

Importância Econômica da Amostragem de Solo na Adubação Agrícola



ISSN 1678-0434

Dezembro, 2017

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 40

Importância Econômica da Amostragem de Solo na Adubação Agrícola

Cinthia Cabral da Costa

São Carlos, SP
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação

Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 São Carlos, SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Instrumentação

Comitê de Publicações

Presidente

Wilson Tadeu Lopes da Silva

Secretária-executiva

Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane

Membros

Carlos Renato Marmo

Cíntia Cabral da Costa

Cristiane Sanchez Farinas

Elaine Cristina Paris

Maria Alice Martins

Paulo Renato Orlandi Lasso

Normalização bibliográfica

Maria do Socorro Gonçalves de Souza Monzane

Foto da capa

Renê de Oste

Capa, editoração eletrônica e

tratamento das ilustrações

Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2017): 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Embrapa Instrumentação

C837i Costa, Cinthia Cabral da
Importância econômica da amostragem de solo na adubação agrícola / Cinthia
Cabral da Costa. – São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017.
30 p. – (Embrapa Instrumentação. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40
ISSN: 1678-0434.

1.:Recomendação de adubação. 2. Lucro. 3. Fósforo. 4. Soja. I. Costa, Cinthia
Cabral da. II. Título. III. Série.

CDD 21 ED 631.8

© Embrapa 2017

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Metodologia	11
Resultados e Discussão	16
Conclusões	21
Referências	21
Anexo	25

Importância Econômica da Amostragem de Solo na Adubação Agrícola

Cynthia Cabral da Costa¹

Resumo

Este trabalho tem como objetivo mostrar a importância econômica da amostragem de solo para a prática da adubação de culturas agrícolas. Para isto, simulações de retornos econômicos de um sistema produtivo usando amostragem que considera toda a heterogeneidade da lavoura foram comparados com retornos econômicos onde foram utilizadas apenas amostragens compostas de parte da heterogeneidade. A simulação foi realizada para adubação com fósforo e potássio na produção de soja. Foram utilizados cenários de lavouras reais obtidos de revisão de literatura. As funções de produção para a soja também foram obtidas na literatura. Uma análise de sensibilidade foi realizada para diferentes condições de preços de mercado, considerando os preços observados no período de janeiro de 2000 a março de 2017. Nas simulações realizadas, onde foram considerados vários cenários de lavoura, preços e amostragens, observou-se que os ganhos de lucro que o produtor pode auferir ao amostrar toda a heterogeneidade existente em uma lavoura, comparada a amostragens parciais, foram da ordem de dezenas e alcançando centenas de Reais por hectare. A magnitude deste ganho depende de características da lavoura, preços de mercado e do tipo de amostragem menos eficiente ao qual se está comparando.

Termos para indexação: recomendação de adubação; lucro; fósforo; soja.

¹ Engenheira Agrônoma, doutora em Economia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, cynthia.costa@embrapa.br.

Economic Importance of Soil Sampling in the Agricultural Fertilization

Abstract

This study aims to show the economic importance of soil sampling for the practice of agricultural fertilization. For this, the simulation of economic returns of a productive system using soil sampling that considers all field heterogeneity was compared with economic returns where only part of the field was used to sampling. The simulation was carried out for fertilization with phosphorus and potassium in soybean production. Scenarios of real fields were obtained from literature. The production functions for soybean were also obtained in the literature. A sensitivity analysis was performed for different market price conditions, considering the prices observed from January 2000 to March 2017. In the simulations carried out, where several field scenarios, prices and types of soil sampling were considered, the profit gains that producer can obtain by sampling the whole heterogeneity in a field, compared to sampling a part of the field, were in the order of tens and hundreds of Brazilian Real per hectare. The magnitude of this gain depends on the characteristics of the field, market price and the type of soil sampling to which one is comparing.

Index terms: Fertilization recommendation; profit; phosphor; soybean.

Introdução

Ganhos econômicos na produção agrícola dependem de dois fatores que podem ser, até certa medida, controlados pelo produtor: aumento de produtividade e redução de custo. A adubação é um fator de grande impacto tanto para a produtividade quanto para os custos. A Figura 1 mostra a importância da adubação (representada pelo item produtos químicos inorgânicos na Figura 1) nos custos da produção agrícola. Entretanto, para alcançar um nível eficiente de adubação, onde se tenha alta produtividade com menores custos, deve-se passar pela etapa de amostragem de solo. Uma referência da importância deste processo é descrita por Orlando Filho & Rodella (1983) e citado por Zanão Junior et al. (2010), onde os autores relatam que aproximadamente 80 a 85% do erro nos resultados de recomendação de fertilizantes e corretivos é decorrente da amostragem no campo.

A etapa de amostragem de solo aumenta sua importância à medida que se observa maior variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo. Neste sentido, a Tabela 1 mostra vários trabalhos onde a variabilidade dos atributos químicos em relação à fósforo e, ou, à potássio foram mensurados. A maioria dos trabalhos descritos mensurou estes nutrientes a uma profundidade de até 15 ou 20 cm - analisaram na profundidade de até 10 cm apenas Mattioni et al. (2013) e Zanão Junior et al. (2010).

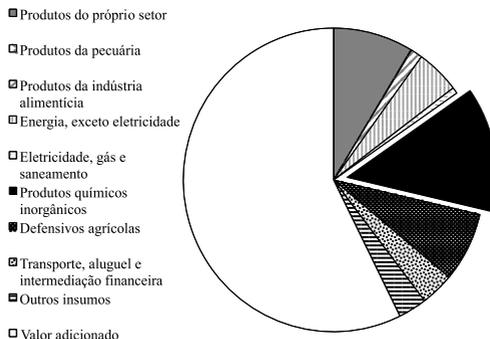


Figura 1 – Representação dos principais componente no valor da produção agrícola da economia brasileira

Fonte: IBGE (2017); elaborado pela autora.

Verifica-se na Tabela 1 valores de fósforo variando de 0,6 a 151 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, e de potássio entre 0,1 e 12,6 $\text{mmolc} \cdot \text{dm}^{-3}$. Considerando uma mesma área analisada, a maior variação observada, para ambos os nutrientes, foi ressaltada por Souza (2006). Neste trabalho os níveis mínimos e máximos foram, respectivamente, de 8 a 107 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ para fósforo e de 0,7 a 12,6 para potássio, correspondendo a um coeficiente de variação de 81% para fósforo e 64% para potássio. Esta variação foi observada em solo cambissolo cultivado com café no sul de Minas Gerais. Mas este não foi um trabalho isolado, valores de coeficientes de variação acima de 30% são observados na maioria dos

estudos descritos na Tabela 1. Outras variações expressivas foram observadas por Santos et al. (2012), onde o fósforo variou de 3,3 a 151,8 mg dm⁻³ e o potássio apresentou níveis de 2,13 e 10,36 mmolc dm⁻³. Outra variação expressiva foi observada por Carvalho et al. (2002), que encontrou níveis de fósforo entre 2,4 e 131,5 mg dm⁻³ na mesma lavoura.

