

COMO DECIDIR ENTRE APLICAÇÃO UNIFORME OU VARIADA DE FERTILIZANTES EM UMA LAVOURA?

Cynthia Cabral da Costa

Embrapa. Email: cynthia.cabral.da.costa@gmail.com

Heloisa Lee Burnquist

USP/ESALQ. Email: hlburnqu@usp.br

Grupo de Pesquisa: Economia e Gestão no Agronegócio

Resumo

Este estudo listou e analisou os principais fatores responsáveis por definir se uma lavoura terá sucesso econômico ou não no uso da agricultura de precisão, via aplicação variada de fertilizantes. Desta maneira, o produtor pode ter um mecanismo de decisão sobre alterar ou não a aplicação de fertilizantes. O método utilizado para esta análise estimou as receitas e os custos de produção através da utilização de uma função de produção agrícola e considerou as diferentes condições que encontramos no campo quando os insumos são aplicados a taxas fixas ou variadas. Os resultados mostraram que o fator que mais influenciou o ganho de rentabilidade para o produtor ao decidir aplicar os insumos à taxas variadas (agricultura de precisão) foi o método de amostragem utilizado para a situação da aplicação uniforme. Corroborando com outros estudos, os resultados também indicaram que o uso da agricultura de precisão para aplicação variada de fertilizantes é economicamente mais vantajoso se aplicado em grandes áreas. No entanto, ao contrário do que é descrito em outros estudos, não podemos afirmar que a agricultura de precisão reduz o uso de insumos ou aumenta a produtividade das culturas. Um ou ambos os casos podem ocorrer dependendo das condições da área e de amostragem utilizada na aplicação uniforme. Portanto, conclui-se que não há sentido em trabalhos científicos que analisam o impacto econômico da aplicação de técnicas de agricultura de precisão, uma vez que este impacto deve ser analisado individualmente para cada área.

Palavras-chave: lucro, fertilizantes, produtividade, planejamento.

Abstract

The present study sought to list and analyze the main responsible factors for defining whether an area will be economic succeed or not in the use of precision agriculture, via varied fertilizer application. In this way, the producer have a decision mechanism about change or not the fertilizer application. The method used for this analysis was to estimate revenue and cost of production by the use of an agricultural production function and consider the different conditions we find in the field if inputs are applied to fixed and varied rates. The results showed that the factor to influence most the gain in producer profitability, considering the use of precision agriculture tools in relation to uniform input application, was the sampling method performed for uniform application. Corroborating other studies, the results also indicated that the use of precision agriculture for varied application of fertilizers is

economically more advantageous if applied over large areas. However, unlike it is described in other studies, we cannot affirm that precision agriculture reduces input or increases crop productivity. One or both cases would occur depending on the area's condition and the sampling that is taken for uniform application of inputs. Therefore, it is concluded that there is no sense in scientific papers that analyze the economic impact of applying techniques of precision agriculture, since this impact must be analyzed individually for each area.

Key words: profit, fertilizer, productivity, planning.

1. Introdução

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. Entretanto, conforme descrito por Costa & Guilhoto (2013), estudos que mensuraram a redução de insumos aplicados e o aumento da produtividade 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.

Técnicas de agricultura de precisão são também chamadas de aplicações variadas de insumos, em substituição as tradicionais tecnologias que consideram a lavoura homogênea e aplicam os insumos de maneira uniforme.

Assim, o presente trabalho buscou elaborar alguns dos principais fatores condicionantes para do êxito da aplicação variada de fertilizantes. Foram analisadas as condições para à redução no uso de fertilizante e para o aumento de produtividade. Estes dois fatores foram analisados porque são eles que geram o aumento do lucro para o produtor rural e, portanto, é o que define a decisão do produtor em alterar ou não sua tecnologia de aplicação deste insumo. 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. A seguir (seção 2) tem-se os métodos e materiais aplicados para as simulações que são apresentadas nos resultados (seção 3) e conclusões (seção 4) deste trabalho.

2. Referência teórica

Como qualquer outro produto da economia, a produção agrícola obedece a uma função de produção onde o aumento na quantidade de insumos gera um aumento da sua produção, até um certo limite técnico. É com base nesta função de produção e nos cenários utilizados para simular as lavouras agrícolas que foi realizada a análise neste estudo. Este tópico abordou o funcionamento de uma função de produção com apenas um insumo que, no caso, é o fertilizante, para mostrar a relação entre estes dois fatores: fertilizante e produtividade.

A Figura 1 mostra uma função de produção típica para um produto agrícola (X) em função da quantidade de fertilizantes aplicado (I). Assim, há uma região de crescimento acentuado, onde a produtividade marginal (PMg_I), assim como a produtividade média (PMe_I), em relação ao aumento no uso de fertilizante são crescentes. A seguir, um aumento no uso de fertilizante reduz a PMg_I , mas o produto médio (PMe_I) ainda é crescente. Esta região é

denominada de primeiro estágio da função de produção. No estágio seguinte (estágio dois da função de produção), tem-se o PMg_I ainda em decréscimo, assim como a PMe_I . Finalmente, quando a produção agrícola começa a decrescer com o incremento de fertilizante, temos o terceiro estágio da função de produção, onde a PMg_I é negativa.

