adubação fosfatada que seja função de uma, ou mais, dessas características.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Relações de P nos solos

O teor de P extraído nos solos por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA mostrou que houve uma variação (Quadro 7), onde verificou-se um aumento nos teores de P extraído em função das doses aplicadas. No entanto, esse aumento não foi proporcional às doses, atribuindo-se as diferentes características químicas e físicas dos solos (Quadro 2) e as suas mineralogias (Figura 1 e Quadro 3) que influenciaram a CMAP.

A quantidade e a qualidade dos minerais de argila e, principalmente, a predominância de um determinado mineral é ainda mais importante. ALMEIDA et al. (2003), estudando a cor do solo, formas de P e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de Basalto no Sul do Brasil, verificaram menor capacidade de sorção de P desses solos devido a predominância da Hematita em sua composição mineralógica.

Extratores químicos são utilizados para determinar quanto de P extraído do solo pode ser disponível às plantas. Assim, teoricamente, esses extratores devem reproduzir quanto de P a planta pode retirar do solo. Mas cada solo, dependendo das suas características químicas e físicas, responde diferentemente a ação dos extratores. É necessário, portanto, encontrar um extrator em que a quantidade de P extraída por ele se correlacione significativamente com as plantas e isso aconteça em diferentes tipos de solo, sendo, também, de fácil manejo em laboratório de análises de rotina. Neste estudo, o extrator que mais retirou P das amostras foi a RTA (Quadro 7), coerente com sua maior capacidade de extrair P de formas lábeis, independentemente do tamponamento do solo, conforme SILVA & RAIJ (1999).

Quadro 7. Teor de fósforo extraído dos solos pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em função de doses de fósforo aplicadas.

Solo	Doses P	Bray-1	Mehlich-1	Mehlich-3	RTA
	kg ha ⁻¹	(mg dm ⁻³)			
PAdx	0,0	7,39	4,91	2,52	10,0
	13,2	7,73	4,97	2,70	14,3
	26,4	10,55	7,62	4,11	34,5
	52,8	18,93	13,08	6,82	51,3
	79,2	20,46	13,89	7,12	44,5
	105,6	24,25	16,31	7,45	53,3
	132,0	22,09	16,53	7,88	71,0
	Média		15,91	11,00	5,51
LAd	0,0	0,43	0,16	0,07	3,0
	25,4	1,02	0,96	0,29	7,3
	51,1	0,85	1,04	0,31	8,5
	102,2	2,47	4,67	1,42	34,0
	153,3	3,90	8,58	2,62	58,0
	204,4	10,04	13,75	4,21	81,5
	255,5	6,98	14,83	4,56	105,3
	Média		3,67	6,28	1,93
PAd	0,0	0,53	0,49	0,09	5,3
	30,0	2,19	2,11	0,24	19,5
	60,2	5,52	5,14	0,65	51,3
	126,4	7,46	6,66	0,94	65,8
	189,6	25,87	19,56	5,44	231,0
	252,8	44,46	19,91	9,97	197,0
	316,0	33,53	23,55	7,04	305,3
	Média		17,08	11,10	3,48
GXve	0,0	3,25	5,83	2,37	32,7
	32,8	4,74	7,66	3,51	64,3
	65,6	5,87	9,57	4,16	76,5
	131,2	13,05	18,91	7,08	132,5
	196,8	21,89	29,62	10,16	124,3
	262,4	16,76	23,37	9,58	192,5
	328,0	22,61	32,48	12,52	288,0
	Média		12,60	18,21	7,05
Eko	0,0	1,69	2,15	0,96	8,3
	4,0	3,26	3,46	1,37	14,0
	8,0	2,46	3,70	1,41	12,0
	16,0	8,34	13,51	4,48	73,5
	24,0	6,08	12,68	5,15	92,0
	32,0	6,37	14,13	3,48	75,0
	40,0	10,91	13,05	5,72	92,0
	Média		5,59	8,95	3,22

Nos solos EKo, PAdx e LAd a RTA extraiu menos P do que em solos mais tamponados como PAd e GXve, provavelmente, pelo maior reservatório de P lábil desses solos (Quadro 2). ROSSI & FAGUNDES (1998), avaliaram a sensibilidade dos extratores Mehlich-1, Mehlich-2, Mehlich-3 e RTA em Latossolo Roxo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, concluindo que a RTA extraiu mais P.

Por outro lado, o Mehlich-1 extraiu muito P em solos menos tamponados como o EKo e o PAdx, inclusive superando o P extraído nos solos LAd e PAd ambos de elevada CMAP (Quadro 2), indicando uma possível sensibilidade do extrator a capacidade tampão de fósforo dos solos. No GXve o Mehlich-1 extraiu muito P, provavelmente pelas elevadas doses de P utilizadas nesse solo do que pela maior capacidade de extração de P do extrator.

O Mehlich-1 é utilizado nos laboratórios de análises de solo na região Nordeste para determinação do P disponível (OLIVEIRA et al., 1994). A utilização de extrator ácido apresenta a vantagem de possibilitar extratos límpidos e facilidade de execução de análise, devido a maior velocidade de decantação das suspensões com baixo pH, o que dispensa o processo de filtração. Apesar da simplicidade e rapidez em rotinas de análises de solo, os extratores ácidos apresentam baixa capacidade de extração de P, como ocorreu com os Latossolos de textura argilosa e com teores elevados de óxidos de Fe e Al estudados na pesquisa desenvolvida por SILVEIRA (2000).

O Mehlich-3 foi o extrator que menos extraiu P, sem apresentar uma relação com o tamponamento. Do mesmo modo, o Bray-1 apesar de ter apresentado valores elevados de extração nos solos PAdx e PAd (Quadro 7), não se percebe nenhuma relação com o poder tampão de P dos solos.

Os solos LAd, PAd e GXve apresentaram alta CMAP e baixo P-rem, portanto, elevado poder tampão de P, condizente com suas mineralogias (Figura 1 e Quadro 3). Verificou-se que possuem gibsita, enquanto que este mineral não está presente no PAdx e no EKo, solos com menor CMAP e maior P-rem. BAHIA FILHO et al. (1983)a e b, estudando solos do Brasil Central, considerou a goethita como principal componente da fração argila responsável pela adsorção de P. Nesse trabalho registrou-se a presença de goethita em todos os solos, com exceção do GXve que só apresentou gibsita em sua composição mineralógica, porém foi o solo que apresentou a maior CMAP (Quadro 2).

As equações de regressão obtidas a partir do P extraído em função das doses aplicadas, ajustaram-se a modelo linear nos cinco solos estudados e mostram as maiores taxas de recuperação para RTA em todos os solos (Figura 2).

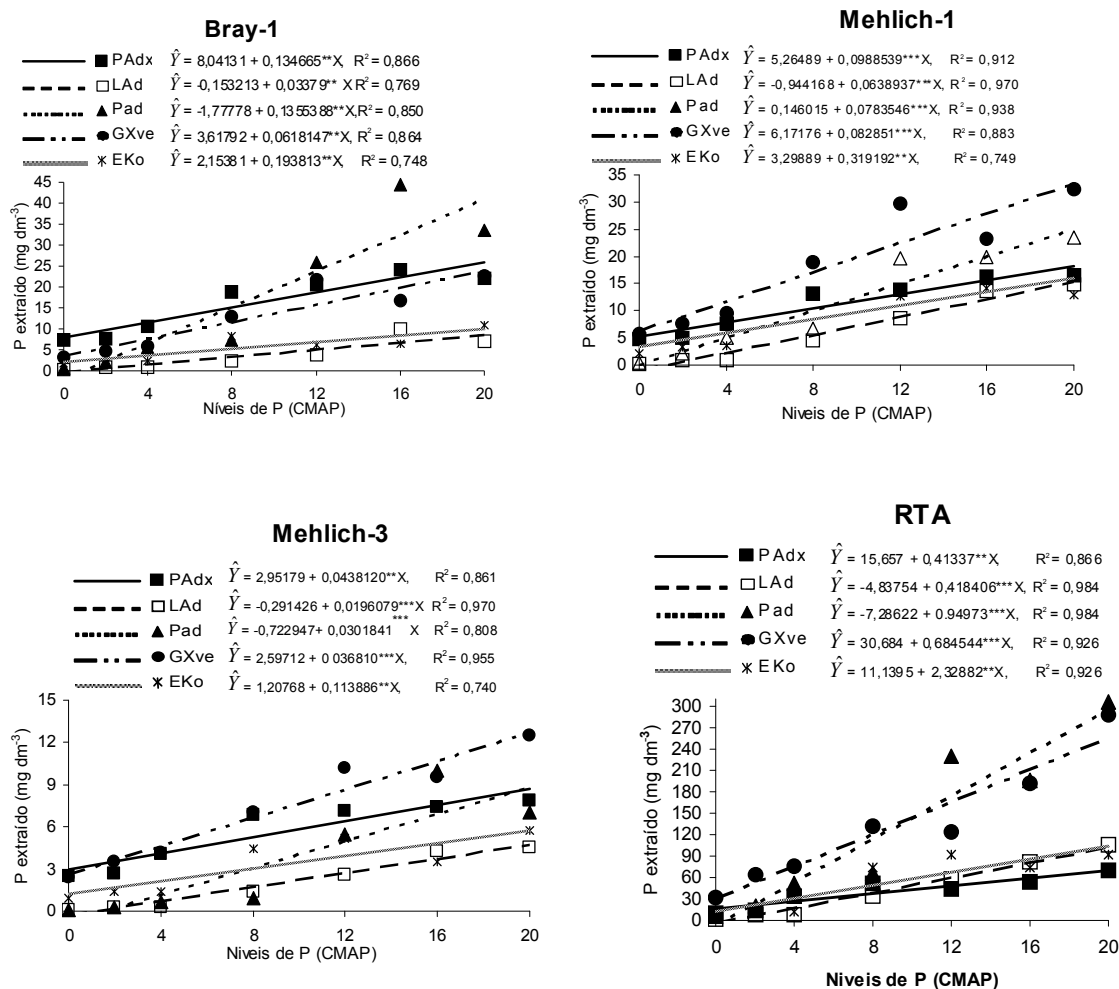


Figura 2. Equações de Regressão que estimam o fósforo extraído pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em função de doses de fósforo aplicados aos solos, baseadas em % da CMAP.

Analisando as taxas de recuperação, percebe-se que Bray-1 obteve maior extração para o EKo da ordem de 19,4%, seguido do PAd 14,0%, PAdx 13,5%, GXve 6,2% e LAd 3,4%. A taxa de extração para Mehlich-1 mostra que no EKo foi da ordem de 31,9% seguida do PAdx 8,9%, PAd 8,8%, GXve 8,2% e o LAd 6,4%. Para Mehlich-3 foi maior para o PAd que foi de 13,6%, seguido do EKo

11,4%, PAdx 4,4%, GXve 3,6% e o LAd 2,0%. Para RTA verificou-se nas equações que a maior taxa de extração de P ocorreu no PAd 95,0%, seguido do GXve 68,5%, LAd 41,8%, PAdx 41,3% e EKo 32,9% (Figura 2).

O EKo apresentou baixa CMAP e elevado P-rem (Quadro 2), tendo apresentado taxas de recuperação pelos extratores na seguinte ordem: RTA, Mehlich-1, Bray-1 e Mehlich-3. A taxa de extração da RTA no EKo quando comparada aos solos foi a menor. No entanto, entre os extratores, especificamente para este solo foi quem mais extraiu P, coerente com sua capacidade de esgotar o reservatório lábil de P dos solos (Silva e Raji, 1999). Também, coerente com sua sensibilidade a capacidade tampão de P dos solos, o Mehlich-1 extraiu muito P nesse solo, chegando a uma taxa de extração semelhante a da RTA (Figura 2), ou seja, em solos de menor tamponamento o Mehlich-1 parece, também, esgotar o reservatório lábil de P, assim como a RTA.

Alguns pesquisadores (FONSECA, 1987; MOURA FILHO, 1990; NOVELINO, 1999) obtiveram menores extrações de P com o aumento do poder tampão de fosfatos do solo, evidenciando que solos com menor teor de argila, elevado valor de P-rem e baixa CMAP, devem apresentar as maiores extrações do P aplicado, como foi o caso do EKo e do PAdx (Figura 2).

A taxa de extração variou entre os solos, evidenciando que características químicas e físicas, inerentes a cada solo, afetam o poder de recuperação dos extratores. Certamente as características químicas dos extratores, também, foram responsáveis pelas taxas de extração diferenciadas. Cada extrator pode estar atuando de maneira a retirar P do solo de compartimentos diferentes ou, ainda, esses mesmos extratores podem se ligar quimicamente a diferentes compostos. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2004).

Em todos os solos o Mehlich-3 foi quem teve a menor taxa de extração, resultados que se assemelham aos encontrados por VALLADARES et al. (2001), que comparando os teores de nutrientes extraídos por três métodos em solos do Rio de Janeiro, observaram que o Mehlich-3 subestimou as quantidades extraídas de vários elementos, entre os quais o P.

Um fator que deve ser levado em consideração quando se analisa a taxa de recuperação dos extratores é a fonte utilizada na adubação. O superfosfato triplo, apesar de baixos teores, tem Ca na sua composição e, considerando a

quantidade aplicada do produto e, ainda, o fornecido pela calagem, além de, em alguns casos, os teores já contidos no solo, podem influenciar a recuperação de P pelos extratores, principalmente quando a determinação do P recuperado é feita 30 dias após a aplicação das doses. Dessa maneira o P ligado ao Ca (P-Ca) faria com que o poder de recuperação do Mehlich-3 fosse diminuído e o do Mehlich-1 aumentado, justificando, provavelmente, a maior taxa de recuperação do segundo extrator em relação ao primeiro em todos os solos. A forma de ligação do P com os demais elementos no solo pode afetar a ação dos extratores. Rocha et al. (2005), estudando solos de Fernando de Noronha, encontraram correlação significativa do P extraído por Mehlich-1 com P-Ca e do Mehlich-3 com P ligado a Fe (P-Fe).

Os extratores se comportaram de maneira distinta, a RTA apresentou a maior taxa de recuperação e o Mehlich-3 a menor, demonstrando que nos solos utilizados existe uma tendência de extração de P diferenciada entre os compartimentos. No entanto, a RTA foi o extrator que apresentou o comportamento mais estável no conjunto dos solos, corroborando com o trabalho de SILVA & RAIJ (1999) que, em uma revisão sobre diversos extratores de P, concluíram que a RTA foi quem teve melhor coeficiente de determinação nos mais variados tipos de solo.

As características químicas e físicas dos solos foram correlacionadas com a taxa de recuperação dos extratores (Quadro 8). Para Mehlich-1 o maior grau de significância da taxa de recuperação foi verificada com a CMAP, sendo, ainda, significativo para Argila e P-rem, mostrando a influência do poder tampão de fosfato do solo na recuperação deste extrator, não sendo significativa a correlação com Fed e C. O. O Mehlich-3 apresentou comportamento semelhante ao Mehlich-1, com coeficientes de determinação maiores e grau de significância maior para P-rem.

Quadro 8. Coeficiente de correlação linear entre a taxa de fósforo extraída por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) e características químicas e físicas dos solos.

Característica	Extrator			
	Bray-1	Mehlich-1	Melich-3	RTA
Argila	-0,9102*	-0,7062 ^o	-0,7692 ^o	-0,5824 ^{ns}
P-rem	0,8261*	0,7643 ^o	0,8270*	0,5874 ^{ns}
CMAP	-0,7419 ^o	-0,8272*	-0,8612*	-0,6398 ^{ns}
Feo	-0,5985 ^{ns}	-0,7108 ^o	-0,7609 ^o	-0,4715 ^{ns}
Fed	-0,4158 ^{ns}	-0,5223 ^{ns}	-0,5788 ^{ns}	-0,3383 ^{ns}

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

As maiores correlações para Bray-1 da taxa de recuperação foi com argila, seguida de P-rem e CMAP, não sendo significativo para Feo e Fed, mostrando, também, influencia do poder tampão de fosfato no poder de extração. A RTA não apresentou correlação significativa da taxa de recuperação para nenhuma das características consideradas, mostrando que não é influenciada pelo poder tampão do solo e que não sofre influencia das características químicas e físicas dos solos estudados.

O Mehlich-1 apresentou correlação significativa e positiva com o P-rem indicando que quanto maior for o P-rem de um solo maior será o poder de extração. As correlações significativas e negativas com a CMAP e argila indicaram que quanto maior o valor destas características, maior será o poder tampão do solo e menor a capacidade de extração.

Os extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e a RTA não apresentaram correlação significativa para o Fed, mostrando que para os solos estudados essas características exerceram pouca influência sobre o poder de recuperação dos extratores.

Esses resultados evidenciaram a sensibilidade dos extratores as características dos solos, a qualidade dos argilominerais e, ainda, a sua superfície específica por terem correlação com o poder tampão de fosfato do solo e, conseqüentemente, afetarem o poder de recuperação dos extratores. Segundo ROLIM NETO et al. (2004), nos Latossolos estudados em seu experimento, com texturas e materiais de origem variáveis, a proporção e a

área superficial da gibsita e goethita têm participação destacada na adsorção de P.

