

CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA

FOSFATO MONOAMÔNIO REVESTIDO COM POLÍMEROS NO PLANTIO DAS  
CULTURAS DE MILHO IRRIGADO E CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada a Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação  
em Agronomia, curso de doutorado em Agronomia, para  
obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA

FOSFATO MONOAMÔNIO REVESTIDO COM POLÍMEROS NO PLANTIO DAS  
CULTURAS DE MILHO IRRIGADO E CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada a Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação  
em Agronomia, curso de doutorado em Agronomia, para  
obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 04 de janeiro de 2012.

Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> Regina Maria Quintão Lana	UFU
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira	UFU
Prof. Dr. Evandro Binotto Fagan	UNIPAM
Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> Mônica Sartori de Camargo	APTA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S729f Souza, Carlos Henrique Eiterer de, 1972-  
2012 Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das  
culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar / Carlos Henrique  
Eiterer de Souza. -- 2012.  
82 f. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pro-  
grama de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Cultivo - Teses. 3. Cana-de-  
açúcar - Cultivo - Teses. 4. Milho - Nutrição - Teses. 5. Cana-de-  
açúcar - Nutrição - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953-  
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Gradua-  
ção em Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

*Dedico a meus pais, Maria Regina e Paulo,  
e a minha querida esposa, Vanessa.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, saúde, ciência, família maravilhosa que me deu, pelas pessoas e oportunidades que tem colocado em meu caminho;

Aos meus pais, Maria Regina e Paulo, por todo o carinho, incentivo, confiança, educação, paciência e oportunidades que me deram.

A minha esposa, Vanessinha, pelo companheirismo, amor, dedicação, cuidados e carinho dispensado.

A meus irmãos, Eduardo, Cláudia e Sandra, meu cunhado Firmino e minhas sobrinhas Marcela, Luana e Letícia, por todo o carinho e incentivo.

Aos meus sogros, Valter e Maria José, pela adoção como um filho, amor, carinho e atenção com os quais me tratam.

Ao Prof. Gaspar Korndörfer, meu orientador, por além da orientação, dividir experiências e oportunidades de vida e profissionais, pela confiança depositada, e por se tornar um grande amigo.

Ao colega e amigo, Prof. Evandro Binotto, pelo auxílio e sugestões durante a confecção do trabalho.

À Professora Regina Lana, pela amizade e incentivo durante todo o desenvolvimento do curso.

Aos meus alunos do Centro Universitário de Patos de Minas, principalmente os que voluntariamente trabalham no laboratório de análises de solos, Thiago Safatle, Igor Antônio, Elisângela, Cristiano, Vinícius, Pedro, Aline, Lucas e Fernanda.

Aos meus companheiros de viagem por curtos quatro anos, Vanessa, Ithamar, Lucas Mendes, Bruno Bernardes, Aquiles e Clauber.

À Professora Marli Ranal, pela atenção, ensinamentos de vida e acadêmicos compartilhados.

Aos colegas de curso, pela amizade e companheirismo durante as disciplinas cursadas e momentos de descontração.

A Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias, por permitirem a realização do doutorado, por todo o suporte e conhecimento proporcionado.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFU, Aparecida e Eduardo, por toda a atenção e apoio.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas, pelo apoio e ajuda na condução e análise dos experimentos.

Ao pessoal de campo das Usinas Guaíra, em nome de Rogério, e da usina WD, em nome de Marcos Paranhos, pelo zelo nas áreas experimentais, disponibilidade e atenção durante toda a condução dos experimentos.

A empresa Kimberlit Ltda., pelo fornecimento dos fertilizantes e apoio para o desenvolvimento dos experimentos.

Ao povo brasileiro, que, pelo pagamento de seus impostos, criou a oportunidade do desenvolvimento de minha formação em instituições federais que primam pela excelência de seu trabalho.

Aos mestres, pelo conhecimento e sabedoria que me foram transmitidos.

A todos os amigos e colegas da pós-graduação do ICIAG.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
CAPÍTULO I – Referencial Teórico .....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	2
1.2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	4
1.2.1 Aspectos gerais da cultura de milho .....	6
1.2.2 Aspectos gerais da cultura de cana-de-açúcar .....	6
1.2.3 Fertilizantes de liberação lenta ou controlada .....	9
1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPITULO II - Produtividade de milho irrigado em resposta à adubação com fosfato monoamônio revestido com polímeros em Carmo do Paranaíba, MG .....	21
RESUMO .....	22
ABSTRACT .....	23
2.1 INTRODUÇÃO.....	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
2.2.1 Área experimental .....	26
2.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e condução do experimento .....	26
2.2.3 Características avaliadas .....	27
2.2.3.1 Teor de fósforo foliar.....	27
2.2.3.2 Produtividade e Massa de 1000 grãos .....	27
2.2.3.3 Análises estatísticas .....	28
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
2.4 CONCLUSÕES.....	37
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
CAPÍTULO III - Fosfato monoamônio revestido com polímeros na cultura da cana-de-açúcar, cana planta na safra 2010/2011 .....	42
RESUMO .....	43
ABSTRACT .....	44
3.1 INTRODUÇÃO.....	45

3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	47
3.2.1 Locais dos experimentos .....	47
3.2.2 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos .....	47
3.2.3 Condução do experimento .....	47
3.2.4 Avaliações .....	49
3.2.4.1 Número de perfilhos .....	49
3.2.4.2 Análise foliar .....	49
3.2.4.3 Produtividade .....	50
3.2.4.4 Parâmetros de qualidade tecnológica .....	50
3.2.4.5 Análises estatísticas .....	50
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
3.3.1 Regime pluviométrico durante os cultivos .....	51
3.3.2 Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar nos experimentos .....	53
3.3.2.1 Perfilhamento .....	53
3.3.2.2 Teores foliares de P .....	55
3.3.2.3 Produtividade de colmos .....	60
3.3.2.4 Qualidade tecnológica das variedades de cana-de-açúcar .....	66
3.4 CONCLUSÕES .....	73
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1. Modelo ajustado para teor de fósforo foliar de plantas de milho híbrido, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio, média de com e sem polímeros.	31
2.2. Modelo ajustado para massa de 1000 grãos de milho híbrido, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio, média de com e sem revestimento polímeros.	33
2.3. Modelos ajustados para produtividade de milho híbrido, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), cultivado sob sistema plantio direto irrigado.	34
3.1. Distribuição pluviométrica nas áreas de cultivo de cana localizadas na usina Guaíra (A), em Guaíra (SP), e usina WD (B), em Varjão de Minas (MG), de agosto de 2009 a maio de 2011.	54
3.2. Modelo ajustado para número de perfilhos de cana-planta (RB85-5536) aos 90 dias, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ usina WD (média de fosfato monoamônio sem e com revestimento de sem polímeros).	54
3.3. Modelo ajustado para teor de P na folha +1 (TVD) de cana-planta (RB85-5453) com seis meses de idade, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio usina Guaíra (média de fosfato monoamônio sem e com revestimento de polímeros).	57
3.4. Modelos ajustados para teor de P na folha +1 (TVD) de cana-planta (RB85-5536) com seis meses de idade, em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL), Varjão de Minas (MG), 2011.	58
3.5. Modelo ajustado para produção de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) de cana-planta (RB85-5453), cultivada em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio, em Guaíra (SP) (média de fosfato monoamônio com e sem).	61
3.6. Modelos ajustados para produção de colmos ( $t\ ha^{-1}$ ) de cana-planta (RB85-5536), cultivadas em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio sem com (MAP) e com sem revestimento de polímero (POL), em Varjão de Minas (MG), 2011.	63
3.7. Modelos ajustados para o total de açúcar produzido ( $t\ ha^{-1}$ ) (RB85-5536), cultivadas em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio com sem (MAP) e com revestimento de polímero (POL), em Varjão de Minas (MG).	71

## LISTA DE TABELAS

	Página
2.1. Análise química de Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, sob cultivo de milho em Carmo do Paranaíba, MG, 2010.	27
2.2. Teores de fósforo foliar, massa de 1000 grãos, produtividade e índice de eficiência agrônômica (IEA) observados no milho em função da aplicação de doses fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).	31
3.1. Análises químicas dos solos de áreas comerciais nas usinas em que foram realizados dos experimentos com cana-de-açúcar cultivadas em função de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio com e sem revestimento de polímero, de out/2009 a maio/2011.	49
3.2. Descrição das características agrônômicas das variedades de cana cultivadas nos experimentos.	50
3.3. Valores médios de número de perfilhos de cana-planta com 90 dias de idade, variedade RB85-5453 usina Guaíra e variedade RB85-5536 usina WD, em função de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).	55
3.4. Teores de P foliar na folha +1 de cana-planta (TVD), com 8 meses de idade, variedade RB85-5453 usina Guaíra, município de Guaíra (SP) e variedade RB85-5536 usina WD, em Varjão de Minas (MG), em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), 2011.	
3.5. Produtividade de colmos de cana-planta, variedade RB85-5453 usina Guaíra, município de Guaíra (SP) e variedade RB85-5536 usina WD, em Varjão de Minas (MG), cultivadas em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), 2011.	61
3.6. Resultados das análises de qualidade tecnológicas da variedade RB85-5453 cultivada na usina Guaíra, município de Guaíra (SP), em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), de outubro de 2009 a maio de 2011.	68
3.7. Resultados das análises de qualidade tecnológicas da variedade RB85-5536 usina WD, Varjão de Minas (MG), em função da aplicação de doses de $P_2O_5$ utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), de outubro de 2009 a maio de 2011.	69

3.8. Coeficiente de correlação de Pearson (r) para produtividade de colmos (PROD), teor de P foliar (Pfoliar), e total de açúcar por hectare (TAH), para RB85-5536, cultivada em função de doses de  $P_2O_5$  utilizando fosfato monoamônio com e sem revestimento de polímeros em Varjão de Minas (MG). 72

## RESUMO

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar**. 2012. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

Em condições tropicais, o fósforo (P) é o nutriente mais limitante da produtividade nas culturas, principalmente devido ao seu baixo teor e alta fixação nos solos. Aliado a esse fato, é comum obter-se baixa eficiência no uso de fertilizantes fosfatados, que variam entre 20% e 30% de aproveitamento do nutriente pelas culturas. Assim, para a redução dos gastos com fertilizantes fosfatados e/ou elevar sua eficiência, como alternativa tem-se empregado o revestimento com polímeros, que permitem uma liberação lenta e gradativa do nutriente. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento das culturas de milho e cana-de-açúcar em função da aplicação de P via fosfato monoamônio revestido com polímeros em diferentes locais e sistemas de cultivo, em relação a parâmetros nutricionais, quantitativos e qualitativos envolvidos na produtividade. O experimento com a cultura de milho foi realizado em área sob irrigação por aspersão sob plantio direto, enquanto os experimentos com a cana-de-açúcar ocorreram em áreas comerciais de primeiro ano localizadas em duas usinas, Guaíra, em Guaíra (SP) e WD, em Varjão de Minas (MG). Todos os experimentos foram instalados com delineamento em blocos casualizados com fatorial 4x2 + 1 (controle sem a aplicação de P). Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de P (50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicadas com fosfato monoamônio com e sem revestimento por polímeros. As informações geradas indicam que a tecnologia é promissora e que há carência de conhecimento básico sobre o comportamento dos polímeros nos diferentes ambientes produtivos. Pode-se concluir no experimento com milho que a fonte revestida com polímeros apresentou maior índice de eficiência agrônômica, propiciando aumento de produtividade da cultura. Em relação aos experimentos com a cana-de-açúcar, não houve diferença entre as fontes na usina Guaíra (SP). E na usina WD, a fonte revestida propiciou aumento na produtividade de colmos e total de açúcar produzido por unidade de área. Nesse experimento, os modelos gerados apresentaram correlação direta entre produtividade colmos, produtividade de açúcar e teores foliares de P.

**Palavras chave:** eficiência de fertilizantes, *Zea mays*, *Saccharum officinarum*

---

<sup>1</sup>Orientador Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

## ABSTRACT

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Polymer covered monoammonium phosphate in the crops of irrigated maize and sugarcane**. 2012. 82 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

Phosphorus (P) is the most limiting nutrient, in tropical conditions, for crop yield, mostly due to its low contents and high fixation in soils. Moreover, it is common to observe low efficacy of phosphate fertilizers, with plant absorption varying from 20% to 30%. Therefore, the reduction of phosphate fertilizers expenses and, or, increasing its efficacy, coverage of fertilizers with polymers that allow a slow and gradual release of the nutrient has been used as an alternative. Thus, this study evaluated the development of maize and sugar-cane as a function of P application as polymer covered monoammonium phosphate, in different locations and cropping systems, in relation to quantitative and qualitative nutritional parameters of yield. The experiment with maize was done in a no tillage irrigated area, while experiments with sugar-cane were done in first year commercial areas of two mills, Guaíra, in Guaíra (SP) and WD, in Varjão de Minas (MG). All experiment designs were randomized blocks as a 4x2 + 1 factorial (control with no P fertilization). Treatments consisted of four P doses (50, 100, 150 and 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) applied as monoammonium phosphate with or without polymer covering. The information generated indicated that the technology is promising and that there is a lack of basic knowledge about the behavior of polymers in different production environments. In can be concluded in the maize experiment that the polymer covered source had greater agricultural efficacy, allowing an increase in crop yield. No significant differences between the sources were found in the sugar-cane experiment at Guaíra (SP). In contrast, at the mill WD, the covered source resulted in increases in stalk and total sugar yield by unit area. In this experiment, the models generated presented direct correlation between stalk yield, sugar yield and P leaf contents.

**Keywords:** fertilizer efficacy, *Zea mays*, *Saccharum officinarum*

---

<sup>1</sup> Supervisor: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

# **CAPITULO I**

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

## 1.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a atividade agrícola tem sofrido profundas modificações em razão do aumento do custo de produção, com reflexos na rentabilidade da cultura. A fertilização das lavouras é reconhecidamente o fator que mais afeta a produtividade e a sustentabilidade da atividade, de modo que o consumo de adubo no país tem crescido acentuadamente nos últimos anos, principalmente em função do aumento de produtividade por unidade de área.

Atualmente, o Brasil possui o quarto maior mercado mundial de fertilizantes (REIS et al., 2010). No entanto, em relação a estes, o Brasil é um “tomador de preços”, pois as importações representam 74% do suprimento de fertilizantes (75% do nitrogênio, 51% do P e 92% do potássio). Outro agravante é a baixa eficiência do uso desses nutrientes: em média nas lavouras brasileiras, percentualmente, a eficiência do uso de N, P, e K é de 60%, 30% e 70%, respectivamente (SOUZA; LOBATO, 2004).

Em condições tropicais, diferentes autores têm relatado o P como o nutriente mais limitante da produtividade em diversas culturas (NOVAIS; SMYTH, 1999; BASTOS et al., 2008; BENEDITO et al., 2010; SANTOS et al., 2011). Esse fato é explicado pela carência de P nos solos, tanto em consequência do material de origem quanto da forte interação do P com o solo (RAIJ, 1991): menos de 0,1% desse nutriente encontra-se na solução do solo (FARDEAU, 1996).

Mesmo absorvido em menores quantidades, se comparado ao nitrogênio e ao potássio, o P exerce função chave no metabolismo das plantas, uma vez que tem atividade em processos como formação de proteínas, divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, respiração e fornecimento de energia (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Marschner (1995), o nutriente é indispensável para o completo ciclo das plantas, influenciando de modo particular o crescimento de raízes. Assim, é importante na formação do estande de plantas, posteriormente no suprimento iônico e hídrico, e no metabolismo envolvido nos fatores de produção, como enchimento de grãos e armazenamento de compostos de reserva nas plantas (KORNDÖRFER, 2004).

Em solos tropicais, principalmente os sob Cerrado, geralmente as doses de P recomendadas são altas, em função da baixa eficiência dos fertilizantes, que varia entre 20% e 35% de aproveitamento desse nutriente pelas culturas (FINCK, 1992; NOVAIS; SMYTH, 1999; SOUSA; LOBATTO, 2002; NICOLINI, 2009; TRENKEL, 2010). Isso decorre da alta capacidade de fixação do P adicionado ao solo através de mecanismos de

adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (NOVAIS et al., 2007). Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de P pela cultura. Plantas de intenso desenvolvimento, de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de P em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes (SOUSA; LOBATO, 2004).

Alternativas tecnológicas têm sido buscadas para que seja possível reduzir os gastos com fertilizantes fosfatados e/ou elevar a eficiência das fontes utilizadas. Nesse intuito, atualmente têm-se empregado fontes revestidas com polímeros, os quais são denominados de liberação lenta e gradativa de P (TRENKEL, 2010).

Em suma, o objetivo dos fertilizantes de liberação lenta é fornecer os nutrientes gradualmente às plantas. Assim, requerem menor frequência de aplicação, diminuindo os gastos com mão de obra para o parcelamento, evitam injúrias às sementes e raízes decorrentes de aplicações excessivas, e são pouco suscetíveis a perdas, minimizando os riscos de poluição ambiental (KHALAF; KOO, 1983; SHAVIV, 2001; OLIVEIRA; SCIVITTARO, 2002).

Pesquisas vêm sendo realizadas visando observar a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados revestidos com polímeros. Alguns trabalhos têm apresentado resultados conflitantes. Existem relatos da maior eficiência das fontes revestidas em culturas como soja (*Glycine max*), algodão (*Gossypium sp.*) (TINDALL, 2007; GUARESCHI, et al., 2011), e milho (*Zea mays*) (TINDALL, 2007; RIBEIRO et al., 2011). Outros autores não observaram diferenças entre fontes convencionais e revestidas em feijão (*Phaseolus vulgaris*) e milho (VALDERRAMA et al. 2009; 2011; BRACCINI, et al., 1999).

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento das culturas de milho e cana-de-açúcar em função da aplicação de P via fosfato monoamônio revestido com polímeros em diferentes locais e sistemas de cultivo, em relação a parâmetros nutricionais, quantitativos e qualitativos envolvidos na produtividade das culturas.

## 1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.2.1 Aspectos gerais da cultura do milho

O milho é uma das mais importantes culturas do mundo. O Brasil é o terceiro no *ranking* mundial de área colhida de grãos, colhendo em média 12 milhões de hectares a cada safra, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China. De acordo com a CONAB (2011), o milho figura como uma das mais importantes culturas agrícolas do país, tendo relevante papel na agricultura nacional. Estão previstas para a safra 2010/2011 produção de 55,61 milhões de toneladas, originada pela soma de 33,87 milhões de toneladas da primeira safra, com 21,84 milhões de toneladas da safrinha. Dentro do contexto da agricultura brasileira, o cultivo do milho representa importante papel socioeconômico, principalmente na alimentação das populações de baixa renda, cujo consumo é estimado na ordem de 18 kg *per capita* ano (CONAB, 2011).

O seu cultivo ganha em importância, uma vez que pode ser utilizado como base na alimentação humana e de animais, bem como na indústria para a produção de amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos notórios. De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho para a produção animal brasileira pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido no país para consumo na forma de ração.

De acordo com Carvalho et al. (2004), no Brasil, a cultura do milho possui alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. No entanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, uma vez que a média da produtividade brasileira varia em torno de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de grãos (BASTOS et al., 2010).

É cultivado em praticamente todo o território, sendo que 90% da produção concentraram-se nas regiões Sul (43% da produção), Sudeste (25% da produção) e Centro-Oeste (22% da produção). A participação dessas regiões em área plantada e produção vem se alterando ao longo dos anos. A baixa produtividade média de milho no Brasil (3.175 kg ha<sup>-1</sup>) não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos produtores voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões em lavouras com diferentes sistemas de cultivos e finalidades (EMBRAPA, 2008).

Na região do Cerrado, têm-se alcançado elevadas médias de produtividade, apesar de o solo apresentar na maioria das vezes, em sua solução, baixos teores de P e cátions, e elevados teores de  $Al^{3+}$  e acidez. Assim, a alta produtividade se deve principalmente à tecnologia empregada em maquinários, insumos e sementes.

A baixa fertilidade do solo de Cerrado é bastante conhecida, especialmente no que concerne à sua baixa disponibilidade de P e alta capacidade de fixação desse nutriente (FAGERIA, 1998). Grande parte dos solos das regiões tropicais e subtropicais é caracterizada pela baixa disponibilidade de P, cuja correção, normalmente, se faz pela adição de altas doses de fertilizantes fosfatados, solução geralmente insatisfatória econômica e ambientalmente (FIDELIS et al., 2009).

Resende et al. (2006) relataram que a produção em larga escala de milho e de outros grãos no Cerrado somente tornou-se viável com o desenvolvimento de tecnologias de melhoria da fertilidade dos solos da região. O requerimento de grandes quantidades de fosfato na correção da fertilidade desses solos e a ausência de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no país, associados ao elevado custo dos fertilizantes, justificam estudos para otimizar a eficiência no uso de adubos fosfatados. A forma de utilização dos fertilizantes, as características da planta cultivada e as condições climáticas exercem papel regulador das respostas em produção.

Em sistemas de produção em que se emprega grande capital e alta tecnologia, de acordo com Coelho e Alves (2003), os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40% a 45% do custo de produção de milho. Sousa et al. (2002) citaram que os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento. No entanto, o manejo da fertilidade do solo em relação ao P deve ser planejado numa perspectiva de longo prazo, uma vez que o custo da adubação e as respostas em produtividade estão sujeitos a muitas incertezas e podem variar de um ano para outro (FIXEN; HALVORSON, 1991; REETZ JUNIOR; FIXEN, 1992; SOUSA; LOBATO, 2003; RESENDE et al., 2006). Um aspecto importante é que a relação benefício/custo do uso de fosfatos pode diferir muito, quando se considera a produção obtida no ano da aplicação ou a produção acumulada de vários cultivos.

Embora as exigências do milho em P sejam em quantidades bem menores que as em N e K, as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência (20% a 30%) de aproveitamento do nutriente pela cultura (FANCELLI, 2004)

decorrente da alta capacidade de adsorção do P adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas (CORRÊA et al., 2008). Outro fator que deve ser levado em conta é a demanda de P pelo milho, pois se trata de uma planta de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, que requer maior nível de P em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas de culturas perenes (BASTOS et al., 2010).

### **1.2.2 Aspectos gerais da cultura da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, é uma planta pertencente à família Poaceae e à classe monocotiledônea. As principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) e as variedades cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos multiespecíficos. As principais características dessa família são a inflorescência em forma de espiga, o crescimento do caule em colmos, as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e a bainha aberta. A planta na forma nativa é perene, de hábito ereto e levemente decumbente na fase inicial do desenvolvimento (GLAZ et al., 2002).

A cana-de-açúcar foi uma das primeiras culturas agrícolas a ser produzida no Brasil, sendo introduzida no ano de 1502. O primeiro engenho foi criado em 1533 por Martin Afonso de Souza na capitania de São Vicente. Com condições climáticas e pedológicas favoráveis, os engenhos se expandiram pelo litoral do país, tornando-o, em pouco mais de cinquenta anos, o maior produtor mundial de açúcar proveniente dessa cultura (BRITO et al., 2009; CRUZ et al., 2009; SILVA et al., 2009; CAIONE et al., 2011). De acordo com Paranhos (1987), ao final do século XX, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, em função do Proálcool, em 1975 (CAPONE et al., 2011).

