
BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AGRONÔMICOS DA ADOÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO EM USINAS DE AÇÚCAR

Leonardo A. Angeli Menegatti¹; José Paulo Molin²; Sergio Luiz Góes³; Gaspar H. Korndorfer⁴; Rogério Augusto Bremm Soares⁵; Elias Ambrósio Lima⁶

Resumo

A cana-de-açúcar no Brasil é cultivada em 5,5 de milhões hectares e a perspectiva para 2010 é de 7,5 de milhões hectares cultivados, com altos índices de mecanização. O ciclo de cana-de-açúcar dura em média cinco anos; na seqüência a lavoura é replantada e são utilizados calcário, gesso e fósforo, normalmente como corretivos de solo. Em duas usinas de açúcar e álcool que adotaram a tecnologia de agricultura de precisão, algumas fazendas foram monitoradas com grande coleta de dados. Amostras de solo foram coletadas antes e após a correção do solo. A produtividade de cada uma das áreas foi medida e também foi realizada uma comparação entre a aplicação do calcário, gesso e fósforo em taxa variada com aplicação em taxa fixa. As produtividades foram comparadas entre diferentes ciclos (1999 e 2005) para a mesma fazenda. Na usina Jalles Machado S/A, foram aplicados em taxa variada (ATV) 3.579 hectares de calcário e 3.820 hectares com fósforo, e 2.237 ha com calcário e 2.146 ha com fósforo em taxa fixa no ano de 2004. O sistema de ATV resultou em uma redução de custo de 36 % em termos de produtos e área de aplicação, desde que nem toda a área necessitou de um ou ambos os tipos de fertilizante (calcário e fósforo). A redução de custo total foi de R\$ 403.000,00 no primeiro ano, valor suficiente para pagar o investimento. Na Usina Guaíra, a redução de custo de correção do solo foi de 15 % com relação ao consumo de calcário e fósforo; fato associado com um de aumento de produtividade de 9 % nas fazendas em que a tecnologia foi utilizada com relação às fazendas sem essa tecnologia. O aumento de produtividade foi de 4,5 % comparado à média da usina, que foi influenciada pela eficiência da ATV. A margem de contribuição da tecnologia foi de R\$ 220,95 por hectare. As tecnologias utilizadas mostraram-se economicamente viáveis e auto-sustentadas, sendo eficientes na redução de custo e no aumento de produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras chave: Cana-de-açúcar; aplicação em taxa variada; calagem; fosfatagem.

Summary

Sugar cane crop in Brazil represents 5 millions hectares and the perspective for 2010 is 7.5 millions hectares, managed with high level of mechanization. The sugar cane cycle takes in average five years; after that, the area is replanted and lime, gypsum

¹ Eng. Agrônomo MsC. APagri Consultoria Agronômica. Rua Dona Eugênia 957, Piracicaba, SP, Brasil, CEP 13416-401 fone/fax: 55 19 3422 3699 leonardo@apagri.com.br

² Prof. Livre Docente, Depto Engenharia Rural, ESALQ/USP. jpmolin@esalq.usp.br

³ Eng Agrônomo – Apagri Consultoria Agronômica. segiogoes@apagri.com.br

⁴ Prof. Titular, Universidade Federal de Uberlândia. ghk@triang.com.br

⁵ Eng Agrônomo – Usina Jalles Machado S/A. rogerio@jallesmachadosa.com.br

⁶ Técnico Agrícola – Usina Açucareira Guaíra gerenteagricelias@usg.com.br

and phosphorus are normally used to improve soil fertility. Specific areas were close monitored and soil data collected in large scale. Soil samples were taken before and after fertilization, cane yields were determined for each area and comparison of lime and phosphorus consumption between variable rate and single rate application were also made. Farm yields were compared between different cycles of sugar cane for the same farm (1999 compared to 2005). At Jalles Machado sugar-mill, lime was applied at 3,579 hectares in 2004 and phosphorus in 3,820 hectares in VRT, and 2,237 hectares with lime and 2,146 hectares with phosphorus in single rate. The VRT system resulted in a cost reduction of 36 % in terms of products and application area, since not all area required one or both type of fertilizer (lime and phosphorus). The total cost reduction was R\$ 403,000.00 in the first year, enough to cover the investment. At Guaira sugar-mill, the cost reduction was 15 % on lime application, associated with an increase yield of 9 % for those farms managed on precision agriculture over those not. The yield increase was 4.5% on the overall sugar-mill yield average, which was influenced by the efficiency of the VRT. The margin gross was increased in R\$ 220.95 per hectare. Precision agriculture showed to be profitable by reducing the costs of soil amendments and fertilizer and increasing cane yield.

Keywords: Sugar cane; variable rate application; lime; phosphorus

Introdução

A prática de adubação de solos é considerada uma das principais etapas no processo de produção agrícola. A sua determinação é feita, principalmente, com base em dados de análise química de terra, os quais são coletados de forma a representar de maneira mais fiel a fertilidade da área em questão, porém, buscando-se sempre uma razão econômica. Atualmente a maior parte das amostragens de solo são realizadas de forma a representar talhões. RAIJ (1991), recomenda a delimitação de glebas homogêneas em até 10 ha, sendo retiradas de 15 a 20 subamostras, as quais irão compor a amostra referente a esta área. Em caso de haver certa variabilidade espacial das características do solo dentro desta área, ocorrerá conseqüentemente um excesso ou falta de fertilizante em algumas partes da área. Excesso de fertilizantes pode gerar impactos negativos na qualidade das águas subterrâneas e reduzir as margens de lucro, enquanto que a sua falta pode restringir a produtividade e a qualidade da cultura (MOHAMED et al., 1996).

A agricultura de precisão vem se destacando como uma forma de gerenciamento localizado da lavoura, realizada através da disponibilização de ferramentas que permitem a identificação da variabilidade dos atributos da lavoura e a sua intervenção de forma localizada. MOLIN (1998) cita a importância do sistema de localização GPS como responsável pela impulsão da agricultura de precisão. O sistema de amostragem de solo em grade é uma técnica que vem sendo utilizada com sucesso para a detecção da variabilidade dos atributos do solo, que consiste no georreferenciamento das amostras de solo através do uso do GPS.

Os mapas de fertilidade são criados através da inserção dos dados de posicionamento e dos teores de nutrientes da análise química no software apropriado, o qual processa os dados através de uma técnica geoestatística denominada interpolação, que estima valores para as regiões não amostradas. A partir dos pontos amostrais são

criadas quadrículas, as menores unidades de resolução dos mapas, que representam áreas de no mínimo 100 m² no mapa, sendo-lhes atribuídos valores de fertilidade e posicionamento. Com base nos mapas de fertilidade, mapas de recomendação de adubação podem ser gerados por determinados programas, através da aplicação de uma equação de cálculo de adubação a cada quadrícula do mapa. Sendo assim, todo o mapa terá uma recomendação de adubação baseada no valor inerente de cada quadrícula.

