



ANAIS

IMPACTOS AO MIGRAR DA APLICAÇÃO UNIFORME PARA A APLICAÇÃO VARIADA DE FERTILIZANTES

IMPACTS WHEN MIGRATION THE APPLICATION OF FERTILIZERS: FROM THE UNIFORM RATE TO THE VARIABLE RATE

CINTHIA CABRAL DA COSTA
EMBRAPA
(cynthia.costa@embrapa.br)

HELOISA LEE BURNQUIST
ESALQ/USP
(cynthia-costa@bol.com.br)

RESUMO

Ao migrar da aplicação uniforme para a aplicação variada de insumos, também chamada de agricultura de precisão, espera-se que o produtor obtenha aumento de produtividade, redução na quantidade do insumo utilizado ou ambos. Este estudo identificou e analisou os principais fatores responsáveis para uma lavoura ter, ou não, ganho de produtividade, redução no uso de fertilizante e lucro ao migrar da aplicação uniforme para a agricultura de precisão, ou seja, ao mudar a tecnologia de aplicação de fertilizantes. Foi analisada a produção de milho e a aplicação dos macronutrientes: fósforo e potássio. Verificou-se que: (a) podem ocorrer reduções de produtividade; (b) pode ocorrer aumento no uso de insumo; (c) quanto maior a variação na necessidade de nutrientes no solo maior os impactos sobre aumento de produtividade ou redução de insumo e, consequentemente, lucro para o produtor; (d) mudanças nas condições de amostragem de solo da aplicação uniforme podem originar impactos maiores do que a mudança tecnológica considerada e; (e) estimativas de custo/benefício da mudança no sistema de aplicação dependem do tamanho da área a ser trabalhada. Conclui-se que os impactos sobre produtividade e quantidade do insumo originados desta mudança tecnológica dependem de cada situação e, portanto, não podem ser generalizados.

Palavras-chaves: adubação; agricultura de precisão; milho; lucro.

ABSTRACT

When migrating from the uniform application to the varied application of inputs, also called precision agriculture, it is expected that the producer get increased productivity, reduction in the amount of input used, or both. This study identified and analyzed the main factors responsible for a crop have, or not, productivity gains, reduced fertilizer use and profit when migrating from uniform application to precision agriculture, ie to change the fertilizer application technology. It was analyzed the production of corn and the application of

ANAIIS

macronutrients: phosphorus and potassium. It was found that: (a) reductions in productivity may occur; (b) may be an increase in input use; (c) the greater the variation in need for nutrients in the soil higher impacts on productivity increase or decrease of input and hence on the profit to the farmer; (d) changes in soil sampling conditions of uniform application can lead to greater impacts than considered technological change and; (e) estimates cost / benefit of the change in the system depend on the size of the area worked. It is concluded that the impact on productivity and quantity of input originated this technological change depends on each situation and therefore can not be generalized.

Keywords: fertilizing; precision agriculture; corn; profit.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de agricultura de precisão, também chamadas de aplicações variadas de insumos, são utilizadas em substituição às tradicionais tecnologias que consideram a lavoura homogênea e aplicam os insumos de maneira uniforme, à taxas fixas. O objetivo da substituição das técnicas convencionais de aplicação de fertilizantes (aplicação uniforme) para as de agricultura de precisão (aplicação variada de fertilizantes) consiste em se obter um dos seguintes resultados: (a) redução nos custos pela diminuição no uso deste insumo; (b) aumento da produtividade agrícola pela aplicação mais eficiente do fertilizante e; (c) redução na poluição da água e do ambiente. Na Tabela 1 são descritos os resultados de alguns estudos que estimam impactos sobre a quantidade utilizada de insumos e/ou a variação na produtividade ao mudar da aplicação uniforme para a aplicação variada.

Tabela 1. Resultados de trabalhos realizados sobre o impacto da agricultura de precisão, em relação ao uso uniforme dos insumos, na quantidade de insumos utilizados e na produtividade da cultura

Fonte	Produto analisado	Insumo avaliado	Variação no uso do insumo	Variação na Produtividade
Griepentrog e Kyhn (2000)	Trigo e barley	N	-36%	-
Mckinion et al (2001)	Algodão	N e água	+2,6 cm/ha de água; -35 kg/ha de N	+322 kg/ha
Ahmad et al (1997)	Milho	N e água	-18,4% para N; -5,9% de água	-4,6%
Stone et al (1996)	Trigo	N	até -50%	
Koch et al (2003)	Milho	N	-46%	
Menegatti et al (2006)	Cana-de-açúcar	Calcário, gesso e P	-15% custos	+9%
Ruffo et al (2008)	Etanol de milho	N	-36%	+0,7
Hedley & Yule (2008)	Milho e pastagem	Água de irrigação	-26,3% no milho; -21,8% na pastagem	
Bonfil et al (2008)	trigo	N	+73 kg/ha	+8%
Molin et al (2010)	Café	P e K	-13% de P; +13% de K	+34%
Barbieri et al (2008)	Cana-de-açúcar	Calcário dolomítico	-30%	-
Lopes & Molin (2010)	Citrus	P, K e calcário	-27% de calcário; -53,5% de P; -47,5% de K	-
Faulin et al (2010)	Café	N, P e K	-2% de N; -1% de P e +7% de K	+2%
Acosta et al (2010)	Arroz	N, P e K	+6% de N; +75% de P e +80% de K	+3%

Nota: P indica fósforo; K representa o potássio, e N o nitrogênio.

ANAIS

Conforme pode ser observado nos resultados apresentados nesta tabela, há grande diversidade nos resultados alcançados. Assim, verifica-se que a redução no uso do nitrogênio, utilizando aplicação variada, foi entre 18 e 50% sem muito ganho na produtividade nas culturas, como cana, milho e trigo (RUFFO et al., 2008; BONFIL et al., 2008; KOCH et al., 2003; MCKINION et al., 2001; GRIEPENTROG & KYHN, 2000; AHMAD et al., 1997; STONE et al., 1996). Trabalhos realizados para condições brasileiras, por sua vez, indicaram redução de apenas 2% de nitrogênio no café e aumento de 6% no arroz. Entretanto, para estes últimos trabalhos houve, conjuntamente, variações em fósforo e potássio. Assim, na cultura do café houve redução de 2% no nitrogênio e 1% no fósforo, mas houve incremento de 7% em potássio, e a produtividade aumentou em 2% (FAULIN et al., 2010). Já na cultura do arroz, todos os insumos aumentaram com a aplicação variada (ACOSTA et al., 2010). A produtividade, por sua vez, aumentou em 3%, e os autores mostraram que o aumento de receitas proveniente deste aumento de produtividade foi superior ao aumento dos custos dos insumos. Ainda em relação à aplicação diferenciada de nutrientes, MOLIN et al. (2010) mediram a resposta da aplicação à taxa variável de fósforo e potássio. A área que recebeu doses variadas apresentou produtividade 34% maior (de 1677,9 kg/ha para 2556,6 kg/ha) se comparada com a área que recebeu adubação em doses fixas. Houve também redução de 23% no consumo de fósforo (passou de 417 para 319 kg/ha) e um aumento de 13% no consumo de potássio (de 334 para 387 kg/ha). Trabalhos avaliando consumo de calcário indicaram que métodos de agricultura de precisão reduziram o uso deste insumo entre 27-30% (LOPES & MOLIN, 2010; BARBIERI et al., 2008). No trabalho de MENEGATTI et al. (2006), apesar de não ser explicitada a variação no uso de calcário, houve referência em relação ao aumento de 9% da produtividade da cana-de-açúcar pelo uso da agricultura de precisão. Embora em menor número do que os trabalhos que avaliam impacto sobre fertilizantes, também há indicações de que métodos de agricultura de precisão podem reduzir o consumo de água de irrigação em mais de 20% para milho e pastagem (HEDLEY & YULE, 2008). Outros trabalhos mostraram redução em uma proporção menor para milho e algodão (AHMAD et al., 1997; MCKINION et al., 2001).