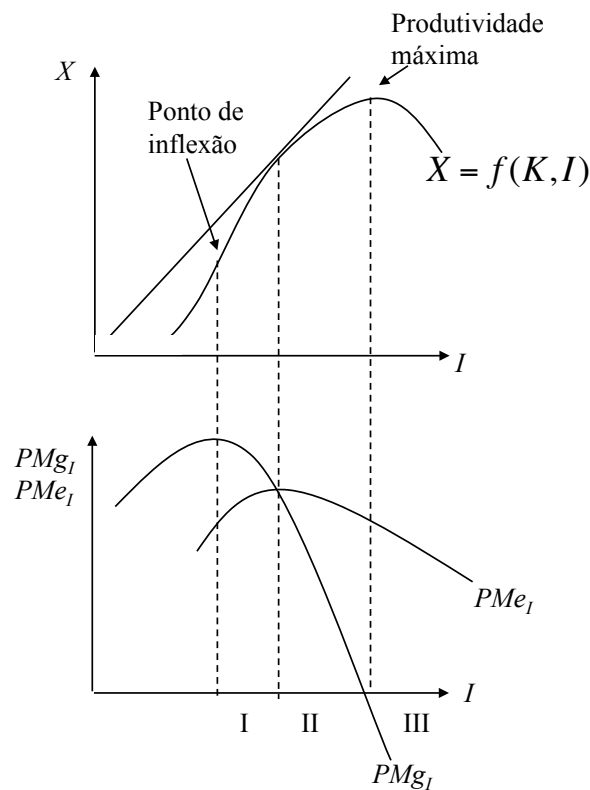


Figura 1 – Representação da função de produção agrícola
Fonte: Ferguson (1988).

No equilíbrio, a produção só ocorre no segundo estágio da função de produção. Isto ocorre porque, no estágio I, uma vez que o PMe_I é crescente, o produtor é incentivado a aplicar mais do insumo, até que ele identifique que o PMe_I deixa de crescer (estando, neste ponto, na fase II). Já a fase III não é utilizada pelo produtor pois, neste caso, o aumento no uso do insumo reduz a produtividade. Assim, ambas as fases I e III são economicamente ineficientes para a produção e o equilíbrio se estabelece na fase II.

O aumento na produtividade é benéfico para o produtor rural porque, desta maneira, ele pode aumentar sua receita por área com a venda do produto. Entretanto, o aumento no uso de insumos para que esta maior produtividade seja alcançada gera também custos adicionais. Assim, o desafio para o produtor é estabelecer a quantidade de insumos que irá originar seu máximo retorno econômico. Para isto, utilizando apenas a área da função de produção representativa do segundo estágio de produção e multiplicando pelo preço do produto (P_x), temos, na Figura 2, uma função representativa da receita do produtor. Multiplicando a quantidade do insumo fertilizante (I) pelo seu preço (P_i) temos representado, também na Figura 2, a função de custo. Nesta figura observa-se que, a produção máxima (X_{MAX}) ocorre

com a quantidade de insumo I_2 . Neste ponto, a receita também é a máxima (VX_{MAX}). Entretanto, este ponto não corresponde ao nível de produção que origina o máximo de retorno econômico para o produtor, que é o seu lucro (π). O máximo lucro para o produtor, descrito como π_A nesta figura, corresponde à quantidade de insumo I_1 , que origina um nível de produção X_A e receita VX_A , menor do que àquela descrita para o ponto de máxima produção (VX_{MAX}).

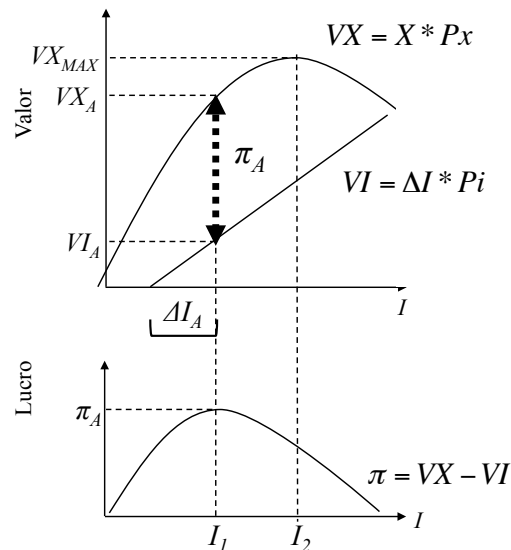


Figura 2 – Representação da receita, custo e do lucro do produtor elaborados a partir da função de produção agrícola

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, podemos conceituar dois termos distintos: o de produtividade máxima (PM) e o de produtividade máxima econômica (PME). No caso descrito na Figura 2, a produtividade máxima (PM) ocorre para o nível de insumo I_2 , originando o nível máximo de produtividade (X_{MAX}), e a PME ocorre para o nível de insumo I_1 , originando a produtividade X_A , onde o produtor têm o maior nível de lucro.

