

Produtividade máxima econômica e as recomendações de adubação no Brasil: impacto para o produtor rural e para economia brasileira
Maximum economic productivity and fertilizer recommendations in Brazil: impact for farmer and for the Brazilian economy

Cynthia Cabral da Costa*; **Joaquim José Martins Guilhoto****

*Pesquisadora da Embrapa. Email: cynthia.costa@embrapa.br. **Vice-Diretor da FEA-USP. Associated Dean – E-mail: guilhoto@usp.br.

Grupo de Pesquisa: Economia e Gestão no Agronegócio

Resumo

Este artigo teve como objetivo identificar o impacto sobre o lucro para o produtor rural e para economia do país caso as recomendações de adubação fossem realizadas considerando os preços do produto e do insumo e não as tabelas atualmente utilizadas neste processo. Foram analisados os produtos agrícolas milho e soja, e os principais nutrientes utilizados: nitrogênio, fósforo e potássio. Inicialmente foi estimado os impactos sobre o lucro do produtor. Para isto foram utilizados: valores indicados nas tabelas de recomendação de adubação de cinco das principais tabelas utilizadas no país; funções de produtividade para os produtos e insumos analisados, obtidas em revisões bibliográficas; cenários de preços utilizando os preços observados nos últimos quinze anos e; três condições de solo que diferem no nível inicial de fertilidade. A seguir foi estimado os impactos sobre a economia brasileira utilizando a matriz insumo produto (MIP) mais recente disponível, que é a do ano de 2009. Verificou-se que, dadas as hipóteses utilizadas, o produtor rural poderia aumentar seu lucro alterando o método de estimar a necessidade de adubação da sua lavoura, na média dos cenários analisados e considerando o impacto individual de cada nutriente, em mais de 10% do valor de sua receita com o produto. Na economia brasileira, para as condições observadas no ano de 2009, verificou-se que a mudança nas recomendações de adubação, apenas para o milho e a soja, analisados neste estudo, poderiam causar um ganho de PIB de R\$18 bilhões ao ano, com geração de mais de 450 mil postos de emprego. Portanto, a construção de um instrumento para que o produtor possa definir a quantidade de insumos a ser aplicada na sua lavoura com base no nível de produtividade máxima econômica ao invés do uso das tabelas de recomendação vigentes é um importante meio de gerar renda no campo e na economia do país.

Palavras-chave: função de produção; fertilizante; lucro; produção agrícola.

Abstract

This paper aimed to identify the impact on farmers income and for the economy if the fertilizer recommendations were made considering the product and input prices and not the knowledge currently used for this purpose. The agricultural products analyzed were corn and soybean. The inputs analyzed were the main nutrients used: nitrogen, phosphorus and potassium. Initially it was estimated the impact on farmer profit. For this were used: recommended amounts of fertilizer in five of the main sources of this information used in Brazil; production functions for the analyzed products and nutrients, obtained from literature reviews; price scenarios using the observed prices in the last fifteen years; three soil conditions which differ from the initial level of fertility. Next, it was estimated the impact on the Brazilian economy using the latest available Input-Output Matrix (IOM), which is the

year 2009. It was found that, given the assumptions used, the farmers could increase their profits by changing the method of estimating the need for fertilizing their crops, in the average of the analyzed scenarios and considering the individual impact of each nutrient, in more than 10% of value of the product value. In the Brazilian economy, for the conditions observed in 2009, it was found that the change in fertilizer recommendations, only for corn and soybeans analyzed in this study, could cause a GDP gain of the R\$18 billion per year and generating more than 450 thousands jobs. Therefore, the construction of a tool that the farmer can use to determine the amount of nutrients to be applied in his crop, based on the level of maximum economic productivity rather than the use of the recommendations currently used, is an important means of generating income in rural areas and in the economy.

Key words: production function; fertilizer; profit; agricultural products.

1. Introdução

Uma questão sempre presente na agricultura refere-se a mensuração das quantidades ótimas de nutrientes que o produtor deve aplicar na sua lavoura para que tenha uma maior produtividade e maior lucro com seu produto. Esta questão está relacionada principalmente aos macronutrientes, os quais as plantas precisam em maiores quantidades e, portanto, sua incorporação no solo origina resposta de produtividade da planta de maneira mais significativa. Entretanto, há duas questões diferentes neste processo. Uma questão é a quantidade de fertilizante para atingir a produtividade máxima (PM) e a outra é a quantidade deste insumo que origina o máximo retorno financeiro para o produtor, ou a produtividade máxima econômica (PME).

Para responder ambas as questões experimentos têm sido feitos em diferentes locais, e com vários produtos e insumos com o objetivo de identificar o comportamento da produtividade destes produtos à incorporação do insumo analisado. O item 2 descreve o comportamento padrão de uma curva de resposta da produtividade das culturas agrícolas ao uso de fertilizantes e como são obtidos os valores de quantidade do insumo que originam os pontos de produtividade máxima (PM) e de produtividade máxima econômica (PME).

Com o objetivo de simplificar o processo de recomendação de adubação algumas publicações, produzidas pelos principais órgãos de pesquisa agropecuários do país, são adotadas como padrão para este processo na agricultura brasileira. Entretanto, apesar de procurar considerar as respostas das plantas aos nutrientes e, provavelmente, o preço do produto e insumo, a relação entre estes preços se alteram com muita frequência (como ilustra a Figura 1) e, portanto, modifica o nível do nutriente para atingir o máximo econômico.

Este artigo teve como objetivo identificar o impacto sobre o lucro para o produtor rural e para economia do país se as recomendações de adubação fossem realizadas considerando os preços do produto e do insumo e não nas tabelas atualmente utilizadas neste processo¹. Para isto foi considerado os produtos agrícolas milho e soja, e os principais nutrientes utilizados para fertilização química nestas culturas. As tabelas de recomendação atualmente utilizados no país, assim como o método utilizado para analisar os impactos sobre a lucratividade do produtor rural ao utilizar estas tabelas, em comparação ao método economicamente mais eficiente, são descritos no item 3. Neste item também é descrito o método e dados utilizados

¹ Muitas tabelas de recomendação de adubação descrevem níveis diferentes de insumo para diferentes níveis de produtividade esperada da cultura agrícola. Esta informação pode, indiretamente ser utilizada para **por exemplo** em situações de baixo nível do preço do produto e, ou, alto nível do preço do insumo, uma recomendação considerando uma quantidade menor de fertilizante possa ser utilizada. Entretanto, não se tem uma relação direta entre esta relação de preços e as recomendações. Tal relação seria, inclusive, muito difícil de ser colocada no formato destas tabelas uma vez que podemos ter infinitas destas relações. A Figura 1 descreve o comportamento de algumas destas relações de preço apenas para os últimos 15 anos, e utilizando dados do Estado de São Paulo.

para estimar os impactos em toda economia brasileira decorrentes das mudanças, tanto na renda do produtor quanto na demanda dos fertilizantes, ao alterar o método de mensurar a adubação nas culturas de milho e soja no país, passando das tabelas de recomendação atualmente utilizadas para um método de medida que considera a quantidade economicamente mais eficiente para o produtor (apresentado no item 2). O item 4 apresenta os resultados da pesquisa e o item 5 apresenta as conclusões.

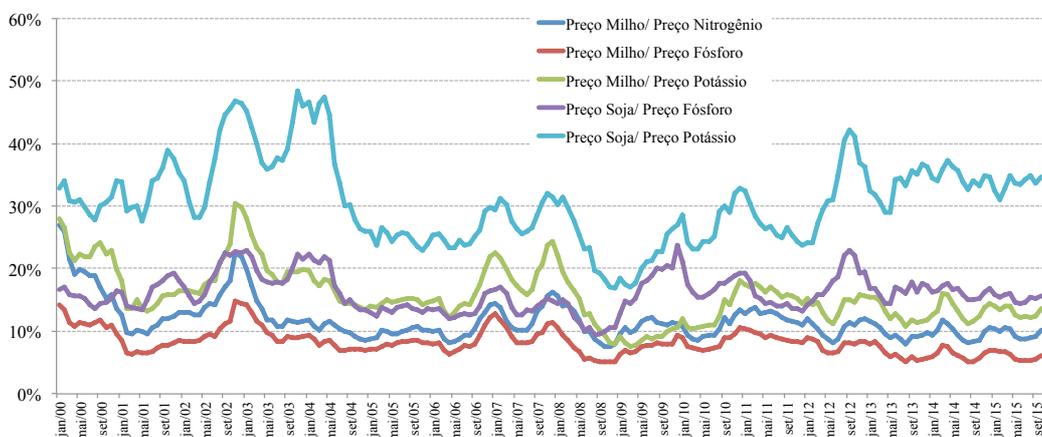


Figura 1 – Relação entre os preços por tonelada dos produtos milho e soja e dos macronutrientes: nitrogênio, fósforo e potássio na economia brasileira no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015.