Portanto, estudos que mensuraram a redução na quantidade de insumo aplicado e, ou, o aumento da produtividade ao mudar da aplicação uniforme para a aplicação variada são divergentes e não apresentam tendências similares. Isto pode ser um resultado esperado, uma vez que a eficácia destas técnicas depende do ambiente em que a mesma é empregada e da resposta da cultura à aplicação do insumo.

O objetivo deste trabalho foi identificar e analisar os impactos da mudança na tecnologia de aplicação de insumo, passando da aplicação uniforme para a aplicação variada. Para isto, identificou-se os principais fatores condicionantes para o êxito da aplicação variada de insumos. Foram analisadas as condições para a redução no uso de insumos e para o aumento da produtividade agrícola e seus impactos sobre o lucro do produtor. A importância da amostragem da lavoura nos resultados da aplicação uniforme de insumo também foi enfatizada como parte dos resultados devido ao grande impacto que ela representa para os resultados finais. Os ganhos ambientais da aplicação diferenciada de insumos não foram objetivo deste estudo por dois motivos: não representam ganho financeiro imediato para o produtor rural e; sempre estão presentes quando comparados à aplicação uniforme.

2. MATERIAL E MÉTODO

Os modelos utilizados neste estudo correspondem à mensuração da variação na produtividade e da quantidade do insumo utilizado sob condições de aplicação variada e uniforme de cada insumo, conforme é descrito nas colunas (a) e (b) da Tabela 2. A partir daí foram mensuradas as variações que podem ser obtidas com a mudança na tecnologia de

ANAIIS

aplicação de insumo (descrito na coluna c da Tabela 2) e analisados os resultados de maneira a se responder quais destes impactos diretos (produtividade e quantidade de insumo utilizado) podem ser obtidos com a mudança da aplicação uniforme para a agricultura de precisão, e em que condições estes resultados podem ser observados.

Tabela 2 - Resumo das informações finais a serem obtidas para diferentes situações neste projeto e que serão utilizadas para a elaboração do processo de decisão sobre a adoção de técnicas de agricultura de precisão

	Aplicação variada – av (a)	Aplicação uniforme – au (b)	Ganho usando a agricultura de precisão (c)
Produtividade (X)	X_{av}	X_{au}	$X(X_{av} - X_{au})$
Uso de insumo (I)	I_{av}	I_{au}	$I(I_{av} - I_{au})$
Lucro do produtor ($\pi = X * P_x - I * P_i$)	π_{av}	π_{au}	$\pi(\pi_{av} - \pi_{au})$

Fonte: Elaboração dos autores

Nota: P_x é o preço do produto agrícola e P_i é o preço do insumo utilizado no processo de produção; indica variação, ou seja, a diferença entre o que é esperado na simulação da aplicação variada com o esperado na simulação da aplicação uniforme.

Ou seja, supondo que haja variabilidade nas condições da lavoura (características químicas caso o insumo seja fertilizante), espera-se que, considerando uma lavoura com n áreas de manejo com tais características diferentes, as variações () na quantidade de insumo (I) e na produtividade (X) usando aplicação variada ou invés da aplicação uniforme são obtidas da seguinte maneira:

$$\Delta = \sum_{j=1}^n \frac{X_{avj} - X_{auj}}{X_{auj}} \cdot I_{auj} \cdot \%Area_j \quad (1)$$

$$\Delta = \sum_{j=1}^n \frac{I_{avj} - I_{auj}}{I_{auj}} \cdot X_{auj} \cdot \%Area_j \quad (2)$$

onde I_{av} é a quantidade de insumo utilizada na aplicação variada; I_{au} representa a quantidade de insumo na aplicação uniforme; X_{av} indica a produtividade ao usar aplicação variada do insumo; X_{au} é a produtividade ao usar aplicação uniforme e $\%Area$ significa o percentual da área da lavoura que tem as mesmas características e, portanto, utiliza a mesma quantidade de insumo na aplicação variada (ou seja, percentual de cada área de manejo). As diferentes áreas ou zonas de manejo são indicadas pelo subscrito “ j ”.

Os resultados obtidos das equações de (1) e (2) são analisados, respectivamente, da seguinte maneira: qual a quantidade de insumo economizado na aplicação variada em relação à aplicação uniforme? e; qual o aumento na produção da lavoura caso seja utilizada a aplicação variada, ao invés da aplicação uniforme deste insumo?

Entretanto, para identificar as informações descritas na Tabela 2, uma vez conhecida a heterogeneidade da lavoura com as condições de cada zona de manejo, não é necessário realizar pesquisa de campo. Para saber o impacto de ambas as tecnologias de aplicação de insumo basta conhecer a resposta da cultura agrícola ao insumo analisado, no caso, os macronutrientes. Com base nesta função de resposta, calcula-se a quantidade de insumo que será utilizado e a produtividade, seja fazendo a aplicação uniforme ou a aplicação variada na lavoura. Para isto deve-se calcular a quantidade de insumo e a produtividade para cada zona de manejo identificada pela letra “ j ” nas equações (1) e (2). Esta função de resposta da planta à cada insumo é conhecida como “função de produção agrícola” e deve, esta sim, ser obtida através de experimentos de campo. No caso deste estudo, esta informação foi obtida por revisão de literatura de estudos que tiveram como objetivo obter este comportamento.

As funções de produção utilizadas neste estudo são descritas na Tabela 3, assim como a fonte do estudo que originou tal função. Uma vez que para estimar a quantidade de insumo necessário no ponto de máximo econômico os preços de insumo e produto são também necessários, estes preços foram coletados para o ano de 2015. O preço do milho utilizado nas

ANAIIS

simulações foi de R\$396,8 por tonelada (Instituto, 2016). Os preços dos insumos são também descritos na Tabela 3 e foram calculados dividindo o preço médio dos fertilizantes que contém o nutriente pelo teor do mesmo, em percentual. Os insumos de produção que podem ser aplicados por aplicação variada analisados foram os macronutrientes essenciais para a cultura: o fósforo (P₂O₅) e o Potássio (K₂O)¹.

Tabela 3. Funções de produção utilizadas para produção de milho, com respectivas fontes, e preços dos mesmos utilizados neste estudo

Insumo avaliado	Função de produção	Fonte	Preço do insumo (I)	Fertilizante considerado
Fósforo (P)	$X=814,28+14,62*I-0,04*I^2$	Lucena et al. (2000)	$P_I = \text{R\$}1.150$ ton	Fosfato diamonico (46% P ₂ O ₅)
Potássio (K)	$Y=-2981+115,5*I-0,318*I^2$	Silva & Ritchey (1982)*	$P_I = \text{R\$}1.029$ ton	Cloreto de potássio (60% K ₂ O)

Fontes dados preços e percentual do insumo no fertilizante: Index (2016)

Nota: *Equação estimada a partir do gráfico da função de produção apresentada naquele estudo.

Para aplicação variada é necessário inicialmente ter um mapa das condições da lavoura indicando as zonas de manejo, ou seja, as áreas que possuem diferentes necessidades destes nutrientes. A mensuração dos níveis de fósforo e potássio no solo é obtida pelas análises de solo em relação a estes nutrientes.

Uma vez conhecida a função de produção para aquela condição planta/insumo, assim como as condições de cada zona de manejo, podemos calcular a variação na produtividade. A variação na quantidade de insumo foi estimada utilizando uma tabela de recomendação de adubação empregada para a cultura do milho no Brasil, e produtividade resultante em cada zona de manejo é estimada pelas funções de produção.

O uso das tabelas de recomendação de adubação é um método simples, devendo apenas identificar, nas tabelas de recomendação disponíveis, o nível de nutriente no solo obtido pela análise química do mesmo e a quantidade de nutriente a ser disponibilizado para aquele nível. A Tabela 4 descreve, resumidamente, as informações destas tabelas, e indica os limites dos nutrientes no solo e a quantidade a ser disponibilizada com base nestas tabelas².