Supondo que haja variabilidade nas propriedades químicas da lavoura, espera-se que, com a utilização das técnicas de agricultura de precisão para aplicação variada de fertilizantes, a função de custo descrita na Figura 2 não seja única para toda lavoura. Assim, considerando duas subáreas com características químicas diferentes, a Figura 3 descreve as funções de receita e custo, assim como o lucro máximo resultante em cada uma destas subáreas. A área total da lavoura é indicada pela letra A , conforme descrito na Figura 2. Esta área, por sua vez, está subdividida nas subáreas B e C e representadas, respectivamente, pelos gráficos à esquerda e à direita na Figura 3.

A subárea B é mais pobre em fertilidade e, portanto, para atingir o ponto de PME, ou seja, para ter uma fertilidade no volume representado por I_1 , precisa de uma quantidade de

fertilizantes igual ao volume representado por ΔI_B ¹. Já a segunda subárea (C), representada pelo gráfico à direita, é mais fértil, possuindo toda a quantidade de nutrientes (I_l) necessários para atingir o PME. Portanto, nesta segunda área, a necessidade de fertilizante é nula, ou seja, $\Delta I_C = 0$. Respeitando o limite de fertilidade do solo que oferece o máximo retorno econômico para o produtor (I_l) em cada subárea, a produtividade em ambas subáreas (B e C) é a mesma ($X_B = X_C$) e igual a PME. Portanto, as receitas também são equivalentes: $VX_B = VX_C$. Entretanto, caso fosse feita uma aplicação uniforme de fertilizantes, a necessidade de adubação da área total (A) seria no volume ΔI_A , que é a média ponderada entre a necessidade de adubação destas duas subáreas (para uma perfeita amostragem de solo em toda área). Neste caso, a produtividade e conseqüentemente, a receita, é diferente daquela obtida com a aplicação variada descrita anteriormente. Na subárea B a receita seria de VX'_{AB} , menor do que a receita VX_B , uma vez que a quantidade de insumo disponível nesta área é menor do que I_l . Já na subárea C, a receita seria de VX'_{AC} , maior do que VX_C obtida para PME. Isto ocorre porque a quantidade de insumo nesta segunda subárea é $I_l + \Delta I_A$.

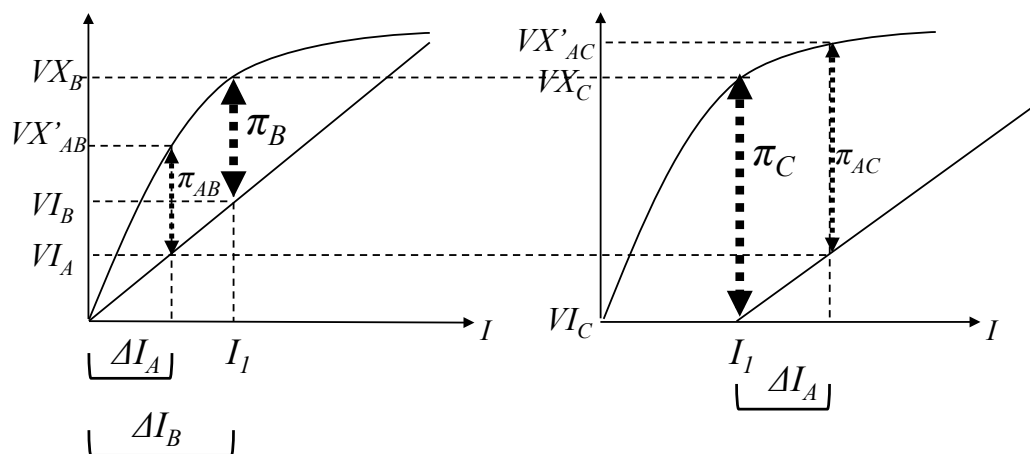


Figura 3 – Representação da receita e custo elaborados com aplicação uniforme e variada de fertilizante em duas subáreas com diferentes propriedades químicas

Notas: I_l indica a quantidade de insumo para obter máximo lucro em cada uma das duas subáreas; ΔI_A é a quantidade de insumo aplicada de maneira uniforme nas duas subáreas; ΔI_B e ΔI_C são as quantidade de insumo aplicadas de maneira variável.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta maneira, a aplicação variada de insumos é financeira melhor para o produtor rural em relação à aplicação uniforme se, para a lavoura com as subáreas cujas características químicas são iguais às descritas anteriormente, a condição descrita na equação (1) for verdadeira:

$$\pi_A < \%AreaB * \pi_B + \%AreaC * \pi_C + CAAV \quad (1)$$

onde $\pi_A = \%AreaB * \pi_{AB} + \%AreaC * \pi_{AC}$ e os coeficientes $\%AreaB$ e $\%AreaC$ que são multiplicados pelo lucro nas subáreas B e C, respectivamente, indicam a participação

¹ A necessidade de adubação é definida por um delta (Δ), indicando variação, porque a quantidade de insumo que define o PME é aquela disponibilizada para a planta e não a necessidade de adubação. Esta última é calculada subtraindo de I_l a quantidade de fertilizante já disponível no solo.