A procura de combustíveis de fontes renováveis e não poluentes em substituição aos combustíveis fósseis abre um novo mercado para a produção de álcool derivado da cana-de-açúcar, em função da alta produtividade e baixo custo de produção, comparado com a produção de álcool de milho, beterraba e outros vegetais (RODRIGUES, 2004).

Para Caputo et al. (2008), a importância da cana-de-açúcar é decorrente de sua múltipla utilidade, sendo empregada *in natura*, sob a forma de forragem, para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de rapadura, melado, aguardente, açúcar e álcool. Seus resíduos também possuem grande importância econômica: o vinhoto e a torta de filtro são transformados em adubo e o bagaço, em combustível.

Segundo Brito (2006), o Brasil desponta como um dos países com grande potencial para oferecer ao mundo essa nova alternativa energética, apesar do atraso decorrente da descontinuidade nos investimentos em projetos dessa natureza. Nesse aspecto, o álcool combustível produzido a partir da cana-de-açúcar é uma dessas alternativas. De acordo com esse autor, o surgimento de veículos bicompostíveis e a redução dos subsídios nos países europeus no final do ano de 2005 criaram uma expectativa bastante animadora para o setor.

A cana-de-açúcar, devido a seu metabolismo fotossintético  $C_4$ , é adaptada às condições climáticas brasileiras e, em maiores temperaturas ( $30^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ ), apresenta alto desempenho fotossintético, quando comparada a plantas  $C_3$ . De acordo com Taiz e Zeiger (2004), plantas com metabolismo  $C_4$  necessitam de concentrações menores de  $\text{CO}_2$ , devido aos mecanismos da planta que tem a função de concentração de  $\text{CO}_2$ . Portanto, sob condições tropicais, haveria um crescimento mais rápido para a cana-de-açúcar, como pode ser observado entre os meses de outubro e maio (MACHADO et al., 1982). Em relação às exigências climáticas, a cultura da cana-de-açúcar apresenta particularidades como: nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento vegetativo (1º período do ciclo da cultura), a cultura é exigente em umidade e temperatura; na fase de maturação (2º período do ciclo da cultura), exige período seco e/ou baixas temperaturas, para que passe da fase vegetativa para a fase reprodutiva, entrando em repouso vegetativo, priorizando o acúmulo de sacarose nos colmos, que é sua substância de reserva (ANDRADE; CARDOSO, 2004).

A cana-de-açúcar é considerada uma cultura de elevada capacidade de extração de nutrientes do solo. Resultados de diversos trabalhos têm indicado uma razoável variação na quantidade de nutrientes extraídos, que é dependente de diversos fatores, entre eles: solo, variedade e condições climáticas. Assim, para a formação de 1,0 t de colmos, a literatura tem indicado variações de 0,9 a 1,32 kg de N; 0,20 a 0,69 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 1,2 a 1,8 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ ; 0,70 a 0,95 de CaO; 0,56 a 0,86 de MgO e 0,30 a 0,36 kg de S (PRADO et al., 2002).

Segundo Vitti et al. (2005), apesar de comparativamente a absorção de P ser menor que a de nitrogênio, potássio e demais macronutrientes, sua função metabólica é extremamente importante, uma vez que é o grande responsável pelo equilíbrio de energia na planta. O nutriente tem atividade em processos como formação de proteínas, divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, respiração e fornecimento de energia (TAIZ; ZEIGER, 2007). Segundo Marschner (1995), o elemento é

indispensável para o completo ciclo das plantas, influenciando de modo particular o crescimento de raízes.

Para Santos et al. (2009), o P assume grande importância no enraizamento e no perfilhamento da cana-de-açúcar e, portanto, na produtividade final e no rendimento de açúcar. Além dos benefícios no campo, a adubação fosfatada também é de grande importância na qualidade, influenciando a porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%) e pureza de caldo (SIMÕES NETO et al., 2009). A qualidade da matéria-prima é definida como o conjunto de características que a cana-de-açúcar deve apresentar, atendendo às exigências da indústria, por ocasião do processamento, em especial o teor de sacarose e a fibra industrial (MOURA et al., 2005).

Segundo Korndorfer (2004), a presença de P no caldo exerce papel fundamental no processo de clarificação. Caldos contendo baixos teores de  $P_2O_5$  são de difícil floculação e, nesse caso, a decantação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila) é dificultada. Caldo turvo e de coloração intensa implica a produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

A deficiência de P também é problemática, pois reduz a absorção de nitrogênio e dificulta a clarificação do caldo durante a fabricação do açúcar (MAHADEVAIAH et al., 2001). Isso eleva o custo de fabricação, em virtude da necessidade de adição de fosfatos solúveis para atingir o teor ideal de  $P_2O_5$ , que é fundamental para uma clarificação eficiente.

Nesse contexto, para aumentar a produção da cana-de-açúcar e a competitividade do setor sucroalcooleiro, é necessário controlar os fatores produtivos como, por exemplo, o adequado fornecimento de nutrientes para atender as exigências nutricionais da cultura, pois eles podem limitar o crescimento e produção vegetal.

### **1.2.3 Fertilizantes de liberação lenta ou controlada**

Fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos elementos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos.

De acordo com Trenkel (2010), a principal diferença entre os fertilizantes convencionais e os de liberação lenta ou controlada é que, enquanto fertilizantes convencionais têm sua reação no solo e disponibilização de nutrientes totalmente dependente do solo e condições climáticas que não podem ser previstas, os de liberação

controlada permitem previsão, dentro de certos limites, do padrão de liberação dos nutrientes, da quantidade e do tempo.

Conforme Kloth (1996), citado por Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização (CEN) para fertilizantes de liberação lenta (Slow-Release-Fertilizer) propôs que:

- i* Liberação: A transformação de uma substância química em uma forma disponível para as plantas (por exemplo, dissolução, hidrólise, degradação etc);
- ii* Liberação lenta: A taxa de liberação de um nutriente do fertilizante deve ser mais lenta do que a partir de um fertilizante em que o nutriente está prontamente disponível para absorção pelas plantas. Por exemplo, para um fertilizante nitrogenado de liberação lenta, a liberação, de acordo com a taxa de resposta da planta, deve ser menor do que a partir de uma aplicação de ureia, ou amônio, ou solução de nitrato;

Proposta: Um fertilizante pode ser descrito como de liberação lenta se o nutriente ou nutrientes declarados como de liberação lenta se encontram sob condições definidas, incluindo temperatura de 25°C, a partir dos três critérios seguintes:

- i* não mais de 15% liberados em 24 horas,
- ii* não mais de 75% liberados em 28 dias,
- iii* pelo menos cerca de 75% liberados no tempo de liberação declarado.

Os estudos de liberação controlada, inicialmente desenvolvidos para os estudos de fármacos, foram utilizados também para insumos agrícolas (fertilizantes, nutrientes, herbicidas) baseando-se nos mesmos princípios anteriormente adotados para os fármacos. Nesse caso, o revestimento à base de polímeros deve apresentar biodegradabilidade e dimensões bem pequenas (escala milimétrica) para evitar variações significativas de volume do solo, fato muito comum quando polímeros convencionais são depositados no solo devido a efeitos de contração/expansão do polímero (SHAVIT et al., 1997; LEAD et al., 2003; GUO et al., 2005).

Um polímero é uma macromolécula formada pela repetição de pequenas e simples unidades químicas (monômeros), ligadas covalentemente. Se somente uma espécie de monômero está presente na estrutura do polímero, este é chamado de homopolímero. Se espécies diferentes de monômeros são empregadas, o polímero recebe a denominação de copolímero. Os polímeros são produzidos sinteticamente através da reação de polimerização de seus monômeros (QMCWEB, 2010).

Segundo Trenkel (1997), o processo de encapsulação influi diretamente no

mecanismo e na intensidade do processo de liberação. A espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo de fertilizante também contribuem para determinar a curva de liberação de nutrientes ao longo do tempo.

Conforme citado por Aouada (2008), Magalhães (2009) e Zavaschi (2010), nos fertilizantes revestidos com polímeros, usam-se membranas impermeáveis ou semipermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres, resinas). A maior parte dos polímeros decompõe-se muito lentamente. A tecnologia de fabricação varia muito entre empresas, relativamente ao material utilizado no revestimento (tipo de polímero) e à técnica de revestimento. A liberação de nutrientes fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana à água (TRENKEL, 1997). No entanto, é possível que o alto custo em relação ao fertilizante convencional (sem revestimento) possa restringir ou dificultar seu uso em larga escala (TRENKEL, 1997; CANTARELA, 2007; TRENKEL, 2007; ZAVASHI, 2010).

Segundo Vieira e Texeira (2004), fertilizantes revestidos por polímeros, comparados a fertilizantes sem revestimento, não diferem quanto à época de aplicação. As diferenças ocorrem quanto à eficiência da adubação, pois fertilizantes com polímeros conferem menores perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação, possibilitando a redução na dose aplicada (ZAHRANI, 2000). A maior eficiência é proporcionada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros, os quais, ao absorverem água do solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas, gradativamente liberados por meio da estrutura porosa na zona da raiz, de acordo com a necessidade das plantas (SHAVIV, 1999; TOMASZEWSKA et al., 2002).

Nos fertilizantes de liberação lenta, os nutrientes são encapsulados por resinas especiais e são liberados mais lentamente, propiciando uma disponibilidade contínua destes para as plantas. Ao absorver os nutrientes, as raízes causam uma depleção na concentração dos nutrientes, nas proximidades da zona radicular, induzindo um sistema de liberação de nutrientes por osmose (TOMASZEWSKA et al., 2002). Outra forma de encapsulamento dos fertilizantes é feita por hidrogéis como veículos carreadores para liberação controlada (SHAVIV, 2001), pois estes liberam água e nutrientes paulatinamente, retardando sua presença no solo. Essas características podem ser atribuídas ao fato de que a presença de hidrogel pode modificar propriedades físicas adversas do solo, como baixa capacidade de retenção de água e excessiva permeabilidade (AOUADA et al., 2008).

Revestimentos de polímero podem ser tanto as membranas semipermeáveis ou impermeáveis com minúsculos poros. Os principais problemas na produção de polímero revestindo fertilizantes são as escolhas do material de revestimento e o processo utilizado para aplicá-la. A liberação do nutriente através de uma membrana de polímero não é significativamente afetada pelas propriedades do solo, tais como pH, salinidade, textura, atividade microbiana, potencial redox, força iônica da solução do solo, mas sim pela temperatura e umidade e permeabilidade do revestimento de polímero. Assim, é possível prever a liberação de nutrientes a partir do revestimento de polímero dos fertilizantes para um determinado período de tempo (TRENKEL, 2010).

Diferentes estudos têm mostrado os efeitos positivos do uso de fertilizantes de liberação lenta, liberação controlada, adubos estabilizados e inibidores da nitrificação e da hidrólise da ureia no aumento da produtividade das culturas e na redução da contaminação ambiental.

De acordo com Hauck (1985), a liberação do nutriente em fertilizante revestido por resina alquídica (Osmocoat<sup>®</sup>) segue a água que entra pelos poros microscópicos no revestimento. Isso aumenta a pressão osmótica dentro do poro, que é ampliada, e os nutrientes são liberados através dos microporos, característica que torna possível o controle a taxa de liberação ao longo do tempo. O uso de poliuretano como revestimento também propicia uma boa taxa de controle sobre a duração da liberação (TRENKEL, 2010).

Os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e ureia-aldeídos, são normalmente designados comercialmente como adubos de liberação lenta (*slow release fertilisers*). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de adubos de liberação controlada (*coated or encapsulated controled release fertilisers*) (TRENKEL, 1997; TRENKEL, 2007). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de naturezas diversas são designados de fertilizantes de liberação controlada (*controlled release fertilizer*) (TRENKEL, 1997; ZAVASCHI, 2010).

Para Magalhães (2009), os fertilizantes de liberação lenta são produtos de baixa solubilidade que resultam da condensação da ureia, como o Basacoat<sup>®</sup>. A ureia-formaldeído é uma das formulações mais importantes. Resulta da reação do formaldeído com excesso de ureia, da qual resulta uma mistura de metileno-ureias com polímeros de cadeia longa (formam-se várias moléculas com cadeias de diferentes comprimentos). Parte é solúvel em água e fica rapidamente disponível. Outra parte é libertada de forma

gradual por um período mais longo. O processo de liberação dos nutrientes fica dependente da degradação microbiana e indiretamente da temperatura, umidade, pH e oxigênio. Outra formulação importante é isobutilideno-diureia (IBDU). Resulta da reação de condensação de isobutiraldeído (isobutilideno) líquido com ureia, com formação de um precipitado, formado por uma única molécula, a IBDU.

Zavaschi (2011) informou que a aplicação de ureia revestida com polímeros, não reduziu significativamente as perdas de amônia por volatilização, e os teores de amônio e nitrato no solo. Não houve diferença significativa na produtividade de grãos de milho, entre os tratamentos fertilizados com 90, 67,5 e 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, usando ureia com e sem revestimento. Nos tratamentos com aplicação dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N e uso de ureia revestida, houve diferença significativa na produção de grãos de milho em relação ao tratamento controle. A aplicação da dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N do fertilizante revestido proporcionou o menor custo de produção de grãos em relação aos tratamentos que receberam adubação de N em cobertura.

Civardi et al. (2011), utilizando como fontes de N a ureia com e sem revestimento, observaram que a forma de aplicação, a dose e a fonte da ureia utilizada em cobertura no milho tiveram efeito significativo sobre o rendimento de grãos. A maior produtividade de grãos foi obtida com a ureia incorporada, seguida de maior dose (49,44 kg ha<sup>-1</sup>) de ureia polimerizada em superfície. Esse autor também observou que, em relação ao valor recebido e o valor do investimento, a ureia incorporada foi superior a ambos os tratamentos com ureia revestida aplicada em superfície.

Grohs et al. (2011) relataram que a utilização da ureia revestida com B e Cu retarda e reduz as perdas de N por volatilização de amônia em comparação com a ureia convencional, estando sua eficiência associada às condições do solo e do clima, influenciadas pelo sistema de cultivo do arroz (*Oryza sativa*).

Magalhães (2009) relatou, em estudo com a aplicação de fertilizantes nitrogenados revestidos em gramados municipais, maior produção de biomassa inicial com fertilizantes que disponibilizaram nitrogênio na fase inicial do ciclo, como Nitroteck<sup>®</sup> e Floranid<sup>®</sup>. O Basacote<sup>®</sup> apresentou disponibilização de N tardia, levando ao retardamento do crescimento de gramados.

Mendonça et al. (2007) observaram que a utilização de fertilizante nitrogenado de liberação lenta, com dose de até 6,0 kg m<sup>-3</sup> de N no substrato, garantiu melhor qualidade na formação e no desenvolvimento das mudas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*), quando avaliados altura das mudas, diâmetro do colmo,

comprimento de raiz e número de folhas. O fertilizante também proporcionou efeitos positivos nas variáveis matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total.

Conforme citado por Ferreira (2010), o revestimento do P (fosfato monoamônio, super fosfato triplo, super fosfato simples) é realizado com três camadas de aditivos especiais que envolvem os grânulos dos fertilizantes, e que na última camada é adicionado um corante para diferenciar do convencional. Os aditivos que revestem a ureia são diferentes dos aditivos que revestem o fosfato monoamônio, pois as perdas são diferentes. Nesse sentido, esse revestimento possibilitará uma liberação gradativa ou controlada dos nutrientes contidos no grânulo, reduzindo assim as perdas por fixação (FERREIRA, 2010).

Ainda segundo Ferreira (2010), uma vez em contato com o solo, o Kimcoat P<sup>®</sup> (fosfato monoamônio ou superfosfato triplo) é hidratado pela água presente no solo, que se desloca do meio menos para o meio mais concentrado e em seguida o soluto se desloca do meio mais para o meio menos concentrado até saturar a solução do solo. Após a saturação, cessa a liberação de soluto até que haja absorção desses nutrientes pelas plantas e haja um novo equilíbrio químico na solução do solo. Dessa forma, o sistema radicular se desenvolve e ainda encontra P disponível na solução, aumentando assim sua eficiência de aproveitamento pelas plantas (FERREIRA, 2010).

Segundo Tindall (2007), pesquisas vêm sendo realizadas visando observar a eficiência do uso de fertilizantes de liberação lenta. Na cultura da soja, na região de Cerrado na safra 2006/2007, foi comprovada uma redução do custo de adubação de 36,5% com o uso de MAP polimerizado. Para o milho, somando-se a adubação de plantio e cobertura, a economia com adubos chegou a 37,15%. Em algodão, em caso semelhante à cultura de milho citada, a economia na adubação foi de 38,9%, em função da maior eficiência do fertilizante e da redução da dose aplicada (TINDALL, 2007).

Guareschi et al. (2011) relatou que houve resposta à aplicação da adubação com P e K na produção de massa fresca e produtividade de soja, quando aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (50%) e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (100%) em duas épocas de aplicação (na semeadura e 15 dias antes da semeadura). A aplicação a lanço 15 dias antecipados à semeadura por meio de fertilizantes revestidos por polímeros conferiu maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos de soja em relação aos fertilizantes convencionais. Quando aplicados por ocasião da semeadura, os fertilizantes convencionais e os revestidos por

polímeros proporcionam mesma produção de massa seca e produtividade de grãos de soja.

Serrano et al. (2010) verificaram que as interações entre os genótipos de mamoeiro (*Carica papaya*) e as doses do adubo de liberação lenta foram positivas, quando utilizada a fórmula NPK (Mg) 13-06-16 (1,4) com micronutrientes, e observaram que as mudas dos híbridos ‘Tainung 01’ e ‘Calimosa’ obtiveram os maiores valores de altura, diâmetro do caule e massas secas da parte aérea, do sistema radicular e total. Os autores ainda relataram que o aumento das doses do adubo de liberação lenta proporcionou incrementos lineares nos teores de N e K, em todos os genótipos de mamoeiro avaliados.

Valderrama et al. (2011), em estudo com aplicação de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos em milho, relataram que os fertilizantes revestidos por polímeros (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) não foram eficientes nas condições edafoclimáticas estudadas, pois proporcionaram resultados semelhantes aos mesmos fertilizantes convencionais, para os teores foliares de N, P e K, componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado. O incremento das doses de N aumentou, linearmente, o teor de N foliar, número de espigas por hectare e produtividade de grãos de milho, independentemente da fonte de N. A adubação fosfatada e a potássica, isoladamente, não influenciaram na produtividade de grãos de milho sob sistema plantio direto na região de Cerrado.

Contudo, ainda há carência de estudos sobre a dinâmica de reação dos diferentes compostos utilizados como revestimento em fertilizantes nos solos. O mesmo se verifica para o comportamento sob diferentes sistemas de manejo, culturas e características químicas, físicas e mineralógicas dos solos (pH, níveis de fertilidade, teor de matéria orgânica, textura, temperatura e umidade).

## REFERÊNCIAS

- ABIMILHO – Associação Brasileira das Indústrias Moageiras de Milho. **Milho: o cereal que enriquece a alimentação humana**. Dezembro/2002. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br>>. Acesso em 10 abr. 2011.
- ANDRADE, A. L. B.; CARDOSO, M. B. **Cultura da cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.
- AOUADA, F. A.; et al. Síntese de hidrogéis e cinética de liberação de amônio e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1643-1649, 2008.
- AOUADA, F.A. **Síntese e caracterização de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose para liberação controlada de pesticidas**. 2009. 124f. (Doutorado em Físico-química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- BASTOS, A. L.; et al. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.136-142, 2008.
- BASTOS, A.L.; et al. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.485–491, 2010.
- BENEDITO, D. S.; et al. Eficiência agrônômica de compostos organominerais obtidos pelo Processo Humifert. **Bragantia**, Campinas, v.69, p.191-199, 2010.
- BRACCINI, M.C.L.; et al. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de Osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. **Acta Scientiarum**. Maringá, 21. v.3, p.497-503, 1999.
- BRITO, A. S. **Balço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.
- CAIONE, G.; et al. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R.F., et al., **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CAPONE, A.; et al. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v.2, n.3, p 70-78, 2011.
- CAPUTO, M.M.; et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.15-23, 2008.
- CARVALHO, M.A.C.; et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.1, p.47-53, 2004.

CESAR, M.A.A.; et al. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.5, n.5/6, p.32-38, 1987.

CIVARDI, E. A.; et al. Uréia e liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.52-59, 2011.

COELHO, A.M.; ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Anais...** Piracicaba, Potafos/Anda, 31p, 2003. (CD-ROM)

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_04\\_07\\_11\\_02\\_42\\_boletim\\_abril-2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011..pdf)>. Acesso em 21 mai. 2011.

CORRÊA, R.M.; et al. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, p.218-224, 2008.

CRUZ, S.J.S.; et al. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.110-116, 2009.

EMBRAPA. **Embrapa Milho e Sorgo**; EMBRAPA, 2008. Disponível em <<http://www.cnpms.embrapa.br>>. Acesso em: 12 mar. 2011.

FAGERIA, N. K. Eficiência de uso de fósforo pelos genótipos de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p. 128-131, 1998.

FANCELLI, A.L. **Fenologia do milho**. <<http://www.faeg.com.br>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility Research**, Lone Tree, v.45, p.91-100, 1996.

FERREIRA, E. V. **Vamos economizar fertilizantes mantendo a nutrição das plantas?** 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?data=27/05/2010&id=21626&secao=Colunas%20Assinadas>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

FIDELIS, R.R.; MIRANDA, G.V.; ERASMO, A.L. Seleção de populações de milho sob alta e baixa dose de fósforo em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 285-293, 2009.

FINCK, A. Fertilizers and their efficient use. In: **World Fertilizer Use Manual**. Halliday, D.J., Trenkel, M.E. and Wichmann, W. (eds). International Fertilizer Industry Association, Paris, France. 1992.

FIXEN, P.E.; HALVORSON, A.D. Optimum phosphorus management for small grain production. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v. 75, p. 26-29, 1991.

- GLAZ, B.; et al. Sugarcane cultivar response to high summer water tables in the Everglades. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 624-629, 2002.
- GROHS, M.; et al. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de urease em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.2, p.336-345, 2011.
- GUARESCHI, et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.
- GUO, M; et al. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. **Ind. Eng. Chem. Res.** Lanzhou, v.44, p 4206-42015, 2005.
- HAUCK, R.D. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilisers. In: **Fertiliser Technology and Use**. (O.P. Engelstad, Ed.), SSSA Madison, p. 293-322, 1985.
- KHALAF, H.A.; KOO, R.C.J. The use of controlled release nitrogen on container grown citrus seedlings. **Citrus e Vegetable Magazine**, Tampa, v.46, n.9, p.10, 1983.
- KLOTH, B. Aglukon Spezialdünger GmbH: Reply to the request on controlled release fertilizers. Personal communication. 1996. In: TRENKEL, M.E. **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. Second edition, IFA, Paris, France, 2010.
- KORNDORFER, 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, p. 290-306. 2004.
- LEAD, J.R.; STARCHEV, K; WILKINSON, K.J. Diffusion coefficients of humic substances in agarose gel and in water. **Environ. Sci. Technol.**, Geneva, v.37, p 482:496, 2003.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos**. 3 ed. São Paulo, ANDA, 2000. 64p.
- MACHADO, E. C.; et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 9, p.1323-1329, 1982.
- MAGALHÃES, P.C.R. **Gestão de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes em relvados municipais**. 2009. 35f. (Mestrado em Agroecologia) - Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior Agrária. Bragança.
- MAHADEVAIAH, M. S.; et al. A simple spectrophotometric determination of phosphate in sugarcane juices, water and detergent samples. **E-Journal of Chemistry**, Cairo, v.4, p.467-473, 2007.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MELO, F.A.D.; et al. Parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em diferentes fundos

agrícolas da região norte do estado de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7, Londrina, 1998. **Anais**. Piracicaba: STAB, p.198-202, 1999.