A cana-de-açúcar ocupa hoje, no Brasil, área de 5,5 milhões de hectares, com previsão de expansão para 7,5 milhões de hectares até 2010. Atualmente, 41 novas usinas estão em fase de implantação, sendo que 28 delas serão instaladas no estado de São Paulo (OESP 2005). A cultura da cana-de-açúcar é altamente mecanizada, e utiliza grande quantidade de insumos em seu cultivo. As operações de preparo inicial do solo, correção da fertilidade, plantio, adubação e colheita podem ser adequadamente, completamente mecanizadas. O ciclo da cana-de-açúcar normalmente é de 5 anos, sendo que o plantio é realizado apenas no primeiro e nos demais anos o rebrote é cultivado e colhido anualmente até que sua produtividade torne economicamente viável sua renovação.

Uma das adubações mais importantes realizadas na cultura da cana-de-açúcar é a adubação de plantio associada com a aplicação de corretivos no solo. A importância desta operação incide no fato de que a base para a produção da cultura está sendo estabelecida nesta fase e terá duração mínima de 5 anos. Ness momento faz-se a correção da acidez do solo, com aplicação de calcário ou outros corretivos, como o silicato, e pode-se optar também pela correção dos teores de fósforo no solo. O fósforo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura e longevidade do canavial. Ao mesmo tempo, é uma operação de grande investimento devido ao custo das fontes fosfáticas. As tecnologias de agricultura de precisão são uma importante ferramenta para a redução do valor do investimento aplicando localizadamente as doses de fósforo.

Algumas usinas no Brasil têm utilizado a agricultura de precisão como ferramenta para racionalização do uso de insumos e corretivos com resultados relevantes. O objetivo deste trabalho é relatar casos de sucesso no uso das tecnologias de agricultura de precisão adotando-se enfoques sistemáticos na avaliação dos resultados sob o ponto de vista econômico, edáfico e agrônômico.

Material e Métodos

A Usina Jalles Machado S/A produz açúcar e álcool em uma área de aproximadamente 32 mil ha. Está localizada no município de Goianésia, GO, 180 km ao norte de Goiânia, em região de cerrado. A metodologia de correção do solo tradicional da usina consistia em realizar a amostragem do solo em sub-áreas de aproximadamente 20 ha, dentro de uma unidade gerencial denominada bloco. O bloco é a unidade gerencial de manejo, composto por uma área com a mesma variedade de cana, mesma idade e número de corte e a decisão de reforma é aplicada à área total do bloco. Durante a reforma são aplicados os corretivos de fertilidade do solo, calcário e fósforo, de forma homogênea por todo o bloco, de acordo com a média dos resultados das amostras de solo. A quantidade de calcário era calculada de acordo com a recomendação do IAC

(19??), com saturação desejada de 70% e a dose mínima aplicada de calcário era de 1 t.ha⁻¹. O fósforo tinha uma recomendação de aplicação de 190 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ para teores baixos de P no solo, de acordo com a média das análises do bloco.

A metodologia de correção proposta leva em consideração a variabilidade espacial dos atributos do solo. As análises de solo foram georreferenciadas e coletadas numa grade amostral que variava de 3 a 5 ha por amostra, cada amostra composta por 10 sub-amostras colhidas ao redor do ponto de amostragem, homogeneizadas e enviadas ao laboratório próprio. A partir dos resultados do laboratório, as informações foram filtradas para remoção de dados discrepantes e, na seqüência, foram elaborados mapas de atributos do solo. Com base nos mapas de atributos, foram gerados mapas de recomendação de aplicação de calcário e fósforo seguindo a recomendação tradicional, porém, levando-se em consideração a variabilidade espacial dos atributos. As duas metodologias foram comparadas ao longo de 2 anos de utilização da aplicação em taxa variada, de 2003 a 2004, utilizando-se o volume calculado de insumos consumidos nas duas situações ao longo do período.

A Usina Açucareira Guaíra está localizada no norte do estado de São Paulo, na região de Ribeirão Preto. A correção do solo foi realizada na época de reforma, e o método tradicional consistia na coleta de amostras localizadas dentro de talhões de cana. Assim, cada talhão possuía informações sobre os atributos do solo. Para cada talhão era calculada a necessidade de calcário através da metodologia proposta pelo IAC (19??), com elevação da saturação por bases para 70 %. Após o cálculo das recomendações, estes talhões foram agrupados por semelhança de dosagem em três doses diferentes para cada bloco de reforma (Figura 1). No ano de 2002 foi realizado um estudo comparativo de consumo de calcário em área de 1.681 ha, envolvendo 4 fazendas. Foi calculado o consumo de calcário na metodologia tradicional da usina e comparado com o consumo de calcário em taxa variada. Em função da disponibilidade de Si no solo, determinado por análise química, optou-se pela utilização de calcário ou silicato de cálcio e magnésio, sendo que o cálculo das recomendações seguiam os mesmos critérios.

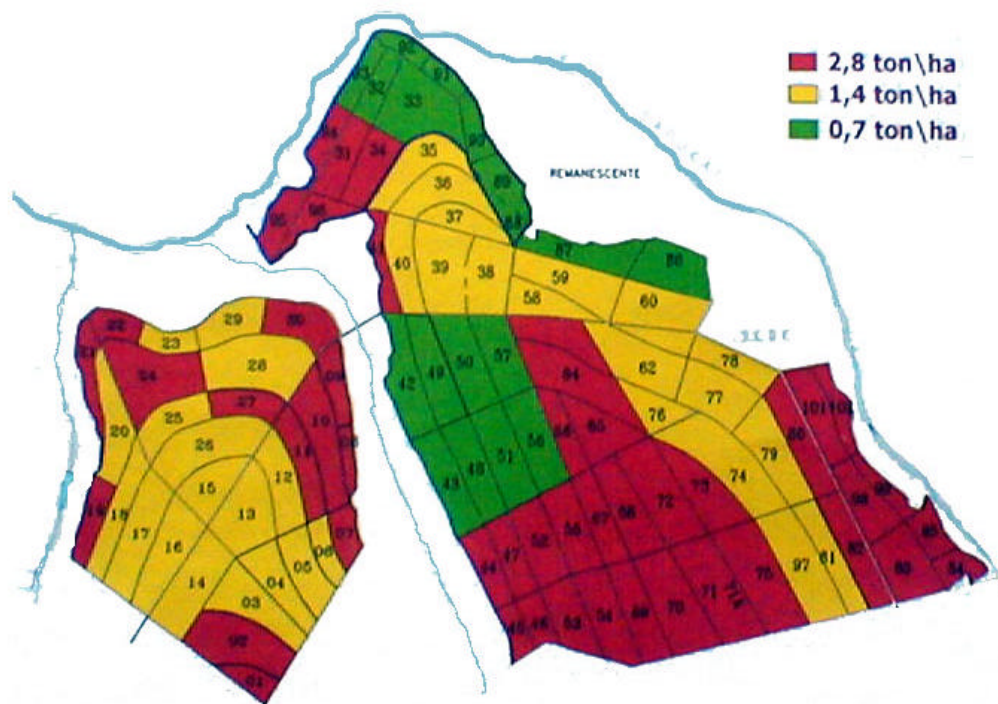


Figura 1 – Mapa para aplicação de calcário a Fazenda Paraíso pela metodologia tradicional utilizada na Usina Açucareira Guaíra, com três doses para cada fazenda.