Tabela 1 – Valores médios, mínimos e máximos dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K) para diferentes tipos de solos e regiões no Brasil

Fonte	Produto/ solo e região	Área	P (mg dm ⁻³)			K (mmolc dm ⁻³)		
			Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Artur et al. (2004)	Solo calcário eutrófico, Chapada de Apodi, CE.	102 ha	nd	nd	nd	14 (38%)	nd	nd
Barreto (2012)	Arroz vermelho, RN.	9 ha	30 (23%)	19	39	2,3 (46%)	1,02	5,12
		2,25 ha	21 (70%)	5	50	2,3 (45%)	0,77	4,10
Carvalho et al. (2002)	Milho e feijão. Latossolo vermelho-escuro distrófico, argiloso, Santo Antonio de Goiás, GO. Tratado com arado	nd	9,32 (69%)	0,5	36,10	2,21 (38%)	1,20	5,71
	Idem anterior. Tratado com grade aradora.	nd	14,98 (74%)	4,9	75,2	2,518 (33%)	0,51	4,41
	Idem anterior. Tratado com plantio direto	nd	19,58 (135%)	2,4	131,5	1,34 (50%)	0,64	3,51
Cherubin et al. (2011)	Latossolo Vermelho distrófico, RS.	nd	12,17 (47%)	3,20	28,80	4,65 (14%)	3,28	5,72
Dalchiavon et al. (2013)	Cana-de-açúcar/ Argissolo Vermelho eutrófico, Suzanópolis, SP.	14,6 ha	4,3 (19%)	3,0	7,0	1,42 (57%)	0,2	3,8
Machado et al. (2007)	Latossolo Vermelho argiloso, Uberlândia, MG.	nd	17,31 (73%)	2,8	69,1	2,84	1,14	5,12
Mattioni et al. (2013)	Soja/ Latossolo Vermelho distrófico argiloso, Não-Me-Toque, RS.	60,6 ha	23,9 (29%)	6,2	40	5,99 (24%)	3,64	10,92
Molin et al. (2007)	Milho safrinha/ Latossolo Vermelho eutrófico, Campos Novos Paulista, SP.	24,2 ha	43,1	nd	nd	nd	0,8	3,0
Montezano et al. (2006)	Milho/ Latossolo Vermelho-Amarelo distroférrico	373 ha	22,24 (52%)	nd	nd	2,84 (11%)	nd	nd
Oliveira et al. (2009)	Citrus/ Argissolo Amarelo, textura média, Capitão Poço, PA.	nd	25,27 (25%)	12,4	47	0,18 (39%)	0,10	0,80
Salviano et al. (1998)	Crotalaria/ Podzólico Vermelho-Amarelo + solo litólico, Piracicaba, SP.	nd	7,5 (75%)	0,5	32,5	1 (52%)	0,1	2,8
Santos & Gontijo (2013)	Braquiária/ Latossolo, Ponto Belo, ES.	1,22 ha	5,10 (77%)	nd	nd	0,73 (34%)	nd	nd
Santos et al. (2012)	Pimenta-do-reino/ Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, São Mateus, ES.	1,2 ha	39,1 (68%)	3,3	151,8	4,28 (29%)	2,13	10,36
Silva et al. (2007)	Café/ Latossolo vermelho-amarelo distrófico, Ijaci, MG.	4,2 ha	4,18 (73%)	nd	nd	4,77 (29%)	nd	nd
Souza (2006)	Café orgânico/ Cambissolo, Machado, MG.	2,8 ha	15,8 (28%)	8	31	3,6 (64%)	0,7	12,6
	Café tradicional/ Cambissolo, Machado, MG.	2 ha	25 (81%)	8	107	3,2 (60%)	1	14
Zanão Junior et al. (2010)	Soja e milho/ Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa, Uberlândia, MG.	nd	10,1 (65%)	3	26	3,21 (30%)	0,90	5,13
	Soja e milho/ Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, Uberlândia, MG.	nd	13 (55%)	4	34	1,66 (38%)	0,48	3,33
Zonta et al. (2014)	Algodão/ Latossolo Vermelho Amarelo, Cristalina, GO.	57,6 ha	2,62 (39%)	0,6	4,7	2,3 (12%)	1,8	3,0

Nota: nd - não descrito. Alguns trabalhos indicavam quantidades de potássio em unidades diferentes da descrita nesta tabela (mmolc dm⁻³) e foram convertidas para mmolc dm⁻³ dividindo por 39, quando apresentadas em mg dm⁻³, ou multiplicadas por 10, quando exibidas em cmolc dm⁻³.

Constata-se também pelos trabalhos apresentados na Tabela 1 que grandes variações na fertilidade podem ser observadas mesmo em pequenas áreas, de 1, 2 ou 3 hectares.

Apesar da diversidade observada quanto a fertilidade das lavouras e, conseqüentemente, da importância da amostragem de solo para a adubação das mesmas, a variação nos ganhos de lucro que o produtor pode auferir comparando-se diferentes condições de amostragem de solo ainda não é uma informação conhecida e divulgada. Tal informação é importante para conscientizar o produtor da importância da amostragem de solo que irá utilizar em sua lavoura. Assim, este trabalho teve como objetivo estimar os ganhos de lucro que o produtor pode auferir apenas considerando este cuidado no seu sistema produtivo. Para isto, a próxima sessão descreve o método e dados utilizados para esta simulação. Em seguida são apresentados os resultados e as conclusões deste trabalho.

Metodologia

Para identificar o ganho de lucro que o produtor pode obter apenas com um método mais eficiente de amostragem de solo, este estudo estimou as variações (Δ) de produtividade (X) e consumo de fertilizantes (I) para diferentes cenários de amostragens (CA), comparados com o sistema mais eficiente (EF). O sistema considerado como o mais eficiente neste trabalho (EF) é aquele onde considera-se a média de todas as áreas heterogêneas da lavoura. Considerando também os preços de produto (P_x) e do insumo (P_i) foi então calculada as variações no lucro (π) do produtor para estes diferentes cenários. As equações (1), (2) e (3) descrevem, respectivamente, as variações na produtividade, no uso de insumo e no lucro estimados.

$$\Delta X = X_{EF} - X_{CA} \quad (1)$$

$$\Delta I = I_{EF} - I_{CA} \quad (2)$$

$$\Delta \pi = \Delta X * P_x - \Delta I * P_i \quad (3)$$

onde X_{EF} corresponde ao nível de produtividade ao utilizar a quantidade de insumo I_{EF} . A quantidade de fertilizante aplicado (I_{EF}) não é necessariamente igual ao nível I_{EF} , uma vez que a análise de solo pode indicar já algum nível do nutriente no solo. Assim, $I_{EF} = I_{EF} +$ nutriente existente no solo. Da mesma maneira, X_{CA} corresponde ao nível de produtividade correspondente à quantidade I_{CA} de nutriente disponível para a planta, que corresponde a $I_{CA} = I_{CA} +$ nutriente existente no solo.

A análise realizada neste estudo foi feita considerando a aplicação dos nutrientes fósforo e potássio no cultivo de soja. Para estimar a produtividade da soja (variável X) foi necessário o conhecimento da função de resposta da soja àqueles nutrientes. Para isto adotou-se algumas funções obtidas de revisão de literatura, descritas nas equações (4) e (5), para fósforo (I_P) e potássio (I_K), descritas, respectivamente, por Souza et al. (2014) e Leal et al. (2015).

$$X = 1,52 + 31,84 * IP - 0,199 * IP^2 \quad (4)$$

$$X = 2,72 + 13,41 * IK - 0,068 * IK^2 \quad (5)$$

Apesar de se estimar a produtividade da soja pelo uso das equações (4) e (5), pode acontecer o valor desta produtividade reduzir muito para cenários onde observamos áreas na lavoura com níveis muito altos do insumo. Isto ocorre porque a função de produção descrita pode não ter considerado níveis tão elevados do nutriente ao ter sido estimada. Entretanto, esta redução grande na produtividade não é realista. Para eliminar este problema foi considerado que para quaisquer níveis de nutriente acima daquele que produz o ponto de produtividade máxima do produto irá retornar a produtividade máxima. Este é um pressuposto mais realista do que a redução de produtividade observada ao calculá-la. Corroborando com isto, o estudo descrito por Cerrato & Blackmer (1990), mostram que a função quadrática com platô, que foi o modelo feito com o procedimento descrito anteriormente, é o melhor modelo para resposta das plantas à produtividade.