Fonte: IEA, 2015.

2. Como definir as recomendações de adubação

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 produtividade, até um certo limite técnico. Segundo Frizzone (1993), a função de resposta ou de produção das culturas é uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para uma dada tecnologia conhecida. Este tópico abordou o funcionamento de uma função de produção com apenas um insumo, que foi o considerado neste estudo - fertilizante, para mostrar a relação entre estes dois fatores: fertilizante e produtividade.

A Figura 2 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. No equilíbrio, a produção só ocorre no segundo estágio da função de produção: 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 e o equilíbrio se estabelece na fase II.

O aumento na produtividade é benéfico para o produtor rural pois, assim, ele aumenta 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 3, uma função representativa da receita do produtor. Multiplicando a quantidade do insumo fertilizante (I) pelo seu preço (P_i) temos representado, também na Figura 3, 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}).

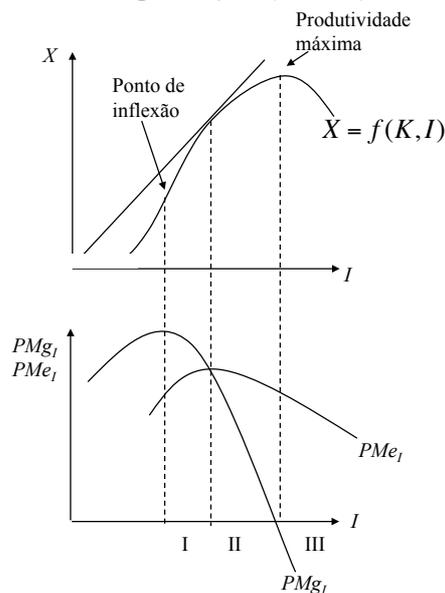


Figura 2 – Representação da função de produção agrícola

Fonte: Ferguson (1988).

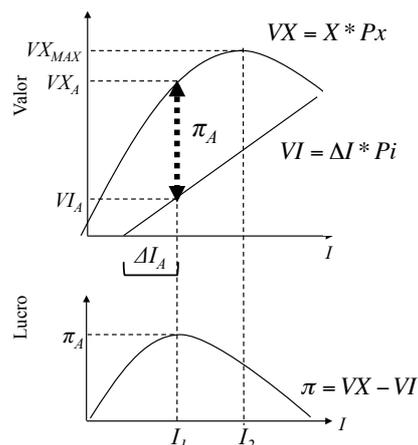


Figura 3 – Representação da receita, custo e do lucro do produtor elaborados a partir da função de produção agrícola

Fonte: Elaborado pelos autores.

Portanto, podemos conceituar dois termos distintos: o de produtividade máxima (PM) e o de produtividade máxima econômica (PME). No caso descrito na Figura 3, 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.

Estas representações gráficas das funções de produção e de lucro podem também ser descritas de maneira algébrica, e são representadas, respectivamente, pelas equações (1) e (2):

$$X = a + b * I + c * I^2 \quad (1)$$

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

onde “a”, “b” e “c” são valores numéricos que indicam, respectivamente, a constante, o coeficiente linear e o coeficiente angular da equação que representa a função de produção. Para que esta função seja representada por uma curva conforme descrita na Figura 2, o coeficiente linear (“b”) deve ser o número positivo e o coeficiente angular (“c”) deve ser um valor negativo.

Para obter os pontos de máxima produtividade (PM) e de máxima produtividade econômica (PME) da cultura a partir destas funções iguala-se a zero a primeira derivada da função em relação ao insumo I . As equações (3) e (4) descrevem esta derivação:

$$dX/dI = b + 2 * c * I = 0 \quad (3)$$

$$d\pi/dI = b * P_x + 2 * c * I * P_x - P_i = 0 \quad (4)$$

Isolando a variável que indica a quantidade do insumo (I) nestas equações tem-se as quantidades do insumo que representam a PM e a PME. As equações (5) e (6) indicam, respectivamente, o cálculo utilizado, a partir das funções de produção e de lucro, que correspondem aos pontos de PM e PME.

$$I = -b / (2 * c) \quad (5)$$

$$I = (P_i - b * P_x) / (2 * c * P_x) \quad (6)$$

Logo, a maneira economicamente mais eficiente de se conhecer o nível do insumo a ser aplicado em determinada cultura é estimando a equação (6). Entretanto, verifica-se nesta equação que seu valor pode variar conforme variar também os preços do produto e do insumo, o que é muito comum na economia. Esta grande variação no preço de produtos agrícolas ocorre uma vez que sua produção é altamente dependente das condições climáticas, que podem alterar, de maneira significativa, a oferta destes produtos. Por outro lado o preço dos insumos também sobre alterações em função de condições econômicas diversas, inclusive em função da variação na taxa de câmbio da economia brasileira, dado que o país é importador líquido deste insumo. A Figura 1 mostra esta oscilação no preço dos produtos agrícolas e insumos analisados neste trabalho nos últimos 15 anos na economia brasileira. Diante disto fica a questão: será que as tabelas de recomendação de adubação atualmente utilizadas no país realmente refletem os níveis de insumo que correspondem ao ponto de maximização de lucro do produtor? E se não, em quanto a consideração destes preços para estabelecer o PME ao invés do uso destas tabelas pode estar afetando o lucro do produtor? O próximo item descreve o método e dados utilizados para responder esta questão assim como as análises realizadas a partir destas questões.

3. Material e método

Este item foi descrito em duas partes. A primeira (item 3.1) descreve o método e dados utilizados para calcular a variação no lucro para o produtor rural caso fosse utilizada a recomendação de adubação como descrita na seção anterior (item 2) e não as tabelas de recomendação utilizadas no país. Este impacto foi descrito por unidade de área, Reais por hectare plantado (R\$/ha), assim como foi estimado um impacto total no país, de maneira a se conhecer a ordem de grandeza que este impacto pode alcançar. Entretanto, como não se pode afirmar que em todo território nacional os produtores realizam a adubação de suas lavouras

seguindo as recomendações das tabelas, esta contabilização é apenas uma estimativa do impacto que se poderia ter caso assim o fizessem. Esta estimativa é importante também para se identificar o impacto sobre a economia brasileira, cujo método é apresentado no item 3.2.

3.1 Impacto no lucro para o produtor e na demanda de fertilizantes

Para obter as recomendações relacionadas aos pontos de máximo econômico são necessárias as seguintes informações: função de resposta do milho e da soja a cada um dos macronutrientes; preço destes produtos agrícolas e de cada um dos nutrientes. As funções de produção utilizadas neste estudo foram obtidas da literatura e estão descritas na Tabela 1, assim como a fonte do estudo que originou tal função. Nesta tabela são também apresentados as quantidades de cada nutriente que origina o ponto de máxima produtividade física (PM), calculado conforme descrito na equação (5).

Tabela 1. Funções de produção utilizadas para produção de milho e soja, com respectivas fontes e níveis de nutrientes que originam o ponto de máxima produtividade (PM)

Produto agrícola (X)	Nutriente Avaliado (I)	Função de produção	Fonte	Quantidade de nutriente no PM (Kg/ha)
Milho	Nitrogênio (N)	$X=651+28,9*I-0,13*I^2$	Lucena et al. (2000)	111
	Fósforo (P ₂ O ₅)	$X=814,28+14,62*I-0,037*I^2$	Lucena et al. (2000)	198
	Potássio (K ₂ O)	$X=-2981+115,5*I-0,318*I^2$	Silva & Ritchey (1982)*	182
Soja	Fósforo (P ₂ O ₅)	$X=1.523+31,84*I-0,199*I^2$	Souza et al. (2014)	80
	Potássio (K ₂ O)	$X=2.726+13,415*I-0,068*I^2$	Leal et al. (2015)	98

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

A influencia dos preços de milho, soja, nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) foi analisada para alguns cenários de preços, atendendo ao intervalo dos preços reais observados no país nos últimos quinze anos (janeiro de 2000 a outubro de 2015). Todos os preços foram deflacionados para outubro de 2015 de maneira que pudessem ser comparados os diferentes cenários. Para isto foi utilizado o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) disponibilizado por FGV (2016).