A partir destas condições, e considerando o preço do produto agrícola e insumo analisado, estima-se o ganho de lucro do produtor caso ele altere a tecnologia de aplicação daquele insumo. Caso este ganho de lucro seja superior aos custos necessários para a mudança tecnológica, o instrumento elaborado neste projeto sugere ao produtor a mudança tecnológica, passando da aplicação uniforme para a aplicação variada do insumo. O mesmo raciocínio aplica-se para o resultado contrário: se o ganho de lucro for inferior aos custos da mudança tecnológica, sugere-se ao produtor que o mesmo continue a fazer a aplicação uniforme do insumo. Simulando diferentes condições de lavouras, ou seja, diferentes características das

¹ Já a irrigação de precisão tem peculiaridades diferentes dos nutrientes. Neste caso, ao contrário dos nutrientes, a aplicação, ou a mensuração do nível de umidade pode ocorrer diariamente, e não apenas uma vez durante o ciclo da cultura como foi o caso dos nutrientes. Além disto, os métodos para avaliação dos níveis de umidade do solo e, consequentemente, a necessidade de irrigação por zonas de manejo com diferentes condições deste insumo ainda é insipiente e esta é uma das dificuldades em se adotar a irrigação de precisão. Estudos nesta linha procuram desenvolver aparelhos a serem introduzidos em pontos específicos da lavoura para este mensuração (Santos et al., 2015; Calbo et al., 2004), entretanto, outras medidas poderiam ainda ser adotadas, como funções de produção diferentes para cada condição de solo observada nas zonas de manejo. Por este motivo não foi avaliado, neste trabalho, a comparação entre a irrigação uniforme e o uso da irrigação de precisão, apesar dos resultados observados para os nutrientes poderem ser considerados para demais insumos de produção.

² Geralmente, nas tabelas de recomendação de adubação, as unidades do nível de nutrientes no solo não está em kg/ha, como descrito na Tabela 4, mas como todas as quantidades foram descritas nesta unidade neste estudo, estes foram também transformados para kg/ha.

ANAIS

zonas de manejo que podem ser obtidas no campo, verificamos quais são as condições necessárias para se observar as variações na quantidade de insumo utilizado, na produtividade e no lucro resultantes desta mudança tecnológica. Neste estudo foram consideradas três diferentes situações de lavouras e que, portanto, podem ser utilizadas para se fazer algumas inferências sobre os resultados que podem ser obtidos da mudança tecnológica, assim como a influência das características da lavoura neste resultado. O item 2.1 descreve as condições das lavouras utilizadas neste estudo e foram obtidas através de revisão de literatura (assim como as funções de produção). Estas condições definem os níveis de nutrientes nos solos brasileiros de maneira que os mesmos sejam classificados como baixo, médio ou alto nível de cada nutriente.

Tabela 4. Níveis de nutrientes no solo e recomendação de adubação, em kg/ha, para solos brasileiros³

	P ₂ O ₅				K ₂ O			
Níveis nutrientes no solo	<12	<30	<80	>80	<35	<70	<143	>140
Adubação recomendada	90	70	50	30	70	60	50	30

Fonte: Raij et al. (1996) para dados do fósforo e Ribeiro et al., 1999 para dados do potássio.

Outra variável de extrema importância ao comparar esta mudança tecnológica é a amostragem realizada para a aplicação uniforme. Isto ocorre porque a quantidade de insumo e a produtividade agrícola resultante do uso da técnica de agricultura de precisão (aplicação variada de insumos) deve ser comparada à aplicação uniforme deste insumo para definir os impactos da mudança tecnológica. No item 2.2 é descrito as diferentes formas que a amostragem pode ocorrer em uma lavoura que possui heterogeneidade na necessidade de uso do insumo.

A partir destas condições, e considerando o preço do produto agrícola e nutriente analisado, estima-se o ganho de lucro do produtor caso ele altere a tecnologia de aplicação daquele insumo, como indicado na Tabela 2. Caso este ganho de lucro seja superior aos custos necessários para a mudança tecnológica, o instrumento elaborado neste projeto sugere ao produtor a mudança tecnológica, passando da aplicação uniforme para a aplicação variada do insumo. O mesmo raciocínio aplica-se para o resultado contrário: se o ganho de lucro for inferior aos custos da mudança tecnológica, sugere-se ao produtor que o mesmo continue a fazer a aplicação uniforme do insumo. Neste sentido, foram também elaborados para os cenários dos resultados uma análise de custo/benefício. O item 2.3 descreve o método utilizado para esta análise.

2.1 Lavouras utilizadas nas simulações

Foram utilizados neste estudo três condições de lavoura para cada nutriente analisado: lavouras A, B e C. Nas três lavouras o número de zonas de manejo, ou seja, de áreas consideradas homogêneas para aplicação variada de fertilizantes, foi o mesmo e igual a quinze. Para a situação onde a agricultura de precisão é utilizada, o número de pontos amostrados para todas as lavouras foi de sessenta e cinco (65) pontos. Apesar de serem níveis diferentes dependendo do nutriente, o comportamento dos mesmos, nas três lavouras, foi semelhante. Inicialmente foram estabelecidos os níveis mínimos e máximos que cada nutriente pode ser encontrados no campo. Estes níveis foram estabelecidos considerando a média dos níveis descritos em manuais de recomendação de adubação como sendo aqueles que classificam os solos como tendo condições muito baixas, baixas, médias e altas daqueles

³ Não foi apresentado os resultados para a aplicação de nitrogênio uma vez que as tabelas de recomendação não apresentam indicações de níveis deste nutriente diferentes em função de características da planta e, portanto, não é aplicável nesta comparação.

ANAIS

nutrientes (Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004; Manual, 2003; Oliveira, 2003; Raij et al., 1996 e Malavolta, 1989)⁴.

Na lavoura A, o teor mínimo de cada nutriente descrito anteriormente foi utilizado como sendo o nível da zona de manejo mais pobre e o teor máximo de cada nutriente foi considerado como o nível observado na zona de manejo com mais rica. Na lavoura B também o teor mínimo de cada nutriente foi o nível descrito na zona de manejo com menor nível de insumo. Mas o teor para a zona de manejo mais rica foi a metade do nível estabelecido entre os níveis mínimo e máximo do nutriente. Já na lavoura C, este nível médio descrito para a zona mais rica da lavoura B foi o nível estabelecido de insumo para a zona de manejo mais pobre da lavoura C. A zona de manejo mais rica desta lavoura foi novamente o nível máximo de cada nutriente descrito anteriormente. Entre as zonas de manejo mais pobre e mais rica de cada lavoura tem-se outras treze zonas de manejo com níveis intermediários do insumo. Para estas zonas de manejo foi considerado valores estimados fazendo uma relação linear entre os valores de insumo nas zonas menos e mais férteis. As Figura 1 e 2 ilustram as condições das três lavouras analisadas, respectivamente para os insumos: fósforo, potássio e nitrogênio.

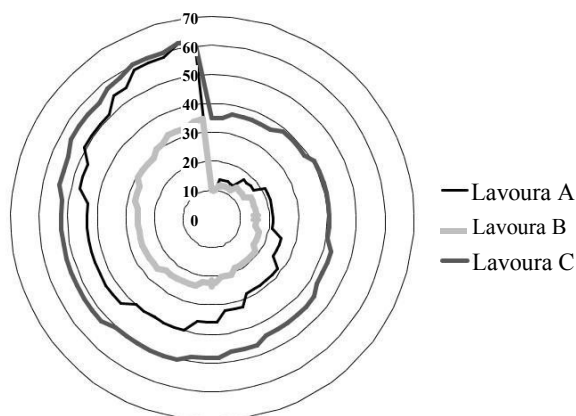


Figura 1. Níveis do insumo fósforo (P_2O_5) para todos os pontos amostrados das três lavouras, em quilogramas por hectare (kg/ha).