MENDONÇA, V.; et al. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 344-348, 2007.

MEYER, J.H. The role of phosphorus in the production of sugarcane in South Africa. **Phosphorus in Agriculture**, Auburn, v.78, n.1, p.23-32, 1980.

MORELLI, J. L.; et al. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 57-61, 1991.

MOURA, M. V. P. F.; et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p.753-760, 2005.

NICOLINI, K.P. Produção de fertilizantes de liberação lenta a partir da torta de mamona (*Ricinus comunis*) e de uréia intercalada em caulins. 2009. 126f. (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

NOVAIS, R.F., et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Viçosa, MG. 2007. 1017p

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

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. **Comparação de custos de sistemas de adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2002.

PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargil, v.1, 431p, 1987.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol.59, n.1, p.129-135, 2002.

QMCWEB, **Revista Eletrônica do Departamento de Química da UFSC**, disponível em: <<http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/polimeros.html>>, 2010.

REETZ JUNIOR, H.F.; FIXEN, P.E. Economics of long-term vs short-term soil fertility management. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v.76: p.8-11, 1992.

REIS, G.L.; et al. Avaliação econômica da aplicação de fertilizantes nitrogenados em pastagens destinadas a vacas em lactação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p.730-738, 2010.

RESENDE, A.V.; et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.453-466, 2006.

- RIBEIRO, V.J.; et al. Avaliação da produção de milho sequeiro adubado com MAP polimerizado na região de Patos de Minas-MG. **Anais... XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. Uberlândia, 2011.
- RODRIGUES, R. **Século XXI, O novo tempo da agroenergia renovável**. Visão Agrícola. USP-ESALQ. ano 1, 2004.
- SANTOS, D.H.; et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.443-449, 2011.
- SANTOS, V. R.; et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.389-396, 2009.
- SERRANO, L.A.L.; CATTANEO, L.F.; FERREGUETTI, G.A. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010.
- SHAVIT, U.; et al. Release characteristic of a new controlled release fertilizer. **Journal Controlled Release**. Haifa, v.43, p 131:152, 1997.
- SHAVIV, A. **Advances in controlled-release fertilizers**. Advances in Agronomy, San Diego, v.71, p.1-49, 2001.
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings**. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 13 p. (CD-ROM).
- SHAVIV, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significance. **Proceedings of the Fertiliser Society**, Leek, UK, v.41, n.3, p.1-35, 1999.
- SILVA, C.T.S.; et al. Crescimento de cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.1, p.3-12, 2009.
- SIMÕES NETO, D. E.; et al. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.840-848, 2009.
- SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embapa, 2004. 416p.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, Potafos, 16p, 2003. (Informações Agrônomicas, 102).
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, p.147-168. 2002.

SOUZA, P.M.; BRAGA, M.J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVAO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, p.13-53, 2004.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. **Fósforo**: nutriente essencial para a vida. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.102, p.1-2, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed., Porto Alegre: Editora Artmed. 2004. 719 p.

TINDALL, T.A.. **Recent Advances in P Fertilizer Technologies Polymer Coatings and Avail Technology**. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. IPNI. Piracicaba. 2007.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, Hopkinton, v.146, p.319-323, 2002.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency**. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.

TRENKEL, M.E. **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture**. Second edition, IFA, Paris, France, 2010.

TRENKEL, M.E. **Ullmann's Agrochemicals. Fertilizers, 3** (Chap. 4.4 and 4.5). Wiley-VCH Verlag GmbH e Co. KGaA, Weinheim. 2007.

VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VIEIRA, B.A.R.M.; TEIXEIRA, M.M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, v.41, n.3, p.4-8, 2004.

VITTI, G.C.; QUEIROZ, F.E.C.; OTTO, R.; QUINTINO, T.A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. 2005.  
<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vz\\_p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vz_p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2011.

WU, L.; LIU, M. Preparation and propriety of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. **Carbohydr. Polym.** v.72, p 240:265, 2008.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial e Engineering Chemistry Research**, Washington, DC, v.39, n.3, p.367-371, 2000.

**ZAVASCHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia revestida com polímeros.** 2010. 92f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

## **CAPÍTULO II**

### **PRODUTIVIDADE DE MILHO IRRIGADO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM FOSFATO MONOAMÔNIO REVESTIDO COM POLÍMEROS EM CARMO DO PARANAÍBA, MG**

## RESUMO

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Produtividade de milho irrigado em resposta a adubação com fosfato monoamônio revestido com polímeros em Carmo do Paranaíba, MG.** 2012. 20f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

O milho é uma das culturas que mais se destaca no segmento produtivo agropecuário brasileiro, a qual assume relevante papel socioeconômico e constitui-se em matéria-prima impulsionadora de diversos complexos agroindustriais. No entanto, tem-se observado baixa produtividade e/ou elevado custo de produção, principalmente em áreas com elevado emprego de fertilizantes fosfatados. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de plantas de milho cultivadas, sob irrigação por aspersão aérea em sistema plantio direto, em função de doses de fósforo no sulco de semeadura via fosfato monoamônio revestido com polímeros. O experimento foi conduzido na Fazenda Quatro Irmãos, município de Carmo do Paranaíba-MG, sob Latossolo Vermelho distrófico argiloso, de março a julho de 2009. O experimento consistiu na condução de lavoura comercial de milho em DBC com esquema fatorial 4x2 e um tratamento controle. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de P) e 50; 100; 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando fosfato monoamônio com e sem revestimento polimerizado. Na fase do florescimento, foram coletas folhas para a determinação do teor de P nas folhas e, ao final, colhidas 50 espigas por parcela para a determinação da produtividade e massa de 1000 grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando modelos de regressão dos parâmetros avaliados em relação aos tratamentos, e comparadas ao tratamento controle pelo teste Dunnett a 0,05 de significância. Aos resultados de teor de P foliar e a massa de 1000 grãos foram ajustados modelos lineares positivos em função das doses de P aplicadas, independentemente da fonte utilizada. A produtividade apresentou interação entre fontes e doses, aos quais se ajustaram modelos lineares e acréscimo de produtividade em função das doses de P. Em média, o uso do fosfato monoamônio revestido com polímeros apresentou melhor resposta em produtividade em relação à fonte não revestida. Em um patamar produtivo de 12.000 kg ha<sup>-1</sup> de milho, a fonte polimerizada permitiu redução na dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 31% em relação a fonte convencional.

**Palavras-chave:** Produtividade de milho, eficiência de fertilizantes, polímeros

---

<sup>1</sup>Orientador Prof Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

## ABSTRACT

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Yield of irrigated maize as a response to fertilization with polymer covered monoammonium phosphate in Carmo do Paranaíba, MG.** 2012. 20 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

Maize is one of the most important crops in Brazilian agricultural production scenario, assuming an important socioeconomic role and consisting in raw material for several agro-industrial complexes. However, low yields and, or, high production costs have been observed, especially in areas with high input of phosphate fertilizers. Therefore, this study evaluated the response of maize grown, under irrigation by aspersion in a no tillage system, as a function of phosphorus doses in the sowing furrow in the form of polymer covered monoammonium phosphate. The experiment was done at Fazenda Quatro Irmãos, county of Carmo do Paranaíba-MG, on a clayie dystrophic Red Latosol, from March to July 2009. The experiment consisted of commercial field in RBD as a 4x2 factorial and a control treatment. Treatments were: control (no P fertilization) and 50, 100, 150 or 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, using monoammonium phosphate with or without polymer coverage. Leaves were collected at flowering to determine P contents and, at harvest, 50 ears per plot were collected to determine yield and dry mass of 1000 kernels. Data were submitted to analysis of variance, adjusting regression models for the parameters evaluated as a function of treatments, and compared to the control treatment by the Dunnet test at 0.05 significance. Positive linear models were adjusted to leaf P contents and mass of 1000 kernels as a function of P doses, independently of source applied. Yield presented interaction between sources and doses, to which linear models were adjusted and yield increases as a function of P doses. On average, the used of polymer covered monoammonium phosphate presented better response of yield than the non protected source. Considering a production level of 12,000 kg ha<sup>-1</sup> corn, the polymerized source allowed the reduction of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dose by 31% in relation to the conventional source.

**Keywords:** Maize yield, fertilizer efficacy, polymers.

---

<sup>1</sup> Supervisor: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

## 2.1 INTRODUÇÃO

A produção em larga escala de milho e de outros grãos no Cerrado somente tornou-se viável com o desenvolvimento de tecnologias de melhoria da fertilidade dos solos da região (RESENDE et al., 2006). Em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40% a 45% do custo de produção (COELHO; ALVES, 2003). Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento (SOUSA et al., 2002).

Para Coelho e França (2009), a cultura do milho apresenta grandes diferenças no uso de fertilizantes entre as várias regiões do território brasileiro. Cristofidis (2002) ressaltou, ainda, o cultivo em áreas irrigadas, que permite incrementos na produção sem aumentar a área cultivada, pois ameniza um dos principais fatores de limitação da produtividade de grãos das culturas, que é a falta de água.

Os solos da região do Cerrado normalmente apresentam baixo teor de P (P) disponível, conforme sua natureza mineralógica e reação ácida (NOVAIS et al., 2007), razão pela qual, em tais circunstâncias, a adubação fosfatada torna-se necessária, para garantir a produtividade máxima e econômica das culturas (PRADO et al. 2001). As doses de P em adubação de manutenção em geral influenciam significativamente a produção de grãos de milho (BASTOS et al., 2009; BLANCO et al., 2011; VALDERRAMA et al., 2011). Contudo, a capacidade de adsorção ou fixação de P dos solos influencia diretamente a resposta das plantas à aplicação de fertilizantes fosfatados, fatores que refletem na baixa eficiência do uso dos fertilizantes fosfatados nos sistemas de produção da região (FRANZINI et al., 2009).

Pesquisas revelam que as perdas de P podem atingir valores de 70% a 80% do total fornecido às plantas (FINCK, 1992; NOVAIS e SMYTH, 1999; SOUSA; LOBATTO, 2002; BASTOS, et al., 2009). Para suprir essa carência, é necessária a aplicação de doses extras, o que causa desperdício de fertilizante, aumento no custo da produção, bem como problemas de poluição ambiental.

Assim, uso eficiente de fertilizantes, além de proporcionar maior produtividade, pode reduzir os custos de produção, refletindo em margem positiva no final da safra plantada. Para tanto, diversos estudos estão sendo desenvolvidos para aprimorar a qualidade dos fertilizantes, de modo a aumentar sua eficiência, inclusive no que diz respeito à disponibilidade de nutrientes para as plantas, e diminuir perdas no campo,

reduzindo ou até evitando a contaminação do meio ambiente, devido à menor quantidade aplicada por safra e redução do custo da lavoura (RAIJ, 2011).

Nesse contexto, atualmente têm-se empregado fertilizantes diferenciados, como os revestidos com polímeros. Segundo Magalhães (2009), o revestimento de fertilizantes tem por finalidade disponibilizar os nutrientes para as culturas por um maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas, reduzindo perdas por lixiviação, volatilização e adsorção. De acordo com Nyborg et al. (1995) a liberação gradativa do nutriente em fertilizantes fosfatados revestidos com polímeros, pode promover tanto o aumento de produtividade das culturas quanto da eficiência dos fertilizantes. Contudo, é preciso salientar que a inadequação de práticas ou técnicas de manejo não é compensada pelo uso desses fertilizantes.

Segundo Scivittaro et al.(2004), o revestimento permite liberação gradativa do nutriente para a planta, permitindo maior absorção desses fertilizantes. Para Vitti e Reirinchs (2007), os fertilizantes de liberação lenta são produtos com propriedades de dissolução mais lenta no solo que, em geral, podem ser obtidos através do recobrimento do fertilizante com materiais pouco permeáveis.

Nesse sentido, Reis (2007) ressaltou que o uso de fertilizantes polimerizados pode reduzir as doses de adubos utilizadas nas lavouras, prática que aumenta o rendimento operacional, minimiza perdas, aumentando a eficiência sem comprometer a produtividade. Apresentam ainda vantagens indiretas, como diminuição de fretes, armazenamento, óleo diesel e poluição.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de plantas de milho cultivadas sob irrigação por aspersão em sistema de plantio direto, em função de fosfato monoamônio revestido com polímeros.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Quatro Irmãos, localizada em Carmo do Paranaíba, na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais. O experimento consistiu na condução de uma lavoura comercial de milho irrigado (*Zea mays* L.) em plantio direto, sob Latossolo Vermelho argiloso (EMBRAPA, 2006). A área é utilizada comercialmente para o cultivo de grãos e olerícolas, principalmente cenoura (*Daucus carota* L.). Na safra anterior 2008/2009, houve o cultivo de soja (*Glycine max* L.).

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo para análise da caracterização química, determinando, a partir da metodologia de EMBRAPA (2009), os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis; a acidez potencial por acetato de cálcio; a matéria orgânica total (MOS) por titulometria; P-assimilável por Mehlich<sup>-1</sup>; e pH em água (TABELA 1).

**TABELA 2.1-** Análise química de Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, sob cultivo de milho em Carmo do Paranaíba, MG, 2010.

M.O.	pH	P-Meh	P-Rem	K	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	H+Al	CTC <sub>T</sub>	Argila	Silte	Areia
dag kg <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>			
2,27	5,5	3,27	18,52	45,4	5,2	1,5	0,0	4,8	11,61	600	208	192

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich-1, P-remanescente, teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da Embrapa (2009).

### 2.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e condução do experimento

O experimento foi realizado em DBC, com esquema fatorial 4x2+1, constituído por tratamentos com doses de P, fontes de fertilizantes e controle, respectivamente, em quatro blocos. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de P) e 50; 100; 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fonte o fosfato monoamônio sem revestimento polimerizado (10% N e 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e com revestimento polimerizado (9% N e 47% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O fosfato monoamônio revestido com polímeros foi fornecido pela empresa Kimberlit Ltda, comercialmente denominado KimCoat LGP<sup>®</sup>.

As parcelas experimentais foram constituídas por uma área de 18 m<sup>2</sup>, seis metros de comprimento por três metros de largura. A semeadura foi realizada manualmente no mês de março de 2009, utilizando o híbrido AGROMEM 2012, com espaçamento de 0,7 m entre linhas e densidade de seis plantas por metro. Após a emergência, foi

efetuado o desbaste, deixando cinco plantas  $m^{-1}$ , totalizando uma população final de aproximadamente 70.000 plantas  $ha^{-1}$ .

As doses de P foram aplicadas no momento da semeadura. Para a complementação de N na maior dose de MAP utilizada (200  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), foi feita a equiparação da dose de N em todos os tratamentos – inclusive no controle –, totalizando 37  $kg\ ha^{-1}$ . Em cobertura, foram aplicados 100  $kg\ ha^{-1}$  de N, divididos em duas aplicações, estádios  $V_4$  e  $V_6$ . Como dose de potássio, foram fornecidos 100  $kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ , utilizando KCl (60%  $K_2O$ ), 40  $kg\ ha^{-1}$  na semeadura e o restante em  $V_4$ , juntamente com a primeira cobertura de N.

A lavoura foi conduzida comercialmente, efetuando todo o manejo para controle de plantas daninhas, incidência de pragas e doenças, bem como a aplicação de defensivos químicos, de acordo com as recomendações técnicas e padrões estabelecidos na propriedade. As plantas foram irrigadas periodicamente por aspersão aérea, a fim de manter o solo próximo à umidade de capacidade de campo. O experimento foi conduzido até à colheita das espigas, cerca de 140 dias após a semeadura.

### **2.2.3 Características avaliadas**

#### **2.2.3.1 Teor de fósforo foliar**

Na fase do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), foi realizada a amostragem foliar, coletando-se a folha inteira oposta e abaixo da primeira espiga, em um total de cinco plantas por parcela. Após a coleta, foi utilizado o terço médio sem nervura central para posteriores análises.

As amostras de folha foram secas em estufa de circulação forçada de ar (65 °C) até peso constante, moídas em moinho de facas de aço inox (20 a 40 mesh), para determinação do teor de P.

O teor de P foi determinado após digestão nítrico-perclórica ( $HNO_3$  e  $HClO_4$  concentrados) em espectrofotômetro de colorimetria com comprimento de onda de 725 nm, por meio de reação com ácido ascórbico, segundo Defelipo; Ribeiro (1996).

#### **2.2.3.2 Produtividade e Massa de 1000 grãos**

Na época da colheita, a produtividade de cada parcela foi estimada a partir da massa dos grãos de 50 espigas, coletadas aleatoriamente nas três fileiras centrais, eliminando-se 0,5 m das bordas iniciais e finais de cada parcela. Após colheita, os grãos

foram secos à umidade padrão de 13% e pesados à massa de 1000 grãos em balança de precisão, seguindo metodologia de Brasil (1992).

As combinações de MAP e POL em cada dose foram comparadas quanto à sua eficiência agrônômica em relação à produtividade de grãos (PROD), adaptando o modelo descrito por Goedert et al. (1986) para o Índice de Eficiência Agrônômica (IEA). Considerou-se, em cada dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o MAP como referência para aplicação da equação (1):

$$\text{Índice de Eficiência Agrônômica (IEA)} = \frac{\text{PROD}_{\text{X POL}} - \text{PROD}_{\text{controle}}}{\text{PROD}_{\text{X MAP}} - \text{PROD}_{\text{controle}}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

IEA – Índice de Eficiência Agrônômica; PROD – produtividade de milho; X – dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em kg ha<sup>-1</sup>; POL – Fósforo monoamônio revestido com polímeros; MAP – Fósforo monoamônio sem revestimento de polímeros; Controle – tratamento sem aplicação de P.

### 2.2.3.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância – ajustando modelos de regressão dos parâmetros avaliados em relação às doses – e ao teste de Tukey para as fontes a 0,05 de significância, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000). As médias ainda foram comparadas ao tratamento controle pelo teste Dunnett a 0,05 de significância, com o auxílio do programa ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2007).

Com os modelos ajustados, foram estimados o custo do uso dos fertilizantes diferenciados, de acordo com sua concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e o valor praticado no mercado de Patos de Minas, Minas Gerais, em agosto de 2011.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento das doses de  $P_2O_5$  aplicadas nos tratamentos gerou efeito direto sobre o teor de P foliar nas plantas de milho, independentemente da fonte utilizada (TABELA 2.2, FIGURA 2.1). O aumento apresentado foi linear crescente, de acordo com o modelo ajustado: o aumento médio percentual foi de 29%. Os valores observados variaram de 2,15 a 3,57  $g\ kg^{-1}$  de P, nos tratamentos sem a aplicação de P e com aplicação de 200  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , respectivamente (TABELA 2.2).

Harger et al. (2007), em estudo sobre o efeito do fornecimento de P via superfosfato triplo e fosfato natural de Arad no desenvolvimento inicial de milho, observaram aumento quadrático em função da dose de P para as duas fontes utilizadas. Os maiores valores relatados por esses autores foram 4,41 e 4,19  $g\ kg^{-1}$  de P com a aplicação de 129 e 197  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  para o superfosfato triplo e fosfato de Arad, respectivamente.

Os resultados encontrados corroboram os observados por Valderrama et al. (2011) com a cultura de milho irrigado em Latossolo Vermelho Distrófico argiloso. Para eles, também não houve diferenças entre fontes com e sem revestimento de polímeros quando aplicadas doses de P sobre os teores foliares de P. Tais autores somente observaram o efeito das doses, que apresentaram teor médio 2,8  $g\ kg^{-1}$  de P e resposta quadrática no intervalo de 0 a 150  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

Já Braccini et al. (1999) relataram resposta linear positiva para a aplicação de fertilizante revestido N-P-K (Osmocoat<sup>®</sup>) na cultura do milho em vaso, com Latossolo Vermelho argiloso e Neossolo Quartzarênico, até a dose de 6  $g\ dm^{-3}$  de Osmocoat<sup>®</sup> (360  $mg\ dm^{-3}$  de  $P_2O_5$ ). Para esses autores, houve teores foliares de P variando de 1,0 a 2,5  $g\ kg^{-1}$  de P, sendo o maior percentual de aumento relatado no solo com textura arenosa, próximo a 100%, enquanto no solo com textura argilosa foi de 80%.

Souza et al. (2011), em cultivo de milho em vaso com Latossolos de textura argilosa e média, não observaram diferenças entre os teores foliares de P com o uso de fosfato monoamônio com e sem revestimento de polímeros. Somente relataram diferenças em função das doses aplicadas, até 200  $mg\ dm^{-3}$  de  $P_2O_5$ .

Em cultivo de feijão sob plantio direto, no município de Ilha Solteira (SP), Valderrama et al. (2009) também não observaram diferenças entre os tratamentos com superfosfato triplo com e sem revestimento de polímeros nos teores foliares de N, P e K,

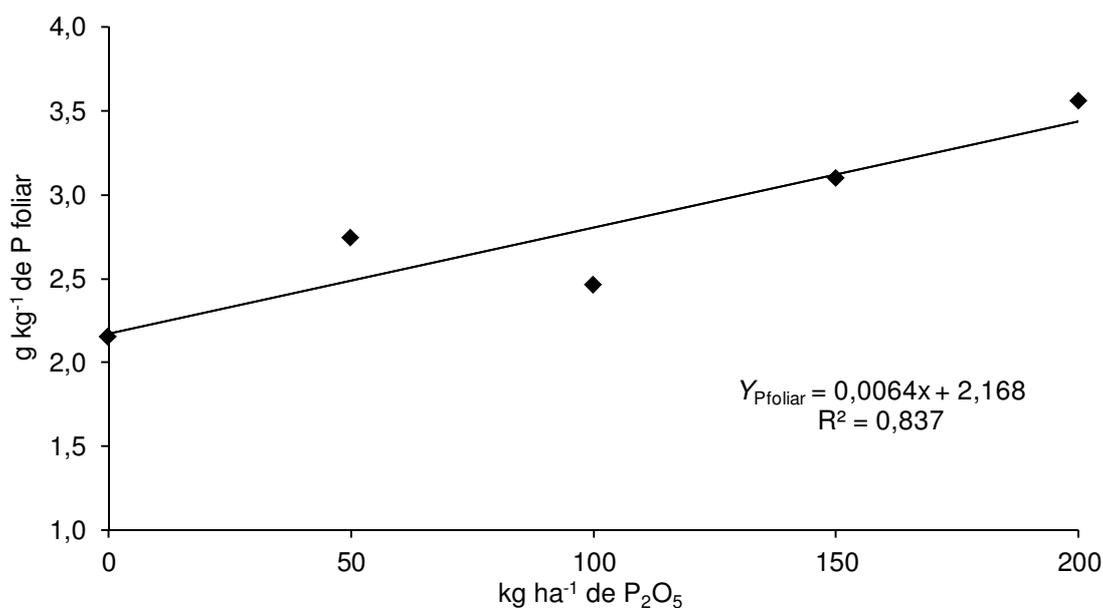
que variaram apenas em função das doses. Apresentou-se teor foliar médio de  $3,26 \text{ g kg}^{-1}$  de P, e a aplicação de doses até  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  gerou acréscimo linear de P nas folhas das plantas de feijão, sendo o maior valor registrado o de  $3,67 \text{ g kg}^{-1}$  de P.