Em relação aos preços dos macronutrientes, uma vez que há diferentes fertilizantes que os contém, os preços dos mesmos para compor a análise realizada neste estudo foram os seguintes: uréia, que contém 45% de N; fosfato simples, que computa 18% de P₂O₅ e; cloreto de potássio, que conta com 60% de K₂O. A Figura 1 mostra a relação entre os preços de milho e soja e cada um dos insumos avaliados para estas culturas no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015. Com as funções de produção e os preços foram estimadas as quantidades ótimas (que origina a PME) de cada fertilizante, em cada cultura, pela equação (6) descrita na seção anterior. Já o lucro do produtor, por unidade de área (R\$/ha) foi estimado conforme descrito na equação (2).

Entretanto, a quantidade de fertilizante aplicado não é necessariamente igual ao nível que acarreta a PME, uma vez que a análise de solo pode indicar já algum nível do nutriente no solo. Isto ocorre para fósforo e potássio. O nitrogênio não é analisado uma vez que é muito móvel no solo e, portanto, são aplicadas suas quantidades totais indicadas para o nível de PME. Para as análises realizadas neste estudo foram considerados três diferentes níveis de

fertilidade do solo, para cada um dos nutrientes analisados. A Tabela 2 descreve os níveis de nutrientes em cada uma das três condições de solo utilizadas. Foi considerado os limites máximos de cada classe compondo o nível de nutriente da classe seguinte. Ou seja, a média dos limites máximos utilizados para classificar o solo como tendo nível muito baixo de nutriente foi o valor utilizado para o solo com baixo nível de nutriente distrito na Tabela 2. O valor médio do limite máximo de nutriente no solo utilizado para classifica-lo como “baixo” foi utilizado como a quantidade de nutriente contida no solo classificado como “médio” neste estudo. Já a média do limite máximo de nutriente que classifica o solo como sendo “médio” foi utilizado neste estudo para o cenário do solo com “bom” nível de nutriente neste estudo.

Tabela 2. Níveis de nutrientes, em kg/ha, de fósforo (em P₂O₅) e potássio (em K₂O) utilizados como parâmetro para analisar o impacto em solos classificados como de níveis: baixo, médio e bom daqueles nutrientes

	baixo	médio	bom
Fósforo - P ₂ O ₅	9.8	21.3	47.7
Potássio - K ₂ O	41.5	77.5	158.0

Fonte: elaborado pelos autores, a partir de: Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004; Manual, 2003; Oliveira, 2003; Rajj et al., 1996 e Malavolta, 1989.

Os níveis destes nutrientes no solo são usualmente classificados na unidade de mg/dm³ de solo. Entretanto, os valores descritos na Tabela 2 foram transformados para kg/ha para ficar mais claro a concentração dos nutrientes que já existiam e da quantidade que será aplicada. Assim, há uma padronização das unidades utilizadas com relação à quantidade de nutrientes, a quantidade ótima (PME) e a quantidade adicionada, seja para complementar àquela da PME como para aplicar conforme o indicado pelas tabelas de recomendação.

Entretanto, este método de adição de fertilizante, complementando àquele recomendado para a PME a quantidade que o solo já disponibiliza, não é o método utilizado pelos agricultores no país. O que atualmente predomina é o uso das tabelas de recomendação, adotadas pelos produtores e extensionistas para decidir a quantidade de fertilizantes a ser aplicado em sua lavoura. A Tabela 3 descreve as indicações de adubação para a(s) cultura(s) agrícola(s) analisada(s) neste estudo considerando algumas destas principais tabelas de recomendação utilizadas no Brasil.

A construção da Tabela 3 foi feita de maneira aproximada uma vez que as recomendações são, para algumas das fontes citadas, feitas com base em algumas diferentes expectativas de rendimento da cultura. Assim, foi adotado como critério o uso da quantidade de insumo que origina o maior nível de rendimento, quando esta variável foi considerada. Para não superestimar a simulação do impacto para o uso do nutriente segundo estas tabelas de recomendação, o nível de nutriente aplicado neste caso foi considerado como a menor quantidade descrita na Tabela 3 entre as diferentes fontes descritas. Este níveis estão em negrito nesta tabela e corresponde ao descrito no: Manual (2004) para os níveis de nitrogênio (N) no milho; Oliveira (2003) para fósforo (P) e potássio (K) no milho e; Rajj et al. (1996) para os níveis de fósforo (P) e potássio (K) na cultura da soja.

Considerando então as informações previamente descritas, foram então simuladas as variações no lucro para o produtor rural calculando a diferença de lucratividade ao considerar as informações na Tabela 1 com o lucro estimado simulado caso o produtor considere as informações da Tabela 3 para as recomendações de adubação. A variação no lucro ($\Delta\pi$) é estimada da seguinte maneira:

$$\Delta\pi = [X_a * P_X - I^A * P_I] - [X_b * P_X - I^B * P_I] \quad (7)$$

onde X_a corresponde ao nível de produtividade ao utilizar a quantidade de insumo I_a , o qual foi calculado para o ponto de máxima produtividade econômica considerando as funções de produção e preços de produto (P_X) e insumo (P_I) como apresentado na equação (6). Como já descrito previamente, a quantidade de fertilizante aplicado (I^A) não é necessariamente igual ao nível I_a , uma vez que a análise de solo pode indicar já algum nível do nutriente no solo. Assim, $I_a = I^A +$ nutriente existente no solo. E X_b corresponde ao nível de produtividade correspondente à quantidade I_b de nutriente disponível para a planta. Esta quantidade refere-se à quantidade de nutriente recomendada pelas tabelas de referencia atualmente encontradas na literatura (I^B) adicionado ao nível do nutriente no solo já existente no solo. Assim, $I_b = I^B +$ nutriente existente no solo

Tabela 3. Recomendações de adubação segundo alguns dos principais manuais usados no país, em kg/ha

		Sousa & Lobato (2004)	Raij et al. (1996)	Ribeiro et al. (1999)	Manual (2004)	Oliveira (2003)	
Milho	N	solo pobre		170	160	90	180
		solo médio	210	170	160	90	180
		solo rico	210	170	160	90	180
	P ₂ O ₅	solo pobre		100	120	125	90
		solo médio	120	70	100	85	70
		solo rico	60	50	70	75	50
	K ₂ O	solo pobre		160	90	110	70
		solo médio	150	130	80	70	60
		solo rico	150	100	60	60	50
Soja	P ₂ O ₅	solo pobre		80	120	110	
		solo médio	100	50	80	70	
		solo rico	50	40	40	60	
	K ₂ O	solo pobre		80	120	125	
		solo médio	100	60	80	85	
		solo rico	70	40	40	75	

Fonte: elaborado pelos autores, a partir de: Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004; Manual, 2003; Oliveira, 2003; Raij et al., 1996 e Malavolta, 1989.

Os preços pagos ao produtor para milho e soja e os preços de mercado de cada um dos nutrientes analisados foi estabelecido considerando alguns cenários para os preços observados no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015. Além disto, todos os preços foram deflacionados para 2015 utilizando o IGP-DI (FGV, 2016), de maneira que os cenários possam ser comparáveis.

A seguir, para dar uma dimensão deste impacto na economia do país, os resultados obtidos para o produtor foram inseridos como choque para identificar os impactos totais na economia brasileira. O próximo item descreve o procedimento realizado para este propósito.

3.2 Impacto na economia brasileira

Para a análise dos impactos na economia brasileira foi utilizado a matriz insumo produto (MIP) da economia brasileira referente ao ano de 2009. Esta matriz foi a utilizada por ser a matriz mais recente da economia brasileira e que está desagregada para os setores de milho e soja, que foram os setores que sofreram os choques iniciais a serem analisados neste estudo. A MIP desagregada nestes setores foi obtida por Costa (2014).

A MIP considera todos os encadeamentos existentes entre os setores da economia, permitindo identificar os impactos de transbordamento de um choque. Na situação a ser avaliada neste trabalho os seguintes choques ocorreram na economia: (i) alteração na demanda de fertilizantes; e (ii) aumento na demanda final das famílias ocasionado pelo

aumento no lucro do produtor, ponderado pela receita das famílias utilizada para o consumo ou para poupança².

De maneira a adequar os resultados anteriores para serem inseridos como choques na MIP, todas as informações foram ajustadas para o mesmo ano deste instrumento, 2009. Para isto foram realizados os seguintes procedimentos: foi considerado as condições de preços dos produtos e dos nutrientes vigentes em 2009, a preços de 2009; os preços de mercado dos nutrientes foram transformados para preços básicos, uma vez que todos os valores na MIP são descritos a preços básicos; os resultados foram multiplicados pela área produzida com milho e soja no Brasil naquele mesmo ano (IBGE, 2016a).