percentual de cada uma destas subáreas na área total (A) da lavoura. Assim, se as áreas tiverem o mesmo tamanho, estes dois coeficientes são iguais a 0,5. $CAAV$ representa os custos adicionais da aplicação variada em relação à aplicação uniforme. Tais custos são geralmente considerados como custos fixos, uma vez que são utilizados para várias safras naquela lavoura e envolvem: a construção de mapas de produtividade e o uso de implementos apropriados para a aplicação variada². Por serem custos fixos, o $CAAV$ representa o custo de oportunidade do valor gasto com os mesmos. Entretanto, estes custos também dependem da área total da lavoura, pois são divididos pela mesma.

Conforme mostrado na Figura 2, a função de lucro pode ser descrita da seguinte maneira:

$$\pi = VX - VI = X * P_x - \Delta I * P_i \quad (2)$$

Como os preços do produto e do insumo não mudam em razão de como o insumo é aplicado na lavoura (se aplicação uniforme ou variada), a desigualdade descrita na equação (1) ocorre como resultado de pelo menos um destes destas duas condições: (i) a aplicação variada reduziu a quantidade de insumo aplicada na lavoura (equação 3); (ii) a aplicação variada aumentou a produtividade média total da lavoura (equação 4). Assim, para satisfazer a equação (1), pelo menos uma das condições descritas nas equações (3) e (4) a seguir devem ser satisfeitas:

$$\Delta I_A > \%AreaB * \Delta I_B + \%AreaC * \Delta I_C \quad (3)$$

$$(X_A = \%AreaB * X'_{AB} + \%AreaC * X'_{AC}) < (X_B = X_C) \quad (4)$$

Uma vez que a decisão do produtor entre adotar ou não uma tecnologia ocorre em função do retorno econômico, este trabalho procurou identificar se: isto sempre ocorre e, se não, em que situações isto é esperado. Foi também analisado se a variação no lucro ocorreu devido a variação na quantidade de insumos, ou na produtividade agrícola, ou em ambos. Para isto, a seguir é descrito o método e os dados utilizados neste trabalho.

3. Materiais e Métodos

Supondo que haja variabilidade nas propriedades químicas da lavoura, espera-se que, com a utilização das técnicas de agricultura de precisão para aplicação variada de fertilizantes, a função de custo não seja única para toda lavoura. Assim, considerando uma lavoura, definida pela letra A , com n áreas de manejo com características químicas diferentes, as variações (Δ) no lucro (π), na quantidade de insumo (I) e na produtividade (X) usando aplicação variada ou invés da aplicação uniforme de fertilizante são obtidas da seguinte maneira:

$$\Delta\pi = \sum_{j=1}^n \%Area_j * \pi_j - \pi_A \quad (1)$$

$$\Delta I = \sum_{j=1}^n \Delta I_j - \Delta I_A \quad (2)$$

$$\Delta X = \sum_{j=1}^n \%Area_j * X_j - X_A \quad (3)$$

Assim, os resultados obtidos das equações de (1) a (3) são analisados, respectivamente, da seguinte maneira: qual o ganho de lucro para o produtor caso seja realizada a aplicação variada, e não a aplicação uniforme de fertilizantes?; qual a quantidade de fertilizantes economizado na aplicação variada em relação à aplicação uniforme? e; qual o

² Os implementos utilizados para aplicação variada devem ser flexíveis para mudar a quantidade de insumo aplicada por área e com sensores que indicam onde estas mudanças ocorrem.

aumento na produtividade média da lavoura caso seja utilizada a aplicação variada, ao invés da aplicação uniforme de fertilizantes?

Adotou-se uma função aleatória que pode ser utilizada para descrever uma função de produção agrícola qualquer. A função é descrita na equação (4).

$$X = 1 + 0,35 * I - 0,003 * I^2 \quad (4)$$

onde X é a produtividade, em toneladas por hectare (ha), e I é quantidade de fertilizantes, em sacas de 60 kg, por ha. Assim, com 1 saca*ha⁻¹ de fertilizantes a produtividade da lavoura sob esta função de produção é de 1,3 ton*ha⁻¹. Já com 119,5 sacas*ha⁻¹ de fertilizantes a produtividade da lavoura seria nula. Isto mostra que esta função tem um ponto de máximo. Para descobrir o ponto de máxima produtividade da cultura que responde à esta função de produção, igualamos a zero a primeira derivada da função em relação ao insumo I , conforme descrito na equação (5):

$$\frac{dX}{dI} = 0,35 - (2 * 0,003) * I = 0 \quad (5)$$

Neste caso, o ponto de máxima produtividade corresponde ao volume de insumo de 58,3 sacas*ha⁻¹.