Para definir os níveis de adubação necessários em cada condição de solo (variáveis IP e IK) foi utilizado os níveis de adubação que originam o ponto de máximo retorno econômico (PME). Para isto, assim como para estimar os resultados oriundos da equação (3), há necessidade de estabelecer os preços de produto (P_x) e do insumo (P_i). O nível de insumo para atingir a PME é calculado como descrito na equação (6).

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

Onde a variável “ b ” corresponde ao coeficiente linear da função de produção, sendo representado pelos valores 31,84 e 13,41, respectivamente, nas equações (4) e (5) e a variável “ c ” representa o coeficiente angular, representado pelos valores -0,199 e -0,068, respectivamente, nas equações (4) e (5).

Para os níveis de preços foram considerados quatro cenários, observando o período de janeiro de 2000 a março de 2017: (1) preços médios mensais do período; (2) maior relação entre o preço do produto e o preço do insumo observado; (3) menor relação entre o preço do produto e o preço do insumo observado e (4) menor preço do produto e maior preço do insumo observado no período, independente de terem ocorrido no mesmo tempo. Estes preços foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola (Instituto, 2017) e deflacionados para marcos de 2017 pelo índice geral de preço, disponibilidade interna (IGP-DI), obtidos em Fundação (2017).

A seguir são apresentados os cenários analisados de amostragem de solo. Estes diferentes cenários foram o objeto da análise deste trabalho, sendo os cenários de preços descritos anteriormente apenas uma análise de sensibilidade para os resultados obtidos. Em seguida são descritas as condições de lavoura consideradas para esta análise. Foram consideradas várias lavouras com o objetivo de se identificar as variações nos resultados para diferentes situações.

Cenários de amostragens de solo

Segundo Roy et al. (2006), para obter uma amostragem do solo de uma lavoura heterogênea de boa qualidade deve-se adotar certos padrões de retirada de amostras simples para compor a amostragem geral da lavoura. A Figura 2 descreve alguns padrões de composição das amostras simples considerados mais eficientes por estes autores para compor a amostra da lavoura. São eles: retirada de amostras aleatórias, em zigzag e amostragem de subáreas, esta última recomendada por àqueles autores para áreas muito extensas.

Procedendo a retirada de amostras na lavoura com os métodos descritos na Figura 2 tem-se uma média ponderada da fertilidade geral desta área para uma recomendação de adubação.

Nas amostragens realizadas como mostrado na Figura 2 cobre-se toda a lavoura e, desta maneira, tem-se mais acertadamente o valor da média ponderada da fertilidade da área pela média simples destes pontos².

Assim, a hipótese deste trabalho é que esta seria uma amostragem economicamente mais eficiente e considerou-se que todas as amostras descritas para as lavouras trabalhadas foram obtidas desta maneira. Esta forma de amostragem, de pontos igualmente espaçados em toda a lavoura, foi então definida como “EF” nas equações de (1) a (3).

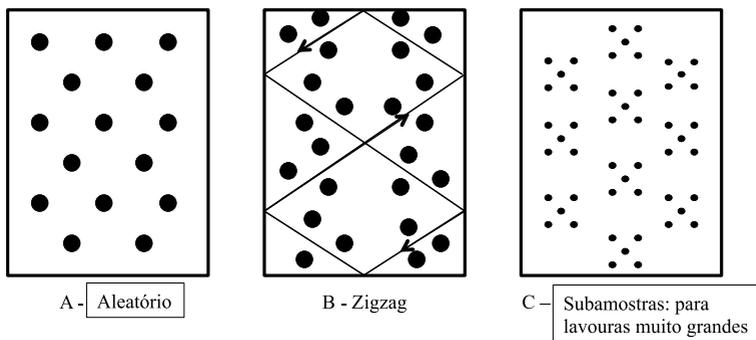


Figura 2 – Representação de retirada de amostras simples para compor a amostragem de uma lavoura

Fonte: Roy et al. (2006).

Este tipo de amostragem foi comparado com os seguintes cenários de amostragem (CA), representados como “CA” naquelas mesmas equações: (i) amostragens simples considerando apenas as regiões mais férteis da lavoura e abrangendo 50% da área da mesma; (ii) amostragens simples considerando apenas as regiões menos férteis da lavoura e abrangendo 50% da área da

² Áreas mais extensas com mesmos níveis de fertilidade terão maior número de amostras e áreas menores menor número, de maneira que a média simples dos pontos amostrados já pondera esta diferença.

mesma; (iii) amostragens simples considerando apenas as regiões mais férteis da lavoura mas abrangendo apenas 20% da área da mesma; (iv) amostragens simples considerando apenas as regiões menos férteis da lavoura mas abrangendo apenas 20% da área da mesma; (v) duas amostragem simples, sendo uma no ponto mais fértil e outra no menos fértil da lavoura e; (vi) amostragens simples considerando apenas parte das regiões mais e menos férteis da lavoura, abrangendo 40% da área da mesma (20% para as áreas mais férteis e 20% para as áreas menos férteis).

Cenários de lavouras

Para realizar as análises descritas anteriormente é necessário estabelecer as condições de solo para a lavoura. Algumas categorias de lavouras foram consideradas para este propósito, com diferentes níveis de variabilidade espacial dos macronutrientes analisados. Os cenários de lavoura com variabilidades distintas foram obtidos de análises de solo reais observadas nos estudos descritos na Tabela 1. Foram utilizadas as lavouras descritas nestes estudos que apresentavam valores médios, mínimos e máximos para os nutrientes, assim como o coeficiente de variação das amostragens feitas³. As Figuras 3 e 4 mostram as variabilidades observadas nestas lavouras, respectivamente, para fósforo e potássio. Nestas figuras é apresentado o valor de zero (0) como limite inferior e o maior valor observado nos trabalhos apresentados na Tabela 1 como limite superior (eixo horizontal). A barra horizontal representa a extensão na variação desta fertilidade.

Assim, para o fósforo, as maiores extensões foram observadas nos trabalhos de Santos et al. (2012), Carvalho et al. (2002) e Souza (2006). As lavouras descritas por Zonta et al. (2014) e Dalchiavon et al. (2013) apresentam variações menos expressivas. Já para o potássio, as maiores variações foram observadas nas lavouras descritas por Souza (2006), Santos et al. (2012) e Mattioni et al. (2013). As menores variações de potássio foram observadas nas lavouras descritas por Zonta et al. (2014) e Oliveira et al. (2009).

Comparando estes resultados com os níveis descritos em vários manuais de adubação (Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004; Manual, 2004; Oliveira, 2003; Raji et al., 1996 e Malavolta, 1989) como baixo, médio e altos destes nutrientes no solo⁴, verifica-se altos níveis de potássio na maioria dos solos descritos na Figura 4. Nestes manuais, valor médio de 2,5 mmolc dm⁻³ de potássio no solo o classifica como sendo solo rico neste nutriente. Já para o fósforo, o valor médio considerado como sendo alto, cerca de 25 mg dm⁻³,⁵ foi observado em poucas das lavouras a serem trabalhadas, como pode ser observado na Figura 3.

³Esta condição foi estabelecida pois estas informações são necessárias para a representação do solo no estudo.

⁴Este valor depende da CTC (capacidade de carga catiônica) do solo.

⁵Este valor depende do teor de argila do solo. Este valor é para solos de textura média.