**TABELA 2.2** - Teores de fósforo foliar, massa de 1000 grãos, produtividade e índice de eficiência agrônômica (IEA) observados no milho em função da aplicação de doses de fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).

Características avaliadas	Fontes	Doses de $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{kg ha}^{-1}$					Média
		0	50	100	150	200	
PFoliar	MAP	2,15	2,80	2,31	3,01*	3,56*	2,77a <sup>1</sup>
	POL	2,15	2,68	2,61	3,20*	3,57*	2,85a
Massa 1000 grãos	MAP	311,7	314,4	344,9	346,2	348,0	333,0a
	POL	311,7	321,3	355,0*	369,7*	372,0*	345,9a
Produtividade	MAP	7359	10451b*	12486b*	13329b*	14635b*	11652b*
	POL	7359	12508a*	13673a*	15265a*	15978a*	12957a*
IEA			166	123	132	118	130
CV% <sub>PFoliar</sub>		DMS <sub>Tukey</sub> PFoliar	0,25		DMS <sub>Dunnnett</sub> PFoliar	0,77	
CV% <sub>M1000</sub>		DMS <sub>Tukey</sub> M1000	15,57		DMS <sub>Dunnnett</sub> M1000	37,96	
CV% <sub>Produz</sub>		DMS <sub>Tukey</sub> Produz	1095,78		DMS <sub>Dunnnett</sub> Produz	1303,14	

<sup>1</sup> médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

\*médias diferem estatisticamente do tratamento controle (sem a aplicação de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) pelo teste Dunnnett 0,05 de significância.



**FIGURA 2.1**- Modelo ajustado para teor de fósforo foliar de plantas de milho híbrido, em função da aplicação de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizando fosfato monoamônio, média de com e sem polímeros.

De acordo com Malavolta (2006), o teor adequado de P nas folhas do milho para um desenvolvimento adequado está situado na faixa de 2,0 a 4,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Nesse caso, independentemente da dose de P testada, o teor desse nutriente nas folhas estava adequado, não comprometendo, assim, o desenvolvimento da cultura. Tal fato explica a produtividade alta, mesmo nos tratamentos em que não houve aplicação de P, com média de 7359 kg ha<sup>-1</sup> de milho, acima da média observada na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais (ROSA, 2007).

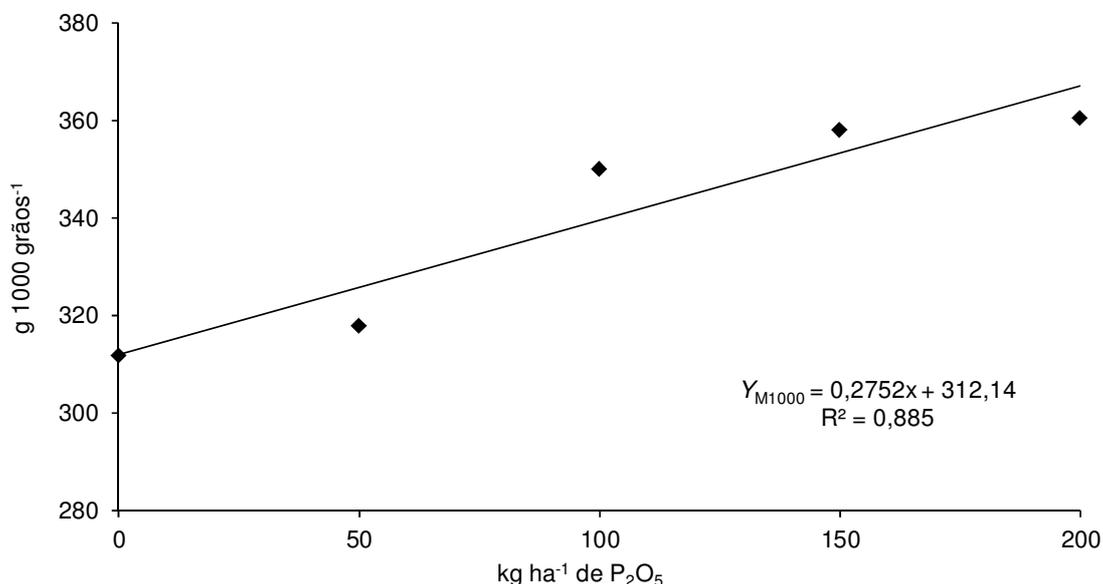
Os valores da massa de 1000 grãos foram influenciados somente pelas doses de P aplicadas, não se diferenciando em relação às fontes do fertilizante fosfatado (TABELA 2.2; FIGURA 2.2). De acordo com o modelo ajustado, cada quilograma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado na semeadura representou acréscimo de 275 mg ha<sup>-1</sup> sobre a massa de 1000 grãos de milho. Percentualmente, esse valor representa um ganho em massa de 9%. No entanto, os resultados da estimativa da massa de 1000 grãos não permitiram explicar a maior produtividade obtida com a utilização do fertilizante polimerizado (TABELA 2.2).

Lucena et al. (2000) constataram maior massa de espiga, maior número de grãos por espiga e massa de 1000 grãos, em altas doses (120; 180; e 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em comparação às baixas doses de P, até 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No mesmo experimento, os autores constataram aumento de produtividade até a dose de 197 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

No entanto, Valderrama et al. (2011) observaram efeito negativo na massa de 1000 grãos em função da aplicação de doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Os autores atribuíram esse efeito ao aumento no número de grãos por espiga, que teria aumentado a competição por nutrientes e fotoassimilados dentro da espiga e, como consequência, reduzido a massa unitária dos grãos. Em plantas de trigo, Mistro e Camargo (2002) encontraram correlação positiva entre a massa de grãos e a produção. Segundo os autores, houve uma tendência de que, quanto maior a massa dos grãos, mais produtivas seriam as plantas.

A utilização do fosfato monoamônio revestido com polímeros (POL) apresentou alto índice de eficiência agrônômica (IEA) em relação à fonte não revestida (MAP), em todas as doses testadas (TABELA 2.2). O maior índice foi observado na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com 166%, enquanto o menor ocorreu com a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> (118%). Em média, o IEA da fonte revestida com polímeros em relação à convencional foi de 130%, independentemente da dose utilizada. Tais valores indicam a maior eficiência da fonte polimerizada em relação ao incremento de produtividade de milho, dentro do

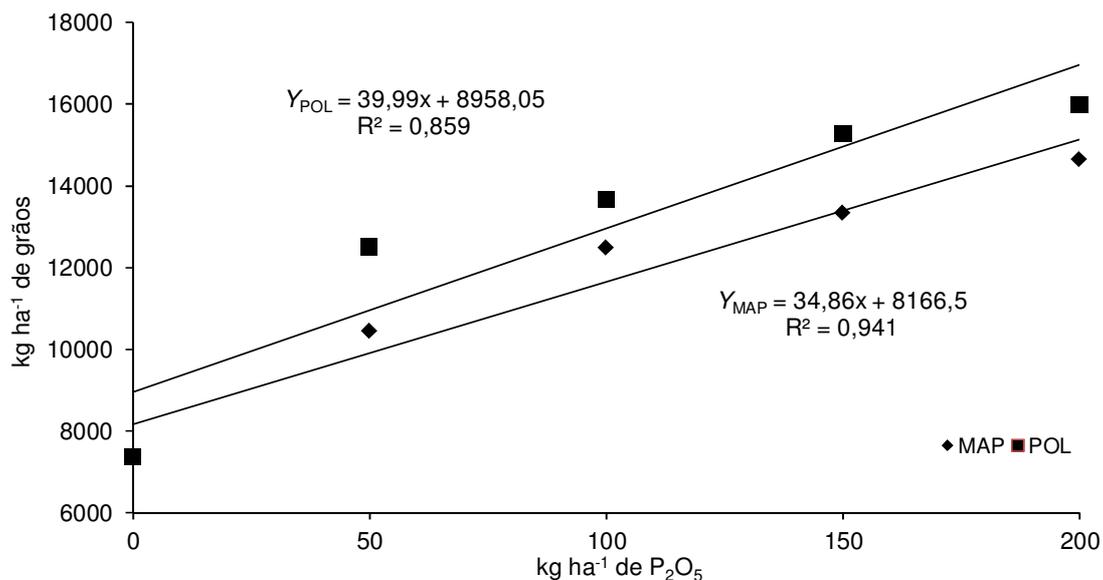
intervalo de doses testados. Para Rajj (2011), o uso eficiente de fertilizantes, além de proporcionar maior produtividade, pode reduzir os custos de produção, refletindo em margem positiva no final da safra plantada.



**FIGURA 2.2** - Modelo ajustado para massa de 1000 grãos de milho híbrido, em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio, média de com e sem revestimento polímeros.

A produtividade de milho aumentou linearmente com o acréscimo das doses de P para as duas fontes (TABELA 2.2, FIGURA 2.3). O acréscimo na produtividade média foi de 34,86 e 39,99 kg ha<sup>-1</sup> de milho para cada kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado, quando com o fosfato de monoamônio sem (MAP) e com o revestimento polimerizado (POL), respectivamente.

De acordo com Bastos et al. (2010), quando se aumenta a dose de P no solo, ocorre aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície da adsorção, o que resulta no aumento da concentração de P na parte aérea, refletindo em melhor suprimento do nutriente para as plantas e melhor resposta à adubação fosfatada. Esse nutriente é necessário para fotossíntese, respiração, transferência de genes e em processos que envolvem transferência de energia (STAUFFER; SULEWSKI, 2003). Por conseguinte, está relacionado ao crescimento das raízes, maturação de frutos, formação de grãos, frutos e fibras e ao vigor das plantas, características que podem refletir na produtividade (VITTI; WIT; FERNANDES, 2004).



**FIGURA 2.3** - Modelos ajustados para produtividade de milho híbrido, em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), cultivado sob sistema de plantio direto irrigado.

Os resultados de produtividade obtidos estão acima da média brasileira (4538 kg ha<sup>-1</sup> de milho), segundo CONAB (2011), e da estimativa para a região do Alto Paranaíba Mineiro (5467 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho), conforme Rosa (2007). Esses valores também estão acima do patamar relatado por Carvalho et al. (2004). De acordo com esses últimos autores, no território brasileiro a cultura do milho possui alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. Entretanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, cerca de 3,5 t ha<sup>-1</sup> de grãos.

De fato, a produtividade observada foi relativamente alta em relação à média nacional e regional. Nos tratamentos em que não foi aplicado P, a produtividade média observada foi de 7.359 kg ha<sup>-1</sup> de milho (TABELA 2.2). Em valores percentuais, o aumento da produtividade em função da dose aplicada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi de 44% e 42% para o fosfato monoamônio com e sem revestimento polimerizado, respectivamente (FIGURA 2.3). A aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gerou aumento de 88% na produtividade de milho com a utilização da fonte polimerizada; a produtividade estimada passou de 8958 para 16956 kg ha<sup>-1</sup> de milho, enquanto com a fonte convencional passou de 8165 para 15137 kg ha<sup>-1</sup> de milho. A produtividade estimada com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com a fonte polimerizada foi 1819 kg ha<sup>-1</sup>, superior ao uso da fonte convencional, ou seja, cerca de 30 sacos (60 kg) ha<sup>-1</sup> de milho.

Para produtividade de 12000 kg ha<sup>-1</sup> de milho, 200 sc ha<sup>-1</sup> de milho, com a fonte convencional, foram necessários 110 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto que, com a revestida com polímeros, a mesma produtividade foi alcançada aplicando 76 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Houve redução de 34 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na dose, o que representa 31%.

O aumento da lucratividade, observada com o uso da fonte revestida em comparação à convencional, se aproxima dos resultados apresentados por Tindall (2007) nas culturas de soja, milho e algodão sob Cerrado. Os relatos foram: cultura da soja, safra 2006/2007, redução do custo de adubação de 36,5% com o uso de fosfato monoamônio polimerizado; milho, somando-se a adubação de plantio e cobertura à economia com adubos, chegou-se a 37,15%; e algodão, economia de 38,9% em função da maior eficiência do fertilizante e da redução da dose aplicada (TINDALL, 2007).

As estimativas encontradas para a resposta de produtividade de plantas de milho em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram similares às apresentadas por Prado et al. (2001), que relataram valores de 24,6 e 36,5 kg ha<sup>-1</sup> de milho para cada quilograma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare aplicados em sulco simples e duplo na semeadura. Entretanto, Resende et al. (2006), avaliando fontes e modos de aplicação de P na cultura do milho em solo de Cerrado, observaram diferenças quanto à quantidade de P absorvido, mas não tiveram correspondente efeito sobre a produtividade do milho, diferindo dos resultados apresentados no presente estudo.

Em experimento semelhante, Ribeiro et al. (2011), em cultivo de milho de sequeiro em área de Latossolo Vermelho argiloso e utilizando o mesmo fosfato monoamônio revestido com polímeros em comparação ao não revestido, observaram acréscimo de 21% na produtividade em função do aumento da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com a fonte polimerizada, e de apenas 6% com a fonte convencional. Os autores encontraram com a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> uma produtividade de 12400 kg ha<sup>-1</sup> de milho com o fertilizante polimerizado, e 11224 kg ha<sup>-1</sup> de milho com o convencional. Nessa dose em questão, o ganho com o uso da fonte polimerizada foi de 1270 kg ha<sup>-1</sup> de milho em comparação à fonte convencional (não revestida com polímero).

Melo et al. (2007) obtiveram resultados viáveis com a utilização de fertilizante fosfatado polimerizado na cultura do algodão no município de Mineiros (GO), safra de 2005/2006, sob Neossolo Quartzarênico. Concluíram que, com o revestimento polimerizado, pode-se reduzir a adubação nitrogenada e fosfatada sem comprometer a produtividade. Esse resultado é explicado pela alta taxa de lixiviação encontrada nesse

tipo de solo, aliada ao maior ciclo da cultura testada: fatores esses para os quais a liberação lenta de nutrientes se torna ainda mais interessante.

Já Valderrama et al. (2011) não observaram diferenças entre doses de  $P_2O_5$  e fontes de fertilizantes fosfatados (revestidos ou não com polímeros), no que se refere aos componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado sob plantio direto em área com Latossolo Vermelho distrófico argiloso. Tais autores relacionaram o não efeito das fontes em função da alta disponibilidade de P no solo,  $31\text{mg dm}^{-3}$  de P. Em experimento com a cultura do feijão irrigado com plantio direto sob o mesmo latossolo, Valderrama et al. (2009) não observaram diferenças entre produção e massa de 1000 grãos quando aplicadas doses equivalentes de  $P_2O_5$ , utilizando superfosfato triplo com e sem revestimento polimerizado.

Os modelos ainda permitiram estimar o ganho da produtividade em relação às doses e fontes utilizadas no cultivo de milho. Dessa maneira, pode-se estabelecer o ganho real da cultura de acordo com o custo diferenciado do fosfato monoamônio revestido com polímero em relação ao não revestido.

Em valores praticados no mercado de Patos de Minas – MG, região do Alto Paranaíba, em agosto de 2011, o custo do quilograma de  $P_2O_5$  de cada fonte foi de: fosfato monoamônio convencional (MAP), com 52% de  $P_2O_5$ , R\$ 2,88 por quilograma de  $P_2O_5$ ; e fosfato monoamônio revestido com polímero (POL), 47% de  $P_2O_5$ , R\$ 3,82 por quilograma de  $P_2O_5$ . Assim, utilizando os modelos ajustados para produzir  $12000\text{ kg ha}^{-1}$  de milho, com o MAP, seriam gastos R\$ 308,00 ( $110\text{ kg de }P_2O_5 \times R\$ 2,80$ ); com o POL, a mesma produtividade seria obtida com R\$ 290,32 ( $76\text{ kg de }P_2O_5 \times R\$ 3,82$ ), ou seja, uma economia de R\$ 18,32 por hectare com o uso de menor dose na fonte polimerizada.

Utilizando a mesma comparação com doses similares das duas fontes, de  $100\text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , com o POL seriam produzidos  $12957\text{ kg ha}^{-1}$  de milho, cerca de  $1.305\text{ kg ha}^{-1}$  a mais que a produção obtida com a fonte convencional (MAP). Nessa dose, o custo do fertilizante polimerizado seria de R\$ 382,00, com aproximadamente  $21,75\text{ sc ha}^{-1}$  superior em relação ao fertilizante convencional. Em valores locais, descontando a diferença entre o custo dos fertilizantes, o ganho por hectare seria de, aproximadamente, R\$ 465,00 com o uso da fonte revestida em relação à convencional (saca de milho de R\$ 26,00). Vale ressaltar que esses valores foram estimados dentro das condições e intervalo de doses às quais as plantas foram submetidas na área experimental.

Alguns trabalhos realizados com fertilizantes revestidos com polímeros demonstraram que, de maneira geral, um dos fatores que confere melhor desempenho das plantas à aplicação desses fertilizantes é o fornecimento regular e contínuo de nutrientes às plantas, reduzindo perdas por lixiviação (N e K) e adsorção, como o caso do P (SHAVIV, 2001; MENDONÇA et al., 2007).

Em estudo com cultivo de soja no Cerrado, Guareschi et al. (2011) concluíram que a aplicação a lanço, quinze dias antecipados à semeadura com fertilizantes revestidos por polímeros, conferiu maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos em relação aos fertilizantes convencionais. Esses mesmos autores relataram que o maior desenvolvimento das plantas foi decorrente da maior disponibilidade de P e K pelos fertilizantes revestidos com polímeros que, à condição de maior tempo de exposição do fertilizante fosfatado ao solo, pode ter reduzido a fixação do P aos colóides e, conseqüentemente, aumentado o seu aproveitamento pela planta.

Dentro do contexto discutido, além de manter a faixa de produtividade aplicando menores doses, a utilização de fontes que apresentam uma liberação mais lenta ou controlada dos nutrientes pode reduzir gastos com mão de obra e energia. Os nutrientes encapsulados por resinas especiais (polímeros), os quais são liberados através de estruturas porosas, atingem o sistema radicular das plantas mais lentamente (ZHRANI, 2000). Essa característica pode garantir a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (TOMASZEWSKA et al., 2002; GUARESCHI et al., 2011).

Contudo, o manejo da fertilidade do solo em relação ao uso de P deve ser planejado numa perspectiva a longo prazo, uma vez que o custo da adubação e as respostas em produtividade estão sujeitos a muitas incertezas e podem variar de um ano para outro (FIXEN; HALVORSON, 1991; REETZ JUNIOR; FIXEN, 1992; SOUSA; LOBATO, 2003; RESENDE et al., 2006). Outro aspecto importante é que a relação benefício/custo do uso de fontes fosfatadas pode diferir muito, quando se considera a produção obtida no cultivo atual, ano da aplicação ou a produção acumulada de vários cultivos (RESENDE et al., 2006).

## 2.4 CONCLUSÃO

- i* Em todas as doses testadas, o uso do fosfato monoamônio revestido com polímeros apresentou maior índice de eficiência agronômica em relação à fonte sem revestimento;
- ii* O aumento gradativo de doses de P proporcionou incremento nos teores foliares de P e massa de 1000 grãos, porém, não foi observado efeito das fontes sobre essas variáveis;
- iii* A aplicação do fertilizante polimerizado em doses similares de  $P_2O_5$  ao convencional ocasionou acréscimo médio de 21 sc ha<sup>-1</sup> de milho.

## REFERÊNCIAS

- BARRETO, A. C. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.151-156, 2002.
- BASTOS, A.L.; et al. Resposta do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.485-491, 2010.
- BHATTACHARYYA, K. K.; SENGUPTA, K.; CHATTERJEE, B. N. Seed treatment for increasing blackgram ( vigna mungo ) in rainfed agriculture. **Seed Research**, v. 12, p.40-47, 1984.
- BLANCO, F.F.; et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.5, p.524-530, 2011.
- BRACCINI, M.C.L.; et al. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de Osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.3, p.497-503, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA; DNDV; CLAV, 1992. 265 p.
- CARVALHO, M.A.C. de; et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.1, p.47-53, 2004.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação: A fronteira hídrica na produção de alimentos**. ITEM, n.54, p.46-55, 2002.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Embrapa/CNPMS, 2009.
- COELHO, A.M.; ALVES, V.M.C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. **Anais...** Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 31p. (CD-ROM).
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento**. Brasília, maio/2011.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa: UFV, 1996. 17p (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Informação Tecnológica. **Manual de métodos de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica. 2009. 627p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA (RBRAS), 45, 2000. São Carlos, SP. **Anais...** UFSCar, p. 255-258. 2000.
- FIXEN, P.E.; HALVORSON, A.D. Optimum phosphorus management for small grain production. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v. 75, p. 26-29, 1991.
- FRANZINI, V.I.; et al. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1092-1099, 2009.
- GEORGE, R. A. T.; STEPHENS, R. J.; VARIS, S. Efecto de los nutrientes minerales sobre el rendimiento y calidad de la semilla de tomate. In: HEBBLETHWAITE, P. D. **Producción moderna de las semillas**. Montevideo: Editorial Hemisfério Sur, p. 668–675, 1978.
- GOEDERT, W.; SOUZA, D. M. G.; THOMAZ, A. R. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo**. Planaltina: Embrapa, 1986.
- GUARESCHI, R.F.; et al. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.4, p.643-648, 2011.
- HARGER, N.; et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.1, p.39-44, 2007.
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (NRS-SBCS. Boletim Técnico, 3).
- LUCENA, L. F. C. et al. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.
- MAGALHÃES, P.C.R. **Gestão de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes em relvados municipais**. 2009. 35f. (Mestrado em Agroecologia) - Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior Agrária. Bragança.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agrônômica Ceres, 2006. 638p.
- MENDONÇA, V.; et al. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 344-348, 2007.