A variação no valor dos fertilizantes foi utilizado diretamente como choque de demanda. Entretanto, o setor onde o choque na demanda de fertilizantes foi realizado (setor “produtos químicos”, onde os fertilizantes estão incluídos), não tem, como um todo, um nível de importação tão elevado quanto àquele observado exclusivamente para os fertilizantes, que são importados em sua maior parte no Brasil. Segundo International Fertilizer Industry Association (IFIA, 2016), mais de 70% da demanda de fertilizantes no Brasil foi proveniente de importação, considerando o período de 2000 até anos recentes. Em alguns anos, como 2007, 2008 e 2011 esta participação foi superior à 80%. Assim, de maneira a adaptar esta condição, o percentual das importações do setor “produtos químicos” no total demandado no país foi alterado para 80% do valor consumido e a matriz novamente balanceada.

Para entender o funcionamento da MIP, a equação (8) descreve, algebricamente, as relações apresentadas nesta matriz:

$$A * X + Y = X \quad (8)$$

Em que os vetores “X” e “Y” são, respectivamente, os vetores de valor bruto da produção e de demanda final e “A” é a matriz de coeficientes técnicos.

Entretanto, de acordo com Miller e Blair (2009), o valor da produção é uma variável que pode ser obtida endogenamente em função de choques exógenos sobre a demanda da economia utilizando a matriz insumo produto obtidos da seguinte forma:

$$X = (I - A)^{-1} * Y \quad (9)$$

A matriz $(I - A)^{-1}$ é conhecida como a matriz inversa de Leontief. A matriz “I” é uma identidade.

É a partir da matriz inversa de Leontief que se obtêm os chamados multiplicadores de impactos de um choque na economia. Os multiplicadores de impactos (denominados “tipo I”) são a soma dos efeitos diretos e indiretos (a jusante da cadeia produtiva) de um choque de demanda em dado setor. Além dos impactos diretos e indiretos na economia (tipo I), também podem ser obtidos os impactos de efeito renda, o que corresponde ao aumento de demanda das famílias resultante dos impactos diretos e indiretos. Os multiplicadores de impactos que consideram também o efeito renda são denominados de “tipo II”. Para que sejam obtidos os resultados de uma variação na demanda final sobre o valor da produção da economia considerando o efeito renda, adiciona-se um setor na matriz insumo-produto, constituído pelas famílias. Neste estudo foram estimados e descritos tanto os impactos do tipo I quanto os impactos do tipo II. Utilizando os multiplicadores de impacto, ou seja, a partir da matriz $(I - A)^{-1}$, foram calculados os impactos sobre a economia brasileira de choques de mesmo valor na demanda final (Y) descritos anteriormente em (i) e (ii). A partir destes choques, a análise foi feita considerando-se o quanto a economia é impactada não apenas no Valor Bruto da Produção (X), mas também nas seguintes variáveis: Produto Interno Bruto (PIB), valor

² Segundo informações das Contas Nacionais no período de 2000 a 2013 (IBGE, 2016b), o percentual da receita das famílias utilizado para o consumo foi cerca de 80%, o restante, 20% é poupando.

adicionado (VA), emprego e importação. Para isto, o resultado da equação (9) foi multiplicado pelos coeficientes de PIB, VA, emprego e importação de cada setor.

4. Resultados e discussão

Assim como foi apresentado na seção anterior, os resultados também foram apresentados em duas etapas. Na primeira (4.1) foram apresentados os resultados para o nível do produtor rural. E a segunda etapa (4.2) descreve os impactos na economia brasileira.

4.1 Impacto no lucro para o produtor

Foram analisados oito cenários de preços dos produtos e insumos: (A) Preços médios reais observado no período de janeiro a outubro de 2015; (B) Preço vigente em janeiro de 2000; (C) Preço vigente em outubro de 2008; (D) Preço mínimo para os produtos milho e soja e máximo para cada um dos macronutrientes, no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015; (E) Preço máximo para os produtos milho e soja e preço mínimo para os macronutrientes, considerando o período de janeiro de 2000 a outubro de 2015; (F) Preços máximos para os produtos milho e soja e para cada um dos macronutrientes, no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015; (G) Preços mínimos, tanto para os produtos quanto para os macronutrientes, observado o período de janeiro de 2000 a outubro de 2015 e; (H) Preços médios reais para o ano de 2009. Para todos os cenários os preços foram previamente deflacionados pelo IGP-DI (FGV, 2016) e estão expressos a preços de outubro de 2015. Uma vez que estes preços foram deflacionados para outubro de 2015 eles podem ser comparados. Na Tabela 4 são descritos os níveis de cada um dos macronutrientes calculado para cada uma das condições de preço que originam o ponto de máximo econômico (PME) para o produtor, assim como os preços dos produtos e dos nutrientes que originaram àqueles resultados.

Assim, no período de 2000 a 2015 foi observado, à preços reais de 2015, tanto preço R\$1.017 por tonelada de milho e R\$1.616/ton. de soja quanto R\$353 e R\$692 por tonelada de milho e soja, respectivamente. Já para a tonelada de nitrogênio (preço do nutriente e não do fertilizante que o contém), foi observado desde valores de R\$3.165 a R\$7.043. Para a tonelada do nutriente fósforo, observou-se valores desde R\$4.554 a R\$11.266 e; para a tonelada do potássio, entre R\$2.800 e R\$6.373. Dada tais disparidades com as quais os preços, tanto dos produtos agrícolas quanto dos fertilizantes (e, conseqüentemente, dos nutrientes), estão sujeitos no mercado, verifica-se que os níveis economicamente mais eficientes que seriam recomendados em cada situação podem igualmente variar em níveis que dobram ou caem pela metade dependendo da condição de preços. A constatação da grande mudança no nível ótimo econômico dos nutrientes causados pela variação nos preços neste período já mostra a importância de não haver uma recomendação de adubação padrão, como ocorre atualmente. Verifica-se também, conforme esperado, que todas as quantidades de nutrientes que originam os PME são inferiores àquelas descritas para o produto atingir o ponto de máxima produtividade física (PM), descrita na Tabela 1.

Entretanto, as quantidades de fósforo e potássio a serem adicionados para atingir o PME dependem, também, se está se considerando uma situação de solo com baixo, médio ou bom níveis dos nutrientes pré-existentes no solo. Neste sentido, a quantidade do nutriente a ser aplicado para atingir o PME, corresponde a subtração do nível do nutriente descrito na Tabela 4 (I_a) pelo nível já existente no solo em cada condição considerada (Tabela 2). Este valor é descrito nas Tabelas 5 e 6, respectivamente, para o milho e a soja, como I^A . Onde: $I^A = I_a -$ nutriente no solo.

Verifica-se que, utilizando o cálculo da PME para corrigir os nutrientes no solo da lavoura, as concentrações de nitrogênio e fósforo são menores do que àquelas descritas nas tabelas de recomendação de adubação utilizadas, para os cenários de preços: A, C, D, F, G e

H. Já nas condições de preços descritas nos cenários B e E, os níveis dos nutrientes nitrogênio e fósforo seriam maiores utilizando o cálculo da PME. Comparando os níveis de potássio aplicados em solos com médio nível de fertilidade neste nutriente, nas duas situações de cálculo da quantidade de nutriente aplicado, observa-se o mesmo comportamento verificado para solos com baixo nível deste nutriente. Ou seja, utilizando o cálculo da PME o nível de potássio aplicado foi superior ao recomendado nas tabelas em todos os cenários de preços analisados. Comportamento contrário foi observado para condições de solo com bom nível de potássio: utilizando o cálculo da PME, o nível aplicado deste nutriente foi inferior ao recomendado nas tabelas em todos os cenários.