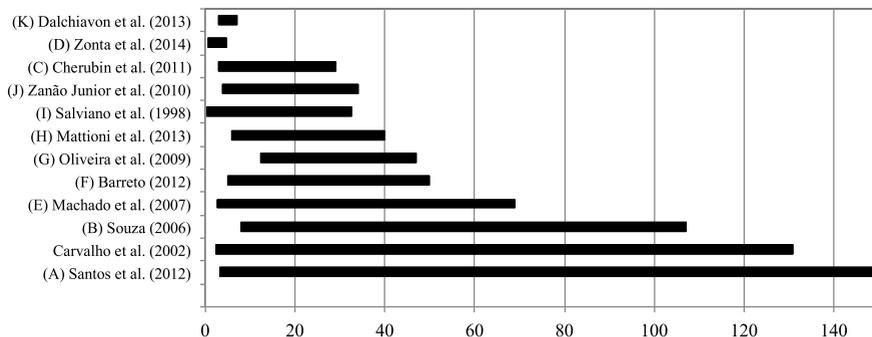


Figura 3 – Valores mínimos e máximos de fósforo (P), em mg dm⁻³, para diferentes tipos de solos e regiões no Brasil

Fonte: elaborado pela autora.

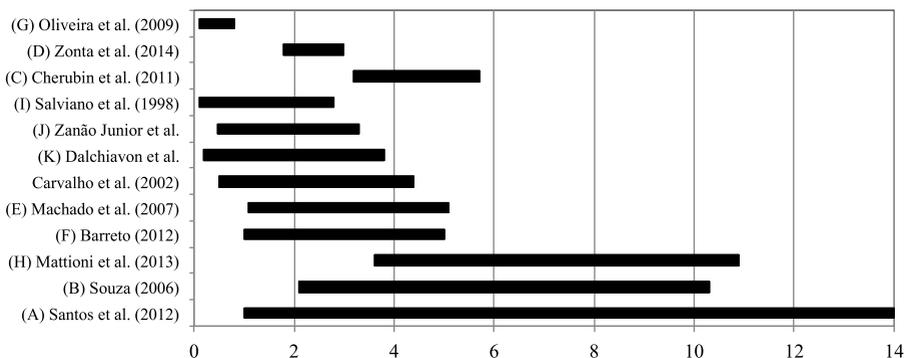


Figura 4 – Valores mínimos e máximos de potássio (K), em mmolc dm⁻³, para diferentes tipos de solos e regiões no Brasil

Fonte: elaborado pela autora.

Para as análises realizadas neste estudo foram consideradas lavouras com as características de alcance dos níveis de fertilidade exibidas nas 11 condições de lavoura apresentadas nas Figuras 3 e 4. Elas foram identificadas nos resultados descritos na próxima sessão pelas letras de (A) a (K). Estas mesmas letras estão descritas na frente das referências mostradas no eixo vertical nas Figuras 3 e 4. As referências indicam os trabalhos onde as mesmas foram obtidas, e que foram utilizadas neste estudo apenas como uma base para aplicação dos métodos e obtenção dos resultados. Assim, a lavoura (A) é a descrita no trabalho de Santos et al. (2012), a lavoura (B) é a descrita por Souza (2006) e assim sucessivamente, até a lavoura (K), que é descrita por Dalchiavon et al. (2013). O número de amostras utilizado em cada lavoura variou entre: 126 amostras na lavoura (A); 98 na lavoura (B); 39 na lavoura (C); 90 na lavoura (D); 121 na lavoura (E); 15 na lavoura (F); 120 na lavoura (G); 60 na lavoura (H); 140 na lavoura (I); 121 na lavoura (J) e; 120 na lavoura (K).

Para distribuir os níveis de fertilidade em cada amostra entre os limites mínimo e máximo de cada lavoura foi necessário um tratamento adicional dos dados. Como esta informação não está disponível naqueles trabalhos, a distribuição foi feita da seguinte maneira: Para o mesmo número de amostras utilizadas no estudo, foi feito o preenchimento linear com valores entre os limites mínimo e máximo encontrados para cada nutriente. A seguir foi calculada a média e o coeficiente de variação destas amostras. Como estes dois valores não foram os mesmos para os dados do experimento, foi aplicado o método iterativo⁶ de maneira que as quantidades dos nutrientes nas amostras se ajustassem para apresentar os mesmos valores de média e de coeficiente de variação descrito pelos autores. Com isto obteve-se dados amostrais para cada trabalho com os mesmos número de amostras, limites, médias e coeficientes de variação. As Tabelas A.1 e A.2 do Anexo mostram as informações utilizadas de fertilidade para cada lavoura e amostra.

Resultados e Discussão

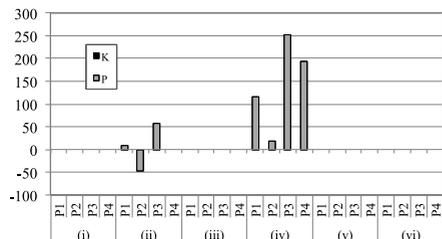
Os resultados do ganho de lucro para o produtor (I) são apresentados por lavoura analisada nos gráficos de (A) a (K) na Figuras 5. Portanto, cada gráfico é resultado da simulação realizada para cada lavoura. Dado a diversidade observada entre as lavouras, verifica-se que condições específicas da lavoura tiveram grande influência na magnitude das variações de lucro que o produtor pode obter ao mudar a amostragem de solo. Verifica-se também nesta figura que os resultados para o potássio foram muito pouco expressivos uma vez que, conforme já descrito no item anterior, os solos obtidos na revisão apresentaram altos níveis deste nutriente e, conseqüentemente, com baixa necessidade de suplementação do mesmo. Desta maneira, a discussão dos resultados foi direcionada para o nutriente fósforo.

Comparando as lavouras utilizadas na simulação, as maiores diferenças do ganho de lucro do produtor, nas mesmas condições de amostragem e preço, ficaram entre: zero e R\$326 ha⁻¹ quando a amostragem de todos os pontos foi comparada ao cenário (v) de amostragem de solo e para cenários (P2) de preços e; entre ganho de lucro de cerca de R\$12 ha⁻¹ até uma redução do mesmo em cerca de R\$48 ha⁻¹ com a amostragem de todos os pontos comparada ao cenário (ii) de amostragem e para cenário (P2) de preços.

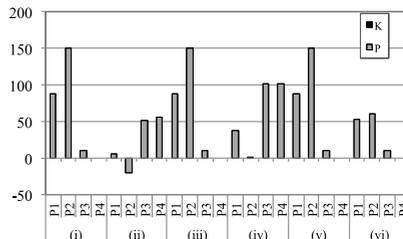
A lavoura que apresentou menor impacto, representado pela variação no lucro do produtor quando modifica sua forma de amostragem, foi a lavoura (D). Nesta lavoura, como pode ser observado na Figura 3, há uma variabilidade muito pequena na fertilidade, assim como na lavoura (K). Entretanto, nesta última, dependendo da amostragem de solo a ser comparada com o sistema de amostragem mais eficiente, aumentos no lucro do produtor na ordem de dezenas de Reais por hectare foram observados. Desta maneira, verifica-se que,

⁶Função "Solver" do Excel.

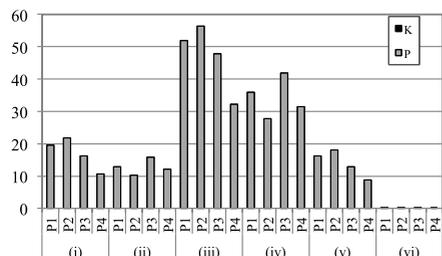
apesar dos maiores ganhos de lucro ao mudar o sistema de amostragem ocorrerem, de maneira geral, nas lavouras com maiores variações na fertilidade dos seus solos, não há um padrão que possa ser generalizado para esta condição. A Figura 6 mostra que lavouras com as maiores variações na fertilidade (indicada pelo coeficiente de variação da fertilidade nas amostragens realizadas) não foram, necessariamente, as que apresentaram os maiores ganhos de lucro. Consequentemente, não se pode traçar uma correlação entre estas duas características.