VALLADARES et al (2003) encontraram correlação da CMAP e do teor de argila, ou seja, duas características que aumentam o poder tampão de fosfato dos solos e, conseqüentemente, afetam o poder de extração de determinados extratores. NOVAIS & SMITH (1999) demonstraram a influência da argila na adsorção de P. Desta forma, os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 correlacionaram-se com ambas as características, evidenciando a importância destas na taxa de recuperação dos extratores, que poderá ser fundamental na capacidade destes em prever a disponibilidade de P.

Por outro lado, a RTA não apresentou correlação significativa com nenhuma das características avaliadas, corroborando com o trabalho realizado por SILVA & RAIJ (1999), que descrevem a RTA como sendo o melhor extrator para os mais variados tipos de solo. Segundo Raij et al. (1984), um dos inconvenientes da RTA na extração de P é o fato de ser um método trabalhoso. Contudo, podemos aferir que a RTA não tem seu poder de recuperação modificado ou afetado com a presença no solo de características que elevem a CMAP e, assim, não subestima o fósforo lábil. Esse poder de extração, precisa, no entanto, se correlacionar com a absorção e acúmulo de P nas plantas, bem como com a produção, para que as conclusões preconizadas por SILVA & RAIJ (1999) possam ser confirmadas.

Alguns pesquisadores (LOGANATHAN & FERNANDO, 1980; SINGH et al., 1983) mostraram que quando se aplica uma fonte solúvel de P, frequentemente, grande parte do aplicado é adsorvido rapidamente. Segundo GONÇALVES et al. (1985) a velocidade de adsorção é maior em solos com maior CMAP e, quanto maior a saturação dos sítios de adsorção, menor a velocidade de transformação de P lábil em P não lábil. Como a RTA atua no P lábil (SILVA & RAIJ, 1999), isso pode explicar a eficiência da RTA mesmo em solos com maior CMAP, visto que amostragem dos solos para determinação da capacidade de recuperação de P dos extratores, ocorreu aos 30 após a aplicação dos tratamentos.

2. Relações de P nas Plantas

Os teores de P nos componentes da parte aérea das plantas em função das doses aplicadas nos diferentes solos foram variáveis tanto entre componentes, como entre solos (Quadro 9). Essa diferença entre teores dos componentes nos solos é mais pronunciada entre o LAd e EKo, com exceção do componente ponteiro. O EKo, de textura arenosa com baixa CMAP e alto P-rem (Quadro 2), apresentou teores de P superiores aos obtidos nos demais solos em todos os componentes da parte aérea das plantas, evidenciando a maior capacidade da cana-de-açúcar na absorção de P em solos com menor capacidade tampão de fosfatos. Com essas características, a competição em planta e solo pelo P aplicado é diminuída, favorecendo a absorção.

Os teores de P no ponteiro foram maiores do que nas outras partes da planta, certamente por ser o ponteiro a parte de maior atividade metabólica, concentrando uma maior quantidade de nutrientes, como o P nessa pesquisa. A folha por, também, apresentar uma elevada atividade metabólica, concentrou P em seus tecidos.

Os teores de P no colmo corroboraram com os encontrados por OLIVEIRA (2008), que estudou o comportamento de 11 variedades de cana-de-açúcar em solo de textura média e verificou teores de P que variaram de 0,2 a 0,8 g kg⁻¹, semelhantes aos determinados nessa pesquisa.

A folha senescente apresentou o menor teor de P entre os componentes da parte aérea, concomitante com sua menor atividade metabólica, somando-se ao fato do P ser um elemento móvel na planta, fazendo com que haja migração de P para áreas de maior requerimento, como ponteiro, folhas e colmo (Quadro 9). Entretanto, essa informação do teor de P em folhas senescentes alerta para a o estoque de nutrientes que estão presentes nesse componente e podem num mesmo ciclo vegetativo, voltar ao solo e serem mineralizados. Este é, certamente, um dos fatores que tornam a cana-de-açúcar uma cultura conservadora que, guardando-se as devidas proporções, assemelha-se ao ambiente florestal, onde a ciclagem de nutrientes é fundamental para a sustentabilidade do sistema. É, também, uma constatação das perdas nutricionais oriundas do processo de colheita que, ainda, persiste como prática rotineira de manejo.

Quadro 9. Teores de fósforo nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar em função do fósforo aplicado nos solos.

Solo	Dose de P	Ponteiro	Folha	Colmo	Folha seca
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			
PAdx	0,0	0,86	0,57	0,55	0,21
	13,2	0,93	0,63	0,52	0,19
	26,4	0,93	0,66	0,57	0,24
	52,8	0,92	0,64	0,54	0,22
	79,2	0,87	0,71	0,54	0,22
	105,6	0,94	0,61	0,58	0,22
	132,0	0,97	0,53	0,64	0,22
	Média	0,92	0,62	0,56	0,22
LAd	0,0	0,53	0,31	0,14	0,12
	25,4	0,55	0,28	0,13	0,15
	51,1	0,58	0,34	0,17	0,16
	102,2	0,62	0,39	0,18	0,18
	153,3	0,75	0,40	0,21	0,18
	204,4	0,73	0,41	0,23	0,19
	255,5	0,73	0,42	0,24	0,20
	Média	0,64	0,36	0,19	0,17
PAd	0,0	0,84	0,40	0,26	0,14
	30,0	0,87	0,41	0,30	0,16
	60,2	0,92	0,46	0,31	0,16
	126,4	0,91	0,55	0,32	0,18
	189,6	1,02	0,51	0,37	0,15
	252,8	0,93	0,53	0,38	0,19
	316,0	1,09	0,58	0,47	0,23
	Média	0,94	0,49	0,35	0,17
GXve	0,0	1,30	0,64	0,82	0,32
	32,8	1,26	0,64	0,87	0,32
	65,6	1,28	0,72	0,86	0,36
	131,2	1,23	0,69	0,91	0,35
	196,8	1,26	0,73	0,87	0,31
	262,4	1,33	0,76	0,90	0,42
	328,0	1,32	0,82	0,79	0,40
	Média	1,28	0,72	0,86	0,35
EKo	0,0	1,32	1,05	0,71	0,53
	4,0	1,31	0,95	0,74	0,48
	8,0	1,40	0,99	0,77	0,51
	16,0	1,33	1,04	0,82	0,51
	24,0	1,40	1,12	0,82	0,50
	32,0	1,42	1,22	0,96	0,52
	40,0	1,38	1,27	0,82	0,60
	Média	1,36	1,09	0,80	0,52

O conteúdo de P nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar e produção agrícola (TCH) em função do aplicado nos solos foi expressivamente diferente entre componentes e solos (Quadro 10), pela diferença nos teores (Quadro 9) e no acúmulo diferenciado de matéria seca entre componentes.

Os solos que apresentaram maiores valores para de extração de P foram o EKo com média de 29,88 kg ha⁻¹ para uma variação de 16,39 a 34,81 kg ha⁻¹ e o GXve com média de 26,88 kg ha⁻¹, com valores variado de 18,45 a 27,72 kg ha⁻¹. Enquanto os menores valores de extração de P verificou-se para o LAd, com média de 6,79 kg ha⁻¹, para uma variação de 4,14 a 10,19 kg ha⁻¹. No PAdx a extração de P foi de 16,81 kg ha⁻¹ com valores variando de 9,96 a 21,33 kg ha⁻¹ e próximos aos obtidos no PAd, que apresentou média de extração de 20,44 kg ha⁻¹ e uma variação de 11,27 a 28,35 kg ha⁻¹ (Quadro 10).

Comparativamente com a literatura, as extrações de P foram semelhantes às obtidas por SILVA (2007), em trabalho realizado com sete variedades de cana-de-açúcar em seis épocas de colheita, que encontrou, na última época, valores de extração de P semelhantes aos encontrados neste trabalho, exceto para o PAdx e LAd. As extrações de P nessa pesquisa, também, foram semelhantes às encontradas por MOURA FILHO (2006), quando realizou estudo de extração de macronutrientes para quatro variedades de cana-de-açúcar em Alagoas. No entanto, as extrações foram menores do que as encontradas por OLIVEIRA (2008), que estudou a nutrição de diferentes variedades de cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. Provavelmente, por ter sido uma pesquisa com irrigação pode explicar a diferença dos valores extraídos em relação aos obtidos nesse trabalho.

A informação do teor por si só não determina o potencial de extração de uma cultura. As plantas podem apresentar baixas ou altas produções, com os mesmos teores nutricionais. O que determina o potencial produtivo é a eficiência nutricional, ou seja, a capacidade de produzir mais matéria seca na mesma unidade de nutriente. Essa capacidade é inerente ao potencial genético da variedade, no entanto, especificamente para o P, o ambiente pode induzir a otimização da utilização do nutriente.

Quadro 10. Conteúdo de fósforo nos componentes da parte área da cana-de-açúcar e produção agrícola (TCH) em função do fósforo aplicado nos solos.

Solo	Dose de P	Ponteiro	Folha	Colmo	Folha seca	Total	TCH
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					t ha ⁻¹
PAdx	0,0	1,30	0,31	7,85	0,49	9,96	44,7
	13,2	2,49	0,57	11,53	0,68	15,26	69,0
	26,4	2,96	0,65	13,22	0,96	17,79	71,7
	52,8	3,66	0,52	12,67	0,76	17,60	73,7
	79,2	2,71	0,65	13,06	0,85	17,26	75,0
	105,6	2,98	0,46	14,20	0,84	18,48	76,5
	132,0	3,72	0,53	16,23	0,85	21,33	79,0
	Média	2,83	0,53	12,68	0,78	16,81	70,0
LAd	0,0	0,28	0,08	0,77	0,14	1,27	16,7
	25,4	0,93	0,20	2,52	0,48	4,14	58,3
	51,1	1,22	0,37	3,95	0,78	6,31	72,1
	102,2	1,43	0,34	4,80	0,69	7,27	80,8
	153,3	1,79	0,40	5,85	0,69	8,74	85,8
	204,4	1,73	0,36	6,69	0,83	9,61	90,0
	255,5	1,97	0,42	6,90	0,90	10,19	90,0
	Média	1,34	0,31	4,50	0,65	6,79	70,5
PAd	0,0	4,54	0,42	5,78	0,53	11,27	69,0
	30,0	5,65	0,62	10,05	0,82	17,14	103,0
	60,2	6,09	0,67	10,96	0,94	18,66	108,5
	126,4	5,69	0,80	11,93	1,10	19,52	116,0
	189,6	8,94	0,87	14,04	0,92	24,77	118,0
	252,8	6,03	1,01	15,17	1,17	23,38	123,5
	316,0	7,79	0,99	17,94	1,63	28,35	119,5
	Média	6,39	0,77	12,27	1,02	20,44	108,2
GXve	0,0	1,26	0,18	15,74	1,26	18,45	59,4
	32,8	1,60	0,19	22,47	1,62	25,88	80,9
	65,6	2,15	0,25	24,12	2,05	28,57	87,5
	131,2	1,98	0,22	25,97	2,09	30,26	89,5
	196,8	1,81	0,26	24,61	1,56	28,24	88,8
	262,4	1,81	0,27	24,72	2,23	29,03	86,3
	328,0	1,93	0,28	23,14	2,37	27,72	92,0
	Média	1,79	0,23	22,97	1,89	26,88	83,5
EKo	0,0	2,62	0,53	10,98	2,25	16,39	49,6
	4,0	4,28	0,89	19,01	2,82	27,00	80,0
	8,0	4,11	1,30	20,83	3,01	29,25	85,0
	16,0	4,36	1,59	22,96	2,96	31,86	87,5
	24,0	4,21	1,05	23,63	3,22	32,11	90,4
	32,0	4,56	1,01	29,10	3,05	37,73	94,6
	40,0	4,58	1,28	25,03	3,92	34,81	95,4
	Média	4,10	1,09	21,65	3,03	29,88	83,2

Assim, é de se esperar que em solos onde a disponibilidade de P é mais restrita, a planta otimize sua utilização e torne-se mais eficiente. De fato, nos solos PAdx e LAd, a diferença na utilização de P é expressiva. Para uma produção semelhante, o conteúdo total de P no PAdx é 2,5 vezes maior do que no LAd (Quadro 10), pelo fato desse solo exercer uma condição mais restritiva ao P, representada por uma CMAP que é 2 vezes maior do que no PAdx (Quadro 2).

Da mesma maneira as plantas, os solos PAd e EKo que apresentaram CMAP diferentes e extremas (Quadro 2), mostraram uma eficiência na utilização de P, também, diferente. Com 50% a menos de P absorvido e acumulado, na cana-de-açúcar, no solo PAd apresentou uma produção de mais de 100 t ha⁻¹, enquanto que no EKo manteve níveis produtivos em torno de 80 t ha⁻¹ (Quadro 10). Essas constatações se corroboram com os resultados de outras pesquisas em que se afirmou que a competição entre planta e solo pelo P aplicado como fertilizante faz com que a planta se ajuste na utilização do P que lhe é colocado à disposição, levando a planta a otimizar o uso do nutriente absorvido e acumulado (MUNIZ et al., 1985; FERNÁNDEZ., 1995; NOVAIS & SMYTH, 1999; FREIRE, 2001; BEDIN et al., 2003; SILVA et. al., 2004).

GOMES (2003), verificou que em solo com textura argilosa a concentração de P foi menor do que em solo de textura média. ORLANDO FILHO et al. (1980), também, verificaram um comportamento semelhante. Constataram que colmos desenvolvidos em solos com baixo teor de argila, apresentaram maiores teores de P, do que em solos argilosos.

A extração maior de P no solo EKo, pode estar relacionada ao fato deste solo ser de textura arenosa e apresentar uma maior facilidade de desenvolvimento radicular, possibilitando assim uma maior área de contato do solo com as raízes. Isso favoreceria a absorção de P devido a sua baixa mobilidade no solo e ao processo de contato com as raízes que ocorre quase que exclusivamente por difusão (MALAVOLTA et al., 1997). Acrescente-se ainda, a menor adsorção de P nesse solo, em função da sua baixa CMAP, baixo teor de argila, baixo Fed e Feo que lhe conferem um baixo poder tampão de fosfato (Quadro 2)

A extração de P pelos componentes da parte aérea, revelou a importância dos colmos na absorção e retirada de nutrientes do solo. Esse P alocado nos colmos é exportado e deixa o sistema produtivo, porque o P nos demais componentes deve ser ciclado, ou por meio das cinzas quando a colheita for praticada com queima, ou pela decomposição dos tecidos em colheita de cana crua. Com a queima, a ciclagem do P é menor pelas perdas ocasionadas nesse tipo de manejo.

As folhas apresentaram valores de extração menores do que aqueles verificados nas folhas senescentes (Quadro 10), mesmo a folha mostrando maiores teores (Quadro 9). Isto deve-se ao fato da cana-de-açúcar apresentar na época da colheita mais folha senescente do que folha verde, ressaltando a importância desse componente na ciclagem de nutrientes.

3. Estimativa da disponibilidade de P

Com o objetivo de estimar a disponibilidade de P realizou-se um estudo de correlação, entre o P absorvido e acumulado nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar e produção agrícola com os teores de P extraídos por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA (Quadro 11).

A disponibilidade de P no solo tende a variar dependendo do extrator utilizado e das características do solo e, que, o teor do elemento extraído tem de apresentar correlação significativa com seu conteúdo na planta e com a produção, para que essa disponibilidade possa ser avaliada. Assim, é necessário identificar extratores que apresentem alta correlação daquilo que extraem com o que a planta é capaz de absorver e acumular para que se tenha maior exatidão na recomendação da adubação fosfatada, principalmente em solos com diferentes características químicas e, ou, físicas.

O P extraído por todos os extratores apresentaram correlação positiva e significativa com o total de P absorvido e acumulado, bem como com a produção de cana-de-açúcar em todos os solos, com exceção do GXve, em que os coeficientes da correlação foram baixos, inclusive não sendo significativo para a RTA no conteúdo total de P, porém foram significativos e elevados no componente folha (Quadro 11). Isso significa que todos os extratores foram capazes de estimar o P disponível.

Quadro 11. Coeficientes e correlação linear entre o conteúdo de fósforo acumulado nos componentes da parte área da cana-de-açúcar e produção agrícola (TCH) com o teor de fósforo extraído nos solos por Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA).