Fonte: Elaboração dos autores

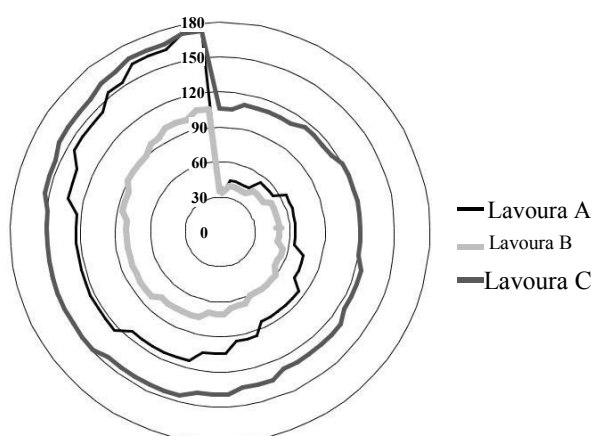


Figura 2. Níveis do insumo potássio (K_2O) para todos os pontos amostrados das três lavouras, em quilogramas por hectare (kg/ha).

Fonte: Elaboração dos autores

⁴ Para o potássio os valores descritos em Raij et al. (1996) não foi considerado para compor esta media porque estes valores estavam muito altos e discrepantes dos considerados nas outras fontes.

ANAIS

Portanto, em termos de fertilidade do solo, observa-se nestas figuras que o nível de nutrientes para as lavouras foi de: 10 a 62 kg/ha de P_2O_5 e 35 a 173 kg/ha de K_2O . Assim como descrito para os níveis de nutrientes na Tabela 4, estes valores não são, usualmente, expressos em kg/ha. Em análises de solo, por exemplo, os níveis de P_2O_5 e K_2O são, comumente, descritos em mg/dm^3 e $mmolc/dm^3$, respectivamente. Entretanto, de maneira a ficar mais claro neste estudo, os níveis dos nutrientes mensurados no solo; a necessidade de adubação suplementar para atingir os níveis do PME e; os níveis iniciais destes nutrientes foram todos utilizados na mesma unidade, em kg/ha.

2.2 Amostragem na aplicação uniforme

Para identificar os impactos de aumento de produtividade e, ou, de redução na quantidade de insumo aplicado ao fazer uso da agricultura de precisão na aplicação de insumo precisamos comparar os resultados da mesma com àqueles obtidos a partir da aplicação uniforme.

Na aplicação variada é necessário a construção de um mapa das diferentes condições observadas na lavoura. Este mapa é construído unindo pontos amostrados da lavoura que apresentam características semelhantes. Estas áreas são chamadas de zonas de manejo e são trabalhadas como sendo uma área homogênea. Uma vez que há heterogeneidade entre as zonas de manejo, elas deverão ser manejadas também de maneira diferente. Na aplicação uniforme, o estudo da lavoura por meio de amostragens também é necessário. Contudo, neste caso, as amostragens servem para calcular a necessidade média de insumo para esta lavoura e ela é trabalhada de maneira uniforme na aplicação do insumo.

A necessidade de nutriente a ser aplicada uniformemente em toda lavoura pode ser obtida, assim, da média simples da sua necessidade em cada um dos pontos amostrados, por meio de amostragem seja para realizar análise de solo ou para verificar o estado nutricional da planta no caso da aplicação de nitrogênio. Conforme descrito em Roy et al. (2006), para uma boa amostragem de solo, alguns formatos podem ser adotados na lavoura. A Figura 3 descreve estes padrões de amostragem, que são descritos como: aleatório, em zigzag ou, no caso de grandes áreas, utilizando sub-amostras.

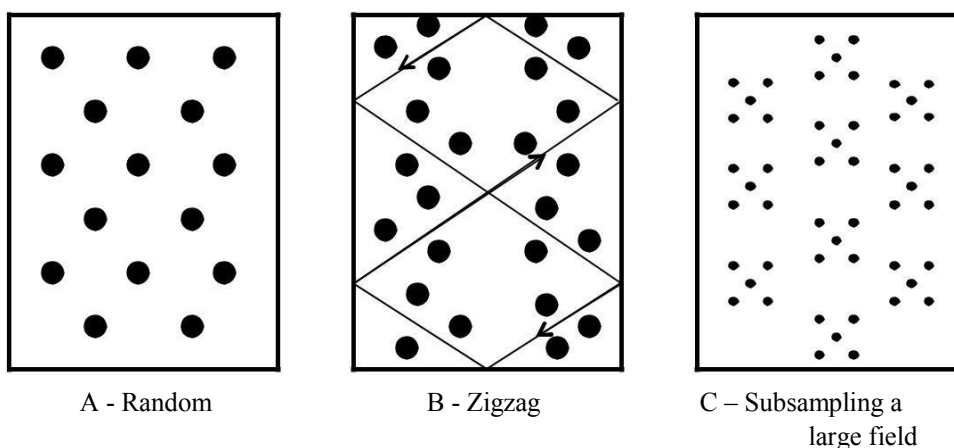


Figura 3. Representative soil sampling for small and large fields

Fonte: Roy et al. (2006).

Um dos objetivos deste estudo foi mostrar que, dependendo de como a amostragem for realizada, os resultados dos impactos descritos na Tabela 2 podem ser corrompidos. Ou seja, se os locais onde são feitas as amostragens de solo para aplicação uniforme de fertilizantes não for de acordo como o descrito na Figura 3, mas ocorrer apenas nas zonas mais férteis, ou nas menos férteis, ou em todas as subáreas, os impactos sobre a diferença da quantidade de

ANAIIS

insumos e da produtividade entre a aplicação variada e a uniforme serão diferentes. E esta diferença pode, inclusive, alterar a decisão do produtor sobre o tipo de aplicação.

Para identificar o impacto da amostragem foram simuladas situações onde, para as lavouras consideradas neste estudo, nem todos os pontos da amostragem, seja em quaisquer dos formatos descritos na Figura 3, foram utilizados, ficando a média da necessidade de adubação daquela lavoura, sub ou super estimada. Para simular estas situações, considere a lavoura descrita na Figura 4. Nesta lavoura foi realizada uma amostragem aleatória, com 36 pontos de amostragens (indicados pelos pontos negros) e onde estes pontos indicaram 7 diferentes zonas de manejo. As zonas de manejo estão propostas pelas áreas com colorações diferentes naquela figura. Assim, tem-se que a zona de manejo menos fértil possui, por exemplo, 5 kg/ha de fósforo (P_2O_5) e a mais fértil 50 kg/ha deste nutriente.

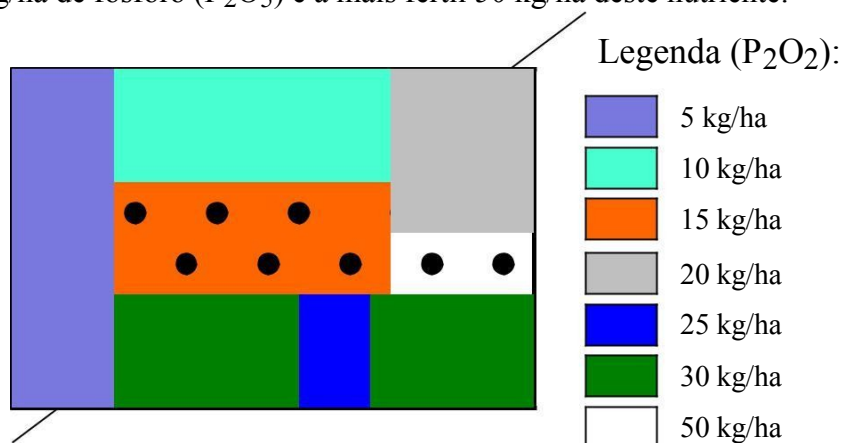


Figura 4. Pontos de amostragem de solo indicados no mapa de uma lavoura hipotética e as zonas de manejo para diferentes quantidades de fósforo (P_2O_5) indicados por esta amostragem

Fonte: Elaboração dos autores.