Entretanto, o ponto de máxima produtividade não interessa ao produtor rural para decisão do nível de fertilizante adotar na sua lavoura, e sim o ponto de produtividade máxima econômica (PME). Para encontrar o nível de fertilizante a ser utilizado para atingir este ponto, igualamos a zero a primeira derivada da função de lucro, como descrito na equação (6).

$$\frac{d\pi}{dI} = 0,35 * I * P_x - (2 * 0,003) * I * P_x - P_i = 0 \quad (6)$$

Adotando o preço do produto (P_x) de R\$600,00 por tonelada e o preço do fertilizante (P_i) de R\$90 por saca de 60 kg, a quantidade de fertilizante que gera o ponto de PME são 33,3 sacas*ha⁻¹.

O cálculo das variações descritas nas equações de (1) a (3) foi realizado considerando ainda a interação de diferentes situações (cenários) que pode ser observados na lavoura. Neste estudo foram simulados alguns cenários, descritos no item a seguir.

3.1. Cenário analisados

Inicialmente, ao considerarmos uma lavoura que pode ser trabalhada com uso de agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes, precisamos definir o número de áreas de manejo com fertilidades distintas existentes nesta lavoura. Assim, a primeira variável a ser considerada é o número destas áreas de manejo (fator FA), onde: FA.1 são 16 zonas e FA.2 são 40 zonas de manejo.

Outros fatores relacionados à variabilidade dos solos que podem contribuir para a eficiência desta técnica são: grau de variação que a fertilidade desta área apresenta (fator FB) e o tamanho de cada uma destas subáreas (fator FC). Para o cenário FB, foi considerada a zona de maior fertilidade com uma necessidade de uso de 0 sacas de fertilizantes por ha. Em FB.1 a zona de menor fertilidade necessita de 13 sacas de fertilizantes por ha e em FB.2 a zona de menor fertilidade necessita de 26 sacas de fertilizantes por ha. Já no cenário FC.1, todas as zonas tem o mesmo tamanho. No cenário FC.2 considera-se que 95% da área total da lavoura está em apenas 25% das zonas com menor fertilidade e no cenário FC.3 que 95% desta área se concentra em 25% das zonas de maior fertilidade.

A quantidade de insumo e a produtividade agrícola resultante do uso da técnica de agricultura de precisão (aplicação variada de fertilizante) deve ser comparada à aplicação uniforme deste insumo. Entretanto, dependendo da amostragem de solo realizada para a aplicação uniforme de fertilizantes a técnica de aplicação uniforme pode apresentar diferentes resultados sobre a quantidade de insumo e a produtividade. Neste sentido, se tivermos os locais onde são feitas as amostragens de solo para aplicação uniforme de fertilizantes (fator FD) realizada apenas nas zonas mais férteis, ou nas menos férteis, ou em todas as subáreas, os impactos sobre a diferença da quantidade de insumos e da produtividade entre a aplicação variada e a uniforme serão diferentes. Consequentemente, o lucro do produtor também será afetado. Para avaliar esta característica foram considerados quatro cenários: (D.1) todas as subáreas foram amostradas; (D.2) cerca de 10% das subáreas mais produtivas e de 10% das subáreas menos produtivas amostradas; (D.3) apenas cerca de 10% das subáreas menos produtivas amostradas; (D.4) apenas cerca de 10% das subáreas mais produtivas amostradas.

4. Resultados e Discussão

Da interação dos cenários analisados tem-se, na Figura 4, os resultados da variação do lucro do produtor ao passar da aplicação uniforme para aplicação variada de fertilizantes, sem considerar o aumento de custo tecnológico. Verifica-se que mudanças no número de áreas de manejo (FA) não é uma variável que influenciou as maiores alterações na variação do lucro do produtor pela mudança tecnológica. Por outro lado, a variação no grau de fertilidade do solo entre a área de manejo menos e mais fértil da lavoura (FB) mostra-se como uma das principais variáveis que influencia na variação do lucro do produtor e que, portanto, deve ser um fator chave para decisão do produtor em relação a mudança na tecnologia de aplicação de fertilizantes.

Isto mostra também a importância de se realizar mais análises econômicas desta mudança tecnológica para diferentes realidades observadas na variação do grau de fertilidade dos solos, ajudando o produtor na tomada de decisão para diferentes lavouras.

Nos estudos comparativos dos impactos do uso da aplicação uniforme com a aplicação variada de fertilizantes, outras duas variáveis (FC e FD) podem igualmente alterar a variação no lucro do produtor devido a mudança tecnológica e os resultados descritos na Figura 4 ilustram este fato. Comparando aqueles resultados obtidos quando a amostragem de solo utilizada para proceder à aplicação uniforme de fertilizantes foi realizada considerando todas as diferentes áreas de manejo (FD.1) com os resultados obtidos quando esta amostragem foi realizada apenas em parte da área (FD.3 e FD.4 são os cenários onde esta amostragem é mais desuniforme) verifica-se como a variação no ganho de lucro do produtor pode ser manipulado por estas condições. Adicionando a isto a diferença na proporção que cada zona de manejo pode ocorrer na lavoura (variável FC), verifica-se que a diferença neste resultado pode variar, apenas com os cenários analisados, entre R\$7/ha/ano a R\$887/ha/ano (para as condições do cenário FA.1).