Solo	Componente	P extraído			
		Bray-1	Mehlich-1	Mehlich-3	RTA
PAdx	Ponteiro	0,6859*	0,7296*	0,7625*	0,8741**
	Folha	0,2544 ^{ns}	0,2523 ^{ns}	0,3166 ^{ns}	0,3178 ^{ns}
	Colmo	0,7589*	0,8002*	0,8012*	0,8942**
	Folha senescente	0,5172 ^{ns}	0,5532 ^o	0,5762 ^o	0,6731*
	Total	0,7255*	0,7673*	0,7882*	0,8896**
	TCH	0,7216*	0,7345*	0,7599*	0,7914*
LAd	Ponteiro	0,7542*	0,8437**	0,8406**	0,8425**
	Folha	0,5743 ^o	0,6711*	0,6676*	0,6775*
	Colmo	0,8308*	0,9028**	0,9004**	0,8983**
	Folha senescente	0,6944*	0,7608*	0,7579*	0,7648*
	Total	0,7831*	0,8641**	0,8613**	0,8623**
	TCH	0,6691*	0,7338*	0,7299*	0,7294*
PAd	Ponteiro	0,4893 ^{ns}	0,7422*	0,4542 ^{ns}	0,7985*
	Folha	0,8705**	0,9112**	0,8386**	0,8712**
	Colmo	0,8460**	0,9251**	0,8129*	0,9171**
	Folha senescente	0,6790*	0,7731*	0,6389 ^o	0,7960*
	Total	0,7312*	0,9024**	0,6940*	0,9253**
	TCH	0,6877*	0,7312*	0,6471 ^o	0,6783*
GXve	Ponteiro	0,4451 ^{ns}	0,4600 ^{ns}	0,4936 ^{ns}	0,5080 ^{ns}
	Folha	0,7001*	0,7148*	0,7706*	0,7911*
	Colmo	0,5405 ^{ns}	0,5345 ^{ns}	0,5493 ^{ns}	0,4578 ^{ns}
	Folha senescente	0,5066 ^{ns}	0,5342 ^{ns}	0,6258 ^o	0,7988*
	Total	0,5525 ^o	0,5546 ^o	0,5836 ^o	0,5402 ^{ns}
	TCH	0,6723*	0,6786*	0,7008*	0,6515 ^o
EKo	Ponteiro	0,5560 ^o	0,6981*	0,5051 ^{ns}	0,5917 ^o
	Folha	0,7949*	0,7402*	0,7073*	0,6545 ^o
	Colmo	0,6889*	0,8355**	0,6879*	0,7609*
	Folha senescente	0,7354*	0,6209 ^o	0,6946*	0,6574 ^o
	Total	0,7110*	0,8233*	0,6869*	0,7435*
	TCH	0,7014*	0,7518*	0,7036*	0,7176*

** , * e ^o significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo.

No entanto, de maneira geral, a RTA e o Mehlich-1 apresentaram os melhores coeficientes de correlação, seguidos pelo Mehlich-3 e o Bray-1 (Quadro 11). Na correlação da produção com os teores de P extraídos, o extrator que melhor se correlacionou foi Mehlich-1, seguido da RTA e

Mehlich-3 (Quadro 11). Assim, na estimativa de P disponível, a RTA e o Mehlich-1 foram os extratores que avaliaram melhor a disponibilidade de P, independente do poder tampão de fosfato dos solos (Quadro 2). MOREIRA et al. (1997), avaliando a disponibilidade do P no solo por métodos isotópico, químico e biológico em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico cultivado com arroz, verificaram que os melhores métodos para avaliar o P disponível foram o Mehlich-1 e a RTA, ambos superiores a Mehlich-3 e Bray-1, condizente com o resultado obtido.

Do mesmo modo, STEFANUTTI et al. (1994), estudando o comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de P, verificaram que as correlações mais altas entre P extraído e matéria seca produzida ou P absorvido foram verificadas quando se usou a RTA e Mehlich-1. Também, NAKAYAMA et al. (1998), avaliando a eficiência relativa de fontes de P de diferentes solubilidades na cultura do arroz em Latossolo Vermelho Amarelo álico, compararam RTA e Mehlich-1 como extratores de P do solo e observaram que a RTA apresentou as melhores correlações entre o P do solo e produção de matéria seca e quantidade de P absorvida pelas plantas de arroz.

Nesse mesmo contexto, SILVA et al. (1999), estudando a eficiência de extratores de P em dois Latossolos do Mato Grosso do Sul, observaram que, quanto à eficiência, os extratores classificaram-se na seguinte ordem: RTA > Mehlich-3 > Mehlich-1. O método da RTA, independentemente do tipo de solo e da fonte de P utilizada, apresentou as melhores correlações com as características das plantas avaliadas, mostrando-se mais adequado em estimar o P disponível. Também, MIRANDA et al. (2002), avaliando a calibração de métodos de análise de P e resposta do feijão e do milho ao P aplicado no sulco de plantio em Latossolo Vermelho Escuro argiloso, concluíram que os extratores RTA, Mehlich-1 e Mehlich-3, apresentam boa capacidade de predição da disponibilidade de P no solo e os três extratores mostraram correlação significativa entre si.

Como demonstrado na literatura, o desempenho da RTA e Mehlich-1 supera as expectativas para predição da disponibilidade de P, assim, como encontrado nesse trabalho. Atuando de forma diferenciada na extração de P, a RTA por não se limitar ao poder tampão de fosfato do solo, avaliado por diferentes características químicas e físicas, como já constatado (Quadro 8),

teoricamente, extrai o P lábil. O Melnich-1 fraciona a extração em função do tamponamento do solo, ou seja, extrai o P lábil em solos de baixo poder tampão de fosfato e apenas uma fração do P lábil em solos mais tamponados (Quadro 8). Essas duas quantidades diferentes se correlacionaram positivamente com o que a planta acumulou, assim como, com a produção. No entanto, a correlação foi mais significativa e de melhores coeficientes quando o extrator de P foi a RTA. Isto significa que as plantas tiveram acesso ao P lábil avaliado pela RTA, independente do poder tampão de fosfato do solo. De fato, quando se correlaciona o P acumulado com características do solo que estimam o poder tampão de fosfato (Quadro 12) não se constatada nenhuma correlação entre essas variáveis, exatamente como ocorreu com a RTA (Quadro 8).

Quadro 12. Correlação linear entre o fósforo acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar e características químicas e físicas dos solos.

Característica	P acumulado (kg ha ⁻¹)
Argila	- 0,3493 ^{ns}
P-rem	0,4742 ^{ns}
CMAP	-0,2980 ^{ns}
Feo	-0,3659 ^{ns}
Fed	-0,6446 ^{ns}

^{ns} não significativo

O fato da planta se ajustar a ambientes mais restritivos a P como já comentado (Quadro 9), não significa que nesses ambientes ela tenha que absorver menos. Se é capaz de ter acesso ao compartimento de P lábil, ela vai absorver mais ou menos dependendo do tamanho deste. Se em solos mais argilosos e bastante intemperizados de alta CMAP, a labilidade é limitada por uma condição não labilidade, nesse caso a tendência é que a planta absorva menos P, porque ela não tem acesso ao compartimento não lábil. Assim, é que nessa condição, a planta torna-se mais eficiente na utilização do P que lhe é colocado a disposição. Em solos menos tamponados, a condição lábil predomina sobre a não labilidade e a planta tem seu acesso facilitado por não competir com o solo pelo P lábil.

O GXve solo de várzea com umidade de solo alta por um período mais prolongado, demonstrou ter características peculiares, porque Mehlich-3 foi o extrator que apresentou os melhores coeficientes de correlação, tanto para o P absorvido e acumulado, como para a produção, ficando a RTA com as mais baixas correlações. SILVA et al. (2004) encontraram boas correlações do Mehlich-3 com o P absorvido e acumulado na matéria seca de Braquiaria em solos com elevados teores de Al, como o GXve utilizado nesse trabalho.

Pesquisas sobre a disponibilidade de P para cana-de-açúcar em Pernambuco é de extrema importância pela expressão da cultura no Estado e a grande variabilidade de solos onde é cultivada. As correlações significativas encontradas para todos os extratores e o melhor desempenho da RTA e do Mehlich-1, sugerem que outros fatores devem ser levados em consideração na definição de um método de avaliação da disponibilidade de P no solo, como por exemplo, a facilidade operacional do método.

4. Níveis críticos de P nos solos

A produção agrícola da cana-de-açúcar em função das doses de P aplicadas nos solos foi analisada, obtendo-se equações de regressão de modelo curvilíneo e efeito raiz quadrada (Quadro 13). Verificou-se altos coeficientes de determinação para todos os solos e determinou-se as doses de máxima eficiência econômica (MEE), sendo estas doses maiores nos solos argilosos LAd, PAd e GXve, seguidas do PAdx e EKo que apresentou a menor dose de MEE, correspondendo a cerca de 10% da dose para o LAd (Quadro 13). Com as equações obtidas foram calculadas as doses de MEE utilizando-se a dose correspondente a 90% da produção máxima, convenção que pode variar entre culturas.

Quadro 13. Equação de regressão da produção agrícola de cana-de-açúcar (TCH) como variável dependente do fósforo aplicado nos solos e dose de máxima eficiência econômica (MEE)

Solo	Equação	R ²	Dose de P (MEE) kg ha ⁻¹
PAdx	$\hat{y} = 46,2709 + 6,51814^{**} \sqrt{x} - 0,338609^{**}x$	0,959	23,4
LAd	$\hat{y} = 17,1896 + 9,73866^{***} \sqrt{x} - 0,327318^{***}x$	0,997	99,9
PAd	$\hat{y} = 70,0053 + 6,69611^{***} \sqrt{x} - 0,21965^{**}x$	0,988	61,4
GXve	$\hat{y} = 60,3344 + 4,31879^{**} \sqrt{x} - 0,153385^{**}x$	0,948	42,6
EKo	$\hat{y} = 51,2292 + 15,2307^{***} \sqrt{x} - 1,35216^{**}x$	0,973	9,7

*** e ** significativo a 0,1 e 1% de probabilidade, respectivamente

Com exceção do LAd, pôde-se perceber nas estimativas das curvas de resposta a P, que em ambientes de pesquisa, em que se maximiza os insumos e exerce-se um certo controle das variações do acaso, o potencial de produção sem a adição de P é elevado, chegando no PAd a 70 t ha⁻¹. Mesmo assim, ressalte-se a importância do P aplicado que, especificamente para este solo, na dose de MEE, a produção elevou-se para cerca de 110 t ha⁻¹.

Por outro lado, essas estimativas de curvas de resposta a aplicação de P em diferentes solos, mostram a necessidade de urgentemente modificar as recomendações de P que não consideram características do solo que refletem o poder tampão de fosfato, quando o extrator para avaliar o P disponível for o Melhich-1, como se faz em Pernambuco, por exemplo (CAVALCANTI et al., 1998). Essas recomendações, certamente, subestimam as doses de P em solos argilosos e superestimam em solos arenosos.

Para o EKo, a dose de MEE foi de 9,7 kg ha⁻¹ de P, justificada por ser o solo que apresenta a menor CMAP e menor teor de argila. Essa dose corresponde a aproximadamente 23 kg ha⁻¹ de P₂O₅, praticamente metade da menor dose recomendada pelo atual sistema de recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTI et al., 1998). Considerando estes resultados pode-se ter uma economia de 50% no custo da adubação fosfatada, obtendo-se as mesmas produtividades. É evidente que os níveis críticos em solos de menor poder tampão, quando o extrator for Melhich-1, são maiores e as doses recomendadas não se baseiam tão somente em curvas de resposta, porém

evidenciam que devem estar ocorrendo adubações superestimadas em tais solos.

Em estudo de doses econômicas, ALVAREZ et al. (1991), discutindo os resultados de dezenove ensaios de adubação de cana-de-açúcar, efetuados em Latossolo Roxo, em diferentes regiões paulistas, observaram que as doses máximas dos adubos proporcionaram aumentos médios de 15,2 t ha⁻¹ para N, de 10,0 t ha⁻¹ para P e de 21,3 t ha⁻¹ para K. O ajuste de funções de resposta aos resultados permitiu constatar-se que combinações mais econômicas dos nutrientes estavam muito acima das recomendações correntes na época. As respostas da cultura à adubação estiveram diretamente relacionadas com a produtividade máxima econômica.

A recomendação de doses de P deve ser baseada na utilização de extratores que quantifiquem o P no solo, avaliem sua disponibilidade e possam estabelecer os níveis críticos do nutriente para uma determinada produção esperada. Assim, nesse trabalho foram estabelecidos os níveis críticos para cada solo com os quatro extratores (Quadro 14).

Segundo ROSSI (1995), o nível crítico de um nutriente no solo é o teor mínimo, abaixo do qual há grande possibilidade de resposta a sua aplicação e, acima do qual essa probabilidade diminui.

Quadro 14. Níveis críticos de fósforo no solo para os extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) em cana-de-açúcar

Solo	Nível crítico de P no solo			
	Bray-1	Mehlich-1	Mehlich-3	RTA
	mg dm ³			
PAdx	20,0	14,0	7,0	54,0
LAd	3,2	5,5	1,7	37,0
PAd	7,0	5,0	1,2	53,0
GXve	6,2	9,6	3,8	60,0
EKo	8,2	14,0	4,8	84,0

Os valores de níveis críticos de P no solo variaram entre os solos e os extratores. Verificou-se que os menores valores de nível crítico ocorreram no Mehlich-3, seguidos pelo Bray-1, Mehlich-1 e RTA, destacando a importância da interação solo/extrator (Quadro 14). Estes resultados discordam dos

encontrados por BERTONI et al. (2003), que estudando níveis críticos de P para arroz em um Organossolo Méssico em casa de vegetação, obtiveram para Mehlich-1 nível crítico maior do que com a RTA. Em experimentos em casa de vegetação, pela restrição do sistema radicular, as doses são maiores e a tendência é que os níveis críticos, também, tornem-se maiores. Assim, ocorreu no ensaio de MESQUITA et al. (2004), que estudando os níveis críticos de P em três solos com o extrator Melhich-1, para o estabelecimento de Capim-Mombaça, Capim-Marandu e Capim-Andropogon em vasos, verificaram que as doses críticas de P para o Capim-Mombaça, Capim-Marandu e Capim-Andropogon foram de 236, 238 e 258 mg dm⁻³ no LVAd, respectivamente; 274, 305 e 253 mg dm⁻³ no LVd, respectivamente; e 94, 171 e 163 mg dm⁻³ no RQ, respectivamente. Com isso os níveis críticos de P foram de 81, 79 e 90 mg dm⁻³ no LVAd, respectivamente; 26, 29 e 23 mg dm⁻³ no LVd, respectivamente; e 53, 83 e 79 mg dm⁻³ no RQ, respectivamente. Os pesquisadores constataram que os menores níveis críticos de P ocorreram no LVd que era o solo com mais altos teores de argila e, portanto, de maior capacidade tampão.

Nesse trabalho, os extratores que apresentaram correlação do teor de P extraído com características do solo, como o Bray-1, Melhich-1 e Melhich-3 (Quadro 8), mostraram níveis críticos menores em solos de maior capacidade tampão. A média do nível crítico por Melhich-1 em solos mais tamponados, como LAd, PAd e GXve foi de 6,7 mg dm⁻³, enquanto nos menos tamponados como PAdx e EKo foi de 14,0 mg dm⁻³ (Quadro 14), ou seja, para esses solos os níveis críticos foram, aproximadamente, 2 vezes maiores.

Esses dados corroboram com os encontrados por BEDIN et al. (2003), que estudando fontes de P e crescimento do milho em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato, concluíram que o fator capacidade de P do solo foi o principal condicionante da eficiência de utilização de P quando o milho foi cultivado nos solos mais tamponados.

Por outro lado, os níveis críticos determinados com a RTA, não manifestam influência das características dos solos que refletem o fator capacidade. O GXve que apresenta CMAP 2,5 vezes maior que o PAdx (Quadro 2), o nível crítico foi, aproximadamente, igual nos dois solos (Quadro 14). Essa característica da RTA vem se confirmando ao longo das variáveis que podem ser influenciadas pelo poder tampão de fosfato do solo, como o nível crítico.

Assim, para constatar que o nível crítico de P no solo pode variar de acordo com extrator e com características do solo, procedeu-se uma análise de correlação entre esses níveis críticos obtidos pelos diferentes extratores e características químicas e físicas dos solos que refletem o fator capacidade (Quadro 15).

Quadro 15. Coeficientes de correlação linear entre nível crítico de fósforo no solo em cana-de-açúcar pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e Resina de Troca Aniônica (RTA) e características químicas e físicas dos solos.

Característica	Nível crítico de P no solo			
	Bray-1	Mehlich-1	Mehlich-3	RTA
Argila	-0,6571 ^{ns}	-0,940*	-0,6398 ^{ns}	-0,6300 ^{ns}
P-rem	0,6758 ^{ns}	0,9214*	0,8176*	0,7328°
CMAP	-0,4922 ^{ns}	-0,8217*	-0,6798 ^{ns}	-0,6560 ^{ns}
Feo	-0,6213 ^{ns}	-0,9636**	-0,8835*	-0,6409 ^{ns}
Fed	-0,5536 ^{ns}	-0,9328*	-0,8848*	-0,6856 ^{ns}

** , * e ° significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo.

O Bray-1 não apresentou correlação significativa para nenhuma das características, o mesmo verificou-se para a RTA, exceto para o P-rem, em que o coeficiente de correlação foi significativo a 10% de probabilidade (Quadro 15). É, portanto, uma indicação pouco consistente da variação de níveis críticos determinados pela RTA com características que refletem o fator capacidade de P. A correlação entre os níveis críticos de P pela RTA e a CMAP contradiz a correlação encontrada para o P-rem (Quadro 15), fragilizando a significância do coeficiente da correlação, que parece ter ocorrido, muito mais por uma variação do acaso, do que pela consistência da relação. Outros indicadores anteriores corroboram para a fragilidade dessa relação, como por exemplo, sua capacidade de extração com características químicas e físicas dos solos (Quadro 8).