Tabela 4. Preços reais de 2015 dos produtos e dos insumos em cada cenário analisado e as quantidades de insumo no Ponto de Máximo Econômico (PME)

Cenários de preços	Produto	Insumo avaliado	Preço produto (P_x)	Preço insumo (P_I)	Quantidade de insumo no PME (I_a)
A: média jan-out/2015	Milho	Nitrogênio (N)	418	4,357	71
		Fósforo (P)		7,010	-
		Potássio (K)		3,191	170
	Soja	Fósforo (P)	1,073	7,010	64
		Potássio (K)		3,191	76
		Nitrogênio (N)		3,207	97
B: jan/2000	Milho	Fósforo (P)	868	6,097	103
		Potássio (K)		3,099	176
		Fósforo (P)		1,020	6,097
	Potássio (K)	3,099	76		
	Nitrogênio (N)	7,043	60		
	C: out/2008	Milho	Fósforo (P)	527	10,271
Potássio (K)			5,630		165
Fósforo (P)			1,030		10,271
Potássio (K)		5,630		58	
Nitrogênio (N)		7,043		34	
D: valor mínimo para o produto e máximo para o nutriente		Milho	Fósforo (P)	353	11,266
	Potássio (K)		6,373		153
	Fósforo (P)		692		11,266
	Potássio (K)	6,373		31	
	Nitrogênio (N)	3,165		99	
	E: valor máximo para o produto e mínimo para o nutriente	Milho	Fósforo (P)	1,017	4,554
Potássio (K)			2,800		177
Fósforo (P)			1,616		4,554
Potássio (K)		2,800		85	
Nitrogênio (N)		7,043		85	
F: valores máximos para o produto e nutrientes		Milho	Fósforo (P)	1,017	11,266
	Potássio (K)		6,373		172
	Fósforo (P)		1,616		11,266
	Potássio (K)	6,373		69	
	Nitrogênio (N)	3,165		77	
	G: valores mínimos para o produto e o nutriente	Milho	Fósforo (P)	353	4,554
Potássio (K)			2,800		169
Fósforo (P)			692		4,554
Potássio (K)		2,800		68	
Nitrogênio (N)		4,325		76	
H: média 2009		Milho	Fósforo (P)	472	6,343
	Potássio (K)		5,311		164
	Fósforo (P)		1,111		6,343
	Potássio (K)	5,311		63	

Tabela 5. Quantidades de nutriente aplicados e níveis de produtividade do milho para o nível economicamente ótimo (PME) e àqueles indicados nas tabelas de recomendação de adubação, sob três condições de fertilidade do solo e cenários de preços, em kg ha⁻¹

Nível nutriente	Baixo			Médio			Bom		
Produto/ Insumo	Milho/ N	Milho/ P	Milho/ K	Milho/ N	Milho/ P	Milho/ K	Milho/ N	Milho/ P	Milho/ K
I^B	90	90	70	90	70	60	90	50	50
Cenário A: média preços jan-out/2015									
I^A	71	-	128	71	-	92	71	-	12
X_a	2,048	955	7,475	2,048	1,109	7,475	2,048	1,427	7,475
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário B: preço de jan/2000									
I^A	97	93	135	97	81	99	97	55	18
X_a	2,231	1,925	7,511	2,231	1,925	7,511	2,231	1,925	7,511
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário C: preço de out/2008									
I^A	60	-	123	60	-	88	60	-	7
X_a	1,914	955	7,431	1,914	1,109	7,431	1,914	1,427	7,431
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário D: preço mínimo para o produto e máximo para os nutrientes									
I^A	34	-	112	34	-	76	34	-	-
X_a	1,491	955	7,265	1,491	1,109	7,265	1,491	1,427	7,341
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário E: preço máximo para o produto e mínimo para os nutrientes									
I^A	99	127	136	99	116	100	99	89	19
X_a	2,239	2,123	7,515	2,239	2,123	7,515	2,239	2,123	7,515
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário F: preços máximos para o produto e nutrientes									
I^A	85	38	130	85	27	94	85	0	14
X_a	2,165	1,429	7,490	2,165	1,429	7,490	2,165	1,429	7,490
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário G: preços mínimos para o produto e o nutriente									
I^A	77	13	128	77	2	92	77	-	11
X_a	2,102	1,134	7,472	2,102	1,134	7,472	2,102	1,427	7,472
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303
Cenário H: média preços de 2009									
I^A	76	6	123	76	-	87	76	-	6
X_a	2,096	1,040	7,422	2,096	1,109	7,422	2,096	1,427	7,422
X_b	2,199	1,905	5,952	2,199	1,841	6,897	2,199	1,889	7,303

Os níveis de produtividade acompanham o comportamento descrito da comparação entre as quantidades de nutrientes aplicadas nas duas situações: a - cálculo da PME e b - tabelas de recomendação de adubação. Ou seja, nas situações onde se aplicou maiores níveis de nutrientes a produtividade (X) foi maior e vice versa. Isto mostra que não houve aplicação de nutriente em um nível acima daquele para a PM da cultura.

Já para a soja (Tabela 6) o comportamento foi diferente do observado para o milho. Em todas as situações de fertilidade de solo e cenários de preços analisados, a quantidade de nutriente calculado utilizando o cálculo da PME foi inferior àquela sugerida nas tabelas de recomendação de adubação da Tabela 3. Além disto, observou-se também que, exceto para a aplicação de fósforo em solo com médio nível de fertilidade, em todas as demais situações, o nível dos nutrientes fósforo e potássio disponíveis para a planta (I_b) quando se considerou as quantidades indicadas naquelas tabelas de recomendação (I^B), foi superior às quantidades estabelecidas nas funções de produção da soja utilizadas para obter o nível de produtividade

máxima física (PM), descritas na Tabela 1. Assim, enquanto o nível de fósforo necessário para atingir a PM da soja foi de 80 kg*ha^{-1} , ao somar o nível inicial de nutrientes no solo (Tabela 2) com os níveis recomendados (I^B , na Tabela 6), tem-se uma quantidade de fósforo disponível para a planta (I_b) de 90 e 89 kg*ha^{-1} , respectivamente, para solos com baixo e bom níveis de fertilidade neste nutriente. Para o caso do potássio, o nível necessário para atingir a PM da soja foi de 98 kg*ha^{-1} . E a quantidade de potássio disponível para a planta (I_b), obtido ao somar o nível inicial deste nutriente no solo com os níveis recomendados, é de 121, 145 e 223 kg*ha^{-1} , respectivamente, para solos com baixo, médio e bom níveis de fertilidade neste nutriente. Conforme mostra a Figura 2, a produtividade reduz após o nível de nutriente que origina o PM. Portanto, o nível de nutriente total acima ao da PM foi o responsável por obter níveis de produtividade quando considerada as tabelas de recomendação de adubação (X_b) inferiores àqueles estimados utilizando o cálculo da PME (X_a) em algumas situações.

Tabela 6. Quantidades de nutriente aplicados e níveis de produtividade da soja para o nível economicamente ótimo (PME) e àqueles indicados nas tabelas de recomendação de adubação, sob três condições de fertilidade do solo e cenários de preços, em kg ha^{-1}

Nível nutriente	Baixo		Médio		Bom	
	Soja/P	Soja/K	Soja/P	Soja/K	Soja/P	Soja/K
Produto/ Insumo						
I^B	80	80	50	60	40	40
Cenário A: média preços jan-out/2015						
I^A	54	35	42	-	16	-
X_a	2,743	3,350	2,743	3,354	2,743	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário B: preço de jan/2000						
I^A	55	34	44	-	17	-
X_a	2,752	3,349	2,752	3,354	2,752	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário C: preço de out/2008						
I^A	45	17	34	-	7	-
X_a	2,672	3,274	2,672	3,354	2,672	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário D: preço mínimo para o produto e máximo para os nutrientes						
I^A	29	-	18	-	-	-
X_a	2,464	3,165	2,464	3,354	2,589	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário E: preço máximo para o produto e mínimo para os nutrientes						
I^A	63	44	52	8	25	-
X_a	2,787	3,372	2,787	3,372	2,787	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário F: preços máximos para o produto e nutrientes						
I^A	53	28	41	-	15	-
X_a	2,736	3,326	2,736	3,354	2,736	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário G: preços mínimos para o produto e o nutriente						
I^A	54	27	42	-	16	-
X_a	2,742	3,323	2,742	3,354	2,742	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697
Cenário H: média preços de 2009						
I^A	56	22	44	-	18	-
X_a	2,756	3,299	2,756	3,354	2,756	3,136
X_b	2,777	3,345	2,782	3,276	2,785	2,697

De maneira geral, e tanto para o milho quanto para a soja, entre as condições de preços analisadas, os níveis de nutrientes recomendados, utilizando o cálculo da PME, foram os menores para os cenários C e D. Os altos níveis de preços dos nutrientes e baixos preços do milho foram os fatores que contribuíram para este comportamento. Nestes dois cenários (C e D) observa-se os menores níveis de preços para o produto agrícola, milho, e os preços mais elevados para os nutrientes analisados, no período de janeiro de 2000 a outubro de 2015.