- MILLER, M. H.; BATES, T. E.; SIGH, D.; BAWEJA, A.S. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. I. Greenhouse studies. **Agron. Journal**, Madison, v.63, p.365-368, 1971.
- MISTRO, J.C.; CAMARGO, C.E.O. Avaliação da produção de grãos e características agronômicas em genótipos de trigo, em 1999 e 2000. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.35-42, 2002.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Viçosa, MG. 1017p. 2007.
- NYBORG, et al. **Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade**: Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.
- PERYEA, F. J. Phosphate-fertilizer-induced salt toxicity of newly planted apple trees. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Pullman, WA, v. 54, p. 1778-1783, 1990.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.83-90, 2001.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- REETZ JUNIOR, H.F.; FIXEN, P.E. Economics of long-term vs short-term soil fertility management. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, GA, v.76, p.8-11, 1992.
- REIN, T. A., SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de cerrado. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21. 1994, **Anais...** SBCS/EMBRAPA-CPATSA. p.38-40. 1994.
- REIS, R. **KimCoat**: uma nova ferramenta para otimização do uso de fertilizantes. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. IPNI. Piracicaba. 2007.
- RESENDE, A.V.; et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.453-466, 2006.
- RIBEIRO, V.J.; et al. Avaliação da produção de milho sequeiro adubado com MAP polimerizado na região de Patos de Minas-MG. XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Uberlândia, 2011.
- ROSA, W.J. Arroz, milho e soja: Perspectivas. In: EMATER-MG. **Estudo e perspectivas para a agropecuária de Minas Gerais em 2007**. Secretária de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. 2007. Disponível em: <[www.emater.mg.gov.br/doc/.../estudo%20e%20perspectivas.pdf](http://www.emater.mg.gov.br/doc/.../estudo%20e%20perspectivas.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2011.

- SCIVITTARO, W.B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E.B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta enxerto 'Trifoliata'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 520-523, 2004.
- SHAVIV, A. Advances in controlled release fertilizers. **Advances in Agronomy**, New York, v. 71, p. 1-49, 2001.
- SILVA, F.A.S. **ASSISTAT Versão 7.9 beta**. 2007. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br/>>. Acesso em: 20 out. 2011.
- SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embapa, 2004. 416p.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, Potafos, 2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102)
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, p.147-168. 2002.
- SOUZA, C. H. E.; et al. Produção de matéria seca de plantas de milho cultivadas em vaso em função da aplicação de monofosfato de amônio polimerizado em Latossolo vermelho argiloso. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Uberlândia, 2011.
- STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo: nutriente essencial para a vida. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.102, p.1-2, 2003.
- THOMPSON, J. R.; BELL, R. W.; BOLLAND, M. D .A. Low seed phosphorous concentration depress early growth and nodulation of narrow – leafed lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurro). **Journal of Plant Nutrition**, London, v.15, n. 8, p. 1193–1214, 1992.
- TINDALL, T.A.. Recent Advances in P Fertilizer Technologies Polymer Coatings and Avail Technology. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. **IPNI**. Piracicaba. 2007.
- TOMASZEWSKA, M.; JARPSOEWICZ, A.; KARAKKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Deslination**, v.146, n.3, p.319-323, 2002.
- VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.3, p.191-196, 2009.
- VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.2, p.254-263, 2011.
- VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão Holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, p.109-157, 2007.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba. **Anais...** POTAFOS, p.690-694, 2004.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, D.C.,v.39, n.3, p.367–371, 2000.

### **CAPÍTULO III**

#### **FOSFATO MONOAMÔNIO REVESTIDO COM POLÍMEROS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR, CANA PLANTA NA SAFRA 2010/2011.**

## RESUMO

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Fosfato monoamônio revestido com polímeros na cultura da cana-de-açúcar, cana planta na safra 2010/2011**. 2012. 36f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

Na última década, tem-se verificado uma profunda expansão do setor sucroalcooleiro com o crescimento contínuo na produção de álcool, açúcar e da cana-de-açúcar, a matéria-prima para esses produtos. No entanto, como nos demais sistemas agrícolas brasileiros, na cultura apresenta alta demanda por fertilizantes fosfatados. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da aplicação de fosfato monoamônio revestido com polímeros, em áreas de produção comercial de duas usinas, na safra 2010/2011, foram conduzidos experimentos em áreas comerciais de primeiro ano localizadas nas usinas Guaíra, em Guaíra (SP), em Latossolo Vermelho distroférrico argiloso, e WD, município de Varjão de Minas (MG), em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso, de outubro de 2009 (plantio) a maio de 2011 (colheita). Os dois experimentos foram conduzidos em DBC com fatorial  $4 \times 2 + 1$  (sem aplicação de P), constituindo-se de 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fornecidos com fosfato de monoamônio com e sem revestimento polimerizado, respectivamente, em quatro blocos. Foram avaliados: número de perfilhos aos 90 dias após semeadura, teor de P foliares, produtividade de colmos e características tecnológicas da cana. Na usina Guaíra, não houve diferença entre as fontes utilizadas. No entanto, as doses de fósforo influenciaram a produtividade de colmos e os teores de P nas folhas. Os maiores teores de P ocorreram com a dose 193 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto a produtividade máxima foi obtida com a dose 123 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Na usina WD, houve diferença entre as fontes. De acordo com os modelos ajustados para produtividade de colmos, na dose de máxima produtividade, o uso da fonte revestida com polímeros propiciou aumento de 11 t ha<sup>-1</sup> de colmos em relação à fonte convencional, representando ganho de, aproximadamente, 1,38 t ha<sup>-1</sup> de açúcar produzido. O uso da fonte revestida, quando aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura, em valores observados propiciou 21 t ha<sup>-1</sup> de colmos e 1,6 t ha<sup>-1</sup> de açúcar, superiores ao uso da fonte convencional. Os modelos gerados apresentaram correlação direta entre produtividade colmos, produtividade de açúcar e teores foliares de P. Nas duas usinas os tratamentos não influenciaram as características tecnológicas da cana, que apresentaram bons padrões de qualidade produtiva para açúcar e álcool.

**Palavras-chave:** Eficiência de fertilizantes, polímeros, açúcar produzido.

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

## ABSTRACT

SOUZA, CARLOS HENRIQUE EITERER DE. **Polymer covered monoammonium phosphate in sugar-cane crop, plant cane in the season 2010/2011.** 2012. 36 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

A major expansion of the sugar and alcohol sector has been observed in the last decade, with continuous increase in alcohol, sugar, and sugar-cane production, which is the raw material for the other products. However, as in other agricultural systems in Brazil, the crop presents a high demand for phosphate fertilizers. Therefore, this study evaluated the development and yield of sugar-cane as a function of polymer covered monoammonium phosphate application, in commercial areas of two mills, in the cropping season 2010/2011. Two experiments were done in plant cane at the mills Guaira, in Guaira (SP), on a clayie distroferic Red Latosol, and at WD, county of Varjão de Minas (MG), on a clayie dystrophic Red Yellow Latosol, from October 2009 (planting) to May 2011 (harvest). Both experiments were done as RBD in a 4x2 factorial with an extra control (no P application), consisting of 50, 100, 150 or 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, supplied as monoammonium phosphate with, or without, polymer coverage, in four blocks. The number of tillers at 90 days after planting, leaf P contents, stalk yield, and technological characteristics of the cane were evaluated. No significant differences between the two sources were observed at Guairá Mill. However, phosphorus doses affected stalk yield and leaf P contents. Greater P levels were found at 193 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, while maximum yield was observed with 123 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Significant differences were found between the sources at WD Mill. According to the models adjusted for stalk yield, at the maximum yield dose, the use of polymer covered source increased 11 t ha<sup>-1</sup> of stalks in relation to the conventional source, representing an approximate gain of 1.38 t ha<sup>-1</sup> sugar. The use of the protected source, applied at 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the planting furrow, resulted in 21 t ha<sup>-1</sup> stalks and 1.6 t ha<sup>-1</sup> sugar above the conventional source. The models generated presented direct correlation with stalk and sugar yield, and leaf P contents. Treatments did not affect cane technological characteristics at either mill, presenting good quality standards for sugar and alcohol.

**Keywords:** Fertilizer efficacy, polymers, sugar production.

---

<sup>1</sup> Supervisor: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

### 3.1 INTRODUÇÃO

No panorama econômico atual, a busca de combustíveis de fontes renováveis e não poluentes, em substituição aos combustíveis fósseis, abre um novo mercado para a produção de álcool derivado da cana-de-açúcar. Isso se deve principalmente à alta produtividade e ao baixo custo de produção, comparados à produção de álcool de milho, beterraba (*Beta vulgaris* L.) e de outros vegetais.

De acordo com levantamento da Conab (2011), a estimativa da área destinada à produção de cana-de-açúcar no Brasil é de cerca de 8,4 milhões de hectares, com produtividade média de 76 t ha<sup>-1</sup>. A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 641,982 milhões de toneladas, com incremento de 2,9% em relação à safra 2010/11, que foi de 623,9 milhões. Isso significa que a quantidade que será moída deve superar em 18 milhões de toneladas a moagem da safra anterior. Estima-se que 48,11% do total de cana esmagada sejam destinados à produção de açúcar, 2% superior ao destinado na última safra. A produção de etanol deve atingir 27.090.915,6 mil litros, 1,83% menor que a produção da safra 2010/11 (CONAB, 2011).

Em relação a aspectos nutricionais, o P exerce função chave no metabolismo dessa planta, particularmente em formação de proteínas, processo de divisão celular, fotossíntese, armazenamento de energia, desdobramento de açúcares, respiração e fornecimento de energia a partir do ATP e formação de sacarose (KORNDÖRFER, 2004).

O P tem grande importância na qualidade da matéria-prima, pois teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> acima de 300 mg kg<sup>-1</sup> facilitam a clarificação do caldo, garantindo um produto final, o açúcar, com melhor qualidade (KORNDORFER, 2004). Caldos contendo baixos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentam dificuldade durante o processo de floculação, e a turbidez e coloração intensa implicam produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

As principais fontes de fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura brasileira são os de alta solubilidade, correspondendo a mais de 90% do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizado na agricultura brasileira (CAIONE et al., 2011a). De acordo com Novais et al. (2007), essas fontes apresentam alta eficiência agrônômica a curto prazo e elevado custo por unidade, fatores que tornam sua eficiência agrônômica baixa a longo prazo, uma vez que há forte competição entre o solo e a planta pelo P desses fertilizantes (NOVAIS et al. 2007). De acordo com Loganathan e Fernando (1980), uma vez em contato com o

solo, mais de 90% do total de P da fonte solúvel pode ser adsorvida nas primeiras horas. Assim, têm-se constantemente buscado técnicas que melhorem a eficiência de fertilizantes fosfatados.

Tradicionalmente, recomenda-se a aplicação das fontes solúveis, de maneira localizada, no sulco de plantio (PRADO et al., 2001). Recentemente têm-se buscado fontes com maior eficiência agrônômica, com diferentes tecnologias aplicadas, dentre elas o revestimento de fertilizantes com polímeros, que permite liberação lenta ou gradativa do nutriente para a planta, possibilitando melhor absorção desses fertilizantes. Segundo Morgan et al. (2009), o revestimento de fertilizantes tem por finalidade disponibilizar os nutrientes para as culturas por um maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas, reduzindo perdas por lixiviação, volatilização e adsorção.

Em fertilizantes encapsulados por polímeros, os nutrientes são liberados através de estruturas porosas, atingindo o sistema radicular das plantas lentamente. Essa característica visa garantir a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA; SCIVITTARO, 2002; SCIVITTARO et al., 2004).

Diferentes trabalhos demonstram que a utilização de fertilizantes revestidos promove melhoria da qualidade ou aumento da produtividade de diferentes culturas agrícolas. Scivittaro et al. (2004) observaram aumento no diâmetro do caule, na produção de matéria seca da parte aérea e na acumulação de N, P, K, Mg e B em plantas de 'Trifoliata' (*Poncirus trifoliata* L.), de acordo com a elevação na dose de fertilizante de liberação lenta. Tindall (2007) citaram o aumento nos teores de açúcar em plantas de beterraba.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da aplicação de fosfato monoamônio revestido com polímeros como fonte de P em áreas de produção comercial de duas usinas na safra 2010/2011.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Locais dos experimentos

Os experimentos foram instalados e conduzidos em áreas comerciais de primeiro ano, localizadas nas usinas Guaíra, município de Guaíra (SP), e WD, município de Varjão de Minas (MG), de outubro de 2009 (plantio) a maio de 2011 (colheita). Os dois experimentos foram similares quanto à época de cultivo, ao delineamento experimental, ao tamanho e número de parcelas, aos tratamentos, às avaliações e às análises dos resultados.

Os resultados das análises químicas dos solos das áreas de cultivo se encontram descritos na TABELA 3.1. Durante o período de condução dos experimentos, foram monitorados os índices pluviométricos das duas regiões.

Os solos das áreas experimentais foram classificados da seguinte forma, segundo Embrapa (2006): Usina Guaíra, Latossolo Vermelho distroférico argiloso, com 45,8 dag kg<sup>-1</sup> de argila, 24,2 dag kg<sup>-1</sup> de silte e 30 dag kg<sup>-1</sup> de areia; Usina WD, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso, com 38,4 dag kg<sup>-1</sup> de argila, 27,5 dag kg<sup>-1</sup> de silte e 34,1 dag kg<sup>-1</sup> de areia.

Os experimentos foram compostos por 36 parcelas. Cada parcela foi composta de cinco linhas com doze metros de comprimento por 1,5 m entrelinhas, com área total de 90 m<sup>2</sup> cada parcela, totalizando 3240 m<sup>2</sup>. Nos dois experimentos, o delineamento experimental adotado foi o *em blocos ao acaso*, constituídos por nove tratamentos e quatro repetições. Os blocos foram instalados paralelamente e espaçados por três metros entre si; o espaçamento entre as parcelas foi de dois metros.

**TABELA 3.1** - Análises químicas dos solos de áreas comerciais nas usinas em que foram realizados dois experimentos com cana-de-açúcar cultivadas em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando fosfato monoamônio com e sem revestimento de polímero, de out/2009 a maio/2011.

Usina	pH H <sub>2</sub> O	P-Meh ----- mg dm <sup>-3</sup>	P-Rem ----- mg dm <sup>-3</sup>	K ----- mg dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	(H+Al) ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	M.O. dag kg <sup>-1</sup>
Guaíra	6,68	8,0	11,5	45,92	5,96	0,35	0,02	1,35	2,3
WD	5,40	7,2	15,2	61,20	1,60	0,80	0,33	5,1	4,0

pH em água (1:2,5), K e P-disponível por Mehlich-1, P-remanescente, teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia Embrapa (2009).

### 3.2.2 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

Os dois experimentos foram delineados em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial  $4 \times 2 + 1$ , constituindo-se de quatro doses de  $P_2O_5$  e fosfato de monoamônio com e sem revestimento polimerizado, respectivamente, e um tratamento controle, em que não houve a aplicação de  $P_2O_5$ , com quatro repetições. As doses foram: controle (sem a aplicação de P) e 50; 100; 150; e 200  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Como fonte de P, foram utilizados fosfato monoamônio sem revestimento polimerizado (10% N e 52%  $P_2O_5$ ), e com revestimento polimerizado (9% N e 47%  $P_2O_5$ ) KimCoat<sup>®</sup> LGP.

### 3.2.3 Condução do experimento

Os experimentos foram instalados em outubro de 2009 em plantios manuais, colocando em média 12 toletes  $m^{-1}$  no fundo do sulco de plantio. Na usina Guaíra, foi cultivada a variedade RB 85-5453; na WD, a variedade RB 85-5536 (TABELA 3.2). Antes da semeadura, os tratamentos foram aplicados nos sulcos. Além de  $P_2O_5$ , foram aplicados no plantio 40  $kg\ ha^{-1}$  de N em equiparação à maior dose do fosfato monoamônio utilizado no tratamento, com 200  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Para equiparação da dose de N, foi utilizada a ureia (45% de N).

Em cobertura, foram aplicados N e K de acordo com o padrão técnico das usinas. No experimento da usina Guaíra, foram aplicados 500  $kg\ ha^{-1}$  da fórmula 13-00-34, com 1,3% B (6,5  $kg\ ha^{-1}$  de B). Na usina WD, foram utilizados em cobertura 500  $kg\ ha^{-1}$  de 19-03-19 em três aplicações.

As áreas foram conduzidas de acordo com os padrões técnicos e recomendações estabelecidos em cada usina. Todos os tratamentos culturais e o controle de plantas daninhas, de pragas e de doenças seguiram essa padronização, sendo executados quando necessários.

**TABELA 3.2** - Descrição das características agronômicas das variedades de cana cultivadas nos experimentos.

Variedades <sup>1</sup>	Produtividade	Maturação	Perfilhamento	Colheita	Florescimento	Nematoides
RB85-5453	alta	Precoce	alta	mai/jun	frequente	susceptível
RB85-5536	alta	Tardia	alta	Jun/ago	ausente	susceptível

<sup>1</sup> Informações cedidas pela Coplana do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Biotecnologia Vegetal.

### **3.2.4 Avaliações**

#### **3.2.4.1 Número de perfilhos**

Aproximadamente 90 dias após o plantio, foi realizada a contagem do número de perfilhos. A contagem se deu nas duas linhas centrais em cada parcela, descontando um metro de bordadura em cada extremidade.

#### **3.2.4.2 Análise foliar**

Seis meses após a instalação das lavouras, foram coletadas amostras de folhas em cada parcela. As amostras foram constituídas da primeira folha completamente desenvolvida, ou seja, com a lígula completamente exposta, denominada folha+1 (TVD), em um mínimo de 20 folhas por parcela. Depois de coletadas, foi utilizado o terço médio sem nervura central para determinação da concentração de P.

Para as análises, as amostras foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65–72°C até peso constante. Após secagem, as amostras foram moídas em moinho de aço inox (20 a 40 mesh), para posterior análise da concentração de P, extraído por digestão nítrico-perclórica (HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub> concentrados) e determinado em espectrofotômetro de colorimetria com comprimento de onda de 725 nm, por meio de reação com ácido ascórbico, segundo Defelipo e Ribeiro (1996).

#### **3.2.4.3 Produtividade**

Para determinação da produtividade, as plantas de cada parcela foram colhidas em corte manual, sem queima, eliminando a parte apical. Após o corte, as canas foram pesadas utilizando braço hidráulico com prova de carga, obtendo-se o peso total de colmos por parcela. A produtividade total de colmos foi obtida multiplicando-se o peso total de colmos de cada parcela por unidade de área da parcela, pela área referente a um hectare.

#### **3.2.4.4 Parâmetros de Qualidade Tecnológica.**

Antes da colheita, foram separados feixes de cana e, posteriormente, enviados para laboratórios de análises tecnológicas da cana, localizados nas usinas em que foram realizados os experimentos. Em cada amostra, foram determinados os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no caldo, do teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (°Brix%) da cana, por refratometria; a polarização (Pol%) da cana e a fibra (%) da cana, pelo método baseado

na regressão linear com o peso do bolo úmido (PBU), leitura de sacarimetria (LSAC) e os açúcares redutores totais (ATR), segundo a metodologia vigente no SPCTS (Sistema de Pagamento da cana-de-açúcar, pelo Teor de Sacarose) descritas em Fernandes (2003), de acordo com a disponibilidade das usinas. As amostras para análise tecnológica foram constituídas de dez canas seguidas na linha e coletadas antes da colheita da cana.

De posse dos valores de produtividade de colmos e Pol da cana, foi calculado o total de açúcar produzido por hectare (TAH), utilizando a equação (2):

$$\text{TAH} = (\text{Produtividade de colmos} \times \text{Pol \% da cana}) / 100 \quad (2)$$

em que: TAH - total de açúcar produzido por hectare em toneladas

Produtividade de colmos - massa total de colmos por parcela ( $\text{t ha}^{-1}$  de colmos)

Pol % da cana - teor de polissacarídeos da cana em porcentagem

#### **3.2.4.5 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando modelos de regressão para avaliação das doses, e ao teste Tukey, em relação aos tratamentos com e sem polímeros, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000). As médias ainda foram comparadas ao tratamento controle pelo teste Dunnet a 0,05 de significância, com o auxílio do programa ASSISTAT versão 7.5 beta (2008).

Ajustados os modelos – os parâmetros avaliados em que houve interação entre fontes e doses –, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e testada a sua significância pelo teste T a 0,01 de probabilidade, com o auxílio dos programas Excel e ASSISTAT.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Regime pluviométrico durante os cultivos

Durante o período de condução do campo experimental na usina Guaíra, as plantas foram submetidas a condições extremas, historicamente, de índices de pluviosidade, principalmente durante os meses de maio a agosto de 2010, em que o índice pluviométrico acumulado não passou dos 19 mm, com média de menos de 5 mm mês<sup>-1</sup> (FIGURA 3.1A). A chuva acumulada durante o cultivo foi de 2460 mm, com distribuição desuniforme. Durante a estação chuvosa, de outubro a abril, a média foi de 200 mm mês<sup>-1</sup>, com maior concentração nos meses de dezembro e janeiro. O mês de março de 2011, logo antes da colheita, em abril de 2011, foi o mais chuvoso da safra 2010/2011.

Na usina WD, município de Varjão de Minas – MG, o comportamento da distribuição pluviométrica foi semelhante ao da usina Guaíra. Durante o período mais seco, entre os meses de maio e agosto de 2010, a pluviosidade acumulada foi de 48,6 mm, sendo o mínimo observado nos meses de junho e agosto de 5 mm mês<sup>-1</sup> (FIGURA 3.1B). O acumulado durante o período de cultivo foi de 3000 mm, na estação chuvosa. Nos meses de outubro a abril, a média foi de 207 mm (2009/2010) e de 245 mm (2010/2011), sendo os meses de fevereiro e março atípicos, com 85 mm e 425 mm, respectivamente.

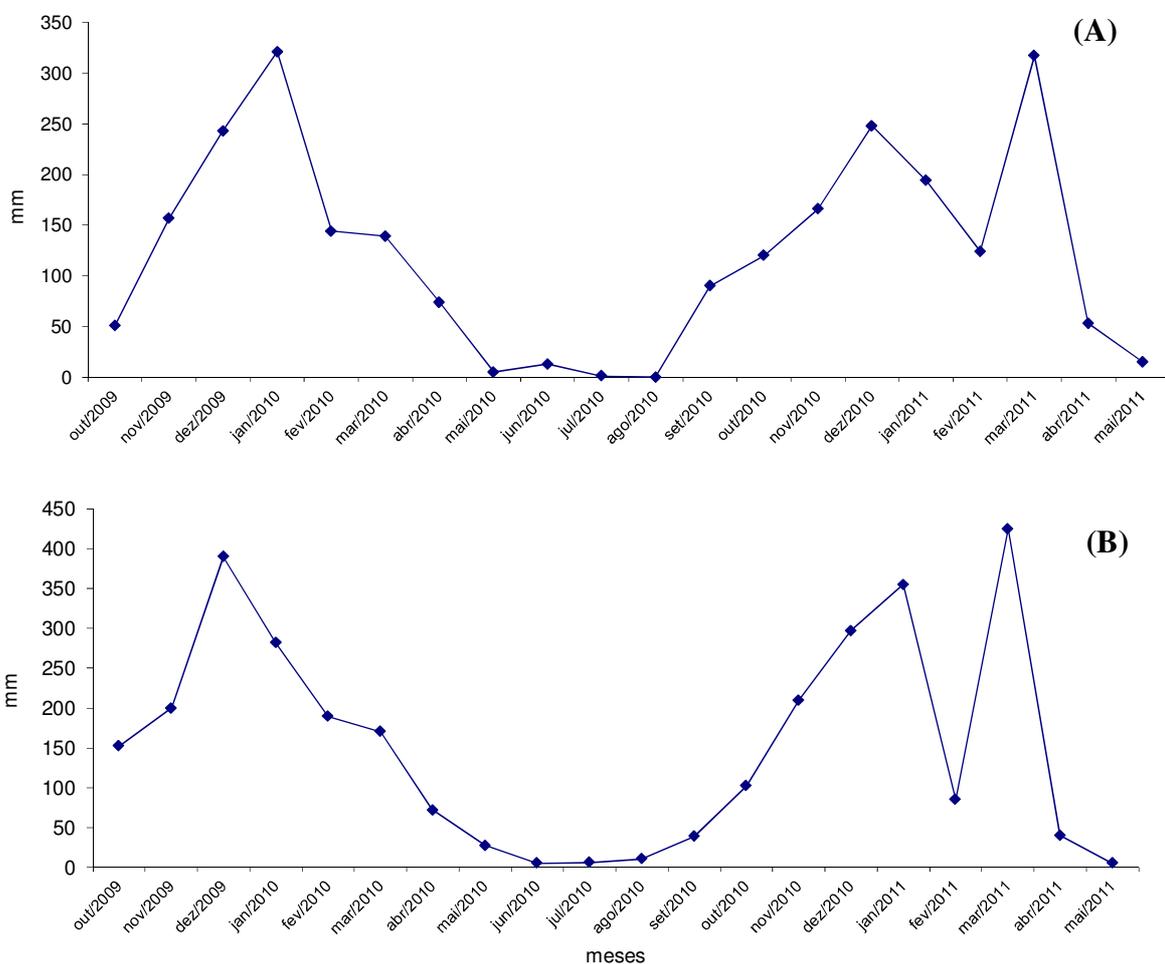
O índice pluviométrico acumulado nos primeiros sete meses de desenvolvimento, de outubro de 2009 a abril de 2010, foi de 1130 mm na usina Guaíra e 1455 mm na WD. Segundo Brito (2006), o bom desenvolvimento da cultura se dá com uma disponibilidade hídrica entre 1200 e 1800 mm, com temperatura média por volta de 30 a 34°C, sendo que abaixo de 25°C e acima de 38°C o crescimento é muito lento.