Na situação ideal todos os pontos amostrados devem ser considerados e a média indicaria que esta lavoura hipotética tem o equivalente a 19 kg/ha de fósforo. Entretanto, se somente metade desta lavoura for considerada para a amostragem de solo e, para esta metade for extrapolada a condição de toda a lavoura, encontraremos diferentes conclusões sobre a média de fósforo desta lavoura. Para mostrar isto consideramos os lados esquerdo e direito da linha que corta o mapa da lavoura indicado na Figura 4. Para as amostragens realizadas do lado esquerdo da linha divisória, a média da lavoura seria 11 kg/ha de fósforo e a lavoura teria uma necessidade suplementar de adubação maior do que a real. Já considerando apenas as amostragens nos pontos do lado direito da linha divisória descrita na lavoura da Figura 4, a média de fósforo seria de 27 kg/ha e, consequentemente, esta lavoura seria considerada mais rica em fósforo do que realmente é, caso todos as 36 amostragens fossem consideradas e a necessidade de adubação suplementar ficaria abaixo daquela que seria indicada.

As consequências em termos de variação na quantidade de insumo utilizado e na produtividade ao comparar a aplicação variada com a aplicação uniforme foi realizada, portanto, não apenas para a situação ideal da amostragem, mas também para situações como as indicadas anteriormente. Esta simulação é importante pois mostra a importância da correta distribuição de amostragens de solo na aplicação uniforme e o quanto, apenas este fator, pode contribuir para a variação na aplicação do insumo e da produtividade na lavoura.

A média destes pontos amostrados foi realizada em quatro diferentes cenários: (i) média de todos os pontos; (ii) média de metade dos pontos com maior nível de fertilidade; (iii) média de metade dos pontos com menor nível de fertilidade e; (iv) média considerando apenas duas amostras, sendo estas aquelas mais e menos fértil.

2.3 Análise de custo/benefício

ANAIS

O custo de implementação da aplicação variada é a soma do custo de oportunidade do valor pago pelo sistema de adaptação da aplicação uniforme para a aplicação variada (CO), somado ao custo da construção do mapa ($CVav$), que no caso dos nutrientes fósforo e potássio é dado por amostragem e análise de solo e subtraído do custo que é específico para a aplicação uniforme, que no caso é de apenas uma amostragem e análise de solo (Cau). Uma vez que este custo de implementação será dado por unidade de área, estes três termos (CO , $CVav$ e Cau) são divididos pela área anual a ser trabalhada com o sistema ($area$). A equação (3) descreve o cálculo deste custo:

$$C_{\text{variada}} = \frac{(CO + CVav - Cau)}{area} \quad (3)$$

Estes custos foram feitos considerando uma condição padrão (identificada por entrevista junto a empresa de consultoria em agricultura de precisão no Brasil⁵) do custo de implementação da aplicação variada de fertilizantes. No caso do $CVav$ a empresa nos forneceu um valor médio, por ha, do custo de amostragem e análise de solo realizado para a construção dos mapas de fertilidade da lavoura, que ficou em R\$5,00/ha ($CVav,unit$). O Cau foi representado pelo custo médio de apenas uma (1) amostragem e análise de solo (R\$20,00). Entretanto, conforme indicado no item 2.2, esta amostragem deve ser realizada em toda a lavoura. Assim, para qualquer área o Cau ficou em R\$20,00 e para o $CVav$ o valor do custo por hectare deve ser multiplicado pela área trabalhada. O Custo de oportunidade (CO) representa um custo fixo e o custo anual correspondente é calculado como descrito na equação (4):

$$C_{\text{anual}} = \frac{CS}{1 - (1 + r)^{-vu}} \quad (4)$$

onde CS é o custo da implementação do sistema trator/implemento que, conforme entrevista realizada, é estimado, em média, em R\$35 mil; r é a taxa anual de juros de mercado. No caso deste trabalho, para as condições brasileiras, a taxa utilizada foi de 12%. E a variável vu é o número de anos de vida útil daquele sistema, que foi considerado de 10 anos. Não foi considerado valor residual.

Considerando estas informações foram calculados: (a) o comportamento do custo em função da área a ser trabalhado por um sistema trator/implemento adaptado para aplicação variada e; (b) a área necessária a ser trabalhada por um sistema trator/implemento adaptado considerando os ganhos de lucro estimados anteriormente.

Para calcular a área mínima necessária a partir da qual podem ser auferidos os ganhos, para os dados e os cenários avaliados neste estudo, o valor do custo descrito na equação (3) foi igualado ao ganho de lucro obtido em cada condição. Fazendo transformações algébricas nesta igualdade tem-se que o tamanho da área é indicada pelo cálculo descrito na equação (5):

$$area = \frac{C_{\text{variada}}}{\pi} \quad (5)$$

em que o lucro (π) foi àquele estimado conforme descrito na Tabela 2 para os cenários analisados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram apresentados para as funções de produção e preços descritos na Tabela 3, e considerando as três diferentes condições da lavoura. Inicialmente, são apresentados os resultados considerando os níveis de nutrientes, indicados na tabela de recomendação de adubação, para condições dos solos brasileiros. A seguir, uma análise de custo/benefício foi realizada considerando os resultados obtidos anteriormente.

⁵ GARZELLA, T.C. Representando a empresa APAgri. ,Relatório de Reunião. 17 de nov. 2015. Piracicaba, SP. Entrevista concedida a Cinthia Cabral da Costa.

ANAIIS

3.1. Utilizando adubação indicada nas tabelas de recomendação

Na aplicação variada de insumos foi simulado a incorporação de adubo fosfatado ou potássico no montante indicado pela Tabela 4, em cada um dos pontos amostrados. Já para a aplicação uniforme do insumo, a quantidade de nutriente a ser aplicado corresponde também ao montante indicado pela Tabela 4, mas considera a média dos pontos amostrados, em quatro diferentes maneiras de amostragem destes pontos (como descrito no item 2.2). Os resultados destas estimativas para a aplicação variada dos nutrientes, subtraído dos resultados para a aplicação uniforme, conforme foi mostrado na Tabela 2, indicam os ganhos obtidos com a agricultura de precisão (aplicação variada) em relação à aplicação uniforme. Ou seja, o quanto, utilizando a agricultura de precisão, naquelas condições de lavoura, o produtor pode alcançar em ganho de produtividade ou em redução no uso de insumo e a variação do lucro correspondente. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos.

Inicialmente observa-se nesta tabela que os ganhos de produtividade e a redução no uso de insumo não ocorreram em todas as situações simuladas. Houveram situações predominantemente de ganhos de produtividade, mas também foram observadas perdas em produtividade ao adotar agricultura de precisão, assim como observa-se reduções e aumentos no uso de insumo como resultado desta mudança tecnológica. Não foi observado aumento de produtividade com redução da quantidade de nutriente aplicado simultaneamente. De outra maneira, ganhos de produtividade ao mudar da aplicação uniforme para a aplicação variada

Tabela 5. Variação na produtividade, na quantidade de nutriente aplicado e no lucro do produtor ao alterar da aplicação uniforme (nos quatro diferentes cenários de amostragem) para a aplicação variada. Em três condições de lavoura e quatro tipos de amostragem da aplicação uniforme.