A menor variação no valor do lucro, por ha, para o produtor rural ocorreu quando a variação na fertilidade do solo entre as zonas de manejo foi a menor possível (FB.1). Neste caso, a condição de todas as zonas de manejo terem o mesmo tamanho (FC.1) foi a outra condição onde a variação no lucro do produtor foi reduzida ao mudar a tecnologia de aplicação de fertilizante. Entretanto, estas condições devem ser sempre comparadas a uma

mesma condição de amostragem de solo na tecnologia de aplicação uniforme (FD). A amostragem realizada considerando as maiores diferenças entre as zonas de manejo (FD.1) para a aplicação uniforme de fertilizantes foi a condição onde o ganho de lucro do produtor foi menor ao mudar para a aplicação variada. Ou seja, apenas alterando as condições de amostragem do solo na aplicação uniforme pode-se obter um ganho de lucratividade, sem alterar a tecnologia de aplicação do fertilizante.

Por este resultado pode-se concluir que estudos de comparação dos efeitos da aplicação uniforme e variada de fertilizantes devem definir as condições da lavoura (FC) e da amostragem de solo para a aplicação uniforme (FD) realizada. Sem estes critérios estabelecidos, quaisquer comparações dos resultados entre estas duas tecnologias não podem ser consideradas como reproduzíveis em outras situações. Além disto, observa-se que grandes aumentos no lucro do produtor podem ser obtidos apenas pela mudança na amostragem de solo utilizada para aplicação uniforme (variável FD), sem necessidade de alteração na tecnologia de aplicação de fertilizantes.

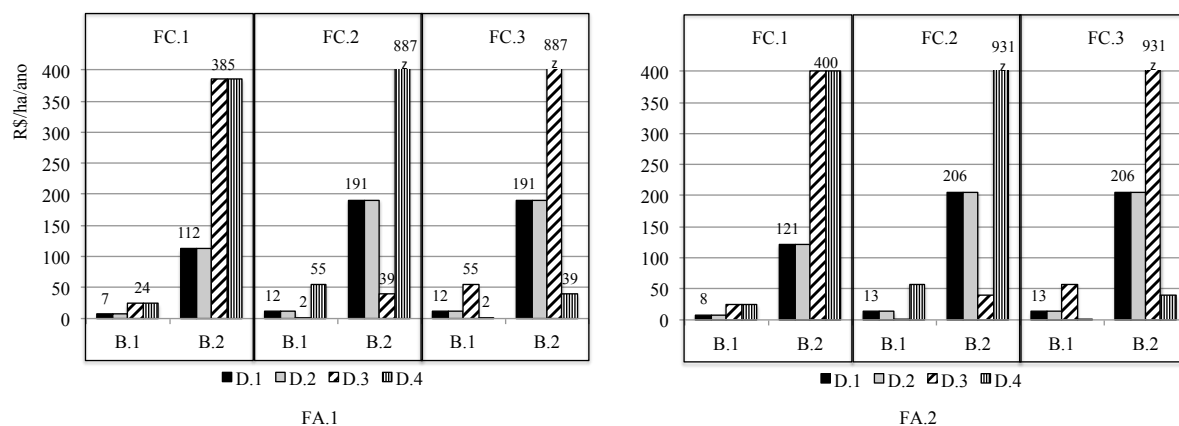


Figura 4 - Variação do lucro do produtor pela mudança da aplicação uniforme para a aplicação variada de fertilizantes, em Reais por ha/ano

Verifica-se na Figura 4 que, apesar de ser em magnitudes diferentes, sempre observa-se ganho na variação do lucro do produtor ao alterar a tecnologia de aplicação, da uniforme para a variada. A decisão do produtor entre aplicar de maneira uniforme ou variada questão baseia-se, portanto, em comparar este aumento de lucro com o custo da mudança na tecnologia de aplicação.

Complementando os resultados apresentados sobre a variação no lucro do produtor ao mudar da aplicação uniforme para a aplicação variada de fertilizantes, a seguir são descritos em quais situações esta variação ocorre devido ao aumento de produtividade e, ou, à redução na quantidade aplicada de fertilizantes na lavoura.

Verifica-se na Tabela 1 que, ao mudar a tecnologia de aplicação de fertilizante, os resultados em termos de em quais condições há aumento de produtividade e em quais há redução na quantidade de insumo são divergentes. Observa-se aumento de produtividade (sem alteração ou com aumento na quantidade de fertilizante aplicado) para algumas situações e redução na produtividade com redução na quantidade de fertilizante aplicado em outras.

Tabela 1 - Variação da produtividade agrícola e na quantidade de fertilizantes utilizado ao realizar a mudança da aplicação uniforme para a aplicação variada de fertilizantes.