Aplicando os valores apresentados nas Tabelas 2, 4, 5 e 6 na fórmula descrita na equação (7) tem-se a variação no lucro do produtor rural decorrente da alteração na aplicação dos nutrientes seguindo as tabelas de recomendação para uma recomendação que considera a função de produção do produto e os preços de mercado vigentes. Esta variação no lucro, por hectare cultivado de milho e soja, é descrita nos gráficos da Figura 4, para cada cenário. Inicialmente, identifica-se nesta figura que a situação de aplicar a dose da PME, em quaisquer dos cenários analisados, em comparação com a condição de aplicar as doses recomendadas nos manuais, gera ganho econômico para o produtor. Ou seja, a diferença na lucratividade entre estas duas condições foi sempre positiva para o método da PME. Considerando o aumento da lucratividade alcançado para a mudança no nível dos três nutrientes aplicados, observa-se que os maiores valores foram obtidos quando a mudança ocorreu na produção de milho em solos com baixo nível de fertilidade.

O maior incremento de lucratividade alcançado foi de R\$1.468,55 por hectare, que ocorreu em um cenário onde o preço do milho foi o valor máximo observado de 2000 a 2015 e o preço dos nutrientes foi o mínimo verificado no mesmo período (cenário E). É interessante observar que os maiores ganhos de lucratividade alcançados em outras situações foram observados para o cenário de preços diametricamente oposto ao cenário E. Assim, em condições onde o preço do produto foi o mínimo e o preço do nutriente foi o máximo observado no período 2000-15 (cenário D) que os maiores ganhos de lucro foram obtidos para: o milho em solos de médio e bom níveis de fertilidade (R\$700 e R\$ 874 por hectare, respectivamente) e; para a soja em solos de baixo e médio níveis de fertilidade (respectivamente, R\$740 e R\$580 por hectare).

Já o aumento no lucro da soja produzida em solo com bom nível de fertilidade foi maior, entre os cenários de preços analisados, na ocorrência dos maiores preços observados no período, tanto para a soja quanto para os nutrientes (cenário F). De outra maneira, os menores valores de aumento no lucro, tanto para o milho como para a soja, foram observados no cenário G, onde tem-se os menores níveis de preços tanto dos produtos quanto dos nutrientes no período 2000-15.

Verifica-se também nesta figura que foram, principalmente, a aplicação dos nutrientes potássio e fósforo, nesta ordem, aqueles que geraram maiores ganhos de lucro para o produtor quando os níveis de aplicação destes nutrientes foram calculados considerando a PME e não utilizando os níveis propostos nas tabelas de recomendação. E os maiores ganhos, considerando apenas estes nutrientes, foram observados nos cenários de preços E e D. No cenário E observa-se o maior ganho de lucro por hectare na produção de milho considerando apenas a mudança no nível de aplicação do potássio (R\$1.405) e no cenário D o maior incremento de lucro por hectare, também considerando o milho, mas apenas para a mudança no nível de aplicação do fósforo (R\$678). Ambas as situações ocorreram sob condição de solo com baixo nível de fertilidade. O cálculo de aumento no lucro do produtor ao mudar os níveis de aplicação de nitrogênio foram muito pequenos, embora sempre positivos. O maior aumento foi observado também no cenário D (condição de preços mínimo para o milho e máximo para o nitrogênio) e foi de R\$142 por hectare cultivado da gramínea.

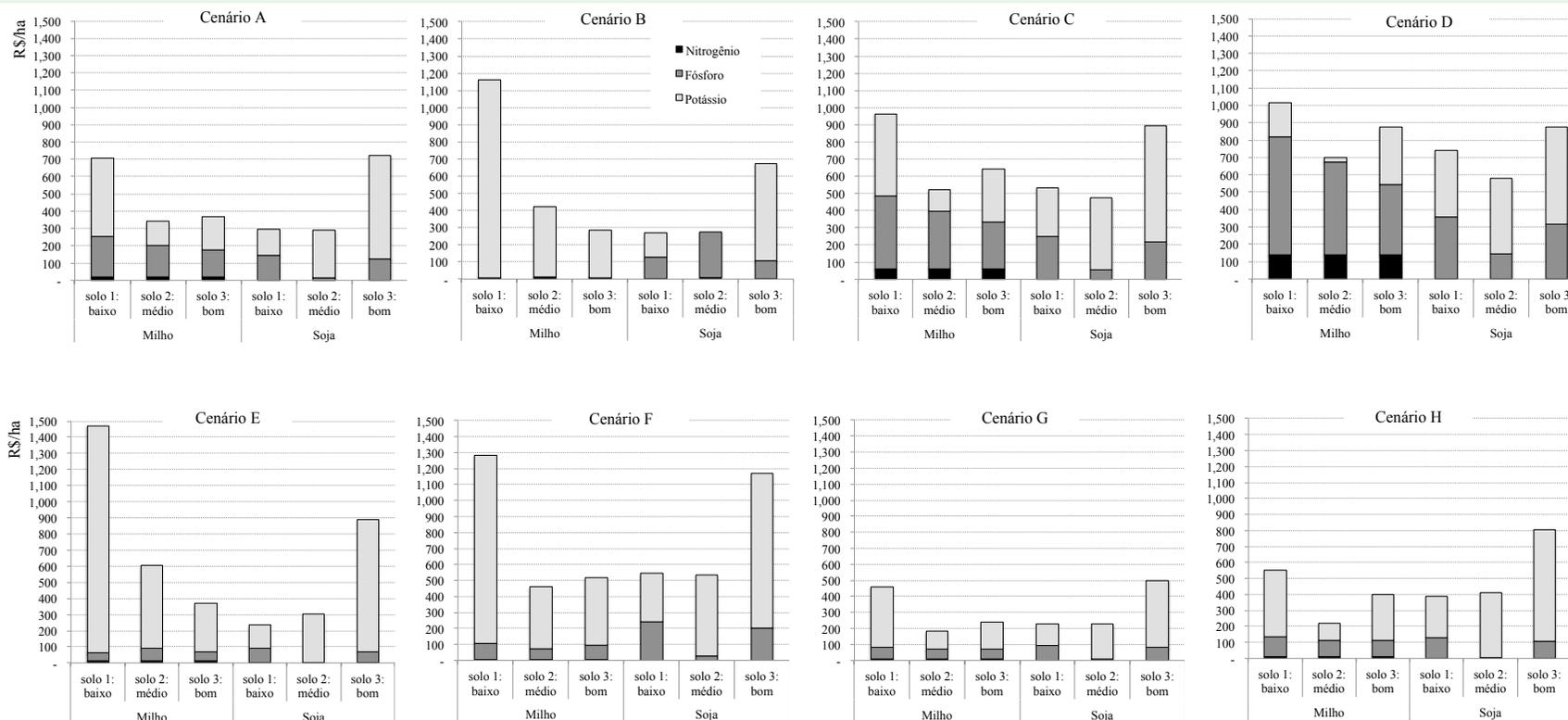


Figura 4. Valor estimado do lucro do produtor resultante da aplicação dos macronutrientes calculado via função de produção das culturas e preços de mercado subtraído do valor do lucro obtido quando a aplicação segue as tabelas de recomendação. Em R\$/ha a preços de 2015, para milho e soja, avaliado em três condições de fertilidade do solo e diferentes cenários de preços

Nota: Cenário A indica a média preços jan-out/2015; Cenário B representa os preços de jan/2000; Cenário C monta os preços de out/2008; Cenário D considera o preço mínimo para o produto e máximo para os nutrientes no período; Cenário E usa o preço máximo para o produto e mínimo para os nutrientes; Cenário F emprega os preços máximos para o produto e nutrientes; Cenário G utiliza os preços mínimos para o produto e o nutriente e; Cenário H empregou a média preços de 2009.

Finalmente, e mais importante, observa-se como o aumento no lucro pode ser alterado quando são alterados os cenários de preços. Além do fato de se observar que o produtor sempre terá benefício econômico considerando os preços do produto e do insumo no cálculo do nível de nutriente a ser aplicado em sua lavoura, a magnitude desta variação no lucro, considerando apenas os cenários de preços descritos neste estudo, são resultados de extrema relevância como informação para tomada de decisão pelo produtor. Estes resultados mostram o quanto é importante, para a renda do produtor, uma correta recomendação dos níveis de nutrientes a serem aplicados em sua lavoura. Por exemplo, para a média mensal dos preços de 2015 (jan. a out.) – Cenário A – os produtores de milho e de soja podem aumentar sua renda entre R\$340/ha e R\$700/ha ao ano, dependendo do tipo de solo, se fosse utilizada a quantidade de nutriente recomendada pela PME e não nos níveis das tabelas. Já se o cenário de preços for como o observado, por exemplo, em jan/2000 (Cenário B), este ganho poderá ficar entre cerca de R\$300/ha até acima de R\$1.100/ha para o milho ou R\$670/ha para a soja.