		Fósforo	Potássio	Fósforo	Potássio	Fósforo	Potássio
		Variação de produtividade (%)		Variação de nutriente aplicado (kg/ha)		Variação de lucro do produtor (R\$/ha)	
Lavoura A	<i>av-au</i> (i)	4.6%	2.6%	10	2.77	8.74	61.80
	<i>av-au</i> (ii)	4.6%	2.6%	10	2.77	8.74	61.80
	<i>av-au</i> (iii)	-3.7%	2.6%	-10	2.77	-1.92	61.80
	<i>av-au</i> (iv)	4.6%	2.6%	10	2.77	8.74	61.80
Lavoura B	<i>av-au</i> (i)	0.01%	-2.6%	0	-9.85	0.09	-48.97
	<i>av-au</i> (ii)	0.01%	4.8%	0	10.15	0.09	97.03
	<i>av-au</i> (iii)	0.01%	-2.6%	0	-9.85	0.09	-48.97
	<i>av-au</i> (iv)	0.01%	4.8%	0	10.15	0.09	97.03
Lavoura C	<i>av-au</i> (i)	0.0%	-0.1%	0	-9.23	0.00	12.82
	<i>av-au</i> (ii)	0.0%	1.8%	0	10.77	0.00	29.80
	<i>av-au</i> (iii)	0.0%	-0.1%	0	-9.23	0.00	12.82
	<i>av-au</i> (iv)	0.0%	-0.1%	0	-9.23	0.00	12.82

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *av* – aplicação variada; *au* – aplicação uniforme; (i) média de todos os pontos na *au*; (ii) média de metade das amostras com maior nível de fertilidade na amostragem da *au*; (iii) média de metade dos pontos com menor nível de fertilidade na amostragem da *au* e; (iv) amostragem da *au* considerando a média de apenas duas amostras, sendo estas a mais e a menos fértil.

O tipo de amostragem realizado na aplicação uniforme (indicado pelas letras i, ii, iii e iv) apresentou impactos diferentes em: uma situação para a aplicação de fósforo (que foi o cenário iii na lavoura A) e dois resultados diferentes para o potássio na lavoura B e na lavoura C. No caso da aplicação de fósforo na lavoura A, o cenário que apresentou resultado diferente foi àquele onde a amostragem feita para a aplicação uniforme considerou a metade da lavoura menos fértil (iii). Por esta razão, na aplicação uniforme a quantidade de nutriente aplicado foi

ANAIS

maior do que na aplicação variada, assim como a produtividade. Verifica-se que o oposto também ocorreu, ou seja, quando a amostragem foi feita na metade mais fértil da lavoura (ii), a quantidade de nutrientes, assim como a produtividade, na aplicação uniforme foi inferior se comparada com a aplicação variada. Mas esta variação negativa ao mudar a tecnologia no cenário (iii) não ocorreu em todos os casos: não ocorreu para o fósforo nas lavouras B e C e nem para o potássio na lavoura A. Isto ocorreu porque, naqueles casos, o valor médio do nível de nutriente no solo, estimado seja a partir das áreas mais férteis (ii) ou da menos férteis (iii), não mudou a faixa do nível de nutriente aplicado na tabela de recomendação (Tabela 4). Por exemplo, no caso do fósforo na lavoura A, a média do nível de nutrientes no solo considerando todos os pontos amostrados (i), ou a média dos pontos mais férteis (ii) ou a média apenas do ponto mais e menos fértil (iv) ficaram todos no intervalo onde o nível de nutrientes no solo estimado ficou entre o equivalente a 30 e 80 kg/ha, o que origina o mesmo nível de adubação independente dos valores diferentes obtidos em cada cenário.

Um resultado interessante observado na Tabela 5 é a presença de impactos negativos no lucro do produtor ao fazer a mudança tecnológica. Isto ocorreu na mudança do sistema de aplicação de: fósforo no cenário “*av-au* (iii)”, apenas na lavoura A e; potássio na lavoura B para os cenários “*av-au* (i)” e “*av-au* (iii)”.

No caso da mudança do sistema de aplicação do fósforo, o valor do lucro negativo foi de -R\$1,92/ha. Nas demais situações o ganho de lucro para o produtor foi muito pequeno: R\$ 8,74/ha na lavoura A e R\$0,09/ha na lavoura B. E estes ganhos, por sua vez, ocorreram por aumentos de produtividade: 5% na lavoura A e 0,01% na lavoura B. Não foi observado nenhum aumento de lucro ao mudar o sistema de aplicação de fósforo para a lavoura C. Na situação do lucro negativo foram consideradas as amostragens da aplicação uniforme apenas em zonas menos férteis da lavoura, levando o produtor a utilizar uma quantidade média do nutriente na aplicação uniforme acima da quantidade média estimada na aplicação variada. Entretanto, a quantidade média de nutrientes necessária o ponto de máximo lucro econômico do produtor (que não é levado em consideração nos valores das tabelas de recomendação) ficou mais próxima quando a quantidade de nutrientes foi estimada considerando para esta amostragem viesada da lavoura (cenário iii). Foi por este motivo que o lucro do produtor obtido neste cenário foi superior ao obtido na aplicação variada.

Já para a mudança do sistema de aplicação (taxa uniforme para taxas variadas) de potássio, os valores da mudança para o lucro do produtor tiveram uma variação muito maior do que a observada para o fósforo. Na condição da lavoura A, o ganho de lucro para o produtor em todos os cenários foi de R\$61,80/ha. Na lavoura B, onde se observou impacto negativo no lucro do produtor o valor estimado foi de -R\$48,97/ha (cenários i e iii) e onde o lucro estimado foi positivo, o valor foi de quase R\$100,00/ha (cenários ii e iv). O valor negativo do lucro do produtor obtido nestes casos para a mudança no sistema de aplicação de potássio tem a mesma explicação daquela descrita anteriormente para a mudança no sistema de aplicação de fósforo. Ou seja, a quantidade média de nutrientes necessária para o ponto de máximo lucro econômico do produtor ficou mais próxima quando a quantidade de nutrientes foi estimada na aplicação uniforme considerando todos os pontos amostrados (i) ou a metade dos pontos amostrados menos férteis (iii) do que fazendo a aplicação variada. Nestes dois casos, cenários (i) e (iii), a quantidade média de potássio no solo ficou no limite da segunda faixa da tabela de recomendação (Tabela 4), que é a quantidade equivalente entre 30 e 70 kg/ha. Já calculando a quantidade média de potássio no solo nos cenários (ii) e (iv), que consideram, respectivamente, a média dos pontos mais férteis e a média do ponto mais e menos fértil, a quantidade média de potássio no solo ficou no limite da terceira faixa da tabela de recomendação, equivalente entre 70 e 143 kg/ha deste nutriente. Por esta razão, apesar de estarem em cenários diferentes, os resultados são os mesmos. Com a mesma quantidade de

ANAIS

nutriente aplicado tem-se a mesma produtividade e, consequentemente, os mesmos impactos no lucro em ambos os cenários.

Na lavoura C ocorreu aumento no lucro ao mudar a tecnologia de aplicação apenas para o potássio, e este aumento ficou em R\$12,82/ha, exceto na condição de que a amostragem da aplicação uniforme foi feita apenas nas áreas mais férteis da lavoura. Neste caso, ao mudar para a aplicação variada do nutriente o ganho de lucro do produtor foi ainda maior (R\$29,80/ha). Da mesma maneira que descrito anteriormente, os cenários que obtiveram os mesmos valores de impacto no lucro são justificados pelo fato de que, na aplicação uniforme, independente de como a quantidade média de nutriente no solo foi estimada, seus valores ficaram dentro de um mesmo intervalo na tabela de recomendação, gerando a mesma quantidade de nutriente aplicado, mesma produtividade e mesmo ganho de lucro ao comparar com a aplicação variada.

A seguir uma análise de custo/benefício da mudança do sistema de aplicação uniforme para a aplicação variada de fertilizantes nas condições brasileiras. Neste caso foi também incorporada a variável tamanho da área, que não foi considerada até então. Da mesma maneira, dado os ganhos de lucro estimados nesta seção, os limites mínimos de área trabalhada considerando os custos envolvidos foram também identificados.

3.2. Análise custo benefício para as condições brasileiras

Os resultados apresentados anteriormente levam ao seguinte questionamento: é economicamente vantajoso para o produtor adaptar o maquinário para a aplicação variada ao invés da aplicação uniforme de fertilizantes? Os resultados apresentados mostram ganhos de lucro para o produtor, na maioria dos casos, em diferentes magnitudes. Entretanto, os custos desta mudança também devem ser considerados para se tomar a decisão sobre a mudança na tecnologia de aplicação de fertilizante.