Suguitani (2001), em estudo referente à interação entre variedades de cana-de-açúcar e doses de P em São Paulo, notou maior incremento em altura de plantas nos períodos de temperaturas altas e maior precipitação. Ramesh; Mahadevaswamy (2000) e Silva et al. (2008) citaram que o déficit hídrico promove menor crescimento em altura de planta e aumento da mortalidade de perfilhos de cana-de-açúcar. Dantas Neto et al. (2006) concluíram que um suprimento hídrico adequado nas fases iniciais e de grande crescimento refletiu na melhoria do rendimento agrícola e industrial na cana soca.

De acordo com Silva et al. (2009), a cana-de-açúcar requer umidade adequada durante todo o período vegetativo para se obter rendimentos máximos, porque o

crescimento vegetativo, incluindo o crescimento da cana, é diretamente proporcional à água transpirada. Dependendo do clima, as necessidades de água da cana-de-açúcar são de 1500 a 2500 mm distribuídos de maneira uniforme durante a temporada de desenvolvimento (ROCHA, 2001). Tanto a escassez quanto o excesso de água são prejudiciais ao desenvolvimento da cultura.

A distribuição de chuvas, que reflete sobre a umidade do solo durante o desenvolvimento da cultura, é extremamente importante em trabalhos com fertilizantes polimerizados, uma vez saber-se que a velocidade de reação, bem como a disponibilização dos nutrientes por esses fertilizantes, é afetada diretamente pela umidade do solo (AUOADA et al., 2008).



**FIGURA 3.1** - Distribuição pluviométrica nas áreas de cultivo de cana localizadas na usina Guaíra (A), em Guaíra (SP), e usina WD (B), em Varjão de Minas (MG), de agosto de 2009 a maio de 2011.

### 3.3.2 Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar nos experimentos

#### 3.3.2.1 Perfilhamento

Aproximadamente aos 90 dias após a instalação dos experimentos, ambos os cultivos apresentaram, em média, 11 perfilhos  $m^{-1}$  (TABELA 3.3). Os resultados foram semelhantes aos descritos por Oliveira et al. (2011), que em quatro cortes relataram média de 12 perfilhos  $m^{-1}$  para a RB 85-5453, variedade utilizada na usina Guaíra.

Não houve efeito dos tratamentos no perfilhamento das plantas cultivadas na usina Guaíra. As fontes também não influenciaram o perfilhamento na área da usina WD. Porém, ocorreu efeito quadrático com a aplicação das doses de  $P_2O_5$  (FIGURA 3.2). O número máximo de perfilho foi estimado em 12,3 perfilho  $m^{-1}$  com a dose de 133,76  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Em relação ao tratamento em que não foi aplicado P, todos os tratamentos apresentaram número de perfilhos superior, com exceção da aplicação de 50  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  na fonte não revestida (TABELA 3.3).

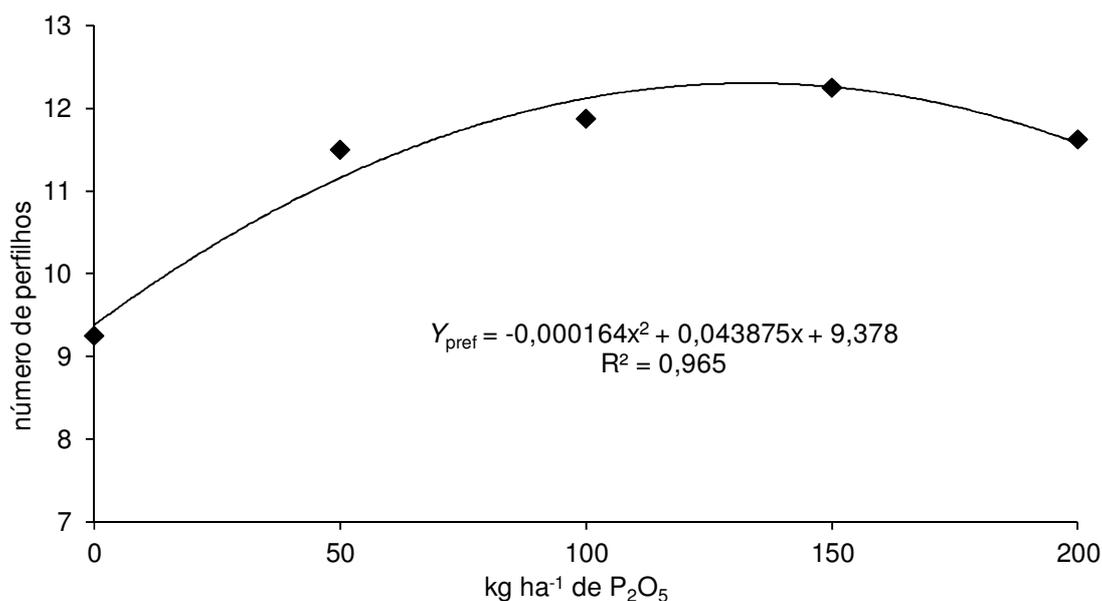
Os resultados obtidos são inferiores aos observados por Muraro (2007), que obteve 13,7 perfilhos  $m^{-1}$ , com a variedade RB 72 454; e Caione et al. (2011), com a variedade IAC 86 2480, 14,7 perfilhos  $m^{-1}$ . Segundo Terauchi e Matsuoka (2000), as características ideais de cultivares de cana-de-açúcar estariam relacionadas com rápido crescimento e desenvolvimento na fase inicial, que corresponde ao perfilhamento. A boa capacidade de brotação é uma característica desejável nas variedades, principalmente quando essa fase envolve épocas com condições ambientais desfavoráveis (CASAGRANDE, 1991).

**TABELA 3.3** - Valores médios de número de perfilhos de cana-planta com 90 dias de idade, variedade RB85-5453 usina Guaíra e variedade RB85-5536 usina WD, em função de doses de  $P_2O_5$  utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).

Variedades	Fertilizantes	Doses de $P_2O_5$ , $kg\ ha^{-1}$					Média
		0	50	100	150	200	
----- Número de perfilhos $m^{-1}$ -----							
RB85-5453	MAP	11,04	10,1	10,7	11,4	11,0	11,8a <sup>1</sup>
	POL	11,04	11,0	11,4	11,6	11,6	11,3a
RB85-5536	MAP	9,25	11,0	11,5*	11,5*	11,2*	11,2a
	POL	9,25	12,0*	12,2*	13,0*	12,0*	11,3a
DMS <sub>Dunentt Guaíra</sub> = 1,59			DMS <sub>DunenttWD</sub> = 1,64				
DMS <sub>Tukey Guaíra</sub> = 1,10			DMS <sub>TukeyWD</sub> = 0,61				
CV% <sub>Guaíra</sub> = 6,8			CV% <sub>WD</sub> = 8,4				

<sup>1</sup>médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

\*médias diferem estatisticamente do tratamento controle (sem a aplicação de  $P_2O_5$ ) pelo teste Dunnett 0,05 de significância.



**FIGURA 3.2** - Modelo ajustado para número de perfilhos de cana-planta (RB85-5536) aos 90 dias, em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> usina WD (média de fosfato monoamônio sem e com revestimento de polímeros).

De acordo com Santos et al. (2011), a disponibilidade de P no solo desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular, bem como no perfilhamento das gramíneas. Na cana-de-açúcar, o P assume grande importância no enraizamento e no perfilhamento e, portanto, na produtividade final e no rendimento de açúcar (SANTOS et al., 2009). Ao promover um bom desenvolvimento do sistema radicular, o P permite aumentar a eficiência das plantas no uso de água, promovendo menor perda, maior absorção e utilização de outros nutrientes, além de servir como mecanismo de defesa da planta aos estresses provocados por doenças e fatores climáticos (LOPES, 1989).

Vale et al. (2011) relataram efeito direto da omissão individual de N e P sobre o número de perfilhos de plantas de cana-de-açúcar, enquanto a omissão de K, Ca, Mg e S não diferiram quanto ao número de perfilhos das plantas submetidas à adubação completa. Santos Junior et al. (2008) justificaram a ausência de perfilhos na omissão de N e P pelo importante papel desses macronutrientes na taxa de perfilhamento das culturas.

Martins (2004) citou que plantas de cana-de-açúcar vegetando em solução na qual foi omitido o P foram menores que a testemunha, em que o P estava presente. A brotação também foi reduzida, os colmos apresentam internódios curtos, as raízes ficaram atrofiadas e a relação parte aérea/raiz diminuiu.

Para Moura et al. (2005), o número de perfilhos é afetado pela adubação e disponibilidade de água. Esses autores obtiveram aumento no número de perfilhos de 7,8 para 8,6, na variedade SP 79 1011, em cana sob irrigação.

Santos et al. (2011) observaram efeito positivo sobre o perfilhamento de cana-de-açúcar em função da aplicação de até 4t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro combinadas com doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de plantio. Esses autores relataram o efeito linear do aumento da dose de torta de filtro associado a doses de até 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sobre o número de perfilhos aos 30, 90 e 120 dias após a emergência.

### 3.3.2.2 Teores foliares de P

Nas plantas da variedade RB 85-5453 (Guaíra), foi observado efeito das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre os teores de P nas folhas, independentemente da fonte utilizada (FIGURA 3.3). Na usina WD, houve interação entre doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e as fontes de fertilizantes utilizadas sobre os teores foliares de P nas plantas de cana-de-açúcar (FIGURA 3.4).

Nos tratamentos em que foram aplicadas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, as plantas apresentaram teores foliares de P (TABELA 3.4) próximos ou superiores ao nível crítico determinado para a cultura, 2,2 g kg de P, conforme referido por Mendes (2006). De maneira geral, a partir da dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados, houve aumento nos teores de P nas folhas de cana-de-açúcar em relação ao tratamento sem a aplicação de P, nos dois experimentos, com as duas fontes de fertilizantes. A única divergência dessa tendência ocorreu na usina Guaíra, em que o efeito foi observado a partir da dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quando se aplicou o fosfato monoamônio revestido com polímeros (TABELA 3.4).

No experimento conduzido na usina Guaíra (FIGURA 3.3), o teor máximo de P foliar foi atingido com 193 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (4,8 g kg<sup>-1</sup> de P), acima da faixa adequada de 2,0 a 2,4 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 2006) e de 1,91 a 2,12 g kg<sup>-1</sup>, sugeridos por autores que desenvolveram pesquisas em canaviais de alta produtividade (REIS Jr., 1999; REIS Jr.; MONNERAT, 2002). Dessa forma, fica evidenciado que o acréscimo de P no solo a partir das doses aplicadas foi suficiente para o fornecimento adequado do nutriente, gerando canavial de elevado potencial produtivo.

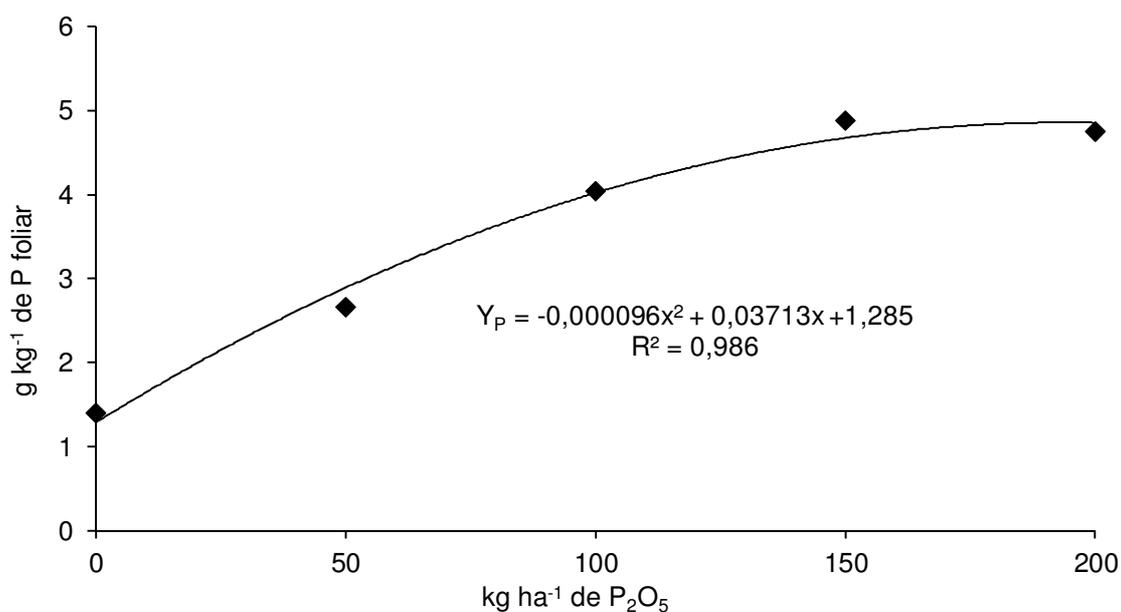
Em sistemas de cultivo sob plantio direto e convencional, Duarte Jr. e Coelho (2008) relataram teor de P foliar médio de 5,6 g kg<sup>-1</sup> de P, em cultivo com a variedade SP 80-1842, em Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro.

**TABELA 3.4** - Teores foliares de P na folha +1 de cana planta (TVD), com seis meses de idade. Para RB85-5453, em Guaíra (SP), e RB85-5536, em Varjão de Minas (MG) em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).

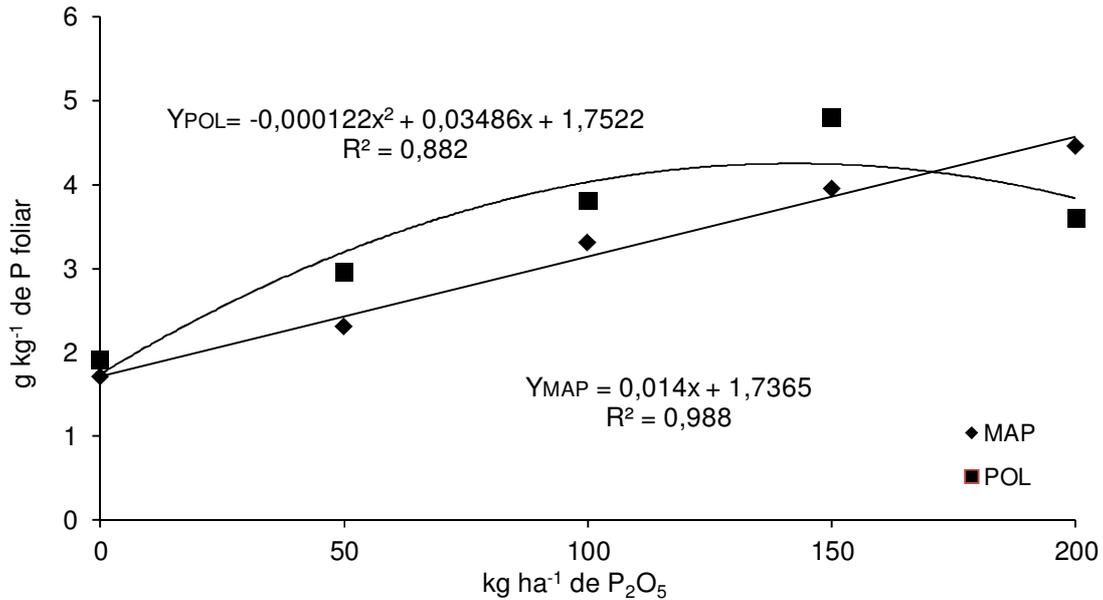
Variedades	Fertilizantes	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>					Média
		0	50	100	150	200	
		----- g kg <sup>-1</sup> -----					
RB85-5453	MAP		2,20	4,00*	5,00*	4,80*	3,50a <sup>1</sup>
	POL	1,4	3,10*	4,10*	4,70*	4,06*	
RB85-5536	MAP		2,30a	3,20a*	3,90b*	4,40a*	3,45a
	POL	1,9	2,90a	3,80a*	4,80a*	3,60b*	
DMS <sub>Dunnett</sub> Guaíra= 1,00			DMS <sub>Dunnett</sub> WD= 1,10				
DMS <sub>Tukey</sub> Guaíra= 0,70			DMS <sub>Tukey</sub> WD= 0,78				
CV% Guaíra= 13,7			CV% WD= 16,5				

<sup>1</sup> médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

\* médias diferem estatisticamente do tratamento controle (sem a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) pelo teste Dunnett 0,05 de significância.



**FIGURA 3.3** - Modelo ajustado para teor de P na folha +1 (TVD) de cana-planta (RB85-5453) com seis meses de idade, em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio usina Guaíra (média de fosfato monoamônio sem e com revestimento de polímeros).



**FIGURA 3.4** - Modelos ajustados para teor de P na folha +1 (TVD) de cana-planta (RB85-5536) com seis meses de idade, em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL), Varjão de Minas (MG).

No experimento conduzido na usina WD (RB 85-5536), os tratamentos com a aplicação de fosfato monoamônio convencional apresentaram resposta linear ao aumento da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado no sulco de semeadura (FIGURA 3.4). De acordo com o modelo ajustado, cada kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado no sulco de semeadura gerou aumento de 14 mg kg<sup>-1</sup> de P, o que representa um aumento de 8% para cada 10 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados.

Os tratamentos com a aplicação de fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) apresentaram resposta quadrática ao aumento da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O máximo teor de P foliar (4,24 g kg<sup>-1</sup> de P) foi obtido com a aplicação de 143 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FIGURA 3.4). Ao comparar as duas fontes, em doses inferiores a 172 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em que as duas fontes geraram plantas com teores de P semelhantes (4,14 g kg<sup>-1</sup> de P), o POL sempre gerou teores de P superiores aos das plantas submetidas aos tratamentos com a aplicação da fonte convencional. Quando aplicados 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a diferença entre P foliar das duas fontes foi de 0,88 g kg<sup>-1</sup> de P. Tais diferenças podem indicar melhor suprimento de P quando se utilizou a fonte revestida com polímeros (POL) em doses inferiores a 171 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FIGURA 3.4).

Os melhores resultados encontrados para o fosfato revestido com polímeros (POL) podem ser atribuídos à maior eficiência da fonte, proporcionada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros. Estes, ao absorverem água do

solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas, liberando-os gradativamente pela estrutura porosa na zona da raiz, atendendo assim às necessidades das plantas (TOMASZEWSKA et al., 2002).

Paranhos (1987), em estudos com plantas de cana-de-açúcar, observou que as folhas acumularam maiores teores de P do que os colmos até o décimo segundo mês após o plantio. A partir desse ponto, segundo esse autor, os teores de P no colmo foram sempre crescentes, enquanto que nas folhas os teores decresceram após o décimo quarto mês do plantio.

Korndörfer e Alcarde (1992), estudando o acúmulo e o teor de P em cana-de-açúcar, verificaram que não houve diferença entre as fontes superfosfato triplo, superfosfato simples, ácido fosfórico e a mistura ácido fosfórico e fosfato natural, encontrando valores entre  $2,8 \text{ g kg}^{-1}$  e  $3,0 \text{ g kg}^{-1}$ , considerando-se apenas a nervura central. Santos (2006), por sua vez, verificou maior concentração do nutriente na folha, utilizando o superfosfato triplo ( $3 \text{ g kg}^{-1}$ ), em relação às outras fontes (superfosfato simples, Fosmag<sup>®</sup>, Foscana<sup>®</sup>, fosfato monoamônio, formulado, composto, superfosfato simples parcelado).

Duarte Jr. e Coelho (2008) não encontraram diferenças significativas nos teores foliares de P, Ca e Fe em cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de manejo do solo com e sem aplicação de fertilizante. Os autores relacionaram o fato aos níveis elevados dos nutrientes no solo – P ( $41,8 \text{ g dm}^{-3}$ ), Ca ( $5,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e Fe ( $127,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) –, considerados adequados para produção de cana (MALAVOLTA, 2006). No presente trabalho, os teores de P são considerados de médio a baixo, segundo Ribeiro et al. (1999): no experimento da usina Guaíra,  $8,06 \text{ mg dm}^{-3}$  de P com  $48 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila; na WD,  $7,20 \text{ mg dm}^{-3}$  de P com  $38 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila.

Especificamente em estudo com fertilizantes revestidos, Valderrama et al. (2011), com a cultura de milho irrigado, não observaram diferenças entre fontes com e sem revestimento polimerizado, doses de N-P-K nos teores foliares e produtividade da cultura. Esses autores constaram teor médio de P foliar em  $2,8 \text{ g kg}^{-1}$  de P, e incremento quadrático em função do aumento da dose de P utilizada, no intervalo de 0 a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , mesmo em solo com alto teor de P.

Braccini et al. (1999) relataram resposta linear crescente à aplicação de fertilizante revestido N-P-K (Osmocoat<sup>®</sup>) na cultura do milho cultivado em vaso, com Latossolo vermelho argiloso e Neossolo Quartzarênico, até a dose de  $6 \text{ g dm}^{-3}$  de Osmocoat<sup>®</sup> ( $360 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Dentro do intervalo de doses, os autores

encontraram teores foliares de P variando de 1,0 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> de P, sendo o maior percentual de aumento relatado no solo com textura arenosa, próximo a 100%, enquanto no solo com textura argilosa foi de 80%.