O bloco era a unidade gerenciável da usina, sendo que cada bloco é homogêneo com relação à idade, ao número de corte e variedade plantada. A nova metodologia de correção é semelhante à adotada na Usina Jalles Machado, porém, com densidade amostral de 4 a 5 ha por amostra. Das fazendas em reforma no ano de 2003, três foram selecionadas para realização de uma comparação de resultados. A fazenda Panorama teve sua correção do solo realizada de acordo com a metodologia tradicional (Tabela 1), enquanto que as fazendas Cachoeira e Paraíso foram corrigidos com a nova metodologia. Para comparação de resultados, foram utilizadas informações do histórico de produtividade das fazendas e da usina em geral, comparando-se as três fazendas entre si e com relação à média da usina em dois momentos, em 1999 quando todas encontravam-se no primeiro corte e não havia influência da nova metodologia de correção do solo e em 2005, ano em que novamente foi realizado um primeiro corte após a reforma e duas fazendas foram tratadas de acordo com a nova metodologia.

Tabela 1 – Método de correção do solo utilizado nas fazendas avaliadas.

Fazenda	Tratamento
Paraíso	ATV*
Cachoeira	ATV*
Panorama	tradicional

* Aplicação em Taxa Variada

Foram realizados experimentos de reamostragem do solo após a aplicação em taxa variada na Usina Jalles Machado. O procedimento utilizado foi a aplicação dos

corretivos em taxa variada (calcário e fósforo), seguidos de plantio de cultura intercalar (soja) e após a colheita da soja, preparo do solo profundo com arado de aivecas e nova coleta de amostras do solo exatamente nos mesmos locais da primeira coleta. Os resultados das análises foram comparados com relação aos níveis de disponibilidade de nutrientes no solo antes e depois da aplicação em taxa variada

Resultados e Discussão

Usina Jalles Machado

O início da implantação da agricultura de precisão na Usina Jalles Machado foi estudado e apresentado em Menegatti et al. 2004. Os principais resultados obtidos naquele ano são resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valor do investimento em insumos nos sistemas de aplicação em taxa variada e tradicional para as fazendas analisadas.

Fazenda	Calcário (R\$)		Fósforo (R\$)	
	Tradicional	Taxa Variada	Tradicional	Taxa Variada
2	1.733,00	1.403,00	0,00	0,00
30	8.675,37	7.155,30	18.505,70	7.160,40
46	1.358,61	644,00	8.707,40	8.707,40
55	4.373,22	2.162,00	13.992,97	5.083,00
76	5.591,76	2.877,30	23.855,91	19.006,00
Total	21.731,96	14.241,60	65.061,98	39.956,80

Fonte: Menegatti et al (2004)

O custo da correção do solo foi calculado em 186,04 R\$.ha⁻¹ para a metodologia tradicional, levando-se em consideração a coleta e análise de solo e o consumo de insumos nas operações de aplicação em taxa fixa e taxa variada. A aplicação em taxa variada resultou em redução de 36,5 % no custo da correção do solo.

Este trabalho inicial foi realizado com o intuito de avaliar o potencial da aplicação em taxa variada na Usina Jalles Machado. Com base nessas informações, foi adquirido um equipamento para aplicação em taxa variada. O equipamento adquirido foi um distribuidor de calcário de área total em faixa, marca Nevoeiro[®], e foi equipado com um controlador de aplicação Rawson[®], computador de mão e receptor de GPS.

No início de 2004 a estrutura de aplicação em taxa variada foi aumentada, sendo adquirido mais um equipamento para aplicação de corretivos da mesma marca, porém, equipado com controlador de aplicação da marca Verion[®]. Durante este ano, a Usina Jalles Machado trabalhou com dois equipamentos de aplicação em taxa variada para a aplicação de calcário e fósforo.

A área total de aplicação de calcário foi de 5.816 ha, sendo que 62 % desta área, equivalente a 3.579 ha, foi aplicada em taxa variada e 2.238 ha (38 %) em taxa fixa. Nesta área de aplicação em taxa variada foram consumidos 3.570 t de calcário, perfazendo uma dose média real de 998 kg.ha⁻¹. O consumo estimado de calcário para aplicação em taxa fixa foi de 5.368 t de calcário e, portanto, a aplicação em taxa variada

resultou em economia de 1.798 t ou 33 %, gerando um resultado líquido de R\$ 44.641,63 (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados da aplicação em taxa variada de calcário no ano de 2004.

Insumo	Área (ha)	Consumo real (t)	Dose média (kg.ha ⁻¹)	Consumo Taxa Fixa (t)	Economia total (t)	Economia (%)	Economia em produto (R\$)
Calcário	3.5793.570	998	5.368	1.798	33	44.641,63	

O fato da aplicação em taxa fixa representar um consumo 33 % maior de produtos é explicado por diversos fatores. A recomendação de calcário em taxa fixa não leva em consideração a variabilidade espacial dos atributos do solo, sendo estabelecida pela média da informação da fazenda. Outro ponto importante consiste na obtenção da informação média da fazenda, que foi obtida por meio de análise de solo de porções consideradas homogêneas mas que, em verdade, não o são. Outros fatores de menor impacto são o estabelecimento de dose mínima para aplicação em taxa fixa e a facilitação da operação em campo, agrupando áreas com doses de aplicação semelhantes em uma única dose. O resultado obtido indicou que para a maioria das áreas amostradas, a aplicação em taxa variada consumiu menor quantidade de calcário que a simulação da aplicação em taxa fixa (Figura 2).