Conforme informação obtida junto a empresa de consultoria para uso de agricultura de precisão e descrito na seção 2.4, a Figura 5 mostra o comportamento do custo, por hectare (ha), da implementação da agricultura de precisão para esta atividade em função de diferentes tamanhos de áreas a serem trabalhadas. A Figura 5 apresenta também uma ampliação dos valores de custo por hectare da mudança tecnológica para áreas acima de 500 hectares, uma vez que estes valores ficam pouco visíveis quando incluímos áreas menores.

Observa-se nesta figura uma queda expressiva do custo ao aumentar a área a ser trabalhada com a aplicação variada. Este resultado é esperado uma vez que a maior parte do custo é representada pelo custo fixo de aquisição ou adaptação do implemento para a aplicação à taxas variadas. Assim, enquanto o custo variável aumenta com o aumento da área trabalhada, uma vez que são necessárias mais amostras e análises de solo, o custo fixo reduz pela diluição do valor do sistema de adaptação. Entretanto, deve-se levar em conta a área máxima que um conjunto adaptado para aplicação variada pode ser utilizada no período de um ano. E isto irá depender de fatores como número de safras agrícolas e possibilidade de uso em várias lavouras na mesma safra, mas em épocas diferentes. Segundo empresa de consultoria para uso de agricultura de precisão ⁶ contatada, a área para culturas anuais abrangida por um conjunto trator/implemento adaptado pode ficar em 3.200 hectares ao ano. Para este tamanho de área, o custo adicional da aplicação variada, desconsiderando o custo da aplicação uniforme, ficaria em torno de R\$7,00/ha/ano (Figura 5). Assim, apenas em situações apresentadas anteriormente que apresentassem um ganho de lucro acima deste valor é que a mudança tecnológica começaria a ser viável. Por exemplo, considerando a aplicação

⁶ GARZELLA, T.C. Representando a empresa APAgri. ,Relatório de Reunião. 17 de nov. 2015. Piracicaba, SP. Entrevista concedida a Cinthia Cabral da Costa.

ANAIIS

praticada pelas tabelas de recomendação em lavoura semelhante a descrita para a lavoura C, apenas a aplicação variada de potássio geraria ganho de lucro, que seria acima do custo descrito acima, caso a área a ser trabalhada tivesse, na média, aquelas características, e abrangesse os 3.200 hectares de área. Nesta situação o ganho de lucro seria de R\$12,82/ha/ano. Descontando o custo, geraria um ganho de R\$5,82/ha/ano para o produtor, os quais, para aquele tamanho de área trabalhada, atingiria um ganho de R\$18.624 ao ano. Já em áreas com uma variação maior na necessidade de adubação, como a indicada na lavoura A, ganho muito superior a este poderia ser auferido.

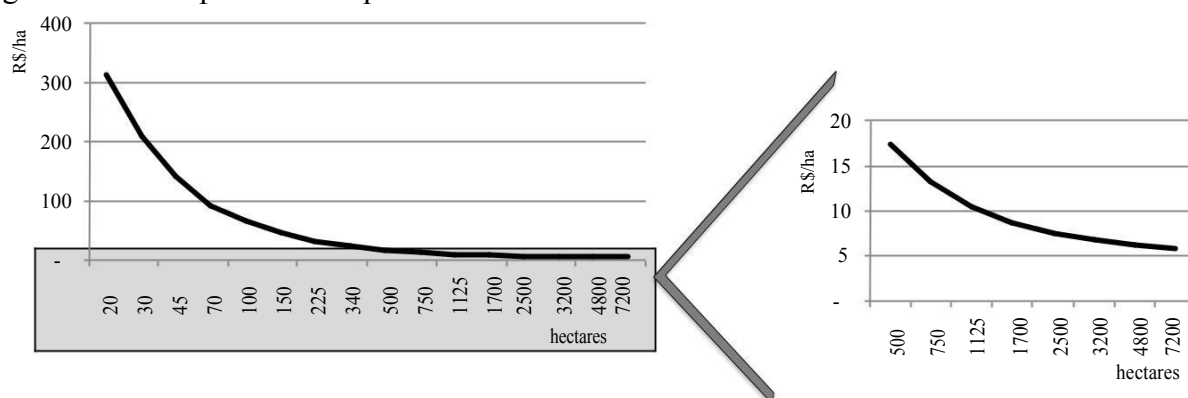


Figura 5. Custo por hectare (ha), ao ano, da mudança de aplicação uniforme para aplicação variada de fertilizante: fósforo e potássio.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: considerando preço da adaptação de R\$35 mil pagos no ano 1, taxa juros anual de 12%, com vida útil de 10 anos e sem valor residual final; custo da amostragem de solo, sua análise e interpretação igual a R\$5/ha e subtraído do custo da aplicação uniforme de R\$20,00 para amostragem de solo, sua análise e interpretação em toda lavoura.

Já a Tabela 6 mostra uma análise similar a apresentada na Figura 5, mas associada com os valores obtidos, para cada cenário, do ganho de lucro do produtor ao mudar a tecnologia de aplicação, conforme cálculo apresentado na equação (5) da seção 2.3. Tanto para a análise desta tabela quanto para a descrita na Figura 5, considerou-se apenas a aplicação de fósforo e potássio uma vez que foram inseridos os custos de análise de solo, que é utilizado apenas para estes dois nutrientes. Por esta razão não foi inserido a informação para o nitrogênio.

Tabela 6. Número de hectares, ao ano, cultivados necessários para que a aplicação variada de cada um dos nutrientes descritos pague o custo adicional da mudança tecnológica, considerando os cenários analisados e que a mudança seja apenas para o nutriente descrito na coluna.

		Fósforo	Potássio
Lavoura A	<i>av-au(i)</i>	1,651	109
	<i>av-au(ii)</i>	1,651	109
	<i>av-au(iii)</i>	-	109
	<i>av-au(iv)</i>	1,651	109
Lavoura B	<i>av-au(i)</i>	-	-
	<i>av-au(ii)</i>	-	67
	<i>av-au(iii)</i>	-	-
	<i>av-au(iv)</i>	-	67
Lavoura C	<i>av-au(i)</i>	-	790
	<i>av-au(ii)</i>	-	249
	<i>av-au(iii)</i>	-	790
	<i>av-au(iv)</i>	-	790

Fonte: Resultados da pesquisa.

ANAIIS

Nota: considerando preço da adaptação de R\$35 mil pagos no ano 1, taxa juros anual de 12%, com vida útil de 10 anos e sem valor residual final; custo da amostragem de solo, sua análise e interpretação igual a R\$5/ha e subtraído do custo da aplicação uniforme de R\$20,00 para amostragem de solo, sua análise e interpretação em toda lavoura. *av* – aplicação variada; *au* – aplicação uniforme; (i) média de todos os pontos na *au*; (ii) média de metade das amostras com maior nível de fertilidade na amostragem da *au*; (iii) média de metade dos pontos com menor nível de fertilidade na amostragem da *au* e; (iv) amostragem da *au* considerando a média de apenas duas amostras, sendo estas a mais e a menos fértil.

Na Tabela 6 é descrito o número de hectares necessários, ao ano, para se realizar a mudança tecnológica com algum ganho no lucro anual para o produtor, para apenas o valor de um (1) sistema de adaptação para a aplicação à taxas variadas. Nas condições onde não aparece área mínima para ganho de lucro é porque o ganho de lucro observado não é suficiente para manter esta condição quando os custos são incluídos. Este valor mínimo é de R\$5,00/ha, referente ao custo da amostragem e análise de solo considerada. Além disto, os resultados apresentados nesta tabela dependem de várias considerações, ou hipóteses. São elas: os preços do produto e dos nutrientes; as condições da lavoura descrita para as lavouras A, B e C; o tipo de amostragem realizada na aplicação uniforme (cenário i, ii, iii e iv); custo do sistema de adaptação e das análises de solo; condições financeiras como taxa de juros, vida útil, valor residual e condições de pagamento do sistema de adaptação para aplicação variada e; foi considerado que o custo do implemento e das análises de solo é feito apenas para o nutriente analisado. Com relação a este último aspecto (custo do implemento e das análises de solo é feito apenas para o nutriente analisado), sabe-se que o mesmo custo pode ser dividido tanto para a aplicação do fósforo quanto para a aplicação do potássio, uma vez que o mesmo implemento aplica ambos nutrientes e a análise de solo descreve a concentração no solo também para ambos. Neste sentido as áreas mínimas descritas na Tabela 6 estão superestimadas.