Ainda com a cultura de milho cultivado em vaso, utilizando amostras de latossolos com textura argilosa e média, Souza et al. (2011) não observaram diferenças entre os teores foliares de P com o uso de fosfato monoamônio convencional e revestido com polímeros (KimCoat<sup>®</sup> LPG). Foram observadas diferenças somente em função das doses aplicadas, até 200 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Nesse estudo, os autores observaram maior incremento no teor de P disponível no solo dos vasos, extraído por Mehlich-1, após o cultivo de plantas de milho por 35 dias, nos dois solos estudados. As fontes de P solúvel perdem eficiência ao longo do tempo, pois ocorre adsorção ou fixação desse elemento pelo solo (KONDORFER et al. 1989).

Em estudo com feijão sob plantio direto em Ilha Solteira (SP), Valderrama et al. (2009) não observaram diferenças entre superfosfato triplo revestido com polímeros (KimCoat<sup>®</sup>) e superfosfato triplo convencional nos teores foliares de N, P e K, que variaram apenas em função da dose, independentemente da fonte utilizada. Os autores observaram como teor médio 3,26 g kg<sup>-1</sup> de P; a aplicação de doses até 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gerou acréscimo linear de P foliar nas plantas de feijão, sendo 3,67 g kg<sup>-1</sup> de P o maior valor registrado.

### 3.3.2.3 Produtividade de colmos

De forma semelhante aos resultados obtidos para os teores foliares de P, na variedade RB 85-5453 (usina Guaíra) para a produção de colmos, houve resposta das plantas somente em função das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FIGURA 3.5). A produtividade máxima estimada foi de 143 t ha<sup>-1</sup> de colmos, com 123 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, independentemente da fonte de fosfato monoamônio utilizada.

Pelo teste de Dunnett, somente a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quando se utilizou a fonte sem revestimento, se diferenciou em relação ao controle (TABELA 3.5). Contudo, a área apresentou altos valores médios de produtividade de colmos. As produtividades médias variaram de 115 t ha<sup>-1</sup> de colmos, no tratamento controle, a 155 t ha<sup>-1</sup> de colmos com 100 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamônio não revestido com polímero. Tais resultados podem indicar, apesar de 40t ha<sup>-1</sup> de colmos de diferença entre a menor e a maior produtividade, a ocorrência de alta variabilidade na resposta da cultura aos tratamentos testados.

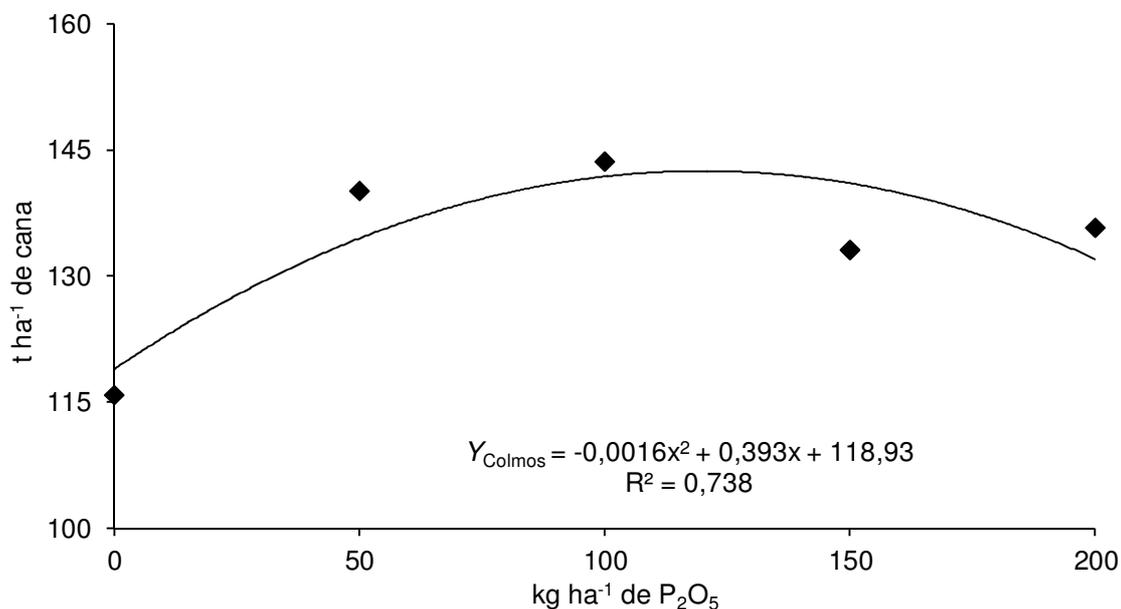
Kumar e Verma (1999) constataram que doses de P superiores a 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no solo podem garantir altas produtividades de açúcar. Esses autores, trabalhando com diferentes doses de adubação fosfatada no estado de Haryana, Índia, relataram aumento no teor de sacarose e nos demais parâmetros de qualidade do caldo.

**TABELA 3.5** - Produtividade de colmos de cana-planta, (RB85-5453) em Guaíra (SP), e (RB85-5536) em Varjão de Minas (MG), cultivadas em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímeros (POL).

Variedades	Fertilizantes	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>					Média
		0	50	100	150	200	
----- t ha <sup>-1</sup> -----							
RB85-5453	MAP	115,83	114,2	155,3*	127,0	139,2	136,3a
	POL		135,9	131,9	139,1	132,4	131,1a
RB85-5536	MAP	91,37	100,0*b	104,9a*	97,9b*	113,4a*	100,9a
	POL		104,9*a	105,4a*	118,6a*	96,7b	104,9a
DMS <sub>Dunnett</sub> Guaíra = 29,43			DMS <sub>Dunnett</sub> WD = 8,34				
DMS <sub>Tukey</sub> Guaíra = 8,92			DMS <sub>Tukey</sub> WD = 5,71				
CV% <sub>Guaíra</sub> = 10,29			CV% <sub>WD</sub> = 16,56				

<sup>1</sup> médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

\* médias diferem estatisticamente do tratamento controle (sem a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) pelo teste Dunnett 0,05 de significância.



**FIGURA 3.5** - Modelo ajustado para produção de colmos (t ha<sup>-1</sup>) de cana-planta (RB85-5453), cultivada em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio, em Guaíra (SP) (média de fosfato monoamônio sem e com revestimento de polímeros).

No Brasil, a produtividade média de cana-de-açúcar, incluindo folhas secas e ponteiros, tem variado em torno de 80 t ha<sup>-1</sup> de matéria fresca. Entretanto, adotando-se

manejo adequado de variedades, tais como a calagem e adubação, podem-se alcançar produtividades superiores a  $150 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria fresca (OLIVEIRA et al., 2011).

Os resultados obtidos foram o dobro dos relatados por Capone et al. (2011). Esses autores compararam quinze variedades na região de Gurupi, estado de Tocantins, e a média de produção da variedade RB 85-5453 no primeiro corte foi de  $56,86 \text{ t ha}^{-1}$ , em Latossolo Amarelo distrófico, textura arenoargilosa. A dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizada no plantio foi de  $210 \text{ kg ha}^{-1}$  com fosfato monoamônio na formulação NPK.

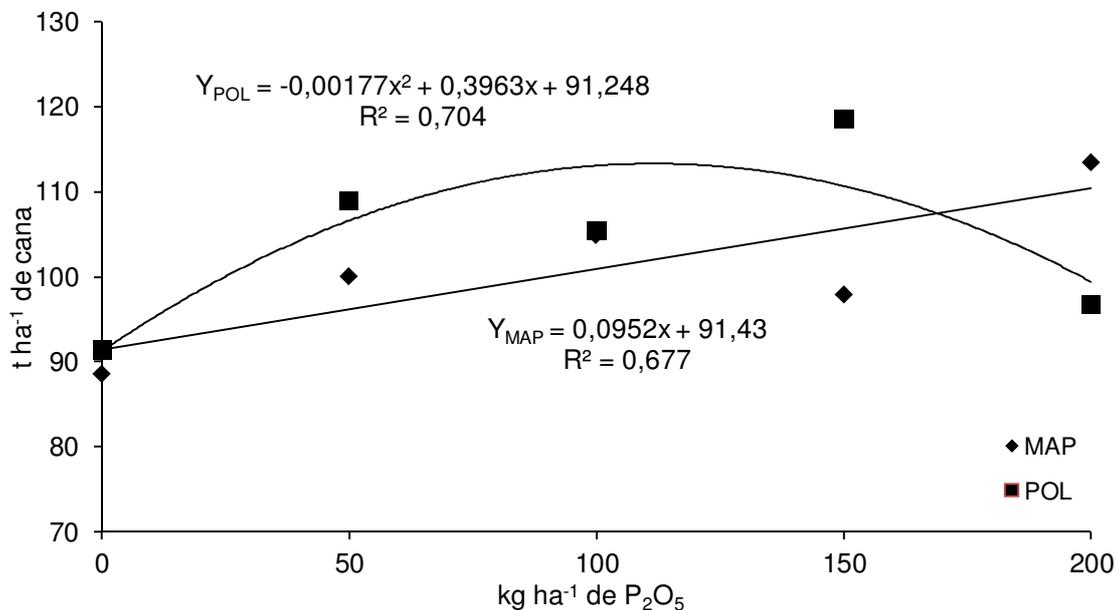
Já Magalhães (2010), em experimentos com a mesma variedade (RB85-5453) em função da aplicação de doses de vinhaça na região de Janaúba, Minas Gerais, obteve resultados semelhantes: com doses de  $350 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça, gerou produtividade de colmos por volta de  $125 \text{ t ha}^{-1}$ .

No experimento na usina WD, houve interação entre as doses e as fontes utilizadas para a produção de colmos (TABELA 3.5, FIGURA 3.6). A aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  com a fonte revestida propiciaram  $21 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos a mais em relação à mesma dose, quando utilizada a fonte convencional (TABELA 3.5).

Nos tratamentos com a utilização de fosfato monoamônio revestido com polímero (POL), a resposta foi quadrática, com ponto de máxima produtividade estimado com a dose de  $112 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que gerou produtividade estimada de  $114 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos (FIGURA 3.5). Com a utilização da convencional, a resposta foi linear ao aumento das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (FIGURA 3.5). A produtividade média de colmos variou de  $91,43$  a  $110,47 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos, nos tratamentos sem aplicação de P e com a dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , respectivamente. Em termos percentuais, a produtividade de colmos aumentou cerca de 10% em função da aplicação de P, quando se utilizou o fosfato monoamônio convencional, ou seja, em média a cada  $9 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , o ganho em produtividade de colmos foi de aproximadamente  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  de colmos.

Santos et al. (2011) estudaram o efeito da aplicação de doses de torta de filtro como incremento da dose de P solúvel sobre a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, variedade RB 86-7515, em Latossolo Vermelho distrófico com 18% de argila. Os autores observaram respostas lineares com a aplicação de 0,5; 1,0 e  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro associada com fosfato solúvel nas doses de 50; 100; 150; e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em média, o aumento percentual na produtividade de colmos foi de 15%, 22% e 18% com as doses de 0,5; 1,0; e  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro, respectivamente. Para a fonte solúvel, a resposta foi quadrática e a maior produtividade estimada foi de  $155,45 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos com aplicação de  $128,75 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ . Apesar do efeito sobre a

produtividade de colmos e outras características fitotécnicas da cana, esses autores não encontraram efeito dos tratamentos sobre as propriedades tecnológicas, como °brix, pol e teor total de açúcares.



**FIGURA 3.6** - Modelos ajustados para produção de colmos (t ha<sup>-1</sup>) de cana-planta (RB85-5536), cultivadas em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímero (POL), em Varjão de Minas (MG).

Korndörfer (1997), avaliando o efeito do P na produção de cana no primeiro e segundo cortes em solo de Cerrado sob Latossolo Vermelho distroférico, textura média, com doses de 0; 60; 120; e 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, observou efeito linear e positivo. O efeito linear apresentado, principalmente no primeiro corte, indicou que, possivelmente, haveria resposta para doses de P superiores à máxima dose utilizada (180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) nessas condições.

Korndörfer e Alcarde (1992) observaram que a aplicação de P aumentou a produção de matéria verde e seca, obtendo resultados semelhantes para produção de colmos e açúcar. O aumento médio de produção foi de 11 t ha<sup>-1</sup> com a aplicação de apenas 22 kg ha<sup>-1</sup> de P na cana soca.

Vários são os resultados do efeito positivo da adubação fosfatada sobre a produtividade de açúcar. Santos et al. (2009) relataram que a adubação fosfatada influencia positivamente o rendimento agrícola da cana-planta, sendo o superfosfato triplo a fonte de P que apresentou o melhor desempenho, dentre outras estudadas. Pereira et al. (1995) verificaram os benefícios da adubação fosfatada sobre a

produtividade da cana-planta no estado da Bahia, com aumento de produtividade e teor de  $P_2O_5$  no caldo, justificando, assim, um programa adequado de recomendação de adubação fosfatada para maximizar o potencial agroindustrial da cultura em seu estado.

Segundo Cruz et al. (2009), um bom suprimento de P melhora a eficiência do N absorvido, o qual é assimilado às cadeias carbônicas. Incrementa-se, assim, a formação de novos tecidos e, conseqüentemente, elevam-se o índice de área foliar e a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas, as quais, sob condições ambientais favoráveis, elevam a eficiência do uso da radiação solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria fresca (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Já, Caione et al. (2011a), com duas variedades de cana (IAC 862480 e SP 79 1011), relataram o efeito da aplicação de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  sobre a produtividade de matéria vegetal, com média de  $140 \text{ t ha}^{-1}$  de material vegetal, em área com Latossolo Vermelho Amarelo distrófico como  $393 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. Os autores compararam três fontes – farinha de ossos, fosfato reativo de Arad e superfosfato triplo –, e somente observaram diferença em relação ao tratamento em que não foi aplicado P.

No município de Campos dos Goytacazes (RJ), em área com Cambissolo Eutrófico argiloso, Duarte Jr. e Coelho (2008) compararam a produtividade de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de plantas de cobertura, e observaram produtividade variando de  $132$  a  $145 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos, não encontrando diferenças entre os tratamentos com e sem aplicação de fertilizantes. De maneira semelhante à Caione et al. (2011a) nos tratamentos utilizados por Duarte Jr e Coelho (2008), não houve diferenças estatísticas nas características tecnológicas da cana-de-açúcar.

Em função dos modelos estimados para a produtividade de colmos de cana-de-açúcar na usina WD, no comparativo entre as fontes utilizadas, pode-se observar que, até aproximadamente a dose de  $169 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , a aplicação de fosfato monoamônio revestido com polímero propiciou produtividades maiores em relação ao fosfato monoamônio convencional (FIGURA 3.6). A maior diferença entre as fontes ocorreu com a dose de  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , com  $12,6 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos quando se utilizou fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) em relação ao convencional (MAP). Com a aplicação de  $112 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  com POL, dose de produtividade máxima, obtiveram-se  $114 \text{ kg ha}^{-1}$  de colmos, com  $12 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos a favor da fonte polimerizada.

Para estimativa de produtividade de colmos de  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , a dose com a fonte convencional foi de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ ; enquanto, com a fonte revestida com polímero,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$

<sup>1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dessa forma, para a produtividade estimada de 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos, a quantidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> necessária para a fonte de fosfato monoamônio sem revestimento polimerizado foi, aproximadamente, três vezes superior a da fonte revestida com polímeros.

Conforme descrito por Vieira e Teixeira (2004), fertilizantes revestidos por polímeros comparados ao uso de adubos sem revestimento podem não diferir quanto à época de aplicação. As diferenças ocorrem quanto à eficiência da adubação, pois fertilizantes com polímeros conferem menores perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação, possibilitando reduzir a dose aplicada (ZHRANI, 2000).

De acordo com Ferreira (2010), o revestimento do P KimCoat<sup>®</sup> é realizado com três camadas de aditivos especiais que envolvem os grânulos dos fertilizantes. Isso possibilita liberação gradativa ou controlada dos nutrientes contido no grânulo, reduzindo assim as perdas por fixação. Uma vez em contato com o solo, o Kimcoat<sup>®</sup> LGP é hidratado, permitindo a liberação do nutriente, que se desloca para a solução do solo até saturá-la. Após a saturação, cessa a liberação de soluto até que haja absorção desses nutrientes pelas plantas e haja um novo equilíbrio químico na solução do solo. Dessa forma, o sistema radicular se desenvolve e ainda encontra P disponível na solução, aumentando assim sua eficiência de aproveitamento pelas plantas (FERREIRA, 2010).

Diferentes autores citaram que essa maior eficiência é proporcionada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos por polímeros, os quais, ao absorverem água do solo, solubilizam os nutrientes no interior das cápsulas, que são gradativamente liberados por meio da estrutura porosa na zona da raiz, de acordo com a necessidade das plantas (SHAVIV, 1999; HANAFI et al., 2000; TOMASZEWSKA et al., 2002; GUARESCHI et al., 2011).

A redução, conforme observado, da fonte revestida em relação a convencional superou os relatos de Tindall (2007) para soja, milho e algodão sob Cerrado. Nessa pesquisa, a redução do custo de adubação foi de 36,5% com o uso de fosfato monoamônio polimerizado em soja. Na cultura de milho, somando-se a adubação de plantio e cobertura, a economia com adubos chegou a 37,15%; em algodão, uma economia de 38,9% em função da maior eficiência do fertilizante e da redução da dose aplicada (TINDALL, 2007).

Nas culturas de milho e soja, ainda sob Cerrado, Souza et al. (2011, no prelo) encontraram resultados de redução nas doses com a utilização de fosfato monoamônio

revestido: na cultura de milho sob irrigação, de 39% em relação à fonte não revestida; em soja, a aplicação de superfosfato triplo revestido permitiu redução na dose de P de até 35% sobre o superfosfato triplo convencional.

No entanto, Valderrama et al. (2011), com a cultura do milho irrigado, e Valderrama et al. (2009), com feijão, não encontraram diferenças significativas entre fatores de produtividades das culturas sob cultivos com a comparação de fertilizantes N-P-K com e sem o revestimento polimerizado.

Guareschi et al. (2011), em cultivo de soja sob Cerrado com Latossolo Vermelho distroférico argiloso, concluíram que a aplicação a lanço de fertilizantes revestidos por polímeros (superfosfato triplo e Cloreto de potássio) quinze dias antecipados à semeadura conferiu maior produção de massa seca, número de vagens por planta e produtividade de grãos em relação aos fertilizantes convencionais. Os mesmos autores perceberam que os fertilizantes revestidos por polímeros são mais eficientes para garantir a nutrição mineral das plantas quando se visa a uma aplicação antecipada à semeadura, uma vez que houve diferenças nos fatores avaliados quando os fertilizantes foram aplicados na semeadura.

Guareschi et al. (2011) ainda relataram que o maior desenvolvimento das plantas foi decorrente da maior disponibilidade de P e K pelos fertilizantes revestidos por polímeros que, em condição de maior exposição ao solo, podem ter reduzido a fixação do P às partículas do solo e, conseqüentemente, aumentado seu aproveitamento pela planta. Alguns trabalhos realizados com fertilizantes revestidos por polímeros demonstram que, no geral, um dos fatores que confere melhor desempenho das plantas à aplicação desses fertilizantes é o fornecimento regular e contínuo de nutrientes a essas plantas, redução de perdas de potássio por lixiviação, e P por adsorção (SHAVIV, 2001; MENDONÇA et al., 2007).

Para Simões Neto et al. (2009), além dos benefícios no campo, uma boa adubação fosfatada também é de grande importância na qualidade da cana-de-açúcar, influenciando a porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%) e pureza de caldo. Segundo Moura et al. (2005), a qualidade da matéria-prima está diretamente relacionada a um conjunto de características que a cana-de-açúcar deve apresentar, atendendo às exigências da indústria, por ocasião do processamento, em especial o teor de sacarose e a fibra industrial.

### 3.3.2.4 Qualidade tecnológica das variedades de cana-de-açúcar

Apesar dos efeitos relatados nos dois experimentos conduzidos no presente trabalho, os tratamentos aplicados com doses e fontes de P não propiciaram diferenças quanto à qualidade tecnológica dos colmos de cana-de-açúcar produzidos (TABELAS 3.6 e 3.7). Pereira et al. (1995) relataram que fatores como clima, variedades e manejo do solo exercem influência sobre a quantidade de açúcar acumulado nos colmos da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito de fertilizantes sobre esse parâmetro.

No experimento conduzido na usina Guaíra, os teores de  $P_2O_5$  do caldo variaram em média de 333,27 a 408,63  $mg L^{-1}$  de caldo; 18,3% a 19,1% de °Brix, LSAC 64,3 a 72,3 (TABELA 3.6). Já na cana da usina WD, os resultados observados foram: teores de  $P_2O_5$  no caldo, 265,59 a 446,61  $mg L^{-1}$  de caldo; valores médios de 22,33% °Brix do caldo, 18,74% pol do caldo, 11,99% de fibras, 84,15% de pureza e 158,6 de açúcar total recuperado (ATR) (TABELA 3.7).

De acordo Segato et al. (2006), os teores de fibra da variedade RB85-5536, a mesma cultivada na usina WD, encontravam-se dentro dos níveis ideais estabelecidos para início da colheita da cana-de-açúcar. O teor de fibra na cana inferior a 10,5% é indesejável em função do balanço energético nas usinas e alambiques, já que é necessário queimar mais bagaço para manter o poder calorífico nas caldeiras. Assim, torna-se uma característica de suma importância o teor médio de fibra ideal de 10,5% a 12,5%, para a manutenção energética das indústrias que processam a cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2011). Especificamente no estado de São Paulo, segundo Fernandes (2003), o teor de fibras deve estar entre 10% a 11% para que seja recomendada a industrialização da cana.

O ATR representa todos os açúcares da cana, na forma de açúcares invertidos, embora outras substâncias redutoras, presentes no caldo de cana, possam estar incluídas. Na planta, o desdobramento da sacarose em glicose e frutose é uma reação de duplo sentido, isto é, ocorre a inversão, assim como a combinação, durante o metabolismo da fotossíntese e respiração da planta; daí a importância do conhecimento do teor de ATR, para a avaliação da qualidade da matéria-prima (FERNANDES, 2003).

Os teores de  $P_2O_5$  são superiores aos observados por Korndörfer e Melo (2009). Ao estudarem o efeito de diferentes fontes de P na cana, obtiveram, com a dose de 100  $kg ha^{-1}$   $P_2O_5$ , teores médios de  $P_2O_5$  de 109  $mg L^{-1}$  no caldo, além de ATR 113,5  $kg t^{-1}$  e pol do caldo 17%, também não influenciados pelas fontes de P. Com essa mesma dose

de P, Santos et al. (2011) encontraram valores de °Brix de 22,75, fibras 14,9%, pureza 91%, pol 17,27% e ATR 185,3 kg t<sup>-1</sup> de caldo.

Os resultados de °Brix e os efeitos dos tratamentos se assemelham aos observados por Cruz et al. (2009). Em estudo com duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a doses de P em Alagoas (0; 30; 60; 90; 120; e 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), não observaram efeito sobre os teores de °Brix%. Esses autores concluíram que as melhores médias de acúmulo de matéria natural, matéria seca e teor de °Brix% foram obtidas quando aplicados 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo.