O Mehlich-3, também, não apresentou consistência para a correlação com o P-rem, porque não se confirmou com a CMAP, apesar de ter sido bem relacionado com as formas de Fe cristalinas (Feo) e amorfas (Fed).

SILVA et al. (2003), estudando frações de P em Latossolos cultivados com Braquiária, verificaram menores teores de P nas frações pouco lábeis e

maiores nas frações mais lábeis. Estas frações de P estão intimamente relacionadas com características físico-químicas e o extrator que se correlacionar com elas, deverá ser mais preditivo nas estimativas dos níveis críticos.

Assim, o Mehlich-1 apresentou correlações significativas para todas as características consideradas. Portanto, o nível crítico de P no solo obtido por Mehlich-1 foi o de melhor correlação com as características químicas e físicas dos solos, isto reflete a sensibilidade do extrator em relação ao poder tampão de fosfato dos solos e confirma a urgente necessidade de se alterar a recomendação de adubação fosfatada em regiões onde essas características não são consideradas, como por exemplo, na zona canavieira do Estado de Pernambuco. Embora seja o teor de argila uma análise mais universalizada do que o P-rem, a indicação dessa característica parece mais adequada, além da maior facilidade operacional, principalmente para as atividades rotineiras de um laboratório de fertilidade do solo.

5. Níveis críticos de P nas plantas

Foram ajustados modelos de regressão para o componente folha, tendo o teor de P como variável dependente das doses aplicadas. Ajustaram-se a modelos lineares os solos LAd, PAd e GXve, enquanto que o PAdx e EKo se ajustaram a modelos curvilíneos de efeito quadrático e raiz quadrada, respectivamente (Figura 3).

Nos solos mais tamponados (LAd, PAd e GXve), as doses de P aplicadas mostraram efeitos crescentes e linearidade para o teor de P nas folhas. Esse efeito evidencia a limitação de P desses solos, ou seja, mostra como os ambientes de elevada capacidade máxima de adsorção de P respondem satisfatoriamente a adubação. Em solos menos restritivos (PAdx e EKo), as doses de P aplicadas solucionaram a limitação do nutriente e apresentaram inflexão, ou seja, um ponto de máximo, mostrando que outros fatores limitaram o aumento do teor de P nas folhas de cana-de-açúcar.

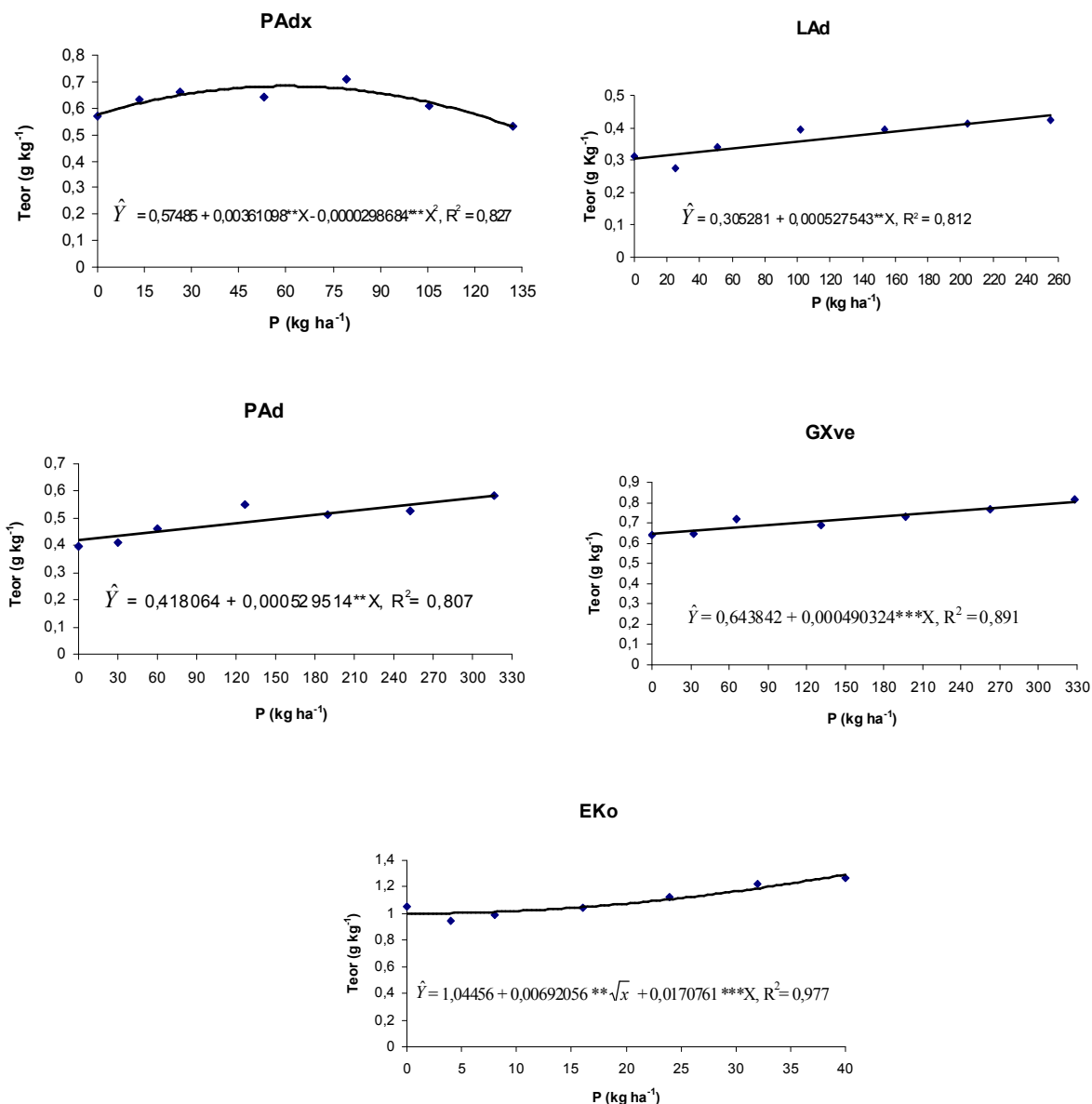


Figura 3. Equações de Regressão do teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar em função do fósforo aplicado nos solos.

Utilizando-se as doses estimadas de P para obtenção de 90% da produção máxima (Quadro 13), substituíram-se essas doses nas equações de regressão ajustadas para os teores de P na folha em função de doses de P aplicadas (Figura 3), obtendo-se os níveis críticos nas folhas de cana-de-açúcar (Quadro 16).

Quadro 16. Nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar nos solos

Solo	Nível crítico de P nas folhas
	g kg ⁻¹
PAdx	0,65
LAd	0,36
PAd	0,45
GXve	0,66
EKo	1,19

Nos diferentes solos, os níveis críticos de P na folha variaram, sendo menor para o LAd (0,36 g kg⁻¹) (Quadro 16), coerente com suas características químicas de alta CMAP e baixo P-rem (Quadro 2), conferindo-lhe elevado poder tampão de fosfato, reflexo da presença em sua mineralogia de minerais como a gibsita e goethita (Figura 1 e Quadro 3), influentes na adsorção de P. Comportamento diferente verificou-se para o solo EKo, que apresentou o maior valor de nível crítico na folha (1,19 g kg⁻¹) (Quadro 16). Trata-se de um solo arenoso com baixa CMAP e elevado P-rem (Quadro 2), conseqüentemente, baixo poder tampão de P. Mineralogicamente, a presença de quartzo, provavelmente, como mineral predominante, pouco influencia a adsorção de P, possibilitando maior disponibilidade, maior absorção e maior teor foliar.

Esse comportamento de apresentar níveis críticos em folhas maiores em solos de menor capacidade tampão de P e menores em solos mais tamponados é o mesmo apresentado pelos níveis críticos no solo (Quadro 14).

FERNANDES et al. (1998), avaliando a influência da classe de solo e do manejo da correção da fertilidade na produção de matéria seca e acúmulo de P em Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, verificaram que a maior produção de matéria seca e eficiência de utilização de P ocorreram nas plantas cultivadas no Latossolo Roxo, de maior poder tampão.

BELTRAM et al. (1998), avaliando níveis críticos de P em plantas de arroz em três solos, encontraram valores mais elevados no solo mais arenoso. Resultado semelhante ao encontrado neste trabalho, em que o EKo apresentou nível crítico na folha três vezes superior ao encontrado para o LAd.

O solo GXve, apesar do seu alto teor de argila e elevada CMAP (Quadro 2), apresentou valores intermediários, assemelhando-se, inclusive ao PAdx. Esse comportamento é, provavelmente, reflexo de suas características

mineralógicas, destacando-se a ausência de goethita e a presença de quartzo (Figura 1 e Quadro 3), que devem-lhe conferir um comportamento diferenciado relativamente aos solos LAd e PAd.

Para melhor entender os mecanismos da interação solo/planta, analisou-se a correlação entre o nível crítico de P na folha com algumas características químicas e físicas dos solos (Quadro 17).

Quadro 17. Correlação linear entre o nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar e características químicas e físicas dos solos

Característica	Nível crítico de P nas folhas
Argila	-0,6943 ^{ns}
P-rem	0,8193 [*]
CMAp	-0,7960 [°]
Feo	-0,7921 [°]
Fed	-0,7498 [°]

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

Em geral, os coeficientes das correlações apresentaram nível de significância baixo, inclusive sendo não significativo para teor de argila. Porém, evidenciaram que os níveis críticos são menores em solos mais tamponados e maiores em solos de menor capacidade tampão de fosfato.

SILVA et al. (2004), analisando uma matriz de correlação entre os níveis críticos de P em *Braquiaria brizantha* e características dos solos, indicaram correlação negativa e significativa entre os níveis críticos e a CMAp e uma outra correlação positiva e significativa para P-rem. Segundo Broggi (2004) plantas de milho demonstraram ajuste metabólico ao P disponível em diferentes solos, sendo mais eficiente no de maior CMAp, de maior poder tampão de fosfato.

Foi significativa a diferença entre o comportamento do teor de argila e o P-rem. Essa característica tem apresentado os melhores coeficientes de correlação e as melhores significâncias (Quadros 8, 12, 15 e 17), comparando-se com o discreto comportamento apresentado pelo teor de argila. Na maioria das correlações significativas do P-rem, a CMAp confere-lhe consistência e se destaca como um bom indicador do poder tampão de fosfato do solo.

6. Relações entre os níveis críticos de P em solo e planta

O nível crítico de P nos solos obtidos pelos extratores Bray-1, Mehlich-1, Mehlich-3 e RTA e o nível crítico de P nas folhas da cana-de-açúcar foram correlacionados (Quadro 18). Verificou-se que estes níveis críticos de P em solo e planta tiveram correlação significativa a 1% de probabilidade para RTA e a 5% de probabilidade para Mehlich-1, não sendo significativa esta correlação para Mehlich-3 e Bray-1.

Quadro 18. Correlação linear entre o nível crítico de fósforo nos solos pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Resina de Troca Aniônica (RTA) com o nível crítico de fósforo nas folhas de cana-de-açúcar.

Nível crítico de P no solo	Nível crítico de P nas folhas
Bray-1	0,1953 ^{ns}
Mehlich-1	0,7947 [*]
Mehlich-3	0,5498 ^{ns}
RTA	0,9645 ^{**}

** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo.

Para melhorar a performance de programas de adubação, a informação do nível crítico na planta é fundamental para corrigir excessos ou deficiências e, em alguns casos, até mesmo a recomendação de adubação. Uma boa correlação do nutriente no solo com o seu teor na planta, indica controle adequado entre a fertilidade e a nutrição. Os níveis críticos no solo determinados para RTA e Mehlich-1 partem de princípios diferentes, no entanto, qualquer que seja o método de determinação no solo, a correlação foi significativa com o nível crítico da planta. Essa é uma confirmação de que RTA e Mehlich-1 são bons extratores para estimar o P disponível, mesmo em solos com características químicas e físicas diferentes, como os utilizados nessa pesquisa. A correlação da RTA foi, ainda, mais significativa e de melhor coeficiente do que o Mehlich-1 (Quadro 18), confirmando seu melhor desempenho na correlação do P absorvido e acumulado com os teores extraídos no solo (Quadro 11).

Para utilizar um extrator com confiabilidade na recomendação da adubação é necessário avaliar este por vários aspectos. Certamente um dos aspectos

mais importantes é o nível crítico do nutriente na planta, pois é o que melhor indica a necessidade da cultura. Desta forma, as correlações significativas do nível crítico determinado por um extrator com o nível crítico na planta, facilita a escolha do método de maior confiabilidade.

7. Alocação de P nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar

O teor de fósforo nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar nos diferentes solos apresentaram variação entre si (Quadro 19).

A cana-de-açúcar no LAd apresentou os menores teores de P nos componentes da planta, enquanto que no EKo a cultura apresentou os teores mais elevados. Nos solos PAdx, LAd, PAd e EKo, os teores de P nos componentes da planta foram decrescentes na seguinte ordem: ponteiro > folha > colmo > folha senescente. No GXve, o colmo apresentou um teor de P maior do que na folha (Quadro 19).

No ponteiro os teores de P variaram de 0,64 a 1,36 g kg⁻¹. Nas folhas os teores foram de 0,37 a 1,09 g kg⁻¹. No colmo os teores variaram de 0,19 a 0,86 g kg⁻¹. Para a folha senescente variou de 0,17 a 0,52 g kg⁻¹. Os maiores e menores valores foram registrados no LAd e EKo, respectivamente.

De acordo com CASTRO (2000), a maior presença do P é detectada em tecidos meristemáticos, devido a participação desse nutriente em compostos ricos em energia. O que justifica seus maiores teores no ponteiro da cana-de-açúcar, região de intensa atividade metabólica.

Quadro 19. Teor de fósforo nos componentes da parte aérea de cana-de-açúcar nos solos

Solo	Componentes da planta	Teor (g kg ⁻¹)
PAdx	Ponteiro	0,92
	Folha	0,62
	Colmo	0,56
	Folha senescente	0,22
LAd	Ponteiro	0,64
	Folha	0,37
	Colmo	0,19
	Folha senescente	0,17
PAd	Ponteiro	0,94
	Folha	0,49
	Colmo	0,35
	Folha senescente	0,17
GXve	Ponteiro	1,28
	Folha	0,72
	Colmo	0,86
	Folha senescente	0,35
EKo	Ponteiro	1,36
	Folha	1,09
	Colmo	0,80
	Folha senescente	0,52

ESPIRONELO et al. (1986) enfatizaram que o fator solo teve maior influencia do que as doses na variação dos teores de P nas folhas da cana-de-açúcar. Essa constatação foi observada nessa pesquisa, sendo os maiores teores de P encontrados no EKo que recebeu as menores doses, enquanto os solos de maior poder tampão, que receberam as maiores doses, apresentaram menores teores de P nos componentes da parte aérea das plantas.

Segundo EPSTEIM & BLOOM (2006), plantas superiores submetidas a estresses nutricionais se utilizam de mecanismos para otimizar a utilização dos nutrientes.

Os experimentos conduzidos nos solos mais tamponados, que receberam doses mais elevadas, produziram adequadamente, assim como as que foram cultivadas em solos menos tamponados e com doses baixas de P, no entanto, os primeiros apresentaram menores teores na parte aérea. Essa constatação serve de alerta quando da utilização somente da análise foliar para avaliar o potencial produtivo do ambiente, pois há risco de um diagnóstico equivocado, principalmente, quando o nutriente for P, levando a um dimensionamento inadequado de doses.

Para os cinco solos foram obtidas equações de regressão que estimam o acúmulo de P nos componentes da parte aérea da cana-de-açúcar como variável dependente das doses de P aplicadas (Figuras 4, 5, 6, 7 e 8).

Para extração total de P, obtiveram-se ajustes curvilineares de efeito raiz quadrada nos solos PAdx, LAd, GXve e EKo com elevados coeficientes de determinação. No entanto, para o PAd os dados só permitiram ajuste linear (Figura 4). De maneira geral, a demanda de P na parte aérea da cana-de-açúcar foi curvilínea com ponto de máximo, independente da CMAP dos solos, com exceção do PAd. Isso significa que as doses aplicadas fizeram com que o P não fosse o único fator limitante. No PAd, essa limitação não deixou de existir e o sistema continuou mostrando-se demandante, provavelmente, devido ao inadequado dimensionamento das doses ou por uma maior adsorção de P nesse solo, restringindo a absorção e permitindo que continuasse sendo o fator mais limitante do ambiente. Pode ter ocorrido, também, efeito varietal, porque nesse solo utilizou-se a variedade RB855536, diferentemente dos demais. Esse comportamento do PAd, também, foi observado nas relações dos teores de P nas folhas em função das doses aplicadas (Figura 3). Porém, não se confirmaram para os demais solos. Como essa análise refere-se, apenas, a extração total de P, é possível que a extração por componente revele outros comportamentos pela maior sensibilidade quando se analisa um componente especificamente.