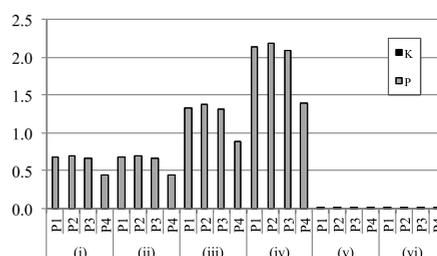
(a) Santos et al. (2012)



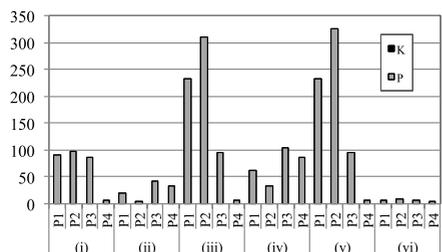
(b) Souza (2006)



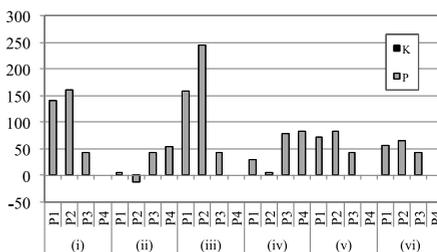
(c) Cherubin et al. (2011)



(d) Zonta et al. (2014)



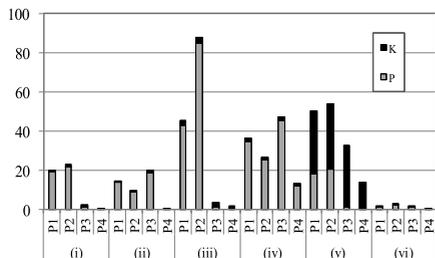
(e) Machado et al. (2007)



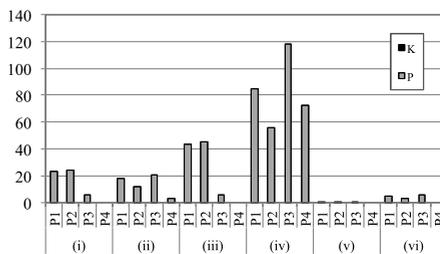
(f) Barreto (2010)

Figura 5 – Ganho de lucro do produtor na produção de soja, em R\$ por hectare, ao alternar a recomendação de adubação com base na amostragem de toda lavoura para amostragens parciais.

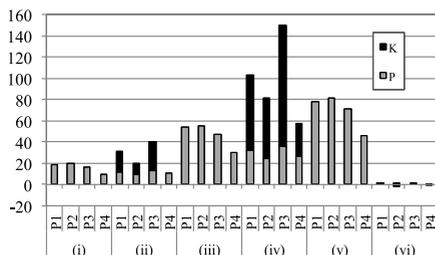
Continua...



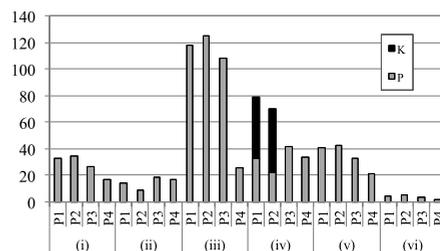
(g) Oliveira et al. (2009)



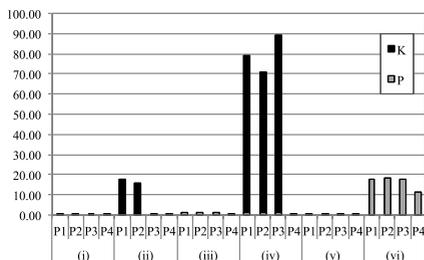
(h) Mattioni et al. (2013)



(i) Salviano et al. (1998)



(j) Zanão Junior et al. (2010)



(k) Dalchiavon et al. (2013)

Figura 5 – Ganho de lucro do produtor na produção de soja, em R\$ por hectare, ao alternar a recomendação de adubação com base na amostragem de toda lavoura para amostragens parciais. (continuação...)

Fonte: Resultados da pesquisa.

Alterando as condições de preços do produto e do insumo os resultados também não seguiram um padrão. Enquanto em algumas lavouras as mudanças nos preços tiveram pouco impacto no ganho de lucro do produtor, como nas lavouras (C), (D) e (K) para fósforo, outras mostraram que a mudança nos níveis de preços pode alterar os resultados. As maiores variações no ganho de lucro ao mudar o cenário de preço foram observadas para as lavouras (A); (B); (E); (F) e (G). Os maiores ganhos de lucro foram, na maioria dos casos, para os cenários de preços médio e alto do produto agrícola (cenários P1 e P2).

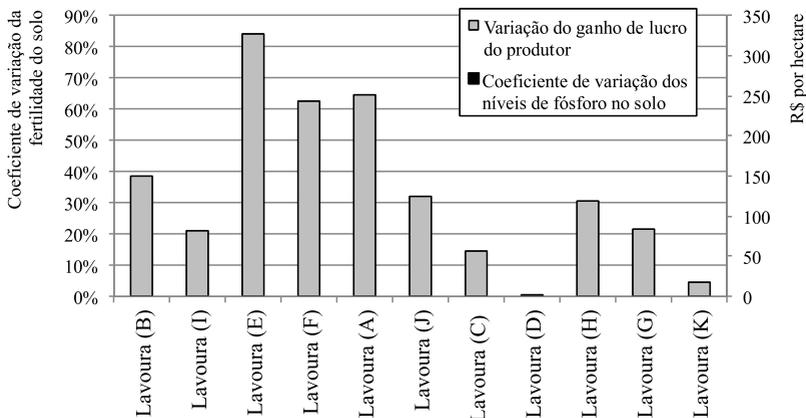


Figura 6 – Coeficiente de variação (%) do nível de fertilidade dos solos analisados em relação ao fósforo e ganho de lucro do produtor (valor máximo entre os cenários analisados) devido a amostragem realizada para recomendação de adubação

Fonte: Resultados da pesquisa.

Portanto, apesar das mudanças nas características da lavoura e nos cenários de preços influenciarem nos resultados, não foi possível identificar as variáveis que preveem os diferentes comportamentos. Entretanto, o resultado mais significativo e que pode ser identificado para todos os casos analisados é que o ganho de lucro pela amostragem ponderando todas as variações de fertilidade observadas na lavoura foi, sem dúvidas, o método economicamente mais eficiente⁷. Entre os demais métodos de amostragem analisados, observou-se que àquele que foi o menos eficiente em quase todas as lavouras e cenários de preços foi o que utilizou a menor quantidade de informações da lavoura e considerando apenas um dos extremos da fertilidade da lavoura: amostras das áreas mais ou menos férteis, apresentados nos cenários de (i) a (iv).