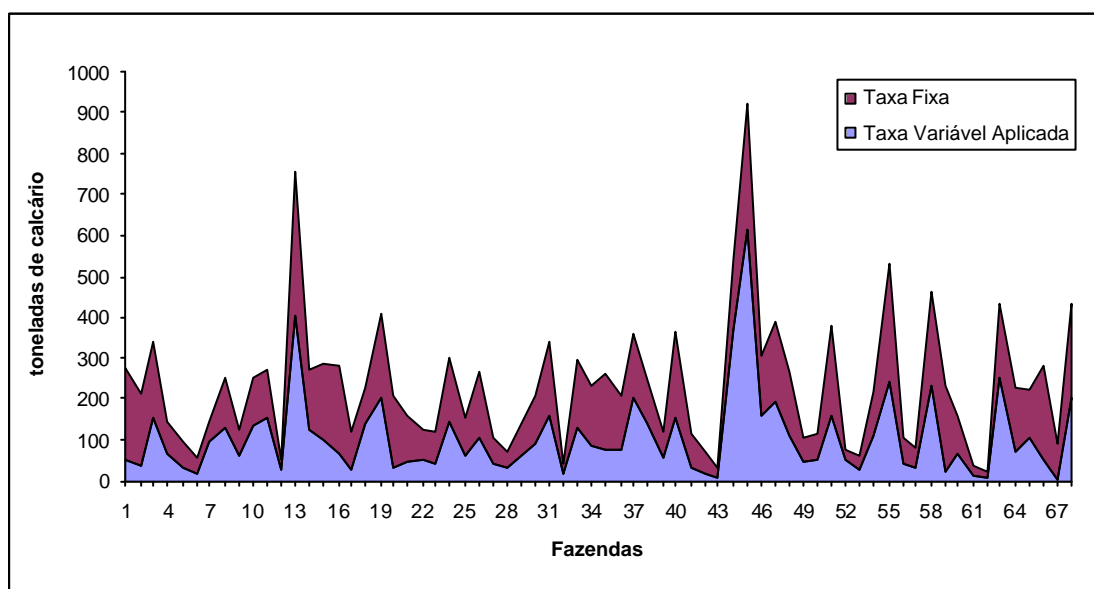


Figura 2 – Consumo real de calcário em taxa variada comparado ao consumo estimado em taxa fixa na operação de aplicação de calcário em 2004 na Usina Jalles Machado.

O erro médio na operação de aplicação em taxa variada de calcário foi de 2 % acima do previsto. A Figura 3 mostra a dispersão do erro na aplicação e o ajuste de uma equação de regressão aos dados. O coeficiente de inclinação da reta, de 0,9362, abaixo de 1,0000, indica que a operação realmente consumiu mais insumo que o previsto, mas que a operação obteve resultados satisfatório, próximos do ideal, com erro de aplicação

médio de 6,71 t por área (Figura 2). O grau de ajuste dos dados à equação foi de 98,37 %.

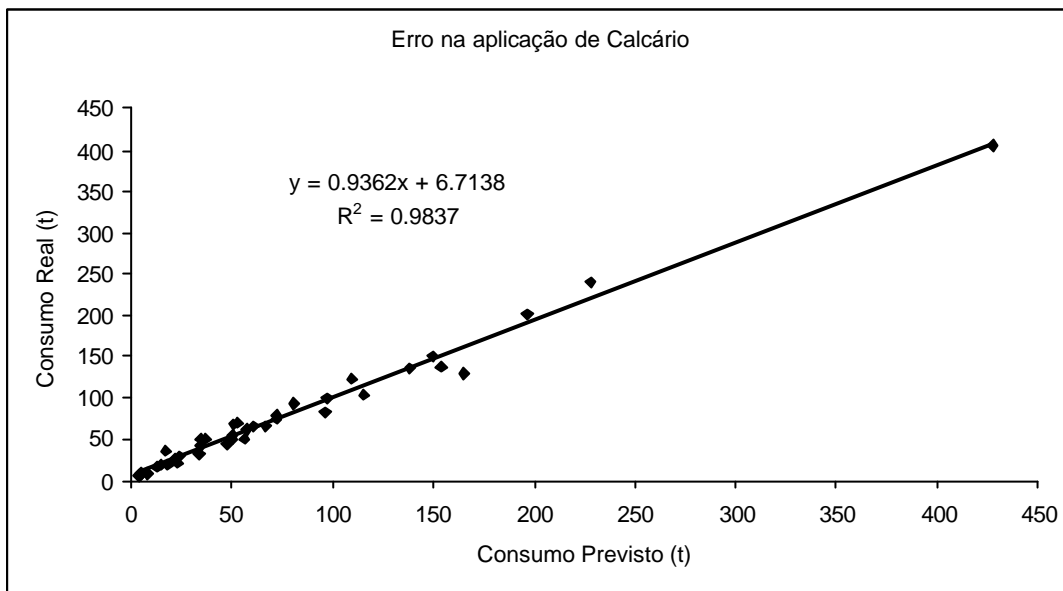


Figura 3 – Dispersão do erro obtido na aplicação em taxa variável de calcário na Usina Jalles Machado no ano de 2004.

A Aplicação de fósforo foi realizada em área total de 5.966 ha, sendo 2.146 ha em taxa fixa (36%) e 3.820 ha em taxa variada (64 %). Foram utilizados como fonte de fósforo dois produtos comerciais, o Itafós® e o Arad®. Da área total de aplicação, 53 % foi realizada com Arad e 47% com Itafós (Tabela 4).

Tabela 4 – Distribuição da área de aplicação para cada produto utilizado na fosfatagem.

Descrição	Área (ha)	Percentual (%)
Área total	5.966	100
Área Arad	3.183	53
Arad em taxa fixa	1.234	39
Arad em taxa variada	1.948	61
Área Itafós	2.784	47
Itafós em taxa fixa	912	33
Itafós em taxa variada	1.872	67

Independentemente do produto aplicado, na maioria das fazendas trabalhadas, o consumo total de produtos em taxa variada foi menor ou igual ao consumo em taxa fixa (Figura 4).

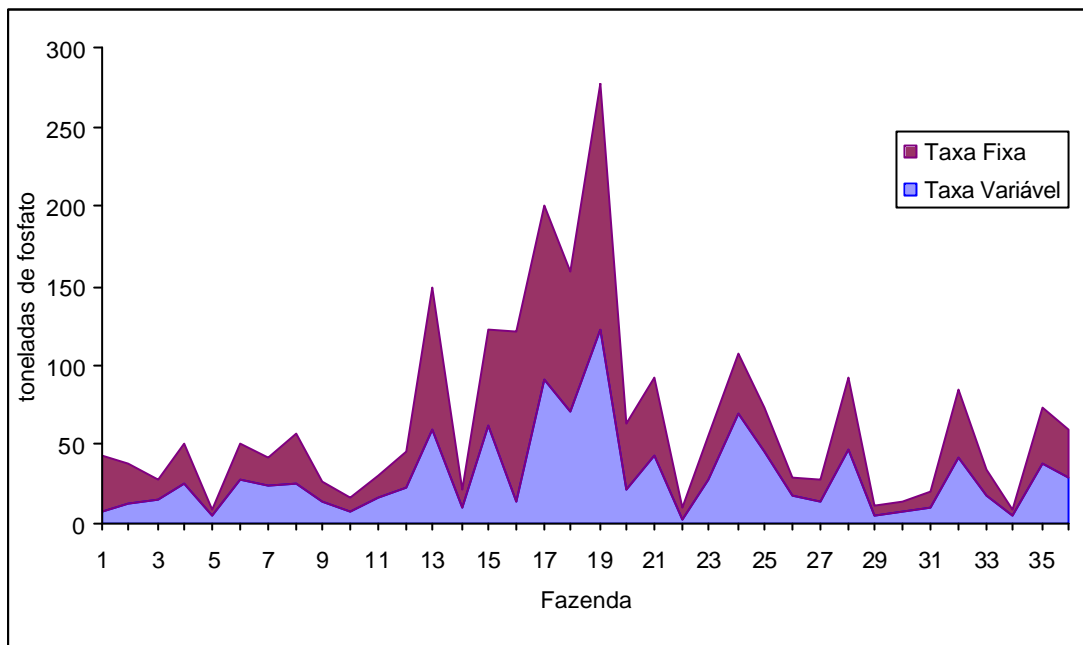


Figura 4 – Consumo real de calcário em taxa variada comparado ao consumo estimado em taxa fixa na operação de aplicação de fósforo em 2004 na Usina Jalles Machado.