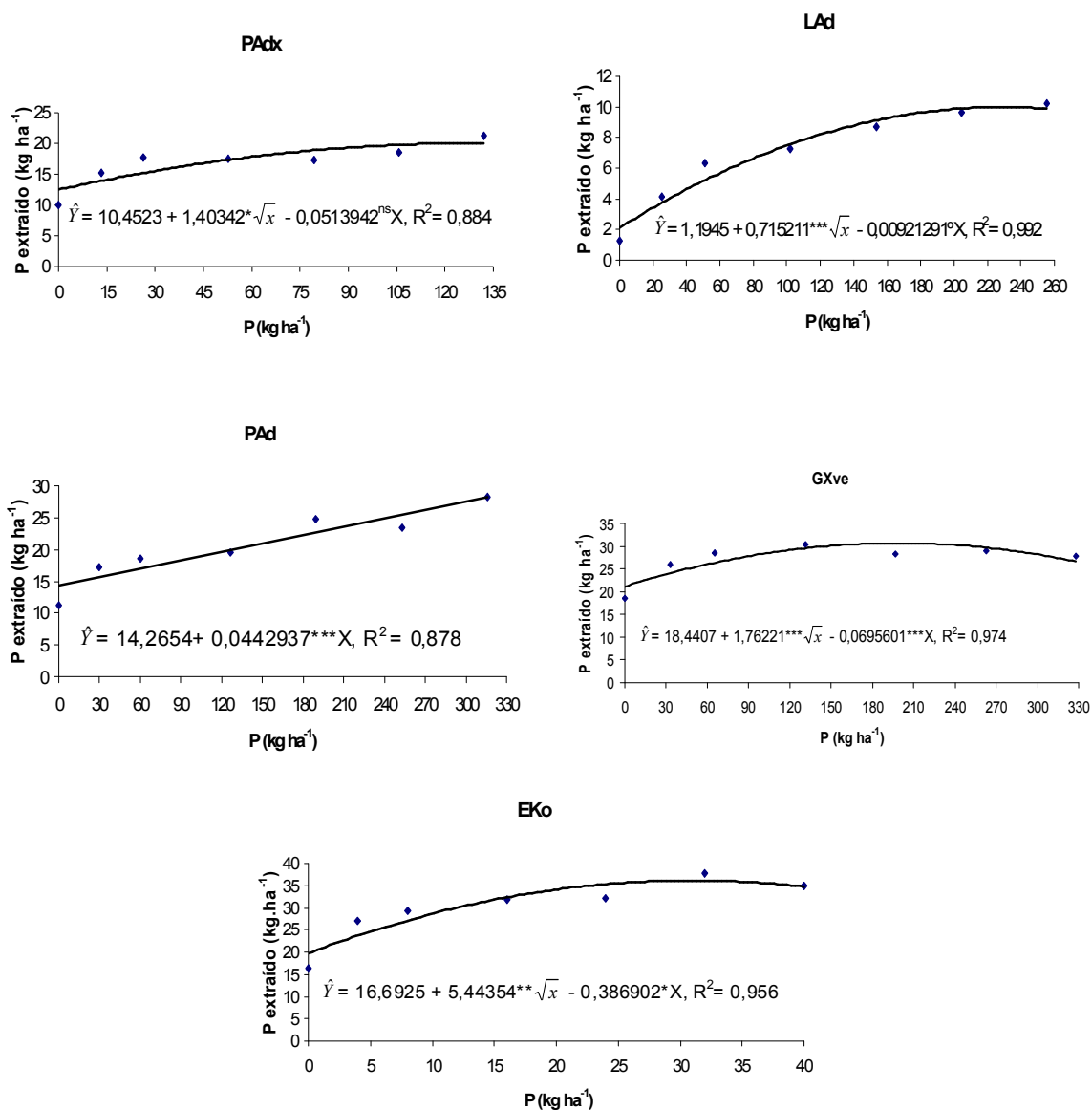


Figura 4. Extração total de fósforo pela cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos

No componente colmo, a extração é designada de exportação, porque nesse componente todo o conteúdo de P deixa o solo e não retorna. Com pequena variação em relação a extração total, independentemente da CMAP, os modelos ajustados continuaram sendo curvilíneos para os solos LAd, GXve e EKo e linear para o PAd (Figura 5). Incluiu-se, também, nesse ajuste linear o PAdx, provavelmente, muito mais por uma questão de redistribuição interna de P do que por efeito de suas características químicas e físicas.

A baixa exportação de P no LAd e alta no EKo (Figura 5), mais uma vez confirma a capacidade das plantas se ajustarem adequadamente ao P que lhe é colocado a disposição, porque o LAd apresentou produtividade semelhante

ao EKo (Quadro 10), sendo, portanto, mais eficiente na conversão do P aplicado.

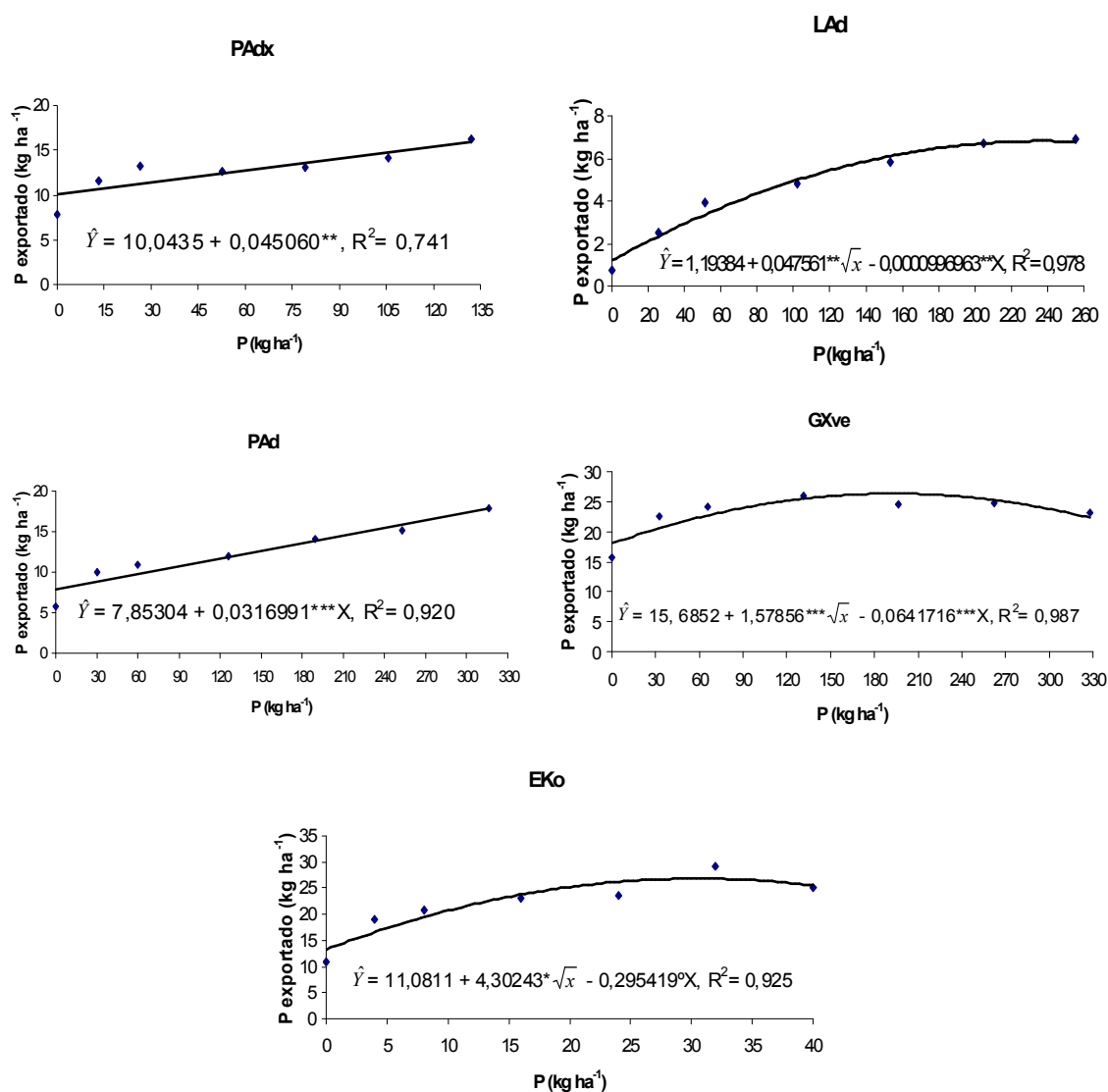


Figura 5. Exportação de fósforo pelo componente colmo da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.

A extração de P no componente ponteiro da cana-de-açúcar manteve a mesma tendência da extração total, com ajuste de modelos curvilineares para os solos PAdx, LAd, GXve e EKo. No PAd os dados não permitiram ajuste de modelos significativo estatisticamente (Figura 6). Também, nesse componente

o comportamento das extrações em função das doses não foi influenciado pela CMAP dos solos.

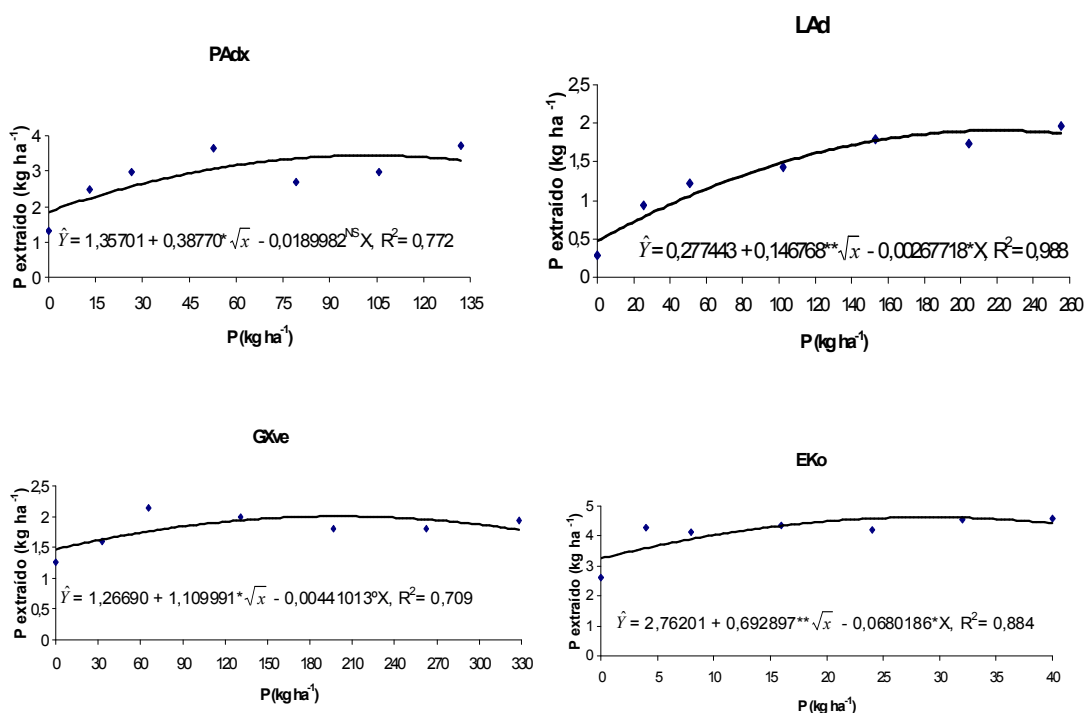


Figura 6. Extração de fósforo acumulado no componente ponteiro da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.

No componente folha, a extração de P apresentou uma ligeira diferença dos valores observados para extração total. Os solos PAdx e LAd mantiveram a tendência de modelos curvilineares, incluindo-se nesse mesmo ajuste o solo PAd. Os dados do GXve permitiram ajuste linear e os do EKo não se ajustaram a modelos estatísticos significativos (Figura 7). Com isso, também, nesse componente, o efeito da CMAP dos solos não reflete-se na extração de P.

Como a extração corresponde ao conteúdo de P em toda a parte aérea (extração total) ou em partes (componentes) e o conteúdo é um reservatório de P que depende do acúmulo de matéria seca e dos teores, qualquer variação nesses teores, que sejam reflexos do poder tampão de P (Figura 3), pode ser compensada por variações no acúmulo de matéria seca e o efeito

característica do solo se reduz. A extração está mais relacionada com a produção e a capacidade tampão de P dos solos com a eficiência de utilização.

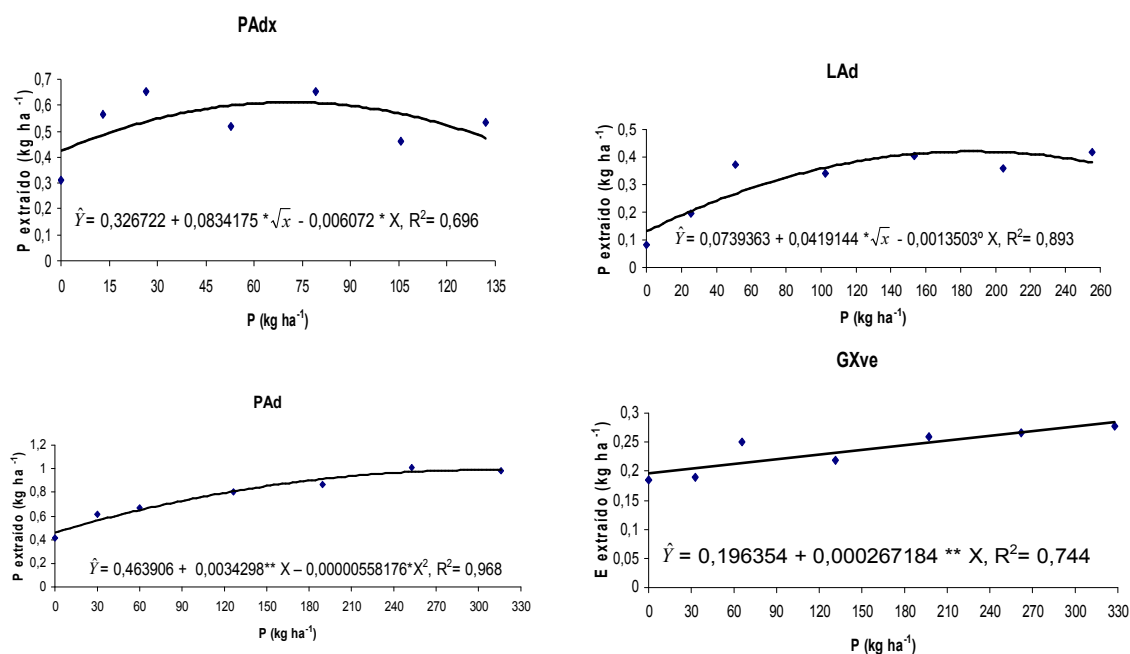


Figura 7. Extração de fósforo acumulado no componente folha da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos.

A extração de P acumulado no componente folha senescente da cana-de-açúcar é uma informação importante para a ciclagem desse nutriente entre ciclos de produção ou mesmo, dentro do mesmo ciclo, se as condições de mineralização forem ou estiverem maximizadas. Os dados nos solos ajustaram-se a modelos curvilineares (PAdx e LAd) e lineares (PAd e EKo), porém no GXe não permitiram ajuste estatístico significativo (Figura 8).

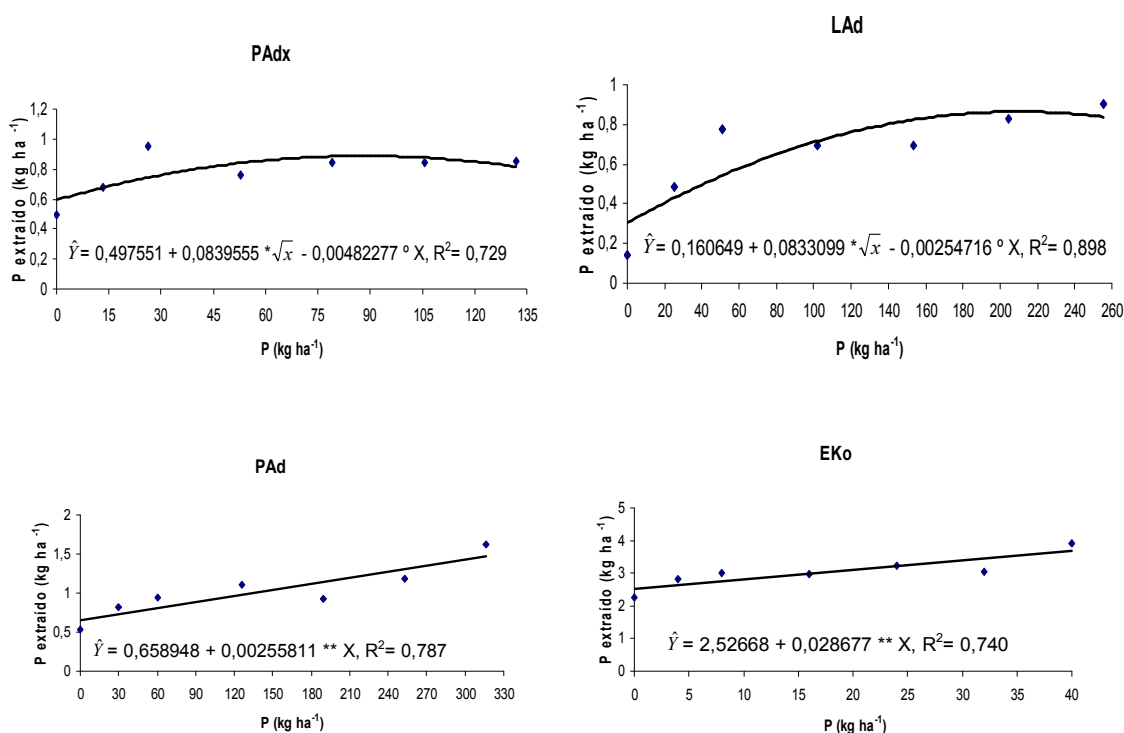


Figura 8. Extração de fósforo acumulado no componente folha senescente pela cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado nos solos

8. Efeito da adubação fosfatada nas características agroindustriais da cana-de-açúcar

A produção de cana-de-açúcar em função das doses de P aplicadas, determinadas para cada solo em função da CMAP (Quadro 6), revelou aumento proporcional às doses, com o PAd apresentando as maiores produtividades e o PAdx as menores (Quadro 20).