Nos cenários (i) e (ii) estes extremos foram utilizados para amostragem, mas considerando metade de toda a área da lavoura. Como pode ser observado nos gráficos da Figura 5, dependendo da lavoura, se a amostragem for feita apenas nas áreas mais ou menos férteis, mas cobrindo 50% da lavoura, o produtor poderia ter perdas (ou deixaria de obter lucro) em relação a se considerar todos os pontos da lavoura de cerca de R\$100-R\$150 ha⁻¹, como pode ser observado nas lavouras (B), (F) e (E). Estes casos ocorreram para a amostragem das áreas mais férteis. Mas com impactos de menores magnitudes podemos observar perdas de lucro para o produtor amostrando 50% da lavoura e nas áreas com

⁷Com apenas três exceções, no conjunto de mais de 500 resultados obtidos (menos de 1%), a amostragem considerando todas as variações apresentou uma redução no lucro para o produtor em relação a outro tipo de amostragem. Para estes três casos observados, a amostragem mais eficiente foi a descrita no cenário (ii) e para o cenário de preço (P2).

menos fertilidade em relação à consideração de todos os pontos da lavoura, como nas lavouras (I), (J), (K), (G), (H), além das já descritas anteriormente: lavouras (B), (F) e (E). Nestes casos, o produtor deixaria de lucrar cerca de R\$20 ha⁻¹ se utilizar apenas amostras de 50% da lavoura ou invés de toda a lavoura.

Entretanto, quando comparamos o cenário de amostragem mais eficiente com àqueles onde reduzimos a quantidade de informações dos extremos, passando de 50% da lavoura para apenas 20% da mesma (cenários iii e iv), o resultado de ganho de lucro para o produtor aumentou em praticamente todas as lavouras analisadas. Nestes casos, dependendo da lavoura e cenário de preços, os valores de ganho no lucro ao utilizar o método mais eficiente podem até duplicar em relação à amostragem de 50% da lavoura. De um lado, as perdas foram maiores ao amostrar apenas as áreas mais férteis nas lavouras (E), (F), (C), e apenas para o fósforo nas lavouras (I) e (J). Por outro lado, observou-se perdas maiores na amostragem apenas das áreas menos férteis, cobrindo apenas 20% da lavoura, nas lavouras (A), (D), (H) e para potássio nas lavouras (I), (J) e (K). Desta maneira, não se pode concluir que há um padrão onde as perdas em relação ao método mais eficiente é menor: se a amostragem é feita apenas em áreas mais ou menos férteis.

Os dois últimos cenários de amostragem, comparados com a amostragem considerada mais eficiente, consideraram tanto as amostras mais férteis como as menos férteis da lavoura. No cenário (v) utilizou-se apenas uma amostra de cada extremo de fertilidade da lavoura e no cenário (vi) utilizou-se as áreas de extremo em termos da fertilidade, mas para 20% da lavoura em cada um destes extremos. Uma vez que o cenário (vi) considerou um número maior de amostras, esperava-se que o ganho de lucro deste cenário em relação ao mais eficiente fosse menos expressivo do que o observado no cenário (v), o que foi, de maneira geral, observado na Figura 5.

Logo, os resultados obtidos mostram como o produtor pode aumentar sua renda líquida apenas com cuidados na amostragem de solo utilizada para proceder à recomendação de adubação. Utilizando o máximo de pontos possíveis, igualmente espaçados de maneira a abranger todas as variações na lavoura, como já preconizado em Roy et al. (2006), o lucro por hectare pode aumentar em dezenas ou centenas de Reais ao ano. Os maiores ganhos de lucro estimados neste trabalho apenas com mudança no sistema de amostragem de solo, considerando os cenários analisados, foram da ordem de R\$300,00 ha⁻¹. Dado que o lucro médio do produtor de soja para as principais regiões produtoras do país na safra 2016/17⁸ foi da ordem de R\$1.000 ha⁻¹ (Informa, 2017), tem-se que, para as lavouras analisadas, apenas com os cuidados na forma de amostragem do solo o produtor pode ter um variação de até 30% no seu lucro total.

⁸Valor médio do resultado da produção da soja descrito em Informa (2017) para as principais regiões produtoras do país, exceto São Paulo, cujo valor é descrito como sendo mais do que o dobro da média.

Conclusões

Conclui-se que uma análise de solo que considera amostragens em toda a gama de fertilidade existente em uma lavoura pode gerar ganhos financeiros para o produtor. A magnitude deste ganho depende de características da lavoura, preços de mercado e do tipo de amostragem menos eficiente ao qual se está comparando. Nas simulações realizadas, onde foram considerados vários cenários de lavoura, preços e amostragens, estes ganhos foram da ordem de dezenas e alcançando centenas de Reais por hectare por safra agrícola. Os resultados indicam que, nas condições das lavouras analisadas, o produtor pode ter uma variação do seu lucro total em até 30% ao alterar o método de amostragem do solo para adubação. Verificou-se também que o uso de amostras nas regiões de maior e menor fertilidade da lavoura aproximam muito os resultados daquele mais eficiente.

Como hipóteses limitadoras dos resultados deste trabalho tem-se que: se referem às condições de algumas lavouras e; adotou-se uma função de produção como referência para o comportamento da produtividade da soja para os macronutrientes fósforo e potássio que pode ser diferente para diferentes condições edafoclimáticas. Como sugestão de trabalhos futuros, tem-se o estudo mais detalhado dos fatores condicionantes para a variação nos resultados obtidos em diferentes lavouras. O grau de variação e o coeficiente de variação da fertilidade das lavouras não foram observados como fatores determinantes para os resultados.

A amostragem de solo como descrita neste trabalho é realizada para se proceder a aplicação uniforme do fertilizante em uma lavoura. Entretanto, têm ocorrido uma evolução onde técnicas de aplicação variada, inseridas dentro do contexto da agricultura de precisão, vem sendo adotadas. Neste contexto, trabalhos procuram estimar ganhos oriundos da aplicação variada em detrimento à uniforme. Os resultados deste trabalho mostram que esta comparação entre as técnicas de aplicação de fertilizante depende de uma explícita descrição do método de amostragem realizado para a aplicação uniforme. Uma vez que foi observado ganhos de renda para o produtor rural ao mudar o método de amostragem, ganhos inicialmente atribuídos à aplicação variada podem ser obtidos apenas com ajustes de amostragem, caso esta não tenha sido a mais eficiente na comparação entre aplicação uniforme e variada de fertilizante.

Referências Bibliográficas

ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.2, p.141-149. Campina Grande, 2014.

BARRETO, H.B.F. Variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produção de arroz vermelho no Vale do Apodi-RN. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2012.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. Agronomy Journal, v.82, 1990.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; BASSO, C.J.; EITELWEIN, M.T.; VIAN, A.L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. Revista Enciclopédia Biosfera, Centro Científica Conhecer, v.7, n.13, p.196-210. Goiânia, 2011.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Sugarcane productivity correlated with physical-chemical attributes to create soil management zone. Revista Ceres, v.60, n.5, p.706-714. Viçosa, 2013.

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. 2017.

INFORMA ECONOMICS FNP. Disponível em: <http://www.informaecon-fnp.com/publicacoes/anuarios/agrianual>. Agrianual online. Acesso em: 18 de maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Economia. Sistema de Contas Nacionais. Contas Nacionais. Disponível em:<http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/2014/default.shtm>. Acesso em: 17 de maio 2017.

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. 2017.

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, Rio Verde, v.08, n.01, p. 19-30, 2015.

MACHADO, L.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; FERREIRA, C.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.591-599, 2007.

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.

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. *Revista da FZVA*, v.19, n.1, p.20-32. Uruguiana, 2013.

MOLIN, J.P.; VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; FAULIN, G.D.C.; MASCARIN, L. Variabilidade espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p.309-324, 2007.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogêneo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30 p.839-847, 2006.

JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; FAULIN, G.D.C.; MASCARIN, L. Variabilidade espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p.309-324, 2007.

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).

OLIVEIRA, P.C.G.; FARIAS, P.R.S.; LIMA, H.V.; FERNANDES, A.R.; OLIVEIRA, F.A.; PITA, J.D. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citrus na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.6, p.708-715. Campina Grande, 2009.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROY, R.N.; FINCK, A.; BLAIR, G.J.; TANDON, H.L.S. Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p.115-122, 1998.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L.R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.10, p.1062-1068. Campina Grande, 2012.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JÚNIOR, J. MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. Ciência Rural, v.37, n.2, p.401-407. Santa Maria, 2007.