A dispersão dos erros de aplicação de fósforo (Figura 5) foi maior no ano de 2004 se comparado aos erros observados na aplicação de calcário no mesmo ano. A diferença deve-se basicamente a problemas operacionais relacionado à relação entre o produto utilizado e os equipamentos. A fonte Itafós frequentemente continha pedras em meio ao produto, e, por vezes, as pedras não eram retidas pelas peneiras existentes no bocal de abastecimento das máquinas. O resultado era que, ao serem expelidas pela comporta de dosagem, as pedras alteravam seu posicionamento e, conseqüentemente, a dosagem aplicada. Assim, é mais freqüente a ocorrência de consumos reais maiores que os estimados na aplicação de fósforo em 2004.

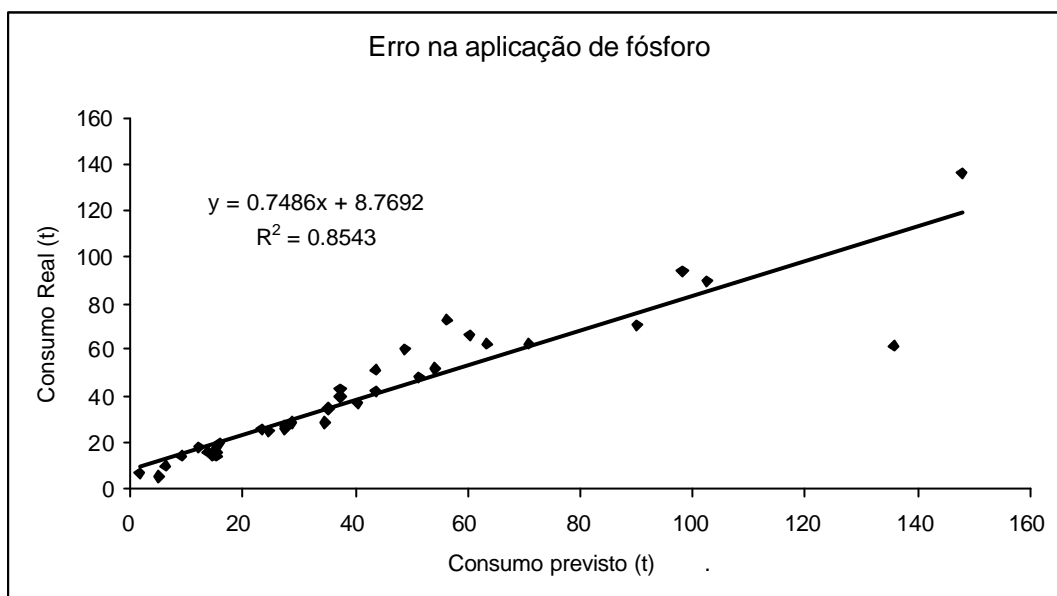


Figura 5 – Dispersão do erro obtido na aplicação em taxa variável de fósforo na Usina Jalles Machado no ano de 2004.

A diferença de consumo médio entre a aplicação em taxa variada e em taxa fixa de fósforo no ano de 2004 foi de 39 % (Tabela 5). O consumo real total de insumo foi de 2.493 t, com dose média de 418 kg.ha⁻¹, enquanto o consumo estimado em taxa fixa foi calculado em 4.107 t, com dose média estimada de 688 kg.ha⁻¹. A economia de insumos foi calculada em R\$ 362.379,63, valor muito próximo ao estimado por Menegatti et al (2004) para a mesma situação, na Usina Jalles Machado (R\$ 441.480,00). A diferença observada entre o valor estimado e o constatado pode ser atribuída à não realização da operação total em taxa variada na usina e mudanças nas formas de recomendação de insumos.

Tabela 5 – Resultados da aplicação em taxa variada de fósforo no ano de 2004, na Usina Jalles Machado.

	Área (ha)	Consumo Real (t)	Dose média (kg.ha ⁻¹)	Consumo Taxa Fixa (t)	Economia total (t)	Economia (%)	Economia Produto
Arad	3.183	1.061	333	1.324	263	20%	R\$ 101.806,56
Itafós	2.784	1.432	515	2.784	1.351	49%	R\$ 260.573,07
Total	5.966	2.493	418	4.107	1.614	39%	R\$ 362.379,63

As constatações de resultados obtidos no ano de 2004 possibilitaram a ampliação da operação de aplicação em taxa variada. Foram adquiridos mais dois equipamentos e controladores de aplicação para operar com calcário e fósforo em taxa variada no ano de 2005.

A aplicação em taxa variada teoricamente age contra a variabilidade espacial dos atributos do solo. O mapa de aplicação nada mais é que uma representação contrária ao mapa do atributo cuja finalidade é suprir o solo nas áreas em que foi detectada deficiência do nutriente. Assim, é de se esperar que a avaliação do solo após a aplicação em taxa variada resulte em menor variabilidade espacial. Este resultado foi encontrado no experimento realizado na Usina Jalles Machado. A Figura 6 mostra mapas de teores de cálcio no solo antes e depois da aplicação de calcário em taxa variada em duas profundidades. Os mapas de aplicação de calcário e de fósforo podem ser conferidos na Figura 7.

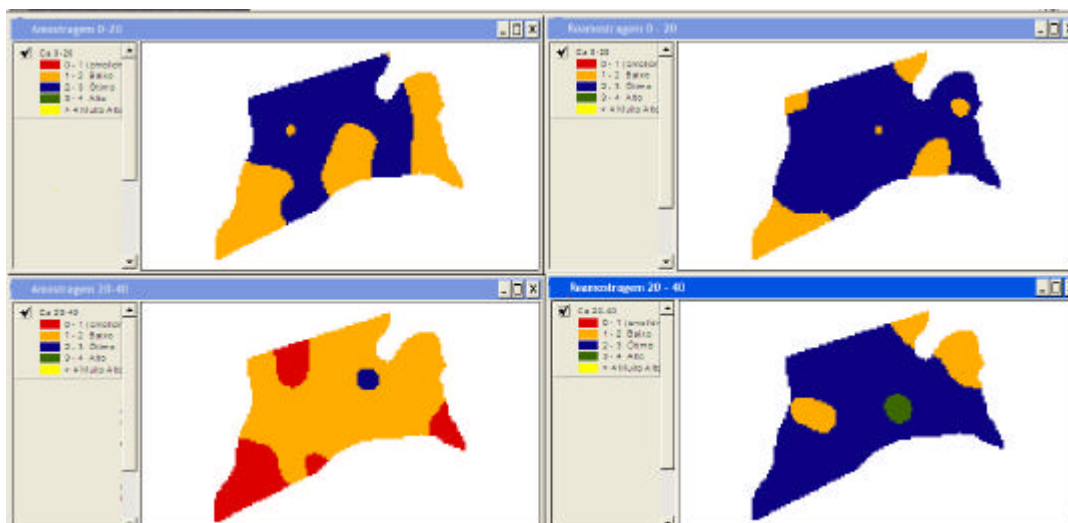


Figura 6 – Teores de cálcio no solo em nas profundidades de 0 a 20 cm (acima) e 20 a 40 cm (abaixo) na primeira amostragem (esquerda) e na segunda amostragem (direita).