Quadro 20. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) em função do fósforo aplicado nos solos

Solo	Dose de P kg ha ⁻¹	Estande plantas/m	Altura m	TCH		TPH
				t ha ⁻¹		
PAdx	0,00	7,7	2,33	44,75	6,09	
	13,20	9,1	2,91	69,00	9,16	
	26,40	9,1	2,90	71,75	9,31	
	52,80	9,6	2,83	73,75	9,30	
	79,20	9,6	3,07	75,00	9,85	
	105,60	9,5	3,08	76,50	9,94	
	132,00	9,4	2,92	79,00	10,41	
	Média	9,2	2,86	69,96	9,15	
LAd	0,00	4,3	1,77	16,67	2,40	
	25,39	7,6	2,60	58,33	8,75	
	51,10	7,8	2,65	72,08	11,05	
	102,21	8,5	2,66	80,83	11,77	
	153,31	8,6	2,64	85,83	13,22	
	204,42	9,2	2,69	90,00	13,48	
	255,52	9,3	2,82	90,00	13,35	
	Média	7,9	2,55	70,54	10,57	
PAd	0,00	6,7	2,18	69,00	10,18	
	30,02	9,0	2,58	103,00	14,64	
	60,20	9,4	2,77	108,50	16,16	
	126,40	9,5	2,75	116,00	17,25	
	189,60	10,0	2,78	118,00	17,30	
	252,80	10,0	2,97	123,50	17,99	
	316,00	9,8	2,97	119,50	17,42	
	Média	9,2	2,71	108,21	15,85	
GXve	0,00	8,3	2,42	59,42	8,74	
	32,80	10,3	2,94	80,87	12,18	
	65,60	11,1	2,90	87,52	13,36	
	131,20	10,6	2,95	89,50	13,28	
	196,80	10,7	2,85	88,76	13,60	
	262,40	10,8	2,92	86,29	13,14	
	328,00	10,8	2,98	91,96	13,67	
	Média	10,4	2,85	83,47	12,57	
EKo	0,00	6,2	1,87	49,58	7,41	
	4,00	8,6	2,43	80,00	11,24	
	8,00	9,7	2,39	85,00	12,07	
	16,00	10,4	2,42	87,50	11,82	
	24,00	10,8	2,49	90,42	12,31	
	32,00	11,4	2,48	94,58	13,26	
	40,00	11,8	2,58	95,42	13,39	
	Média	9,7	2,38	83,21	11,64	

Para expressar a biometria de características agroindustriais foram obtidos os dados de produtividade agrícola, expressa em toneladas de cana (colmos) por hectare (TCH), produtividade de açúcar, expressa em toneladas de Pol por hectare (TPH), mensurações de altura de plantas em metro e estande em número de plantas por metro linear. Verificou-se que os maiores incrementos para esses dados biométricos ocorreram em relação a testemunha e nas menores doses de P aplicadas (Quadro 20), ou seja, na ascendência do modelo curvilíneo (Quadro 13).

A melhor performance do solo PAd quanto a produtividade pode ser atribuída ao ambiente, entretanto, vale salientar que neste solo foi utilizada a variedade RB855536 e nos demais a RB863129, podendo ter ocorrido um efeito varietal. Os valores de TPH variaram cerca de 10 t ha^{-1} e de TCH mais de 70 t ha^{-1} em relação a testemunha no LAd (Quadro 20), justificando um programa adequado de recomendação de adubação fosfatada para maximizar o potencial agroindustrial da cultura.

SIMÕES NETO et al. (2005) encontraram para a variedade RB863129, em cana planta, produtividades de 99 t ha^{-1} de colmos e TPH de 14,35, compatíveis com os resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, ARIZONO et al. (1999) encontraram para a variedade RB855536, em cana planta, valores mais elevados, da ordem de $123,1 \text{ t ha}^{-1}$ de colmos e TPH de 18,54. Essas menores produções encontradas nesse deveu-se, possivelmente, ao ambiente, pois esta variedade foi desenvolvida no Estado de São Paulo, onde além do fator solo, a precipitação pluvial é maior do que no Nordeste e, frequentemente, bem distribuída, favorecendo um maior desenvolvimento da cultura.

Verificou-se para altura de plantas que, os ambientes em que a cana-de-açúcar mais cresceu foi dos solos PAdx e GXve. Para estande, os solos GXve e EKo apresentaram as maiores densidades de planta por metro (Quadro 20). ALVAREZ et al. (1991), avaliando o crescimento da parte aérea de cana crua e queimada, verificaram alturas próximas a três metros e perfilhamento com cerca de 14 plantas por metro linear. Os valores de altura foram semelhantes aos encontrados neste trabalho, porém, o perfilhamento foi maior, o que pode ser atribuído ao espaçamento de 1,35 m utilizado naquela pesquisa, o que reduz a competição entre plantas, além de outros fatores como a interação genótipo/ambiente.

Com os dados de TCH, TPH, estande e altura de planta como variáveis dependentes das doses de P aplicadas obtiveram-se equações de regressão para cada solo (Figuras 9, 10, 11 e 12).

No Padx os dados de TCH, TPH, estande e altura de planta ajustaram-se a modelos curvilineares de efeito raiz quadrada com ponto de máximo (Figura 9). Assim, nesse solo a adubação fosfatada proporcionou aumentos no teor de P que deixou de limitar o crescimento e as produções agrícola e industrial. Todas essas variáveis atingiram o patamar na resposta a adição de P.

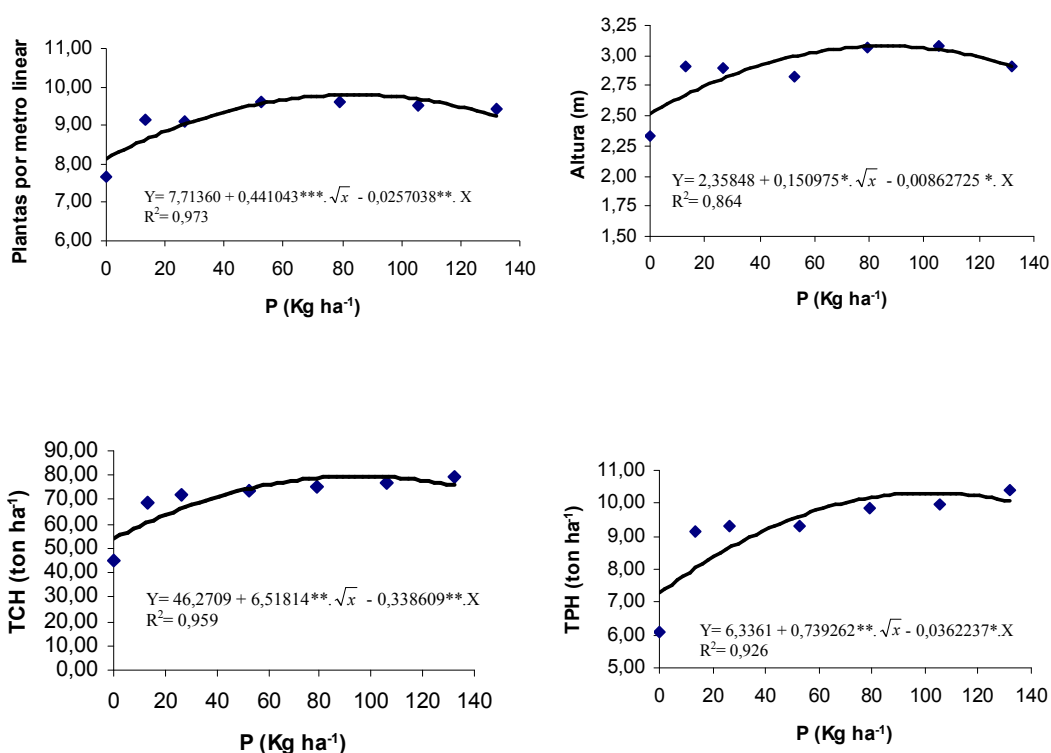


Figura 9. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar, como variável dependente do fósforo aplicado em Argissolo Amarelo distrocoeso (PADx)

No LAd, os ajustes dos dados de TCH, TPH, estande e altura de planta foram semelhantes aos do PADx (Figura 10). O patamar indicou que o P não limitou mais o crescimento e as produções agrícola e industrial da cana-de-açúcar com o incremento das doses, mesmo em solo de elevado poder tampão

de P, como o LAd. Ressalte-se o adequado dimensionamento das doses aplicadas que foram baseadas na CMAP, revelando a importância de características químicas e, ou, físicas dos solos para a recomendação de P, principalmente para extratores sensíveis a capacidade tampão, como o Melhich-1 (Quadro 15).

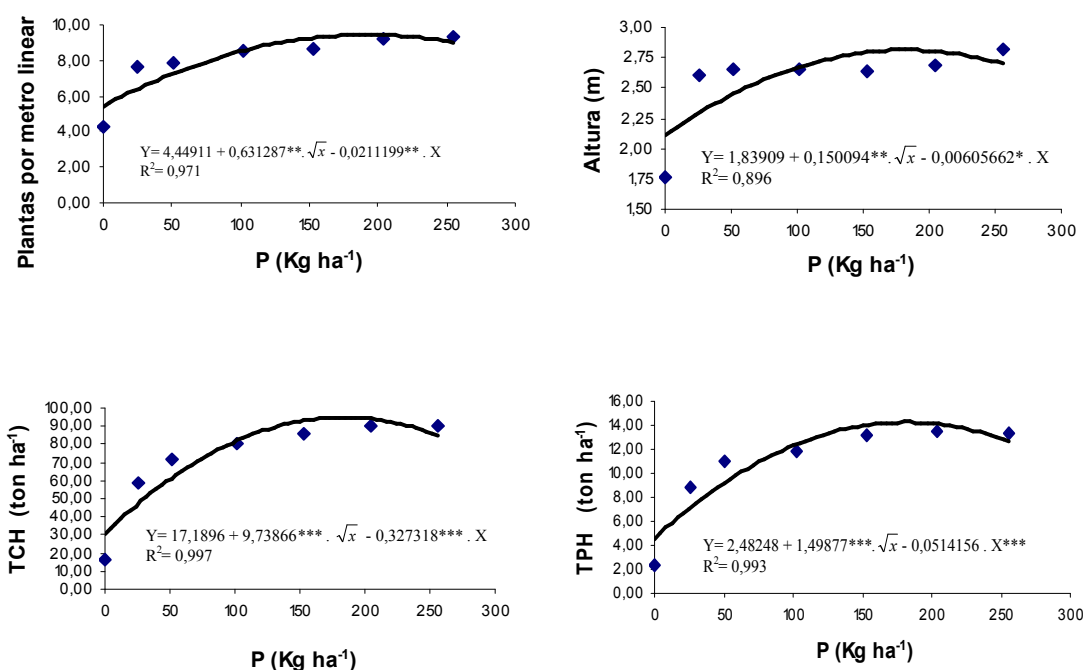


Figura 10. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Latossolo Amarelo distrófico (LAd)

No PAd, os ajustes dos dados de TCH, TPH, estande e altura de planta foram semelhantes aos dos solos PAdx e LAd (Figura 11). Mesmo sendo mais adsortivo do que o LAd (Quadro 2), a cana-de-açúcar no solo PAd com incremento das doses, respondeu a adubação fosfatada.

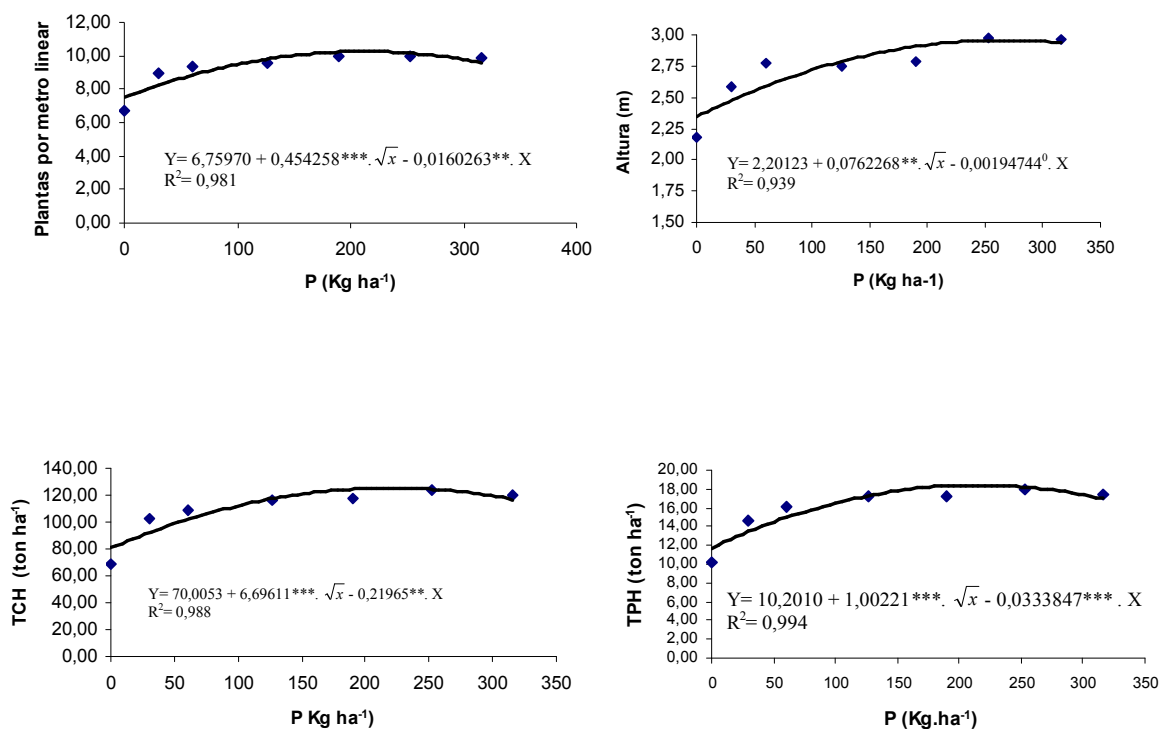


Figura 11. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Argissolo Amarelo distrófico (PAd).

No GXve, os ajustes dos dados de TCH, TPH, estande e altura de planta foram semelhantes aos dos solos PAdx, LAd e PAd (Figura 12). Nesse solo a capacidade de adsorção é mais elevada do que nos solos LAd e PAd, mesmo assim com o incremento das doses de P houve resposta a adubação fosfatada.

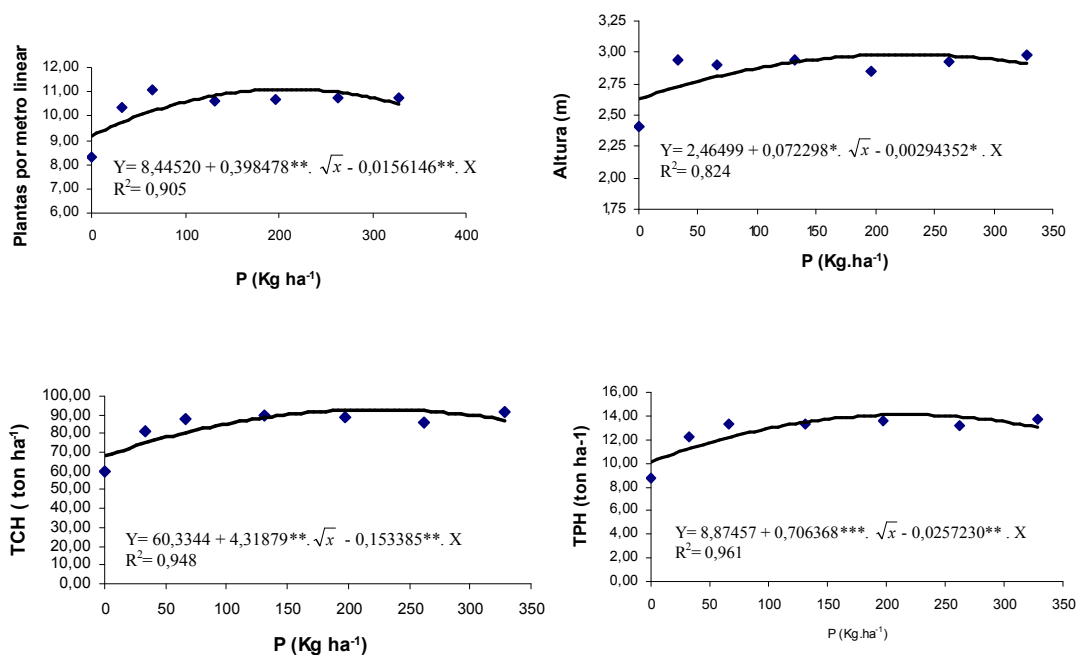


Figura 12. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Gleissolo Háplico Eutrófico (GXve)

No EKO, os ajustes dos dados de TCH, TPH, estande e altura de planta foram semelhantes aos dos solos PAdx, LAd, PAd e GXve (Figura 13). Esse é solo de menor CMAP (Quadro 2), conseqüentemente, recebeu as menores doses de P (Quadro 6), no entanto, apresentou o mesmo comportamento dos demais, respondeu as pequenas doses de P aplicadas, revelando que é urgente rever as recomendações de adubação fosfatada em regiões que não

consideram as características químicas e, ou, físicas dos solos na recomendação de P, com em Pernambuco.