Uma hipótese implícita nestes resultados é que os impactos da mudança nos níveis de recomendação dos três macronutrientes (N, P e K) e, conseqüentemente, os ganhos derivados desta mudança são adicionais um ao outro. Entretanto, isto não necessariamente ocorre, uma vez que o efeito da interação entre os nutrientes analisados pode gerar impactos diferentes dos descritos para os efeitos individualizados nas funções de produção. Esta mesma limitação permanece na análise realizada na próxima seção, uma vez que os resultados desta parte foram utilizadas. A seguir foi estimado o impacto em toda economia brasileira, caso as lavouras de milho e soja do país utilizassem os níveis dos nutrientes economicamente mais eficientes e não àqueles recomendados pelas tabelas. Neste sentido, foi pressuposto que estas tabelas de recomendação de adubação foram utilizadas, de acordo com os níveis descritos neste estudo (Tabela 3) em todas as lavouras.

4.2 Impacto na economia brasileira

Inicialmente foram calculados os choques aplicados na economia provocados pelo aumento no lucro do produtor de milho e soja e na demanda total de fertilizantes no país. Para isto, os resultados descritos anteriormente para a média mensal dos preços de 2009 (cenário H) foram multiplicados pela área plantada de soja e milho no país naquele ano (IBGE, 2016a). O ano de 2009 foi utilizado de maneira a compatibilizar os resultados obtidos na sessão anterior com o instrumento metodológico utilizado para obter os resultados nesta sessão: matriz insumo produto da economia brasileira, conforme já descrito no item 3.2.

Para cada condição de fertilidade do solo, os valores da variação do lucro para o produtor considerando os três macronutrientes (já apresentados no cenário H da Figura 4, mas convertidos para preços de 2009), assim como a variação no valor da demanda de fertilizantes totais, convertido a preços básicos¹ de 2009, para toda a área cultivada com milho (exceto safrinha) e soja no país em 2009. Uma vez que não se conhece as condições de fertilidade dos solos cultivados com estas culturas no Brasil foi adotada, neste estudo, a média simples das

¹ Os ajustes em relação aos resultados descritos no cenário H utilizados para compor o valor da variação no uso dos nutrientes (fertilizantes) demandados, foi considerado 87% dos preços daqueles macronutrientes identificados e descritos na Tabela 4. Esta transformação nos preços foi necessária uma vez que os preços até então trabalhados são preços observados no mercado e, para compor os choques de demanda na matriz insumo-produto (MIP), conforme descrito na seção 3.2, os valores devem estar sob condições de preço básico. O percentual adotado (87%) foi identificado nas Contas Nacionais como àquele em que os preços básicos do setor “produtos químicos inorgânicos”, onde se incluem os fertilizantes minerais, estão para seus respectivos preços de mercado. Além disto, como a MIP utilizada como instrumental para calcular estes impactos representa a economia brasileira no ano de 2009 os preços utilizados para compor os resultados descritos no cenário H da sessão anterior, que estão a preços de 2015, foram deflacionados de maneira a serem representativos do ano de 2009.

três condições analisadas como hipótese para a condição geral destes solos. Procedendo desta maneira, os valores dos choques utilizados na MIP, a preços de 2009, foram os seguintes: variação de lucro para o produtor do milho de R\$3.643 milhões e da soja de R\$7.731 milhões; variação na demanda de fertilizantes para o milho de –R\$1.583 milhões e para a soja de –R\$6.818 milhões.

O choque da variação no valor dos fertilizantes é negativo uma vez que os níveis de nutrientes aplicados considerando os níveis calculados para a PME foi, majoritariamente, inferior àqueles recomendados nos manuais de recomendação de adubação utilizados (se maiores, o choque é positivo). Mas como estes fertilizantes são ofertados principalmente via importação, a sua redução pode vir a ser um impacto positivo na economia do país via redução das importações.

As Figuras 5 e 6 descrevem os resultados dos impactos anuais estimados sobre o valor da produção, PIB, remuneração e importação, para toda economia do país, separadamente para os quatro choques realizados. É também apresentada nestas figuras o impacto somado destes quatro choques. A Figura 5 descreve os impactos diretos e indiretos dos choques. Ou seja, utiliza o multiplicador de impacto tipo I descrito no item 3.2. Na Figura 6 os impacto de efeito renda são também incorporados (ou seja, foi utilizado o multiplicador de impacto tipo II para estimar os resultados). Observa-se nestas figuras que os impactos anuais considerando o produto soja, tanto no que diz respeito a renda do produtor quanto na demanda de fertilizantes foram superiores àqueles estimados para o milho. Isto é esperado uma vez que os choques foram também superiores para a leguminosa, reflexo da maior área plantada com a leguminosa no país (22 milhões de ha de soja, contra 14 milhões de ha da gramínea). Mas tanto para soja quanto para milho, os impactos foram positivos (exceto pelo aumento nas importações) quando o choque dado foi o aumento no lucro do produtor em decorrência do uso economicamente mais racional dos fertilizantes. À preços de 2015, com este aumento de lucro (3,6 e 7,7 bilhões de Reais, respectivamente para os produtores de milho e soja) e o consequente aumento no consumo das famílias, os impactos direto e indiretos na economia seriam de aumento no valor da produção de 10 e 21 bilhões de Reais ao ano, respectivamente, para o choque na renda dos produtores de milho e soja. Já considerando os impactos também de efeito renda estes valores chegariam, respectivamente, a 19 e 40 bilhões de Reais, também a preços reais de 2015.

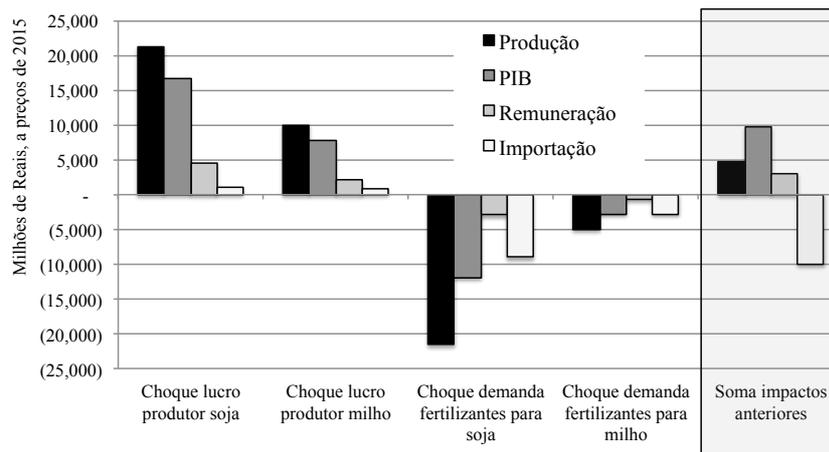


Figura 5. Impactos diretos e indiretos dos choques no: lucro do produtor de milho; lucro do produtor de soja; na demanda de fertilizantes para o milho e; na demanda de fertilizantes para a produção de soja, sobre: o valor da produção, do PIB, das remunerações e das importações de toda economia brasileira.

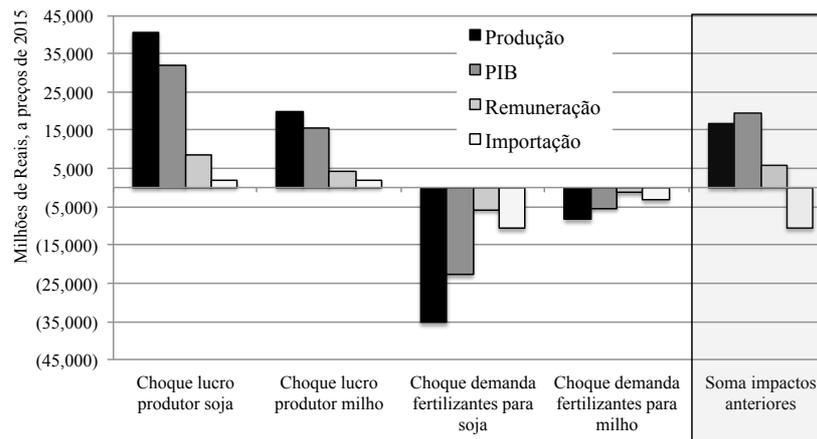


Figura 6. Impactos diretos, indiretos e de efeito renda dos choques no: lucro do produtor de milho; lucro do produtor de soja; na demanda de fertilizantes para o milho e; na demanda de fertilizantes para a produção de soja, sobre: o valor da produção, do PIB, das remunerações e das importações de toda economia brasileira.