		FC.1		FC.2		FC.3	
		FB.1	FB.2	FB.1	FB.2	FB.1	FB.2
		FA.1					
Variação na produtividade agrícola, em tonelada por ha ao ano	FD.1	0.01	0.18	0.38	1.75	-0.34	-1.13
	FD.2	0.01	0.18	0.38	1.75	-0.34	-1.13
	FD.3	-0.42	-1.22	-0.1	-0.35	-0.73	-1.84
	FD.4	0.5	2.48	0.91	4.74	0.11	0.48
		FA.2					
Variação na produtividade agrícola, em tonelada por ha ao ano	FD.1	0.01	0.2	0.4	1.83	-0.35	-1.16
	FD.2	0.01	0.2	0.4	1.83	-0.35	-1.16
	FD.3	-0.43	-1.22	-0.09	-0.31	-0.75	-1.85
	FD.4	0.51	2.53	0.94	4.89	0.1	0.44
		FA.1					
Variação na quantidade de fertilizantes, em sacas por ha ao ano	FD.1	0	0	2.4	9.6	-2.4	-9.6
	FD.2	0	0	2.4	9.6	-2.4	-9.6
	FD.3	-3.1	-12.3	-0.7	-2.7	-5.5	-21.9
	FD.4	3.1	12.3	5.5	21.9	0.7	2.7
		FA.2					
Variação na quantidade de fertilizantes, em sacas por ha ao ano	FD.1	0	0	2.5	10	-2.5	-10
	FD.2	0	0	2.5	10	-2.5	-10
	FD.3	-3.1	-12.4	-0.6	-2.5	-5.6	-22.4
	FD.4	3.1	12.4	5.6	22.4	0.6	2.5

Este resultado demonstra que àqueles dois primeiros objetivos identificados para justificar o uso da agricultura de precisão (a. redução nos custos pela diminuição no uso dos insumos; b. aumento da produtividade agrícola pela aplicação mais eficiente dos insumos) podem não estar bem definidos. Como pode ser observado pela simulação de alguns cenários descritos na Tabela 1, verificamos que o uso da agricultura de precisão não necessariamente reduz o uso de insumo ou aumenta a produtividade, mas sim, aumenta o ganho de lucro para o produtor.

4.1. Análise de sensibilidade

Apesar da análise multidimensional realizada neste estudo, alguns pressupostos que dependem principalmente das condições de mercado e da cultura agrícola foram dados como fixos. Os principais, e que mais afetam os resultados, são: a resposta da produtividade agrícola ao fertilizante, o preço do insumo e o preço do produto. Nesta seção simulou-se alterações nestes pressupostos de maneira a se conhecer a sensibilidade dos resultados obtidos nas seções anteriores à eles.

A resposta do produto agrícola ao fertilizante é dado principalmente pelo coeficiente 0,35 descrito na equação (4). Este coeficiente é multiplicado diretamente pela quantidade de fertilizante aplicado para determinar a produtividade da cultura. Assim, para analisar a

sensibilidade dos resultados em relação à esta variável, foram simulados os mesmos resultados descritos anteriormente, modificando o valor deste coeficiente para (a) 0,23 e (b) 0,43. Estes novos valores indicam, respectivamente, uma menor e uma maior resposta da produtividade agrícola ao fertilizante aplicado. Os preços do insumo e do produto foram alterados de R\$90,00 por sacas de fertilizante e R\$600,00 a tonelada do produto para: (c) R\$45,00 por sacas de fertilizante; (d) R\$135,00 por sacas de fertilizante; (e) R\$1.200,00 a tonelada do produto e (f) R\$400,00 a tonelada do produto. A sensibilidade dos resultados apresentados anteriormente à tais mudanças são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Cada linha nestas tabelas mostra a sensibilidade dos resultados anteriores para cada uma das alterações descritas nos itens de (a) a (f).

Na Tabela 2 são apresentadas as alterações percentuais médias de todos os resultados obtidos anteriormente. Como na Tabela 1 há resultados tanto de aumento quanto de redução, respectivamente, para as variáveis produtividade e quantidade de fertilizante aplicado, tais alterações percentuais nestes resultados foram apresentados separadamente para os casos de aumento e de redução naquelas variáveis. A Tabela 3 mostra o desvio padrão das alterações percentuais uma vez que a Tabela 2 forneceu o valor médio das mesmas.

Tabela 2 - Análise de sensibilidade (média para todos os cenários) do aumento do lucro do produtor, e nos aumentos e reduções da produtividade e da quantidade de fertilizante aplicado na cultura provocados pela mudança na tecnologia de aplicação de fertilizantes

	Variação no aumento do lucro do produtor	Variação no comportamento da mudança de produtividade		Variação no comportamento de mudança da quantidade de fertilizante utilizado	
		cenários com aumento de produtividade	cenários com redução de produtividade	cenários que aumentaram a quantidade de insumo	cenários que reduziram a quantidade de insumo
(a) de 0.35 para 0.23	-84%	-68%	55%	-60%	60%
(b) de 0.35 para 0.43	96%	59%	-29%	40%	-40%
(c) de R\$90,00 para R\$45,00	89%	10%	54%	37%	-38%
(d) de R\$90,00 para 135,00	-61%	-25%	-4%	-38%	37%
(e) de R\$600,00 para R\$1.200,00	278%	10%	54%	37%	-38%
(f) de R\$600,00 para R\$400,00	-74%	-25%	-4%	-38%	37%

Os valores de 0% para o desvio padrão (Tabela 3) das variações observadas na Tabela 2, indicam que o comportamento da mudança no lucro do produtor e na quantidade de insumos ao passar da aplicação uniforme para a aplicação variada de fertilizantes, foi o mesmo descrito anteriormente, alterando apenas a magnitude daquelas variações. Entretanto, para a produtividade observa-se que as variações descritas nos itens de (a) a (f) para medir a sensibilidade dos resultados obtidos possui uma variação muito grande. Assim, conclui-se que o comportamento da variável produtividade dependente de outras condições além daquelas descritas nos cenários analisados anteriormente.