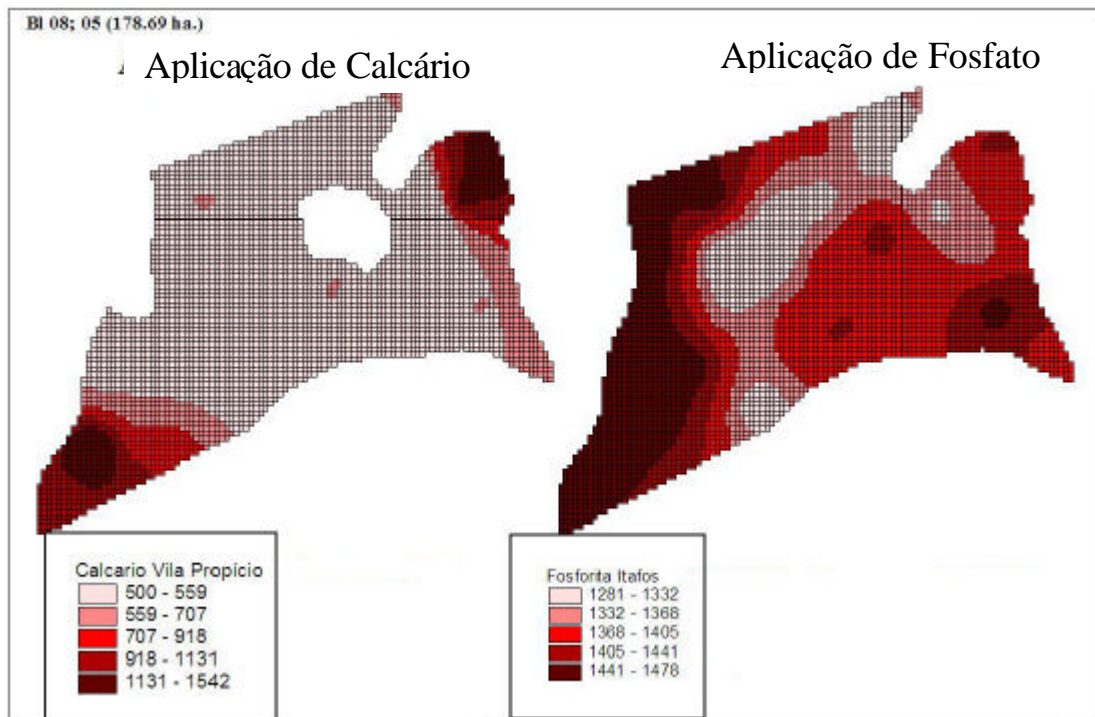


Figura 7 – Mapas de recomendação de Calcário (esquerda) e de Fosforita (direita) para a fazenda 68, bloco 08, da Usina Jalles Machado.

O preparo do solo com o arado de aiveca possibilitou levar a correção do solo à profundidade de 40 cm, elevando os teores dos nutrientes até esta camada (Figuras 6, 8, e 9). O teor de cálcio na camada de 0 a 20 cm subiu de $2,03 \text{ mmolc.dm}^{-3}$ para $2,18 \text{ mmolc.dm}^{-3}$, níveis considerados médios para o desenvolvimento da cana. Na profundidade de 20 a 40 cm, ele subiu de 1,21 para $2,28 \text{ mmolc.dm}^{-3}$. Os teores de magnésio (Figura 8) subiram de $1,26 \text{ mmolc.dm}^{-3}$ para $1,40 \text{ mmolc.dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 20 cm enquanto na profundidade de 20 a 40 cm eles mudaram de $0,68 \text{ mmolc.dm}^{-3}$ para $1,34 \text{ mmolc.dm}^{-3}$.

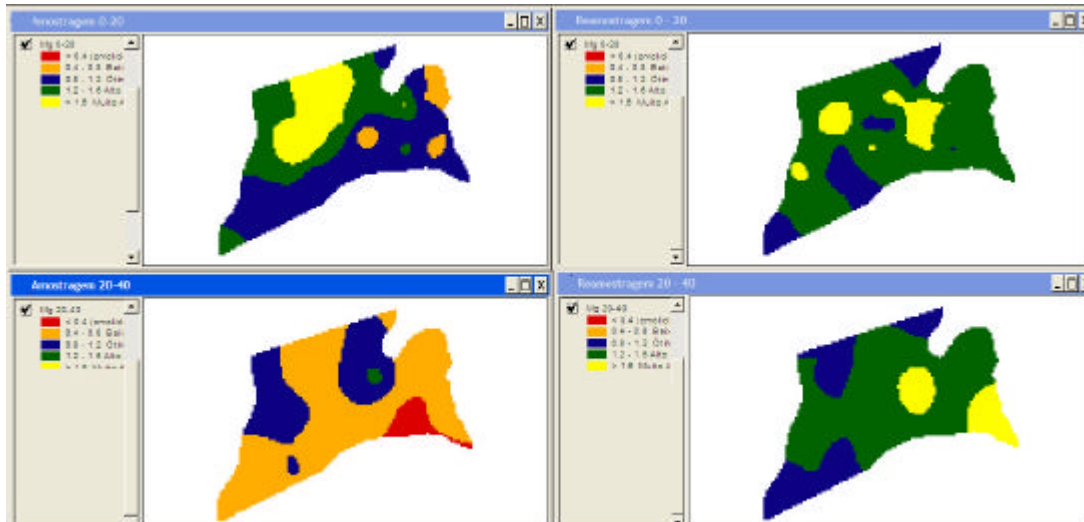


Figura 8 – Teores de magnésio no solo em nas profundidades de 0 a 20 cm (acima) e 20 a 40 cm (abaixo) na primeira amostragem (esquerda) e na segunda amostragem (direita).