Entretanto, mais importante do que o impacto no valor da produção é o impacto no PIB da economia, uma vez que é esta variável que define o crescimento econômico do país. Neste sentido, os impactos direto e indiretos na economia causariam um aumento PIB de 7,8 e 16,5 bilhões de Reais ao ano, respectivamente, para o choque na renda dos produtores de milho e soja. Já considerando os impactos também de efeito renda estes valores chegariam a 15 e 32 bilhões de Reais, respectivamente, para o choque na renda dos produtores de milho e soja. Os impactos no valor das remunerações, que considera salário e encargos sociais, são uma parte deste impacto no PIB. O restante do impacto no PIB representa aumento de lucro. Entretanto, apesar destes impactos positivos na economia, o aumento na renda dos produtores poderia também ocasionar um aumento nas importações, em 1,7 bilhões de Reais.

Por outro lado observa-se também nestas figuras o impacto negativo do choque na demanda de fertilizantes. Entretanto, como estes fertilizantes são ofertados principalmente via importação, a sua redução representa também um impacto positivo na economia do país via redução das importações. A redução anual nas importações brasileiras decorrentes dos choques na demanda de fertilizantes para o milho e a soja foram, respectivamente, de -3,3 e -10,6 bilhões de Reais, considerando os impactos não apenas diretos e indiretos como também àqueles de efeito renda. Mas impactos negativos decorrentes, principalmente, da redução na produção doméstica destes fertilizantes, ocasionariam um impacto no PIB da economia brasileira de -2,7 e -11,8 bilhões de Reais ao ano considerando os impactos diretos e indiretos e de -5,4 e -22,7 bilhões de Reais adicionando também o efeito renda, respectivamente, para os choques na demanda de fertilizantes para o milho e a soja.

O impacto no número de pessoas ocupadas em novos postos de trabalho, ou que perderiam seus empregos em cada um dos choques individualmente analisados acompanha o comportamento dos impactos nas demais variáveis. Eles não foram inseridos nas Figuras 5 e 6 dado que a unidade de medida para esta variável (número de pessoas) difere das demais variáveis. Assim, de um lado, o aumento na renda dos produtores poderiam gerar, ao ano: mais de 112 mil empregos diretos e indiretos e mais 113 mil apenas para o efeito renda decorrente do aumento de renda dos produtores de milho e cerca de 240 mil empregos diretos e indiretos e mais outros quase 230 mil empregos de efeito renda resultante do aumento de renda dos produtores de soja. Por outro lado, a redução na demanda pelos fertilizantes poderia reduzir, ao ano: cerca de -16 mil empregos diretos e indiretos e outros -40 mil postos de trabalho apenas para o efeito renda decorrente da redução de fertilizantes para produção de

milho e de -73 mil empregos diretos e indiretos e de outros -160 mil empregos de efeito renda resultante da redução de fertilizantes para produção de soja.

A análise conjunta do impacto anual destes quatro choques, dado que eles ocorreriam simultaneamente, foram destacados em sombreado nas Figuras 5 e 6. Para os impactos diretos e indiretos, o impacto total origina um ganho de 4,8 bilhões de Reais no valor da produção, assim como uma redução de -9,9 bilhões de Reais em importação. Considerando também o efeito renda, gera-se um aumento de 16,8 bilhões de Reais de produção e de -10,5 bilhões em importação na economia brasileira.

Uma vez que nesta análise conjunta há choques positivos e negativos, observa-se que o impacto sobre o PIB da economia foi superior ao impacto sobre o valor da produção, o que é um resultado pouco usual, dado que o valor da produção é a soma do PIB e do consumo intermediário de cada setor. Isto pode ter sido provocado porque grande parte do consumo intermediário importado foi reduzido. Assim, verificou-se um aumento de 9,7 e 19,3 bilhões de Reais ao ano no PIB, respectivamente para os impactos de efeito direto e indireto e os impactos totais, ou seja, acrescidos do efeito renda. Deste total, 3,0 bilhão de Reais (para impacto direto e indireto) e 5,6 bilhões de Reais (para impacto direto, indireto e de efeito renda) foram referentes ao aumento no valor das remunerações. Já o número de pessoas empregadas ao ano aumentaria em 262 mil postos de trabalho considerando os efeitos direto e indiretos e acrescenta-se, a estes, mais 140 mil novos empregos de efeito renda na economia.

Apesar dos impactos significativos no cenário nacional, destaca-se o fato de que o cenário de preços utilizado para identificar o impacto que nova condição de recomendação de adubação pode ocasionar na economia brasileira (cenário H: preços médios de 2009) não foi aquele com os maiores impactos sobre o lucro do produtor. Portanto, os impactos estimados na economia brasileira refletem apenas as condições daquele ano (2009) e estão subestimados.

5. Conclusões

Entre as questões colocadas para melhoria das condições da agricultura brasileira estão o aumento da produtividade e a redução de custos. Este estudo identificou um ponto onde atuar para atingir ambos propósitos. A adubação da produção agrícola é uma prática básica e essencial mas a qual, até os dias de hoje, é essencialmente guiada por tabelas padrões, que permanecem como guias por décadas, sem alterações. Este estudo mostrou que há possibilidade de ganhos no lucro da produção agrícola derivado do aumento de produtividade e, ou, da redução no uso de fertilizante, mudando este instrumento de recomendação de adubação. Ao invés das tabelas usuais, partiu-se da teoria econômica de maximização de lucro e se utilizou este conceito para proceder às recomendações. Entretanto, para a maximização do lucro é necessário o conhecimento dos preços de mercado e, por isto, vários cenários considerando os preços observados no período de 2000 a 2015 foram analisados. A definição de diferentes cenários de preços foi também importante para mostrar como podem variar as recomendações, assim como a renda do produtor, quando estes preços se alteram.

Considerando, portanto, válidas as funções de produção utilizadas, as quais também são utilizadas como base para as tabelas de recomendação, ganhos substanciais de lucro para o produtor rural podem ser alcançados, assim outros impactos positivos na economia brasileira derivados destes ganhos e da redução na importação de fertilizantes. De modo geral, as recomendações de fertilizantes ficaram abaixo dos níveis recomendados nas tabelas, mesmo utilizando os níveis mais baixos de recomendação entre as tabelas analisadas. Isto pode também ser uma indicação da superestimação existente nas tabelas de recomendação atualmente em uso, ou de que as funções de produção encontradas na literatura que deram suporte para este estudo não são condizentes com a realidade agrônoma. Entretanto,

registra-se aqui a grande dificuldade de se encontrar funções de produção na literatura, as quais são essenciais para se definirem as recomendações de adubação nas culturas agrícolas.

BIBLIOGRAFIA

- COSTA, C.C. **Metodologia para avaliação de impactos causados por alterações no mercado do agronegócio**. Relatório de pesquisa. Mimeo. 2014.
- FERGUSON, C.E. **Microeconomia**. Ed: Forense Universitária. 1988.
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1993. 42p. (Série Didática, 6).
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS-FGV. **Pesquisa. Instituto Brasileiro de Economia. Indicadores de Preços**. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B6B6420E96>>. Acesso em: 20 de jan. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Economia. Agropecuária. PAM**. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2014/default.shtm>>. Acesso em: 17 de fev. 2016a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Economia. Sistema de Contas Nacionais. Contas Nacionais**. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/2013/default.shtm>>. Acesso em: 17 de fev. 2016b.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Banco de Dados. Preços Agrícolas**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>>. Acesso em: 20 de jan. 2016.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION – IFIA. **Statistics. Statistics Database. IFA**. Disponível em: <<http://ifadata.fertilizer.org/ucSearch.aspx>>. Acesso em: 02 de fev. 2016.
- LEAL, A.J.F.; VALDERRAMA, M.; KANEKO, F.H.; LEAL, U.A.S.; PERIN, A.; LUCHESE, K.U.O. Produtividade da soja de acordo com diferentes doses de cloreto de potássio revestido ou não com polímeros. **Global Science and Technology**, v.8, n.1, p.19-30. 2015.
- 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.
- MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-output analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.
- 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.
- 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.
- SOUZA, J.R.; RIBEIRO, B.N.; RAPOSO, T.P.; FIORIN, J.E.; CASTRO, G.S.A.; MAGALHÃES, R.S. Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. **Acta Iguazu**, v.3, n.4, p.1-9. 2014.