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, C.K. Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Junho, 2006.

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.

VIEIRA, S.R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M.K.; MELLIS, E.V.; DECHEN, S.C.F.; DE MARIA, I.C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 5, p.1503-1514, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p.389-400, 2010.

ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.6, p.595-602, 2014.

Anexo

Tabela A.1 – Valores dos níveis de fósforo, em mg dm⁻³, estimado em cada amostra de solo para as lavouras analisadas, identificadas pelas letras de “A” a “K”

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	3.3	8.0	2.8	5.0	12.4	6	0.5	4.0	3.0	0.6	3.0
2	3.3	8.0	2.8	6.2	12.4	7.3	0.5	4.0	3.4	0.7	3.0
3	3.3	8.0	2.8	7.9	12.4	8.3	0.5	4.0	4.0	0.7	3.0
4	3.3	8.0	2.8	9.3	13.2	9.4	0.5	4.0	4.6	0.8	3.0
5	3.3	8.0	2.8	10.6	14.0	10.5	0.5	4.1	5.2	0.8	3.0
6	3.3	8.0	2.8	11.9	14.8	11.5	0.5	4.3	5.7	0.9	3.0
7	3.3	8.0	2.8	13.4	15.6	12.6	0.5	4.4	6.3	0.9	3.0
8	3.3	8.0	2.8	15.2	16.4	13.6	0.5	4.6	6.8	1.0	3.1
9	3.3	8.0	2.8	17.7	17.2	14.6	0.5	4.7	7.3	1.0	3.1
10	3.3	8.0	2.8	21.0	18.0	15.6	0.5	4.9	7.8	1.1	3.1
11	3.3	8.0	2.8	25.6	18.8	16.6	0.5	5.0	8.3	1.1	3.2
12	3.3	8.0	2.8	31.7	19.6	17.5	0.5	5.2	8.8	1.2	3.2
13	4.3	8.0	3.0	39.6	20.4	18.5	0.5	5.3	9.3	1.2	3.2
14	5.4	8.0	3.4	50.0	20.8	19.4	0.5	5.5	9.8	1.3	3.3
15	6.5	8.0	3.9	50.0	20.8	20.3	0.5	5.6	10.2	1.3	3.3
16	7.6	8.0	4.3		20.8	21.2	0.5	5.8	10.7	1.4	3.3
17	8.6	8.0	4.7		20.8	22.0	0.5	5.9	11.1	1.4	3.3
18	9.6	8.0	5.0		20.9	22.8	0.5	6.1	11.6	1.5	3.4
19	10.6	8.0	5.4		20.9	23.6	0.5	6.2	12.0	1.5	3.4
20	11.6	8.0	5.5		20.9	24.3	0.5	6.3	12.4	1.6	3.4
21	12.6	8.0	5.8		20.9	25.0	0.7	6.5	12.8	1.6	3.5
22	13.6	8.0	6.2		21.0	25.0	0.9	6.6	13.2	1.7	3.5
23	13.7	8.0	6.5		21.0	25.0	1.1	6.7	13.6	1.8	3.5
24	14.5	8.7	6.9		21.0	25.1	1.3	6.9	14.0	1.8	3.6
25	15.1	8.7	7.2		21.1	25.2	1.6	7.0	14.3	1.9	3.6
26	15.1	9.2	7.2		21.1	25.4	1.8	7.1	14.7	1.9	3.6
27	15.4	9.5	7.5		21.2	25.5	2.0	7.2	15.0	1.9	3.6
28	16.4	10.2	7.9		21.2	25.7	2.2	7.4	15.3	2.0	3.7
29	17.3	11.0	8.2		21.3	25.7	2.4	7.5	15.6	2.0	3.7
30	18.2	11.7	8.3		21.3	25.9	2.5	7.6	15.7	2.1	3.7
31	18.3	12.4	8.5		21.3	26.1	2.7	7.7	15.8	2.1	3.8
32	18.7	13.1	8.8		21.4	26.3	2.7	7.9	16.0	2.2	3.8
33	19.1	13.7	8.8		21.5	26.3	2.9	8.0	16.2	2.2	3.8
34	19.9	14.1	9.1		21.5	26.6	3.1	8.1	16.4	2.3	3.8
35	20.8	14.4	9.5		21.6	26.8	3.3	8.2	16.5	2.3	3.9
36	21.0	15.1	9.8		21.7	26.9	3.5	8.3	16.6	2.4	3.9
37	21.7	15.7	10.1		21.7	27.1	3.6	8.5	16.6	2.4	3.9
38	23.3	16.3	10.3		21.9	27.4	3.6	8.6	29.0	2.5	3.9
39	24.2	16.8	10.4		21.9	27.4	3.8	8.7	29.0	2.5	4.0
40	25.8	16.9	10.7		22.1	27.7	3.9	8.8		2.6	4.0
41	26.0	17.0	11.3		22.1	27.9	4.0	9.0		2.6	4.0
42	26.7	17.6	11.6		22.1	28.0	4.2	9.1		2.6	4.0
43	27.5	18.2	11.7		22.3	28.3	4.3	9.2		2.7	4.1
44	27.5	18.8	11.9		22.3	28.4	4.5	9.3		2.7	4.1
45	28.3	19.4	12.2		22.5	28.5	4.5	9.4		2.8	4.1
46	29.1	20.0	12.5		22.5	28.6	4.7	9.6		2.8	4.1
47	29.9	20.6	12.8		22.7	28.8	4.8	9.7		2.8	4.1
48	30.7	21.2	13.1		22.8	28.9	4.9	9.8		2.9	4.1
49	31.4	21.8	13.1		22.9	29.2	5.0	10.0		2.9	4.1
50	31.5	22.4	13.4		23.0	29.2	5.2	10.1		2.9	4.1
51	32.2	22.8	13.7		23.1	29.6	5.3	10.2		3.0	4.1
52	32.2	23.0	14.0		23.1	29.6	5.3	10.3		3.0	4.1
53	33.0	23.6	14.3		23.4	29.9	5.5	10.5		3.0	4.1

Tabela A.1 – continuação...