Os valores de °Brix da cana-de-açúcar cultivada na usina Guaíra estão próximos dos observados por Duarte Jr; Coelho (2008). Avaliando as características agrônômicas da cana-de-açúcar em função de sistemas de plantio e adubação, observaram valores médios de 17,6°Brix, 90,2% de pureza, 12,1% de fibras e açúcar total recuperado (ATR) de 130,1 kg t<sup>-1</sup> de cana. Assim, os parâmetros tecnológicos avaliados condizem com matéria-prima de boa qualidade industrial.

Uchoa et al. (2009), em estudo comparativo entre seis variedades de cana-de-açúcar no cerrado de Roraima, apresentaram teores de °Brix variando de 18,19% a 20,22%, e a variedade RB85-5536, a mesma cultivada no experimento da usina WD, apresentou 19,49% °Brix, um pouco inferior à média encontrada no presente trabalho (22,33% °Brix).

**TABELA 3.6** - Resultados das análises de qualidade tecnológicas da variedade RB85-5453 cultivada na usina Guaíra, município de Guaíra (SP), em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), de outubro de 2009 a maio de 2011.

Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>1</sup>		°BRIX <sup>2</sup>		PBU <sup>3</sup>		LSAC <sup>4</sup>	
	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL
Kg ha <sup>-1</sup>	----- mg L <sup>-1</sup> -----		----- % -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----		Graus	
0	333,27		19,09		133,76		68,11	
50	385.14	409.23	18.48	18.83	124.92	130.29	65.29	66.41
100	387.49	346.68	18.29	19.00	126.71	135.51	64.26	67.89
150	356.57	359.18	19.26	18.75	134.88	135.30	72.34	66.96
200	347.69	408.63	18.84	19.18	132.32	135.40	67.28	68.16
Média	362,03 <sup>ns</sup>	371,40 <sup>ns</sup>	18,79 <sup>ns</sup>	18,97 <sup>ns</sup>	130,52 <sup>ns</sup>	134,05 <sup>ns</sup>	67,45 <sup>ns</sup>	67,50 <sup>ns</sup>
	CV% = 18,77		3,32		5,90		6,98	

<sup>1</sup>Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no caldo; <sup>2</sup>grau Brix do caldo; <sup>3</sup>peso do bolo úmido; <sup>4</sup>leitura de sacarimetria;  
<sup>ns</sup>médias na linha não diferem entre si pelo teste F a 0,05 de significância.

**TABELA 3.7** - Resultados das análises de qualidade tecnológicas da variedade RB85-5536 usina WD, Varjão de Minas (MG), em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio revestido com polímero (POL) e sem revestimento de polímero (MAP), de outubro de 2009 a maio de 2011.

Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>1</sup>		°Brix do caldo <sup>2</sup>		Pol da cana <sup>3</sup>		Pol do caldo <sup>4</sup>		TAH <sup>5</sup>	
	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL
Kg ha <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----		-----%-----		-----%-----		-----%-----		-----t ha <sup>-1</sup> -----	
0	298,09		22,35				19,50		14,50	
50	306,78	325,72	22,53	22,40	15,63	16,05	18,30	19,03	15,62b <sup>6</sup>	17,47a*
100	351,51	364,13	22,28	22,03	16,03	15,18	18,96	17,83	16,83a*	16,00a
150	346,61	318,88	21,98	22,55	16,57	16,00	19,53	18,86	16,24b	18,96a*
200	332,79	283,82	22,40	22,43	15,76	15,23	18,56	18,08	17,87a*	14,71b
Média	327,16 <sup>ns</sup>	318,13 <sup>ns</sup>	22,31 <sup>ns</sup>	22,35 <sup>ns</sup>	16,02 <sup>ns</sup>	15,72 <sup>ns</sup>	18,97 <sup>ns</sup>	18,66 <sup>ns</sup>	16,21	16,33
CV% =	11,47		2,75		4,85		5,52		5,30	

Doses P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pureza <sup>7</sup>		LSAC <sup>8</sup>		Fibras <sup>9</sup>		ATR <sup>10</sup>	
	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL	MAP	POL
Kg ha <sup>-1</sup>	-----mg L <sup>-1</sup> -----		----- graus -----		-----%-----		-----kg t <sup>-1</sup> -----	
0	298,09		81,95		12,76		162,16	
50	306,78	325,72	76,71	79,82	11,52	11,69	156,89	160,18
100	351,51	364,13	79,53	74,68	12,07	11,89	160,04	152,87
150	346,61	318,88	81,94	79,11	11,84	12,03	164,67	159,98
200	332,79	283,82	77,71	75,35	12,22	12,76	157,50	153,02
Média	327,16 <sup>ns</sup>	318,13 <sup>ns</sup>	79,57 <sup>ns</sup>	78,18 <sup>ns</sup>	12,01 <sup>ns</sup>	12,12 <sup>ns</sup>	160,25 <sup>ns</sup>	157,64 <sup>ns</sup>
CV% =	5,45		5,76		3,28		4,25	

<sup>1</sup>Teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no caldo; <sup>2</sup>°Brix do caldo; <sup>3</sup>Pol da cana; <sup>4</sup>Pol do caldo; <sup>5</sup>Total de açúcar por hectare = ((Pol da cana\*produtividade)/100); <sup>7</sup>Pureza; <sup>8</sup>Leitura de sacarimetria; <sup>9</sup>Fibras; <sup>10</sup>Açúcar Total Recuperado.

<sup>6</sup>médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância, com DMS<sub>TAH</sub> = 1,25.

<sup>ns</sup>médias não diferem entre si pelo teste F a 0,05 de significância;

\*médias diferem do tratamento controle (sem aplicação de P) pelo teste Dunnett a 0,05 de significância, DMS<sub>Dunnett TAH</sub> = 1,82.

Com base nos resultados obtidos na usina WD, produção de colmos e teor percentual de Pol da cana, foi calculado o total de açúcar produzido por hectare (TAH) (TABELA 3.7). De posse dos valores de TAH, foram testados modelos de regressão em função das doses de  $P_2O_5$  aplicadas e das fontes do fertilizante fosfatado (FIGURA 3.7). Os valores de TAH observados variaram de 14,5 a 18,9t  $ha^{-1}$  de açúcar. O uso de fosfato monoamônio revestido com polímeros propiciou maior produção de açúcar quando aplicados 50 e 150  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . A fonte não revestida apresentou maiores valores com a dose de 200  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ; na dose de 100  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , não houve diferença entre as fontes (TABELA 3.7).

Silva et al. (2010) encontraram valores semelhantes de produtividade de açúcar em cinco variedades de cana cultivadas, em função da aplicação de biorreguladores e fertilizantes líquidos em soqueira. Os autores relataram produção de açúcar com média variando de 12,89 a 16,69  $t\ ha^{-1}$  de açúcar, concluindo que os genótipos de cana-de-açúcar respondem diferentemente ao emprego de biorreguladores, associados ou não a fertilizantes foliares.

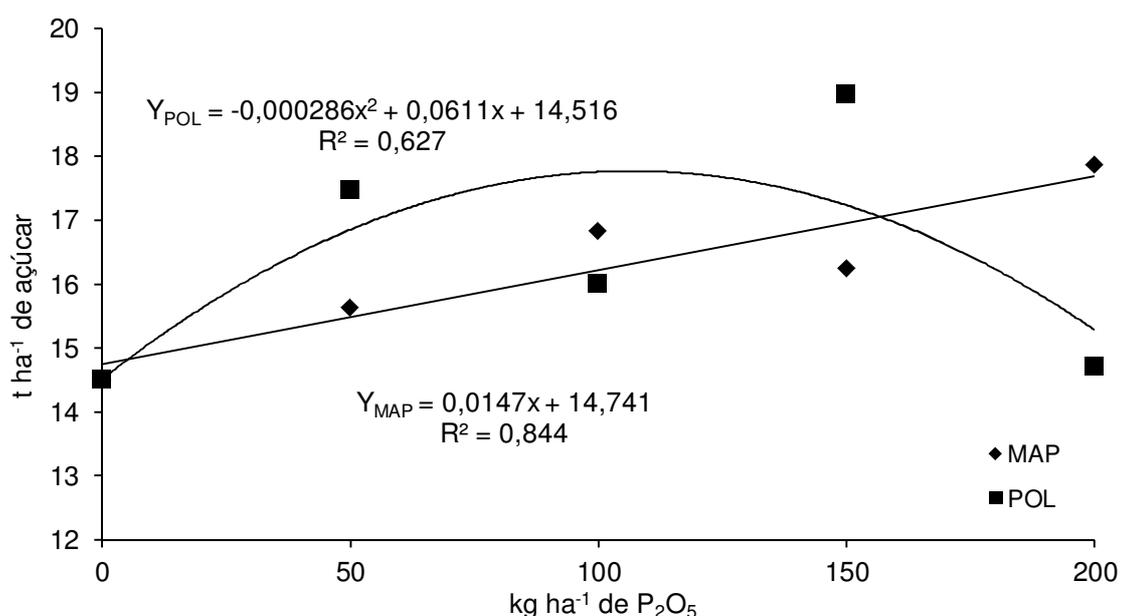
Santos et al. (2011) observaram o efeito positivo da aplicação de doses de P, associando superfosfato triplo e torta de filtro sobre a quantidade produzida de açúcar. Os autores estabeleceram uma superfície de resposta a partir da associação do adubo mineral e torta de filtro sobre a TAH, constatando que a maior produtividade ocorreu com dose de torta de filtro de 2,71t  $ha^{-1}$ , associada a superfosfato triplo com 161,9  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

De maneira semelhante ao apresentado para a produtividade de colmos (FIGURA 3.6), os modelos ajustados para TAH foram quadráticos às doses de  $P_2O_5$  quando utilizada a fonte revestida, e lineares para a fonte convencional (FIGURA 3.7). O uso de fosfato monoamônio (MAP) gerou aumento de aproximadamente 10% no TAH, ou seja, a cada 10  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  aplicados no plantio, houve aumento de 147  $kg\ ha^{-1}$  de açúcar no TAH. Com a aplicação da fonte revestida com polímeros, a maior produtividade de açúcar foi obtida quando aplicados 107  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ , com aproximadamente 18  $t\ ha^{-1}$  de açúcar produzido. Essa dose é próxima à estimada para a máxima produtividade de colmos, 112  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  (FIGURA 3.6), evidenciando a relação entre o efeito das doses de P sobre a produtividade de colmos e consequentemente, a produção de açúcar por unidade de área (TAH).

Nesse sentido, para os resultados obtidos no experimento da usina WD, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as variáveis:

produtividade de colmos *versus* teor de P foliar; produtividade de colmos *versus* total de açúcar produzido por hectare (TAH); e P foliar *versus* TAH (TABELA 3.8). As três correlações testadas apresentaram coeficientes significativos e positivos, o que denota o efeito direto dos pares, ou seja, os dois parâmetros avaliados apresentaram relações similares ao aumento das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o mesmo comportamento à medida que se mudou a fonte utilizada.

A correlação mais alta ocorreu entre a produtividade de colmos e o TAH, com coeficiente de correlação de 0,88, seguido por produtividade de teor de P foliar, 0,64, e P foliar *versus* TAH, 0,60, sendo todos os coeficientes significativos a 1% pelo teste T (TABELA 3.8). Os resultados sugerem que o total de açúcar produzido está diretamente relacionado à produtividade de colmos, que, por sua vez, foi influenciada diretamente pelo bom suprimento de P do solo, já que apresentou correlação com o teor de P foliar.



**FIGURA 3.7** - Modelos ajustados para o total de açúcar produzido (t ha<sup>-1</sup>) (RB85-5536), cultivadas em função da aplicação de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio sem (MAP) e com revestimento de polímero (POL), em Varjão de Minas (MG).

Santos et al. (2009) observaram influência estatística significativa de fontes de P com Superfosfato triplo, Superfosfato simples, Fosmag e formulado NPK, na produtividade e nas concentrações foliares de P da cana-planta. A produtividade variou de 71,3t ha<sup>-1</sup> no controle a 91,5t ha<sup>-1</sup> nos tratamentos em que houve adubação mineral, sendo o superfosfato triplo o que atingiu maior produtividade. Segundo esses autores,

todas as fontes, devido à alta dose utilizada de P, promoveram o aumento do grau de saturação da superfície adsorvente pelo nutriente na solução do solo, gerando menor energia de ligação do nutriente aos coloides e resultando no aumento da sua concentração na solução do solo (COSTA et al., 2006).

**TABELA 3.8** - Coeficiente de correlação de Pearson (r) para produtividade de colmos (PROD), teor de P foliar (P foliar), e total de açúcar por hectare (TAH), para RB85-5536, cultivada em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando fosfato monoamônio com e sem revestimento de polímeros em Varjão de Minas (MG).

Parâmetros	PROD	P foliar	TAH
PROD	-----	0,6435**	0,8825**
P foliar	0,6435**	-----	0,6020**
TAH	0,8825**	0,6020**	-----

\*\* significativo pelo teste T a 0,01 de significância

Diferentes estudos têm mostrado respostas variadas sobre a influência do P sobre as características tecnológicas da cana em função da adubação fosfatada. Elamin et al. (2007) informaram que, em cultivos com deficiência desse elemento, houve decréscimo significativo no acúmulo de sacarose, uma vez que a adubação fosfatada afeta diretamente a quantidade de açúcar e a pureza do caldo.

Meyer e Wood (2001) estudaram duas variedades na África do Sul. Verificaram que a adubação com P em um solo com baixos teores desse nutriente apresentou efeito direto sobre o aumento da produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. De acordo com os esses autores, a adubação com P desempenha papel importante na fotossíntese, no desenvolvimento radicular, no perfilhamento e na qualidade do caldo da cana-de-açúcar para a indústria.

Glaz et al. (2000) relataram que doses crescentes de P resultaram em respostas lineares positivas sobre o rendimento de açúcar, em dois experimentos conduzidos na Flórida (EUA). Lima et al. (2006) e Korndörfer e Melo (2009), por sua vez, relataram que a adubação mineral fosfatada não proporcionou efeito no teor de sacarose. Pereira et al. (1995), de modo semelhante, não observaram efeito do aumento de dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre características tecnológicas da cana-de-açúcar como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Pol% da cana.

Cruz et al. (2009), em estudo com duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a doses crescentes de P em Alagoas, não observaram efeito sobre os teores percentuais de °Brix. Esses autores concluíram que as melhores médias de acúmulo de matéria natural, matéria seca e °Brix foram obtidos quando aplicados 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo.

Santos et al. (2011) concluíram que P aplicado no sulco de plantio melhora a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar, por meio do aumento nos teores de sólidos solúveis (°Brix), de açúcares redutores totais (ATR) e de sacarose nos colmos (pol %). Esses resultados diferem dos observados no presente trabalho, uma vez que os atributos analisados da qualidade tecnológica da cana, nos dois experimentos, não foram influenciados pela variação das doses de P aplicadas no plantio.

### 3.4 CONCLUSÕES

- i* As fontes de fosfato monoamônio com e sem revestimento polimerizado não afetaram as variáveis produtivas da cultura de cana na Usina Guaíra;
- ii* O aumento das doses de P aplicadas no plantio da cana influenciou a produtividade de colmos e os teores de P nas folhas das plantas. Os maiores teores de P ocorreram com a dose 193 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enquanto a produtividade máxima foi obtida com a dose 123 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;
- iii* Em ambas as Usinas, não houve efeito dos tratamentos, doses e fontes sobre os fatores de qualidade tecnológica da cana, os quais se apresentaram dentro dos padrões de qualidade produtiva.
- iv* Os resultados obtidos a campo ajustaram modelos que apresentaram correlação direta entre: produtividade de colmos, total de açúcar e teores foliares de P na Usina WD;
- v* Em modelos ajustados para produtividade de colmos, na dose de máxima produtividade, o uso da fonte revestida com polímeros propiciou aumento de 11 t ha<sup>-1</sup> de colmos em relação à fonte convencional, representando ganho de, aproximadamente, 1,38 t ha<sup>-1</sup> de açúcar produzido.

## REFERÊNCIAS

- ASSISTAT – Assistência Estatística. Versão 7.5 beta (2008). Disponível em: <<http://www.assistat.com/indexp.html>>. Acesso em: 07 jul. 2011.
- AOUADA, F. A.; et al. Síntese de hidrogéis e cinética de liberação de amônio e potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p.1643-1649, 2008.
- BRACCINI, M.C.L.; BRACCINI, A.L.; FOLONI, J.M.; SILVA, J.R.T. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de Osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. **Acta Scientiarum**, Maringá, 21. v.3, p.497-503, 1999.
- BRITO, A. S. **Balanco de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.
- CAIONE, G.; et al. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011a.
- CAIONE, G.; et al. Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no norte mato-grossense. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.4, p.572-580, 2011b.
- CAPONE, A.; et al. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v.2, n.3, p 70-78, 2011.
- CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 157p. 1991.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento**, Brasília, maio/2011.
- COSTA, J. P. V.; et al. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.828-835, 2006.
- CRUZ, S.J.S.; et al. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.110-116, 2009.
- DANTAS NETO, J.; et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa: UFV, 1996. 17p (Boletim de Extensão, 29).
- DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.576–583, 2008.

ELAMIN, E. A.; et al. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of Sudan. **Journal of Applied Sciences**, Shambat, v.7, p.2345-2350, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Informação Tecnológica. **Manual de métodos de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Informação Tecnológica. 2009. 627p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 476p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p.255-258. 2000.

FERREIRA, E. V. **Vamos economizar fertilizantes mantendo a nutrição das plantas?** 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?data=27/05/2010&id=21626&secao=Colunas%20Assinadas>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

GLAZ, B.; et al. Sugarcane response to phosphorus fertilizer in relation to soil test recommendations on everglades histosols. **Agronomy Journal**, v.92, p.375-380, 2000.

GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; PERIN, A.; SANTINI, J.M.K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

HANAFI, M.M.; ELTAIB, S.M.; AHMAD, M.B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer. **European Polymer Journal**, v.36, p.2081–2088, 2000.

KORNDORFER, G. H. et al. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 31-37, 1989.

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, p. 290-306. 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.16, n.2, p. 217-222, 1992.

KORNDÖRFER, G.H.; MELO, S.P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.92-97, 2009.

KUMAR, V.; VERMA, K. S. Influence of phosphorus application on soil available phosphorus, yield and juice quality of sugarcane grown on P deficient soil. **Indian**

- Sugar**, New Delhi, v.39, p.579-587, 1999.
- LIMA, S. A. A.; et al. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.27, p.92-99, 2006.
- LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconut growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 709-717, 1980.
- LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989.
- MAGALHÃES, V.R. **Influências de doses de vinhaça nas características agrônômicas de cana-de-açúcar, cana planta e atributos químicos do solo**. 2010. 89f. (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MATINS, N.G.S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. 2004. 87f. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.
- MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 460f. (Mestrado em Fitotecnia) . Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- MENDONÇA, V.; et al. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 344-348, 2007.
- MEYER, J. H.; WOOD, R. A. **The effects of soil fertility and nutrition on sugarcane quality: a review**. South African Sugar Technologists Association, v.75, p.242-245, 2001.
- MORGAN, K.T.; CUSHMAN, K.E.; SATO, S. Release mechanisms for slow-and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. **Horttechnology**, v.19, n.1, p.10-12, 2009.
- MOURA, M. V. P. F.; et al. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p.753-760, 2005.
- MURARO, G. B. **Impacto do espaçamento, números de cortes e da idade de corte na produção e composição bromatológica de cana-de-açúcar para silagem**. 2007. 77f. (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba..
- NOVAIS, R.F., et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Viçosa, MG. 1017p, 2007.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, J.T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 399p. 1999.

- OLIVEIRA, F.M.; et al. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**. v. 5, n. 1, p. 56, 2011.
- OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B. **Comparação de custos de sistemas de adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 74).
- PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargil, v.1, 431p, 1987.
- PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B.; MORGADO, L. B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade da cana-de-açúcar em vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.43-48, 1995.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol.59, n.1, pp. 129-135, 2002.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 25:83-90, 2001.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba, International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot, mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal Agronomy e Crop Science**, v.185, p.249-258, 2000.
- REIS Jr., R. A. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar com uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS)**. 1999. 141f. (Doutorado em Solos). Campos dos Goytacazes: UENF.
- REIS Jr., R. A.; MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.367-372, 2002.
- ROCHA, F.C.S. **Avaliação da eficiência técnica e análise financeira de um plantio comercial de cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum* L., microirrigado por gotejamento subsuperficial**. 2001. 81f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) . UFC. Fortaleza.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 359 p, 1999.
- RODRIGUES, R. **Século XXI, O novo tempo da agroenergia renovável**. Visão Agrícola. USP-ESALQ. ano 1, 2004.
- SANTOS JÚNIOR, J.D.G.; et al. Componentes morfológicos do capim-Tanzânia cultivado em quatro condições de fertilidade do solo na região dos cerrados. **Boletim de Indústria Animal**, v.62, n.2, p.91-99, 2005.

SANTOS, D.H.; et al. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.443-449, 2011.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo.

SANTOS, V. R.; et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.13, p.389-396, 2009.

SCIVITTARO, W.B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E.B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta enxerto 'Trifoliata'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 520-523, 2004.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**, In: SEGATO, S. V. et al. **Atualizações em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba-SP, 2006. 415 p.

SHAVIV, A. Advances in controlled release fertilizers. **Advances in Agronomy**, New York, v. 71, p. 1-49, 2001.

SHAVIV, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significancy. **Proceedings of the Fertiliser Society**, Leek, U.K., v.41, n.3, p.1-35, 1999.

SILVA, C.T.S.; et al. Crescimento de cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.1, p.3-12, 2009.

SILVA, M.A.; CATO, S.C.; COSTA, A.G.F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.4, p.774-780, 2010.

SILVA, M.A; et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.6, p.620-627. 2008.

SIMÕES NETO, D. E.; et al. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.840-848, 2009.

SOUZA, C.H.E.; et al. Produção de matéria seca de plantas de milho cultivadas em vaso em função da aplicação de monofosfato de amônio polimerizado em Latossolo vermelho argiloso. XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais....** Uberlândia, 2011.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79f. (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed., Porto Alegre: Editora Artmed, 719 p,

2004.

TERAUCHI, T.; MATSUOKA, M. Ideal characteristics for the early growth of sugarcane. **Japan Journal of Crops Science**, Tóquio, v.69, n.3, p.286-292, 2000.

TINDALL, T.A.. Recent Advances in P Fertilizer Technologies Polymer Coatings and Avail Technology. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. **IPNI**. Piracicaba. 2007.

TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, Hopkinton, v.146, p.319-323, 2002.

UCHOA, S.C.; ALVES jr, H.O.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.40, n 4, p.505-513, 2009.

VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VALDERRAMA, M.; et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VALE, D.W.; et al. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, vol. 6, n. 2, p. 189-196, 2011.

VIEIRA, B.A.R.M.; TEIXEIRA, M.M. Adubação de liberação controlada chega como solução. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, v.41, n.3, p.4-8, 2004.

VITTI, G.C.; QUEIROZ, F.E.C.; OTTO, R.; QUINTINO, T.A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Bebedouro, 2005.

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vz p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vz p02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2011.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, D.C.,v.39, n.3, p.367–371, 2000.