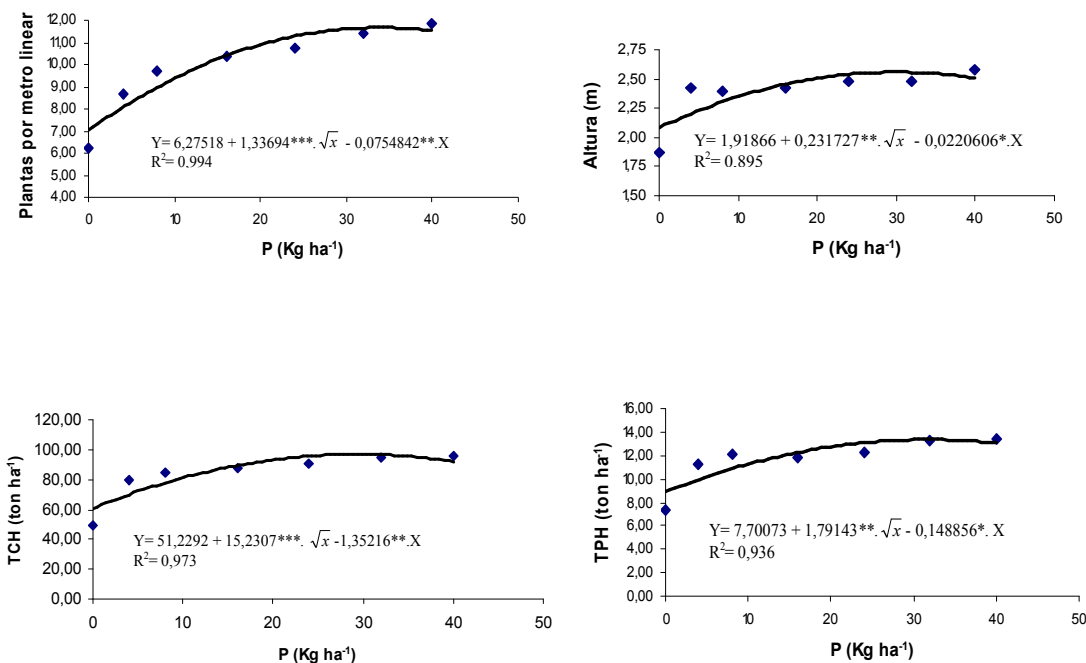


Figura 13. Estande, altura, produção agrícola (TCH) e industrial (TPH) da cana-de-açúcar como variável dependente do fósforo aplicado em Espodossolo Humilúrico Órtico (EKO)

Procedeu-se nos laboratórios das unidades produtoras que sediaram os experimentos de campo, as análises tecnológicas das amostras da parte industrializável da cana-de-açúcar e foram realizadas determinações de Fibra, PCC, Pureza e BRIX e, também, açúcares totais recuperáveis (ATR) (Quadro 21).

Os resultados mostraram que as doses de P aplicadas não influenciaram as características tecnológicas, ou seja, a qualidade da matéria-prima para industrialização. Resultados semelhantes foram obtidos por MARTINS (2004), que avaliando a atuação de fosfatos em três variedades de cana-de-açúcar,

verificou que os fosfatos total, orgânico e inorgânico não tiveram correlação com características industriais relacionadas ao estado de maturação, como FIB, BRIX, POL E PZA. Outros nutrientes, também, podem não interferir diretamente nessas características. PRADO & PANCELLI (2006), avaliando adubação nitrogenada na primeira soca da cana-de-açúcar, verificaram que o N não influenciou as características tecnológicas da cultura.

Todos os valores obtidos ficaram acima dos índices da cana padrão para industrialização em Pernambuco, sendo os melhores indicadores industriais registrados para as médias obtidas nos solos GXve e LAd.

Para BRIX e Pureza os melhores resultados foram obtidos nos solos PAd, LAd e GXve, diferindo significativamente do PAdx (Quadro 21).

Para Fibra os solos GXve e LAd apresentaram os menores teores, diferindo estatisticamente dos demais. Em PCC os solos GXve, LAd e PAd apresentaram os maiores valores, diferindo significativamente de EKo e PAdx (Quadro 21)

A característica tecnológica que atualmente remunera a matéria-prima é o açúcar total recuperável (ATR). O padrão para o Estado de Pernambuco é 119 kg t^{-1} baseado em convenção dos órgãos de classes do setor sucroalcooleiro. Os resultados obtidos para os solos LAd, GXve e PAd foram considerados altos para a região, bem superiores aos obtidos pela cana-de-açúcar nos solos EKo e PAdx (Quadro 21).

Quadro 21. Dados tecnológicos em função do fósforo aplicado nos solos

Solo	Dose de P	FIBRA	PCC	PUREZA	BRIX	ATR
	kg ha ⁻¹		%		graus	kg t ⁻¹
PAdx	0,00	14,80	13,60	84,39	20,02	131,35
	13,20	14,66	13,28	83,87	19,62	128,50
	26,40	14,39	12,98	83,42	19,20	125,89
	52,80	15,11	12,58	82,69	19,00	122,31
	79,20	14,88	13,15	83,56	19,57	127,35
	105,60	14,74	12,97	83,03	19,39	125,88
	132,00	15,13	13,16	84,39	19,47	127,20
	Média	14,82	13,10	83,62	19,47	126,92
LAd	0,00	14,68	14,51	88,91	20,23	138,65
	25,39	13,76	15,00	88,43	20,70	143,41
	51,10	13,75	15,31	88,80	21,03	146,14
	102,21	14,34	14,56	88,63	20,25	139,25
	153,31	13,63	15,39	88,06	21,28	147,11
	204,42	14,19	14,97	89,42	20,58	142,84
	255,52	13,78	14,84	87,71	20,65	142,11
	Média	14,02	14,94	88,57	20,67	142,79
PAd	0,00	15,52	14,78	89,83	20,70	140,87
	30,02	14,42	14,23	85,48	20,55	136,97
	60,20	14,60	14,89	88,63	20,80	142,30
	126,40	14,47	14,85	88,79	20,65	141,85
	189,60	14,90	14,66	87,71	20,78	140,29
	252,80	15,76	14,59	89,37	20,63	139,20
	316,00	14,27	14,58	86,72	20,68	139,87
	Média	14,85	14,65	88,07	20,68	140,19
GXve	0,00	14,54	14,74	89,81	20,30	140,56
	32,80	13,81	15,08	88,86	20,73	143,98
	65,60	13,74	15,27	89,08	20,93	145,69
	131,20	13,98	14,84	87,81	20,70	142,03
	196,80	13,77	15,32	92,37	20,25	145,39
	262,40	13,94	15,23	90,96	20,50	144,88
	328,00	13,77	14,87	88,33	20,55	142,21
	Média	13,94	15,05	89,60	20,56	143,53
EKo	0,00	14,65	14,93	89,51	20,65	142,37
	4,00	14,41	14,05	85,71	20,23	135,22
	8,00	15,06	14,22	88,66	20,00	136,03
	16,00	15,12	13,52	85,10	19,80	130,43
	24,00	14,24	13,59	85,85	19,48	130,98
	32,00	14,57	14,03	87,10	19,93	134,68
	40,00	14,88	14,04	86,58	20,18	134,84
	Média	14,70	14,06	86,93	20,04	134,94

9. Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do Estado de Pernambuco

A Tabela para avaliação e recomendação de P para cana-de-açúcar utilizada atualmente em Pernambuco (CAVALCANTI et al., 1998) não considera características mineralógicas, químicas e físicas dos solos que reflitam o fator capacidade de P, como composição mineralógica, CMAP, argila e P-rem. Nesse mesmo manual, o extrator recomendado para avaliar a disponibilidade de P é o Melhich-1. É provável que as recomendações advindas desse manual sejam adequadas para solos intermediários, medianamente tamponados, como aqueles que apresentam entre 15 e 35% de argila ou 17 a 35 mg L⁻³ de P-rem, com predominância de caulinita na sua estrutura mineralógica. No entanto, certamente, sub ou super estimam as recomendações quando os solos caracteristicamente se afastam de indicadores médios.

Um bom levantamento literário, como as que estão citadas ao longo do texto desse trabalho já justificariam uma revisão no modelo de avaliação e seus critérios de recomendações de P para cana-de-açúcar em Pernambuco. Muitas pesquisas realizadas no final dos anos 70 que adentraram para as décadas de 80 e 90 evidenciaram a importância de se olhar para os resultados das análises de P em diferentes solos de forma mais sistematizada e agrupada. É preciso entender que, o resultado de uma extração de P em solos mais intemperizados e oxidicos é diferente daquela realizada em solos menos intemperizados e mineralogicamente menos desenvolvidos, principalmente quando se conhece as características do extrator.

Admitindo, porém, que a maioria das pesquisas com fósforo foram realizadas fora de Pernambuco e que há uma certa peculiaridade nas características e comportamento dos solos entre regiões por diversos fatores que vão de climáticos a pedogenéticos, acredita-se que foi mais conveniente optar-se pela média das variações, refletida no caso do fósforo na publicação do Manual para Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco.

Recentemente, algumas pesquisas foram desenvolvidas em Pernambuco e publicadas, como as realizadas por SILVA et al. (2004) e BROGGI (2004), que constataram um relacionamento entre o P extraído pro extratores e características químicas e físicas dos solos. Também, avaliaram a

disponibilidade de P por extratores como Melhich-1 e concluíram que a atuação desse extrator variava entre diferentes solos, correlacionando-se significativamente com características que refletiam a capacidade tampão de P dos solos. No entanto, foram pesquisas realizadas em condições controladas em que as doses, os níveis críticos e as relações solo/planta são expressivamente diferentes de condições de campo.

Os resultados apontam para uma sugestão de interpretação e recomendação de P diferenciada, baseada na variação do teor argila e no P-rem, como características recomendadas para prever a disponibilidade de P quando o extrator para avaliação da disponibilidade for o Melhich-1.

O P extraído por Melhich-1 correlacionou-se negativa e significativamente com o teor de argila e positiva e significativamente com o P-rem. Essas correlações foram consistentemente confirmadas pela correlação com a CMAP (Quadro 8). Essas quantidades de P extraídas por Melhich-1 correlacionaram-se positivamente com o P absorvido pela cana-de-açúcar em seus mais diversos componentes da parte aérea, bem como com a produção da cana-de-açúcar (Quadro 11).

Os níveis críticos de P no solo obtidos por Melhich-1 correlacionaram-se negativa e significativamente com o teor de argila e positiva e significativamente com o P-rem. Essas correlações foram consistentemente confirmadas pela correlação com a CMAP (Quadro 15). Esses níveis críticos de P no solo por Melhich-1 correlacionaram-se positiva e significativamente com os níveis críticos nas plantas (Quadro 18), que por sua vez se correlacionaram positiva e significativamente com o P-rem, porém não se correlacionaram com o teor de argila (Quadro 17).

Embora tenha ocorrido correlação não significativa do teor de argila com os níveis críticos na planta, além dos baixos níveis de significância dessa característica nas demais correlações (Quadros 8 e 15), optou-se, também, pelo teor de argila como característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo por ser um método mais universalizado de determinação, porém, especificamente para as relações P/solo/planta é de previsão limitada e de baixa capacidade de predição.

Por outro lado, seria ideal que se pudesse na interpretação e recomendação de P, ter a informação analítica da CMAP do solo. Essa análise além de contabilizar o efeito da quantidade dos minerais adsorptivos de P,

dimensiona a capacidade que estes minerais apresentam para adsorver, inferindo sobre a qualidade da adsorção. No entanto, essa é uma determinação operacionalmente longa, dispendiosa e de elevada exigência técnica. Como alternativa, pode-se utilizar a análise do P-rem, que nada mais é do que a CMAP de um único ponto (60 mg L^{-1} de P). Nesse caso, o princípio de avaliar a quantidade e a qualidade dos minerais de argila adsortivos presentes no solo fica mantido.

Desse modo é que as relações P/solo/planta quando avaliadas pelo P-rem mostraram-se estatisticamente significativas (Quadros 8, 15 e 17), optando-se por essa característica como a mais preditiva do poder tampão de fosfato do solo, quando o extrator para avaliar a disponibilidade de P for o Melhich-1.

Assim, tomando como base todas as relações envolvidas entre o P, os solos e as plantas, bem como seus níveis críticos e considerando como extrator de P o Melhich-1, sugere-se as tabelas de Interpretação (Quadros 22 e 23) e Recomendação de Adubação de P (Quadro 24) para cana-de-açúcar em Pernambuco.

Quadro 22. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e a Argila a característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo

Característica	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
	Fósforo disponível (P)				
Argila (%)	mg dm ⁻³				
> 60	< 3,5	3,5-5,5	5,6-9,5	9,6-12,0	> 12,0
> 35 a 60	< 6,5	6,5-9,5	9,6-12,5	12,6-16,0	> 16,0
15 a 35	< 8,5	8,5-12,5	12,6-15,0	15,1-18,0	> 18,0
< 15	< 10,5	10,5-13,5	13,6-17,0	17,1-20,0	> 20,0

Quadro 23. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e o P remanescente for à característica preditiva do poder tampão de fosfato do solo

Característica	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
	Fósforo disponível (P)				
P-rem (mg L ⁻¹)	mg dm ⁻³				
< 12	< 3,5	3,5-5,5	5,6-9,5	9,6-12,0	> 12,0
12 a 17	< 6,5	6,5-9,5	9,6-12,5	12,6-16,0	> 16,0
> 17 a 35	< 8,5	8,5-12,5	12,6-15,0	15,1-18,0	> 18,0
> 35 a 60	< 10,5	10,5-13,5	13,6-17,0	17,1-20,0	> 20,0

Quadro 24. Tabela de Recomendação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for o Mehlich-1 e interpretação considere poder tampão de fosfato do solo por % argila ou P remanescente

Produtividade esperada	Recomendação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
t ha ⁻¹	P ₂ O ₅				
	kg ha ⁻¹				
> 90	180	150	120	90	60
< 90	160	130	100	70	40

O P extraído pela RTA não se correlacionou com nenhuma característica química e, ou, física do solo que refletisse a capacidade tampão de fosfatos do solo (Quadro 8), ou seja, a extração de P pela RTA foi maior ou menor independentemente do fator capacidade de P. No entanto, as quantidades de P extraídas pela RTA correlacionaram-se positivamente com o P acumulado pela cana-de-açúcar em seus mais diversos componentes da parte aérea, bem como com a produção da cana-de-açúcar (Quadro 11), tendo, apresentado, inclusive, os melhores coeficientes e a melhor significância nas correlações.

Os níveis críticos de P no solo pela RTA não se correlacionaram com as características químicas e físicas do solo que refletissem a capacidade tampão de fosfatados (Quadro 15), assemelhando-se ao comportamento do P extraído (Quadro 8). Uma baixa significância ($p < 0,10$) de correlação ocorreu com o P-rem, não confirmada pela relação com a CMAP e, portanto, pode ser desconsiderada. Esses níveis críticos de P no solo pela RTA correlacionaram-se positiva e significativamente com os níveis críticos nas plantas (Quadro 18), inclusive apresentando os melhores coeficientes e a melhor significância.

Os níveis críticos nas plantas se correlacionaram positiva e significativamente com o P-rem e negativa e significativamente com a CMAP (Quadro 17). Essa é uma constatação de que as plantas variaram seus limites críticos de acordo com o P que lhe foi colocado a disposição, ou seja, ambientes mais restritivos, menores os níveis críticos, ambientes menos restritivos, maiores os níveis críticos. A extração do P pela RTA não apresentou esse comportamento, porém os níveis críticos no solo e os níveis críticos na planta se correlacionaram positivamente. Corroborando com o relacionamento RTA e as plantas, a correlação do P acumulado nas plantas com características químicas e físicas dos solos não foram significativas (Quadro 12).

Mesmo entendendo que tradicionalmente, o Melhich-1 é o extrator mais utilizado e recomendado, por sua fácil operacionalização, além de ser o que está sendo proposto prioritariamente neste estudo, sugere-se, opcionalmente, o uso da RTA para avaliar a disponibilidade de P de solos de Pernambuco e apresenta-se a tabela de interpretação (Quadro 25), e a recomendação de adubação de P (Quadro 26) para cana-de-açúcar em Pernambuco.