Uma condição ideal da amostragem na aplicação uniforme deve ser padronizada para estabelecer os reais ganhos referentes, apenas, à mudança tecnológica. Neste sentido, a amostragem descrita no cenário (i) é a mais indicada para esta comparação. Assim, influencia nos resultados as condições da lavoura e os preços de produto e dos nutrientes.

Considerando as informações apresentadas na Tabela 6, verifica-se que, nas condições de preços de 2015, considerando os custos envolvidos na mudança tecnológica descritos anteriormente e, utilizando o sistema em lavouras com características semelhantes a da lavoura A, o produtor pode auferir ganhos econômicos mudando a tecnologia de aplicação de fertilizantes utilizando o sistema numa área acima de 109 ha ao ano, que a aplicação a taxas variadas de potássio pagaria o sistema. Em condições mais semelhantes às descritas para a lavoura B não haveria lucro ao mudar o sistema de aplicação e se as lavouras apresentarem características semelhantes às apresentadas para a lavoura C, os ganhos econômicos ao mudar a tecnologia só seriam alcançados se o sistema for utilizado em área acima de 790 ha ao ano, também pagos pela aplicação variada de potássio.

Como considerações finais, enfatizamos que os resultados obtidos foram originados dos pressupostos assumidos ao longo do estudo e que não devem ser tomados como verdades para outras condições. Apenas destacamos a direção que os resultados podem alcançar em diferentes situações, como grau de variação na fertilidade do solo, tamanho da área e tipo de amostragem realizada na aplicação uniforme. Além disto, temos que, dependendo dos cenários de preços do produto e insumo, da função de produção mais apropriada e das condições de custo e financeiras para a mudança tecnológica, os resultados podem ser alterados. Assim, temos as condições gerais mais importantes para um processo de decisão e este trabalho buscou contribuir para a construção de um ferramental apropriado para ser utilizado pelo produtor neste processo.

ANAIS

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os fatores que mais contribuem para os ganhos de lucro do produtor ao mudar a tecnologia de aplicação de nutrientes é a variação espacial dos nutrientes na lavoura. Assim, este é o fator primordial a ser observado pelo produtor no processo de decisão da técnica de aplicação de fertilizantes.

A amostragem feita na aplicação uniforme foi outro fator essencial. No entanto, os resultados apresentados para as diferentes condições desta amostragem servem para mostrar a importância econômica de se realizar uma boa amostragem, e de maneira que estas não interfiram no processo de decisão sobre a mudança tecnológica.

Considerando também os custos envolvidos, soma importância aos dois fatores anteriormente mencionados o tamanho da área a ser beneficiada pela mudança na tecnologia de aplicação de fertilizantes.

Considerando o método utilizado na agricultura brasileira para definir as quantidades de nutrientes aplicados – tabelas de recomendação – os resultados obtidos mostram que a agricultura de precisão pode, inclusive, reduzir o lucro do produtor. Assim, a condução de estudos como o realizado neste artigo é essencial para o processo de criação de um sistema de decisão para o produtor.

Esta mesma simulação pode ser aplicada para analisar os impactos de quaisquer produto, insumo e lavoura desde que seja conhecido o comportamento (ou resposta) do produto agrícola ao insumo analisado, assim como de alguns dados da lavoura. Estes dados podem ser os níveis extremos (maiores e menores) do insumo na lavoura e os demais pontos serem simulados, por exemplo. Com isto pode-se construir um modelo de previsão de impactos da mudança tecnológica, base fundamental de um processo de decisão sobre o uso da tecnologia a ser empregada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J.A.A.; BUSATO, M.R.; LONDERO, G.T.; LEMAINSKI, C.L.; SANTI, O.G.R. Uso de técnicas de agricultura de precisão no manejo da adubação do arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP, 2010. Ribeirão Preto. **Anais...**
- AHMAD, S.; SUPALLA, R.J.; MILLER, W. Precision farming for profits and environmental quality: problems and opportunities. In: Annual Meeting of Agricultural Economics Association, Toronto, Canadá, 1997. **Anais...**
- BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SANCHES, R.B.; PAZETO, R.J.; SIQUEIRA, D.S. Dependência espacial dos custos de fertilizantes para aplicação em taxa variada em cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP, 2008. **Anais...**
- BONFIL, D.J.; MUFRADI, I.; ASIDO, S.; LONG, D.S. Precision nitrogen management based on nitrogen removal in rain fed wheat. In: 9^o International Conference on Precision Agriculture. July 20-23. Denver, Colorado. 2008. **Anais...**
- FAULIN, G.D.C.; MOLIN, J.P.; STANISLAVSKI, W.M. Influência da adubação em doses variáveis na produtividade da cultura do café (*Coffea arabica* L.) durante quatro safras consecutivas. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP, 2010. **Anais...**
- GRIEPENTROG, H.W.; KYHN, M. Strategies for site specific fertilization in a highly productive agricultural region. In: 5th International Conference on Precision Agriculture. 2000. **Anais...**
- HEDLEY, C.B.; YULE, I.J. A high resolution soil water status mapping method for irrigation scheduling and two variable rate scenarios for pasture and maize irrigation. In: 9^o International Conference on Precision Agriculture. 20-23 julho. 2008. **Anais...**
- INDEX MUNDI. Preço de mercadoria. Fertilizantes. Disponível em: <http://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/>. Acesso em: 20 de jan. 2016.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Banco de Dados. Preços médios mensais recebidos pelos agricultores. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>. Acesso em: 20 de jan. 2016.
- KOCH, B.; KHOSLA, R.; FRASIER, M.; WESTFALL, D.G. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application in site specific management. Western Nutrient Management Conference, v.5, p. 107-112. 2003. **Anais...**

ANAIIS

- LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.334-337. 2000.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. rev. at. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.
- MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.
- MCKINION, J.M.; JENKINS, J.N.; AKINS, D.; TURNER, S.B.; WILLERS, J.L.; JALLAS, E.; WHISLER, F.D. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 32, n.3, p. 213-228. 2001.
- MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P.; GÓES, S.L.; KORNDORFER, G.H.; SOARES, R.A.B.; LIMA, E.A. Benefícios econômicos e agronômicos da adoção de agricultura de precisão em usinas de açúcar. In: 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. São Pedro, SP. 2006. **Anais...**
- MOLIN, J.P.; FRASSON, F.R.; AMARAL, L.R.; POVH, F.P.; SALVI, J.V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. 2010.
- MOLIN, J.P.; MOTOMIYA, A.V.A.; FRASSON, F.R.; FAULIN, G.D.C.; TOSTA, W. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n.4, p. 569-575. 2010.
- OLIVEIRA, E. L. de. (Coord.). **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2003. 30 p. (IAPAR. Circular Técnica, 128).
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- ROY, R.N.; FINCK, A.; BLAIR, G.J.; TANDON, H.L.S. **Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management**. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006.
- RUFFO, M.L.; HENNINGER, A.S.; WIEBERS, M.; BELOW, F.E. Spatial variability of corn grain and ethanol responses to nitrogen fertilizer. In: 9th International Conference on Precision Agriculture. July 20-23. Denver, Colorado. 2008. **Anais...**
- SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. Adubação potássica em solos do cerrado. In: Anais Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Londrina. 1982.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. il.
- STONE, M.L.; SOLIE, J.B.; RAUN, W.R.; TAYLOR, S.L.; RINGER, J.D.; WHITNEY, R.W. Use of spectral radiance for correcting in season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. **Transactions of the ASABE**, v. 39, n.5, p. 1623-1631.1996.