A fosfatagem realizada também teve um grande efeito nos teores de fósforo do solo, elevando de maneira geral a disponibilidade do nutriente no solo. Na situação original, o solo continha teores muito baixos de fósforo, 2,3 e 2,2 ppm de P no solo nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm, com teor máximo de 7,8 ppm e mínimo de 0,4 ppm. Embora os mapas de P estejam praticamente em uma coloração apenas, a variabilidade existe, ela apenas está encoberta pela legenda. Na verdade, toda a variabilidade está dentro do nível muito baixo. Porém, a recomendação é feita em função do conteúdo no solo e não da faixa da legenda e mostra, assim, a variabilidade na aplicação de produto de 1.281 a 1.478 kg.ha⁻¹ (Figura 7). Após a aplicação da fosfatagem em taxa variada, os teores foram elevados para 25,4 ppm na profundidade de 0 a 20 cm e para 21,7 ppm na profundidade de 20 a 40 cm, com máximo teor de 51,1 e mínimo de 9,9 ppm. Algumas considerações devem ser feitas com relação à fonte de fósforo utilizada. Foi utilizado a Fosforita Itafós, classificada como Fosfato Natural Reativo, com aproximadamente 22 % de fósforo total e 9 % solúvel em ácido cítrico. Com estas características é possível que o produto ainda esteja reagindo com o solo com conseqüente liberação de fósforo. O produto tem ainda 18 % de CaO, contribuindo assim, para elevar os níveis de Ca no solo.

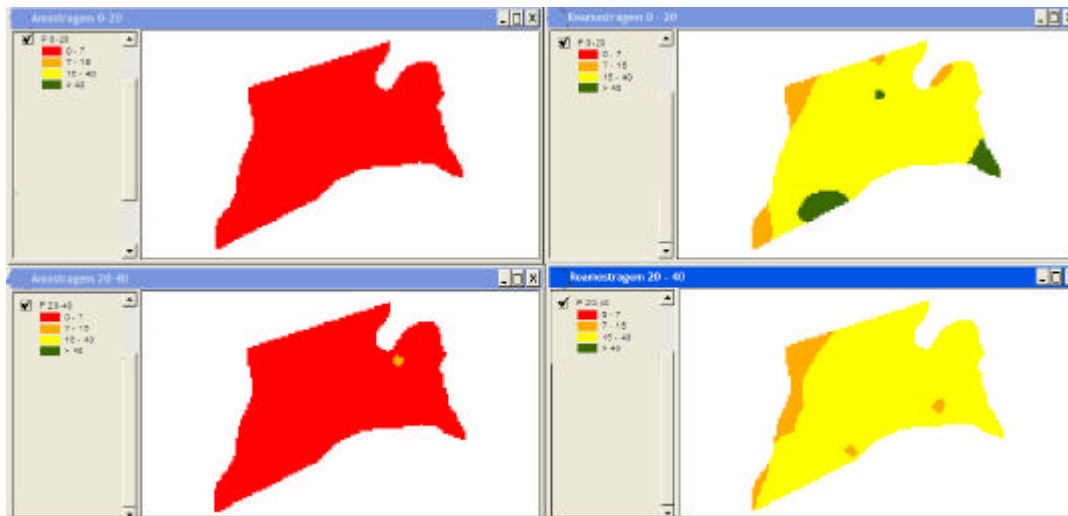


Figura 9 – Teores de fósforo no solo em nas profundidades de 0 a 20 cm (acima) e 20 a 40 cm (abaixo) na primeira amostragem (esquerda) e na segunda amostragem (direita).

Usina Guaira

A Usina Açucareira Guaira tem seus canaviais implantados sobre solos com alto conteúdo de argila (normalmente, mais de 50 %), sendo solos bastante férteis. Os resultados de consumo de insumos do estudo comparativo realizado no início da implementação da aplicação em taxa variada na Usina Açucareira Guaira podem ser vistos na Tabela 6. Houve uma redução de 15 % no consumo de corretivos do solo. Também foi constatada uma redução de 10 % na área de aplicação, equivalente a 130,8 ha. A economia vinda da redução de área de aplicação não foi considerada no cálculo de viabilidade da tecnologia.

Em todas as fazendas estudadas houve redução na dose média de aplicação, sendo que a aplicação em taxa variada foi menor (Tabela 7). Em consequência da redução da dose média e do consumo de produto, o custo da correção em taxa variada foi menor em todas as áreas, sendo que a diferença calculada para a área estudada foi de R\$ 18.390,00, ou R\$ 10,94 por hectare. A redução estimada para a área de reforma e expansão da usina, 4.921,0 ha foi de R\$ 53,835.33, quantia suficiente para financiar o investimento inicial de aquisição de máquina e controlador de dose variada para a aplicação.

Tabela 6 – Resultados de consumo de produto do estudo comparativo de consumo de insumos na correção do solo em taxa fixa e taxa variada na Usina Guaíra.

Fazenda	Área Total (ha)	Material	Área Aplicação (ha)		Total Produto (t)	
			Taxa Fixa	Taxa Variada	Taxa Fixa	Taxa Variada
			B.Jesus C. Verde	390,0	Calcário	234,9
Paraíso	1.010,0	Silicato	1.007,0	983,9	1.761,0	1.596,0
Poço Bonito	90,0	Silicato	70,5	36,0	62,0	12,8
Bom Sucesso	191,0	Calcário	50,2	61,9	75,0	39,6
Total	1.681,0		1.362,6	1.231,8	2.048,0	1.714,4

Tabela 7 – Resultados econômicos do consumo de produto do estudo comparativo de consumo de insumos na correção do solo em taxa fixa e taxa variada na Usina Açucareira Guaíra.

Fazenda	Material	Dose Média (kg.ha-1)		Custo Total (R\$)		Diferença (R\$)
		Taxa Fixa	Taxa Variada	Taxa Fixa	Taxa Variada	
		B.Jesus C. Verde	Calcário	639	440	R\$ 6.150,00
Paraíso	Silicato	1.749	1.622	R\$110.943,00	R\$ 100.548,00	R\$ 10.395,00
Poço Bonito	Silicato	879	356	R\$ 3.906,00	R\$ 806,40	R\$ 3.099,60
Bom Sucesso	Calcário	1.494	640	R\$ 3.075,00	R\$ 1.623,60	R\$ 1.451,40
Total				R\$124.074,00	R\$ 105.684,00	R\$ 18.390,00

Em 2003 iniciou-se a aplicação em taxa variada de calcário na Usina Açucareira Guairá, de forma sistemática. Foram adquiridos um distribuidor de calcário, um controlador e um receptor de GPS para esta finalidade. A Tabela 8 mostra o resultado de produtividade das fazendas acompanhadas, bem como a produtividade relativa de cada uma em relação à média da usina.

Tabela 8 – Produtividade das fazendas acompanhadas nos dois ciclos de produção de cana.

Ano	Fazenda	Área (ha)	Produtividade (t/ha)	Relativo à média
1999	Paraíso	405	120	96%
1999	Cachoeira	88	145	116%
1999	Panorama	255	140	112%
1999	Média Usina		125	
2005	Paraíso	405	132	100%
2005	Cachoeira	88	162	121%
2005	Panorama	255	141	106%
2005	Média Usina		133	

No ciclo de cana de 1999, a fazenda Paraíso estava com produtividade de 120 t.ha⁻¹, 4 % abaixo da média da usina. É uma fazenda com ambientes equilibrados, distribuídos entre A, B e C (Tabela 9) (PRADO et al., 1998; 2003; PRADO, 2004; 2005), condições que possibilitam altas produtividades de cana. A fazenda Cachoeira obteve produtividade de 145 t.ha⁻¹, ficando com 116 % da produção média da usina, enquanto que a fazenda Panorama apresentou produtividade de 140 t.ha⁻¹, com produtividade relativa de 112 % da média. A média da usina foi de 125 t.ha⁻¹. Ambas fazendas estão em solos classificados como ambiente de produção predominantemente A, solos eutróficos e com alto teor de argila.