Quadro 25. Tabela de Interpretação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for a Resina de Troca Aniônica (RTA)

Classificação				
Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Fósforo disponível (P)				
mg dm^{-3}				
$< 30,0$	$30,0-40,0$	$41,0-56,0$	$57,0- 65,0$	$> 65,0$

Quadro 26. Tabela de recomendação de fósforo para cana-de-açúcar quando o extrator para estimativa do P disponível for a Resina de Troca Aniônica (RTA)

Produtividade esperada	Recomendação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
t ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹				
> 90	180	150	120	90	60
< 90	160	130	100	70	40

Apesar do P extraído por Bray-1 e Melhich-3 ter se correlacionado significativamente com características químicas e físicas dos solos que refletem o poder tampão de fosfato (Quadro 8) e, também, terem se correlacionado com o P absorvido e acumulado, bem como com a produção da cana-de-açúcar (Quadro 11), os níveis críticos determinados por Bray-1 não se correlacionaram com essas características e os determinados por Melhich-3 apresentaram coeficientes de correlação pouco significativos para teor de argila e P-rem, porém não foram consistentes porque não se correlacionaram com a CMAP (Quadro 15). Corroborando com esse comportamento, os níveis críticos no solos determinados por esses extratores não se correlacionaram com os níveis críticos das plantas (Quadro 18).

CONCLUSÕES

- O Mehlich-1 e a RTA foram os extratores que mais se correlacionaram com o P acumulado pela parte aérea da cana-de-açúcar;
- A RTA não apresentou correlação com características químicas e, ou, físicas dos solos, tendo extraído P indistintamente, independentemente do solo;
- Os níveis críticos de fósforo em solo e planta foram dependentes do poder tampão dos solos, quando o extrator para avaliação do P disponível foi o Mehlich-1;
- Os níveis críticos no solo determinados pela RTA se correlacionaram significativamente com os níveis críticos nas plantas, mas não foram dependentes de nenhuma característica química e, ou, física dos solos;
- A adubação fosfatada nas condições de cana-planta, influenciou positivamente as produtividades agrícola e industrial.
- Os níveis críticos no solo determinados por Bray-1 e Mehlich-3 não se correlacionaram com a CMAP, nem com os níveis críticos nas plantas.
- Pelos resultados não sugere-se o uso dos extratores Bray-1 e Mehlich-3 para avaliar a disponibilidade de P para subsidiar a recomendação de adubação fosfatada em Pernambuco.
- O Mehlich-1 foi o extrator que melhor correlacionou-se com as características dos solos que refletem o poder tampão de fósforo e com o P acumulado pela cana-de-açúcar, portanto o principal extrator nesta proposta de recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em Pernambuco.
- A presente proposta para recomendação de adubação fosfatada para Pernambuco reduz consideravelmente as possibilidades de superestimar e subestimar o uso de fósforo em cana-planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A. Avaliação do fósforo disponível em solos de várzea pelos extratores Mehlich -1, Mehlich -3 e Resina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995. Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 986-988.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Efeito residual do fósforo em cana-soca nos tabuleiros de Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 3., 1984, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1984. p.153-58.

ALEXANDER, A. G. (Ed.). **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system.** Amsterdam: Elsevier, 1973. 752p.
ALFONSI, R. R.; PEDRO, J. M. J.; BRUNIN, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização.** 1. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 985-1002, 2003.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; RAIJ, B. V.; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em latossolo roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n.2, p. 359-374, 1991.

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. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n. 1, p. 44-55, 1990.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5ª. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

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, 2000. p. 27-33. (Boletim Informativo, 25).

ALVES, M. E.; LAVORENTI, A. Fósforo remanescente e pH em fluoreto de sódio em solos com teores e qualidades de argila. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 241-246, 2004.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S., ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, p.1003-1011, 2003.

ANDRADE, M. C. (Ed.). **Pernambuco cinco séculos de colonização**. João Pessoa: Grafset, 2004. 168 p.

ARIZONO, H.; MATSUOKA, S.; GHELLER, A. C. A.; MASUDA, Y.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELL, A. J. **Guia das Principais Variedades RB**. Araras: Universidade Federal de São Carlos, 1999. 15 p. (Boletim Técnico).

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolo do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 221-226, 1983a.

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Sensibilidade de extratores químicos à capacidade-tampão de fósforo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 243-249, 1983b.

BARBER, S. A. Soil plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, 1980. p 591-615.

BARNES, A. C. (Ed.). **The sugar cane**. New York: The New York Interscience Publishers, 1964. 456 p.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; CEZAR, V. R. S.; REIS, L. S.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R. Atributos dos solos influenciados por doses de fósforo em função da capacidade máxima de adsorção do fósforo, cultivados com milho (*Zea mays*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Recife. **Anais...** Viçosa: Sociendade Brasileira da Ciência do Solo, 2007. p. 198.

BEDIN, I. A. E.; RESENDE A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MENDONÇA, L. A.; VILELA, L. C. S. Fontes de fósforo e crescimento do milho em solos com

diferentes capacidade tampão de fosfato. **Ciência Agrotécnica**, Lavras. Edição Especial, p.1522-1531, dez, 2003.

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidade tampão de fosfato. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 27, p. 639-646, 2003.

BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I., PASSOS, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 233-241, 1998.

BERTONI, J. C.; BASTOS, A. R. R.; CARVALHO, J. G.; MIRANDA, J. R. P. Níveis críticos de fósforo para o arroz num solo de várzea inundado em condições de casa-de-vegetação. **Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2003.

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

BROGGI, F. Adsorção e disponibilidade de fósforo em solos com diferentes composições mineralógicas. 2004, 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2002. p. 218-224.

CARVALHO, M. M.; SARAIVA, O. F.; VERNEQUE, R. S. Níveis críticos externos e internos de fósforo de duas leguminosas tropicais em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 13, p. 311-314, 1989.

CASCUDO, L. C. **Sociologia do açúcar: pesquisa e dedução**. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool. Serviço de Documentação, 1971. 478 p. (Coleção canavieira, 5).

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DE CANA-

DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2000. p. 1-9.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas**: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendeneiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil. 2001. 138 p.

CATANI, R. A.; GARGANTINI, H. Extração de fósforo do solo pelo método Neubauer e por métodos químicos. **Bragantia**, Campinas, v. 13, p. 55-62, 1954.

CAVALCANTI, F. J. A. (Ed.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2ª aproximação)**. 2. ed. Recife: Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco, 1998. 198 p.

CLEMENTS, H. F. La absorcion y distribucción del fósforo en la planta de caña de azucar. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 5, n. 1, p. 3-25, 1955.

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação de manutenção da fertilidade do solo. Piracicaba: POTAFOS, 2005. 24 p. (Informações Agronômicas - Boletim Informativo, 111).

DILLEWIJN, C. Van. (Ed.). **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952, 371 p.
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 214p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ESPIRONELO, A.; GALLO, J. R.; LAVORONENTI, A.; IAGNE, T.; HIROCE, R. Efeitos da adubação NPK nos teores de macronutrientes das folhas de cana-de-açúcar (cana-soca.) **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, 1986.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. (Eds.). **Química de Suelos**: com ênfases en suelos de América Latina. San José: IICA, 1987. 420 p.

FERNANDES, A. J. (Ed.). **Manual da cana-de-açúcar**. 2. ed. São Paulo: Livro Ceres, 1990. 196 p.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A.; LIMA, J. M. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.769-778, 1998.

FERNÁNDEZ R. I. E. J. **Resersibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. 1995, 94f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

FERREIRA, D. A.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, M. H. S.; AGUIAR, C. T. Influência do pH na adsorção do fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Recife. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2007. p. 1-4.

FIGUEIREDO, P. D.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. (Boletim Técnico, 200). CD-ROM 6.

FIQUEIREDO FILHO, C. P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2002. p. 259-263.

FONSECA, D. M. **Níveis críticos em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa***. 1987. 146f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

FREIRE, F. J., **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 144f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

FREYRE, G. (Ed.). **Açúcar em torno da etnografia da história e da sociologia do doce no Nordeste canavieiro do Brasil**. 3. ed. Recife: Massangana, 1987. 213 p.

GOMES, G. (Ed.). **Engenho e arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar**. 2003, 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GONÇALVES, J. L. M. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 9, p.107-111, 1985.

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

HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, A. A. Caracterização de solos norte-rio grandenses quanto à adsorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n.10, p. 1279-1284, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA 97**: Sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=2&z=t&o=23&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1>>. Acesso em: 28 dez. 2007.

KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. Conventional soil tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, E. E.; SAMPLE, E. C.;

KAMPRATH, E. J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison : American Society of Agronomy, 1980. p.433-469.

KOFFLER, N. F.; LIMA, J. F. W. F.; LACERDA, M. F.; SANTANA, J. F.; SILVA, M. A. (Ed.). **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil: Pernambuco**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. 1986, 78 p.

KORNDORFER, G. H. **Fertilizantes fosfatados sólidos e fluidos na cana-de-açúcar**. 1990, 91 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1990.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana de açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994, v.1, p. 133-142.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. D. Avaliação de fontes de Silício para o arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA, 1999. p. 313-316.

KORNDÖRFER, G. H.; VIERA, G. G.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L. A. **Resposta da cana-planta a diferentes fontes de fósforo.** São Paulo: Copersucar, 1989. p. 31-37. (Boletim Técnico, 45).

LIMA FILHO, S. A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Doses e fontes de fosfatos em cana planta no Estado de São Paulo. **Saccharum**, Piracicaba, v. 5, p. 37-43, 1982.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W.T. Phosphorus sorption by some coconut-growing acid soil of Srilanka and its relationship to selected soil properties. *Journal of Science Food Agriculture*, v.31, p. 709-717, 1980.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendzeiro e oliveira.** Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1, p. 13-45.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. (Eds.). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Calibration of extractable phosphorus in soils for sugarcane in Alagoas, Brazil. In: CONGRESSO OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 16., 1978, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Impress, 1978. p.1283-1292.

MARINHO, M. L.; OLIVEIRA, C. C. Efeitos do P nativo e aplicados nos solos na decantação do caldo da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., 1980, Maceió. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil, 1980, p. 334-345.

MARTINS, N. G. S. M. **Os fosfatos na cana-de-açúcar.** 2004, 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MATSUOKA, S. The contribution of man-made varieties to the sugar cane industry in São Paulo. **Ciência e cultura**, São Paulo, v. 43, p. 282-289, 1991.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Eds.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 205-251.

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.

MENGEL, K.; KIRBY, E. A. (Eds.). **Principles of Plant Nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1982. 655 p.

MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, P. A.; TAVARES, V. B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-mombaça, capim-marandu e capim-andropogon em vasos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 2, p. 290-301, 2004.

MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J. A.; MIRANDA, J. C. C.; GOMES, A. C.; Calibração de métodos de análise de fósforo e resposta do feijão ao fósforo no sulco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1621-1627, 2002.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; VIRGENS FILHO, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ABREU, J. B. R. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos isotrópico, químico e biológico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 78-84, 1997.

MOURA FILHO, G. **Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzeas**. 1990. 76f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

MOURA FILHO, G.; ALMEIDA, A. C. S. ; SILVA, L. C.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. ; BARBOSA, G. V. S. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO ALAGOANO SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, 7., 2006. Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, STAB Leste, 2006. CD-ROM 1..

MUNIZ, A. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 237-243, 1985.

NAKAYAMA, L. H. I.; CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 183-190, 1998.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T. J. (Eds.). **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade de Viçosa, 1999, 399 p.

NOVELINO, J. O. **Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliadas pro extratores químicos e crescimento vegetal**. 1999. 70f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

O PROGRAMA Nacional do Álcool: uma história de sucesso. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, v. 4, n. 6, p. 8-11, 1986.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica dos nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, M. Disponibilidade de fósforo pelos extratores Mehlich-1, Bray, Olsen e Resina Trocadora de Íons em solos de áreas produtoras de melão do estado do Rio Grande do Norte. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.135-137.

OLSEN, E. R.; WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Longmuir isotherm. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 21, p. 144-149, 1957.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Análise química do solo e recomendações de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, p. 255-278, 1983. (PLANALSUCAR. Coleção, 2).

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO Jr., E. Diagnose foliar. In: Orlando Filho, J. (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983, p.125-152.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Efeitos da adubação fosfatada em cana planta. **Saccharum**, Piracicaba, v. 9, p. 38-42, 1980.

PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p.6-8, 2006.

RAIJ, B. Van. (Ed.). **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. Van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 1-9, 1978.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.

RAIJ, B. Van; CABALA – ROSANO, P; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil – apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. (Eds.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Embrapa – DID, 1982. p. 9-28.

RAIJ, B. Van; FEITOSA, C. T.; SILVA, N. M. da. Comparação de quatro extratores de fósforo de solos. **Bragantia**, Campinas, v.43, n.1, p.17-29, 1984.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indices as affected by liming. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, n.13, p.1267-1276, 1990.

RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C. RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 21-28, 2007.

REIN, A. T. Uso de eficiente dos fertilizantes fosfatados e sua solubilidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, ENCONTRO NACIONAL DA ROCHA FOSFÁTICA, 4., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1994. p. 101-125.

ROBINSON, J. S.; SYERS, J. K. Effects of solution calcium concentration and calcium sink size on the dissolution of Gafsa phosphate rock in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, n.3, p. 389-397, 1991.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C.W.A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

RODELLA, A. A.; MARTINS, M. Efeitos de fonte e formas de aplicação de fósforo na produtividade da cana-de-açúcar, em cana planta. **Álcool e açúcar**, São Paulo, v. 8, p. 26-32, 1988.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de Fósforo, Superfície Específica e Atributos Mineralógicos em Solos Desenvolvidos de Rochas Vulcânicas do Alto Paranaíba-Mg. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 953-964, 2004.

ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GIL, M. A.; SILVA, S. F. Eficiência agrônômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2002. p. 276-282.

ROSSI, C. **Crescimento e nutrição do braquiarião em Latossolo dos Campos das Vertentes (MG) sob influência da calagem e fonte de fósforo**. 1995. 65f. Dissertação – (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, F. B. R. Fertilidade dos solos do semi-árido do Nordeste. In: PEREIRA, J. P.; FARIA, C. M. B. (Eds.). **Fertilizantes: Insumos básicos para a agricultura e combate a fome**. Petrolina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p. 51-71.

SANYAL, S.K.; De DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v.16, p. 1-120, 1991.
SCHWERTMANN, W. The differentiation of iron oxide in soils by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.15, p. 194-201, 1964.

SILVA, E. M. B. **Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. Cv. Marandu em solos de referência de Pernambuco**. 2002, 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2002.

SILVA, E. M. B.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. G. B. S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 323-328, 2003.

SILVA, E. M. B.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Níveis Críticos de Fósforo para *Brachiaria brizantha* e Suas Relações

com Características Físicas e Químicas em Solos de Pernambuco. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 281-288, 2004.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. Van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVA, M. A.; NÓBREGA, J. C. A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em latossolos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, 2003.

SILVA, W. M.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C. Eficiência de extratores de fósforo em dois latossolos do Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2277-2285, 1999.

SILVA, L. C. Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de coruripe. 2007. Dissertação – (Mestrado), UFAL.

SILVEIRA, M. M. L. **Fracionamento seqüencial de fósforo em solos do semi-árido-nordestino**. 2000. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.

SIMÕES NETO, D. E.; DIAS, S. H. L.; STANFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. Avaliação de Biofertilizantes fosfatados e potássicos, com *Acidithiobacillus* em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em condições de cana-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 30., 2005. Recife. **Anais...** Viçosa: SIMÕES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. **Lançamento de novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 28p.

SINGH, R.; MULLER, M. R. F.; FERREIRA, W. A. Cinética de absorção de fósforo em solos dos trópicos úmicos da Amazônia. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p.227-231, 1983.

SOBRAL, A. F.; LIRA, L. J. A. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar no nordeste através da análise química do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DA Sociedade Brasileira da ciência do solo, 2005. CD-ROM 1.

SOUSA, C. E. S.; SILVA, M. O.; MELE, E.; FIGUEIRA, S. B.; FREIRE, M. B. G. S. Capacidade máxima de adsorção de fósforo em diferentes solos do Rio Grande do Norte. Recife: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 30., 2005. Recife. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira da ciência do solo, 2005. CD-ROM 1.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 975-983, 2006.

STEFANUTTI, R.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. Comportamento de extratores em solos tratados com fontes diversas de fósforo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 105-112, 1994.

UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. **UNICA**. Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2006. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/ação/cana.jsp>>. Acesso: em 12 dez. 2007.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, J. M. P. F.; PÉREZ, D. V.; ANJOS, L. H. C. Comparação Entre os Teores de Nutrientes Extraídos por Três Métodos em Amostras de Solos do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7 n. 2, p. 137-141, 2001.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C. Adsorção de Fósforo em Solos de Argila de Atividade Baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VARNHAGEN, F. A. (Ed.). **História geral do Brasil: antes da sua separação e independência de Portugal**. São Paulo: Melhoramentos, 1975. v. 5, 314 p.

WEBER, H.; BOLSANELLO, J.; AZEREDO, D. F. Doses e Fontes de Fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1993. p. 70-75.

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, 1986. p. 331-359.