Tabela 3 - Desvio padrão dos valores médios da análise de sensibilidade descrita na Tabela 2

	Variação no aumento do lucro do produtor	Variação no comportamento da mudança de produtividade		Variação no comportamento de mudança da quantidade de fertilizante utilizado	
		cenários com aumento de produtividade	cenários com redução de produtividade	cenários que aumentaram a quantidade de insumo	cenários que reduziram a quantidade de insumo
(a) de 0.35 para 0.23	0%	9%	5%	0%	0%
(b) de 0.35 para 0.43	0%	22%	11%	0%	0%
(c) de R\$90,00 para R\$45,00	0%	46%	23%	0%	0%
(d) de R\$90,00 para 135,00	0%	21%	11%	0%	0%
(e) de R\$600,00 para R\$1.200,00	0%	46%	23%	0%	0%
(f) de R\$600,00 para R\$400,00	0%	21%	11%	0%	0%

Dada esta consideração, verificamos na Tabela 2 que, de um lado, os resultados de aumento de lucro para o produtor descritos em cada um dos cenários são reduzidos ao: reduzir a resposta da produtividade agrícola à aplicação de fertilizantes (a); aumentar o preço do insumo (d) ou; ao reduzir o preço do produto agrícola (f). Para estes mesmos casos, naqueles cenários onde a quantidade de fertilizante aumentou com a aplicação variada, este aumento foi reduzido e; nos cenários onde a quantidade de fertilizante reduziu, esta redução tornou-se menor. Na produtividade agrícola, conforme descrito anteriormente, os resultados apresentaram grandes variação. Entretanto, na média, observa-se uma redução naqueles casos de aumento de produtividade.

Por outro lado, observa-se nesta mesma tabela que a magnitude dos resultados de aumento no lucro do produtor ao mudar a tecnologia de aplicação de fertilizantes foi ampliada ao: aumentar a resposta da produtividade agrícola à aplicação de fertilizantes (b); reduzir o preço do insumo (c) ou; aumentar o preço do produto agrícola (e). Nas condições de variação da resposta da produtividade ao fertilizantes e de preços analisadas naqueles cenários os aumentos no ganho de lucratividade foram de 96%, 89% e 278% (Tabela 2), respectivamente, para os itens (b), (c) e (e). Já as variações na magnitude do comportamento de mudança na quantidade de fertilizantes utilizado, foi o inverso do verificado anteriormente. Ou seja, para os cenários onde a quantidade de fertilizante foi elevado pela aplicação variada, este aumento foi ainda maior (entre 37% e 40%) e; para os cenários onde a quantidade de fertilizante foi reduzida na mudança tecnológica, esta redução foi ainda maior (entre -38% e -40%). A variação média na magnitude da produtividade também apresentou sinal contrário, ou seja, aumentou naqueles cenários de aumento de produtividade causadas pela mudança tecnológica.

5. Conclusões

Verificou-se que não se justifica a produção de trabalhos científicos de impacto da aplicação variável de fertilizante sem que seja definido como foi realizada a amostragem de solo na aplicação uniforme, que é a base para avaliação dos ganhos da aplicação variada. Além disto, não se pode afirmar que a agricultura de precisão reduz insumo e, ou, aumenta a produtividade. De maneira geral, um dos casos irá ocorrer dependendo das condições da lavoura e da amostragem feita para aplicação uniforme.

O fator que mais influenciou para ganho de lucratividade do produtor usando ferramentas de agricultura de precisão na aplicação de fertilizantes (em relação a aplicação uniforme) foi a amostragem realizada para a aplicação uniforme. Assim, apenas a correção do sistema de amostragem do solo, sem mudar a tecnologia de aplicação de fertilizantes, pode gerar considerável aumento de lucro para o produtor rural. Adicionalmente, análises econômicas desta mudança tecnológica devem ser melhor analisadas em estudos futuros considerando diferentes e mais realistas variações do grau de fertilidade dos solos, para ajudar a tomada de decisão do produtor.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro fornecido ao trabalho.

Referências

- COSTA, C.C.; GUILHOTO, J.J.M. Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira. *Revista de Economia e Agronegócio*, vol. 10, n. 2, p.177-204. 2013.
- WHIPKER, L.D.; AKRIDGE, J.T. Precision Agricultural Services: dealership survey results. Center for Food and Agricultural Business at Pardue University. Working Paper #09-16. September 2009.