Tabela 9 – Classificação das áreas das fazendas de acordo com os ambientes de produção.

Fazenda	A	B	C	D	E	Total
Cachoeira	86,3	13,2	8,2	0,0	0,0	107,6
Panorama	198,2	1,5	74,5	0,0	0,0	274,2
Paraíso	43,6	177,9	177,1	6,5	0,0	405,1
Total	328,1	192,6	259,8	6,5	0,0	

No ciclo de 2005, houve alterações na posição absoluta e relativa das fazendas. A fazenda Paraíso apresentou produtividade de 132 t.ha⁻¹, equivalente a 100 % da média da usina. A fazenda cachoeira passou de 116 % para 121 % da média, enquanto que a fazenda Panorama regrediu de 112 % no primeiro ciclo para 106 % no segundo ciclo. A média da usina subiu de 125 t.ha⁻¹ para 133 t.ha⁻¹.

Diversos fatores influenciam na média de produtividade do primeiro corte, mas a comparação entre as mesmas fazendas em dois ciclos diferentes é válida, pois todas as fazendas passaram pelo mesmo processo de plantio e pelas mesmas condições climáticas. A única diferença foi o sistema de correção do solo. A produtividade média da usina teve um aumento de 6% entre um ciclo e outro (Tabela 10). As fazendas Paraíso e Cachoeira tiveram aumentos de 4 e 5 % acima da média, enquanto a fazenda Panorama apresentou desempenho 5% negativo.

Tabela 10 – Produtividade do segundo ciclo relativa ao primeiro ciclo das fazendas analisadas.

Fazenda	Relativo entre os ciclos
Paraíso	10%
Cachoeira	11%
Panorama	1%
Média	
Usina	6%

Um fator que influenciou este posicionamento foi a elevação da média da produtividade da usina. Essa média foi influenciada diretamente pela aplicação de insumos em taxa variada. As duas fazendas analisadas em que a aplicação de calcário foi feita em taxa variada apresentaram desempenho superior à fazenda onde a aplicação

não foi feita em taxa variada. Não há elementos suficientes para atribuir todo o aumento de produtividade obtido pelas fazendas Paraíso e Cachoeira à aplicação em taxa variada. Por outro lado, há fortes indícios que o ganho de produtividade acima da média, 4 % para a fazenda Paraíso e 5 % para a fazenda Cachoeira, foram obtidos em função da aplicação em taxa variada, que foi capaz de suprir localizadamente as necessidades de Ca, Mg e pH nas fazendas onde foi utilizada, enquanto que na fazenda Paraíso, a aplicação pela média não foi capaz de suprir tais necessidades localizadamente.

A implantação da aplicação em taxa variada na Usina Açucareira Guaíra resultou em redução de custo na correção do solo de R\$ 10,94 por há, com aumento médio de produtividade constatada, de 4,5 %, equivalente a 5,98 t.ha⁻¹. Ao preço médio do estado de São Paulo em março de 2006, de R\$ 35,09 por tonelada, representa R\$ 210,01 por hectare. A margem de contribuição total da aplicação em taxa variada foi de R\$ 220,95 por hectare.

Considerações Finais

A agricultura de precisão é uma realidade cada vez mais abrangente no sistema de produção da cana-de-açúcar. Foram apresentadas informações concretas e relevantes e consistentes no entendimento da agricultura de precisão como uma ferramenta capaz de racionalizar o uso de insumos, aplicar localizadamente insumos em taxa variada, agir sobre o solo trazendo uniformidade ao meio produtivo, aumentar a produtividade e a margem de contribuição do campo à unidade processadora de cana.

A aplicação de insumos em taxa variada apresentou efeitos sobre o solo, agindo contra a variabilidade espacial inicialmente encontrada, confirmando as hipóteses iniciais da metodologia empregada.

A consistência dos dados apresentados permite afirmar que nas usinas onde o sistema foi adotado, ocorria excesso no uso de insumos, e que o uso da aplicação segundo critérios localizados e detalhados trouxe redução no uso destes insumos sem causar queda na produtividade. Na usina em que foi possível verificar o efeito na produtividade, ele foi positivo e consistente.

O efeito da aplicação em taxa variada e a homogeneização dos fatores de fertilidade do solo que foram trabalhados, criaram condições para que a cana-de-açúcar respondesse com aumento de produtividade. O aumento observado foi consistente e representativo.

A adoção de tecnologias associadas à agricultura de precisão mostrou-se economicamente viável em todas as situações onde foi inserida, com relevantes ganhos de produtividade.

Agradecimento

Nosso reconhecimento especial às usinas que gentilmente cederam informações para a divulgação da tecnologia. Um agradecimento especial à Usina Açucareira Guaíra pelo pioneirismo na implantação das técnicas de Agricultura de Precisão e à Usina Jalles Machado pela colaboração no levantamento de tão preciosas informações.



Referências Bibliográficas

L.A.A. MENEGATTI; G. KORNDORFER; R.A. B. SOARES; P.F.M.OLIVEIRA; S.L. GOES; Estudo de caso sobre investimento agrícola: oportunidades com agricultura de precisão. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2004. CDROOM.

MOHAMED, S.B. ; EVANS, E.J.; SHIEL, R.S. *Mapping techniques and intensity of soil sampling for precision farming*. Department of Agriculture & AES, University of Newcastle, United Kingdom, 1996. 217p.

MOLIN. J.P.; Utilização de GPS em agricultura de precisão. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v17, n3, p121, mar, 1998.

O Estado de S.Paulo – “Os novos horizontes da cana”, 8/nov/2005

PRADO, H.; van LIER, Q. J.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Classes de disponibilidade de água para a cana-de-açúcar nos principais solos da região Centro-Sul do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais...** 1 CD ROM.

PRADO, H. Classes das condições químicas subsuperficiais para manejo. In: FERTIBIO, 2004, Lages. **Anais...** 1CD-ROM.

PRADO, H. **Solos do Brasil** – gênese, morfologia, classificação, levantamento e manejo. Piracicaba, 2005. 281 p.

PRADO H.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R.; CAMPANA, M. P.; ZIMBACK, L.; SILVA, M. A. Relation between chemical sub surface conditions of subsoils and sugarcane yield. In: WORLD SOIL SCIENCE CONGRESS, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...**
Montpellier: ISSS, 1998, v. 1, p. 232. 1 CD-ROM.

RAIJ, B.V. *Fertilidade do solo e adubação*. Campinas, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1991. 90p.