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
54	33.8	24.2	14.4		23.4	29.9	5.6	10.6		3.1	4.1
55	34.5	24.8	14.6		23.7	30.1	5.8	10.7		3.1	4.1
56	35.1	25.3	14.9		23.7	30.3	5.9	10.9		3.2	4.1
57	35.3	25.9	15.0		23.8	30.3	6.0	11.0		3.2	4.1
58	36.1	26.3	15.2		23.9	30.5	6.1	11.2		3.2	4.1
59	36.1	26.5	15.5		24.0	30.6	6.1	11.3		3.3	4.1
60	36.8	27.1	15.6		24.2	40	6.3	11.4		3.3	4.1
61	37.6	27.7	15.8		24.4		6.4	11.6		3.3	4.1
62	38.3	28.3	16.1		24.5		6.6	11.7		3.4	4.1
63	38.5	28.6	16.4		24.7		6.7	11.9		3.4	4.1
64	39.1	28.9	16.8		24.8		6.7	12.0		3.4	4.1
65	39.3	29.3	16.8		24.9		6.8	12.2		3.4	4.1
66	39.9	29.3	17.1		25.2		6.9	12.4		3.5	4.2
67	40.6	29.6	17.4		25.2		7.0	12.5		3.5	4.2
68	41.4	30.2	17.7		25.5		7.2	12.7		3.5	4.2
69	41.5	30.8	17.9		25.6		7.3	12.8		3.5	4.2
70	42.1	31.4	18.1		25.7		7.3	13.0		3.6	4.2
71	42.9	32.0	18.4		25.9		7.3	13.0		3.6	4.2
72	43.6	32.6	18.7		26.2		7.4	13.2		3.6	4.2
73	44.4	33.0	19.1		26.3		7.5	13.4		3.6	4.3
74	44.4	33.3	19.4		26.4		7.6	13.5		3.7	4.3
75	45.1	33.9	19.8		26.6		7.7	13.7		3.7	4.3
76	45.9	34.0	20.0		26.7		7.9	13.9		3.7	4.3
77	46.6	34.5	20.1		27.0		8.0	14.1		3.7	4.3
78	47.0	35.1	20.5		27.2		8.0	14.3		3.7	4.4
79	47.3	35.6	20.8		27.3		8.2	14.4		3.7	4.4
80	48.1	35.7	20.9		27.4		8.3	14.6		3.8	4.4
81	48.8	35.8	21.2		27.8		8.5	14.8		3.8	4.4
82	49.3	36.3	21.6		27.9		8.6	15.0		3.8	4.5
83	49.5	36.9	21.8		28.2		8.6	15.2		3.8	4.5
84	50.3	37.3	21.9		28.3		8.9	15.4		3.8	4.5
85	51.0	37.5	22.3		28.4		9.0	15.6		3.8	4.5
86	51.7	38.0	22.6		24.8		9.1	15.8		3.8	4.8
87	52.4	38.5	23.0		24.7		9.2	16.0		3.8	4.9
88	53.1	38.6	23.3		24.8		9.3	16.2		3.9	5.1
89	53.4	39.1	23.4		24.8		9.5	16.5		3.9	5.1
90	53.8	39.6	23.7		24.8		9.6	16.7		4.7	5.1
91	54.5	40.0	24.0		27.7		9.6	16.9			5.2
92	55.1	40.5	24.2		29.9		9.7	17.1			5.2
93	55.2	40.8	24.4		30.2		9.9	17.3			5.2
94	55.9	41.1	24.7		30.5		10.0	17.5			5.2
95	56.6	107	24.8		30.7		10.1	17.7			5.2
96	56.7	107	25.1		30.7		10.3	18.0			5.3
97	57.2	107	25.4		31.2		10.4	18.2			5.3
98	57.9	107	25.7		31.3		10.6	18.4			5.3
99	58.1		25.9		31.5		10.7	18.6			5.3
100	58.5		26.0		31.8		10.7	18.7			5.3
101	59.1		26.3		32.1		10.8	18.8			5.4
102	59.7		26.3		32.3		10.9	19.2			5.4
103	60.3		26.5		32.3		11.1	19.4			5.4
104	60.5		26.7		32.9		11.1	19.6			5.4
105	60.9		26.8		33.0		11.2	19.8			5.4
106	61.4		27.0		33.5		11.3	20.0			5.4
107	61.4		27.0		33.8		11.4	20.1			5.5
108	62.0		27.2		34.0		11.5	20.2			5.5
109	62.3		27.4		34.4		11.6	20.4			5.5
110	62.4		27.5		34.6		11.7	20.5			5.5
111	62.9		27.5		35.1		11.8	20.7			5.5
112	63.0		27.6		35.3		11.9	20.8			5.5

Tabela A.1 – continuação...

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
113	63.3		27.7		35.7		11.9	21.0			5.5
114	63.7		27.7		35.9		12.0	21.1			5.5
115	64.1		27.7		36.3		12.1	34.0			5.6
116	64.4		27.8		28.0		12.1	34.0			5.6
117	64.7		32.6		24.6		12.2	34.0			5.6
118	64.9		69.1		47.0		12.3	34.0			5.6
119	65.1		69.1		47.0		12.3	34.0			5.6
120	65.2		69.1		47.0		12.4	34.0			7.0
121	65.2		69.1				12.4	34.0			
122	65.3						12.5				
123	65.3						12.6				
124	151						12.7				
125	151						12.8				
126	151						12.8				
127							12.8				
128							12.9				
129							13.0				
130							13.0				
131							13.0				
132							13.1				
133							13.1				
134							13.1				
135							13.1				
136							13.1				
137							32.5				
138							32.5				
139							32.5				
140											
Média	39	25	17	21	25	24	7.5	13	12	2,6	4,3

Notas: A – Santos et al. (2012); B - Souza (2006); C - Machado et al. (2007); D - Barreto (2010); E - Oliveira et al. (2009); F - Mattioni et al. (2013); G - Saviano et al. (1998); H - Zanão Junior et al. (2010); I - Cherubin et al. (2011); J - Zonta et al. (2014); K - Dalchiavon et al. (2013).

Tabela A.2 – Valores dos níveis de potássio, em mmolc dm-3, estimado em cada amostra de solo para as lavouras analisadas, identificadas pelas letras de “A” a “K”

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	2.1	1.0	1.1	1.0	0.1	3.60	0.10	0.5	3.2	1.8	0.2
2	3.3	1.0	1.2	1.0	0.1	3.60	0.11	0.5	3.6	1.8	0.2
3	3.4	1.0	1.3	1.2	0.1	3.65	0.13	0.5	3.7	1.9	0.2
4	3.5	1.0	1.3	1.4	0.1	3.76	0.15	0.5	3.7	1.9	0.3
5	3.6	1.0	1.3	1.6	0.1	3.86	0.17	0.6	3.8	1.9	0.3
6	3.7	1.0	1.4	1.8	0.1	3.97	0.18	0.6	3.9	1.9	0.3
7	3.7	1.0	1.4	2.0	0.1	4.08	0.20	0.6	3.9	1.9	0.3
8	3.8	1.0	1.5	2.1	0.1	4.19	0.21	0.6	4.0	1.9	0.4
9	3.8	1.0	1.5	2.3	0.1	4.29	0.23	0.7	4.1	1.9	0.4
10	3.9	1.1	1.5	2.5	0.1	4.40	0.25	0.7	4.1	1.9	0.4
11	4.0	1.1	1.6	2.7	0.1	4.51	0.26	0.7	4.2	2.0	0.4
12	4.0	1.2	1.6	2.9	0.1	4.61	0.28	0.7	4.2	2.0	0.4
13	4.1	1.3	1.6	3.1	0.1	4.71	0.29	0.7	4.3	2.0	0.5
14	4.1	1.4	1.7	3.8	0.1	4.82	0.31	0.8	4.4	2.0	0.5
15	4.1	1.5	1.7	5.0	0.1	4.92	0.32	0.8	4.4	2.0	0.5
16	4.1	1.5	1.7		0.1	5.02	0.34	0.8	4.5	2.0	0.5

Tabela A.2 – continuação...

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
17	4.1	1.6	1.8		0.1	5.03	0.35	0.8	4.5	2.0	0.6
18	4.1	1.7	1.8		0.1	5.12	0.37	0.9	4.6	2.0	0.6
19	4.1	1.7	1.8		0.1	5.22	0.38	0.9	4.7	2.0	0.6
20	4.1	1.8	1.9		0.1	5.32	0.39	0.9	4.7	2.1	0.6
21	4.1	1.9	1.9		0.1	5.42	0.41	0.9	4.7	2.1	0.6
22	4.1	1.9	2.0		0.1	5.51	0.42	0.9	4.8	2.1	0.6
23	4.1	2.0	2.0		0.1	5.54	0.44	1.0	4.8	2.1	0.7
24	4.1	2.0	2.0		0.1	5.61	0.45	1.0	4.9	2.1	0.7
25	4.1	2.1	2.1		0.1	5.71	0.46	1.0	4.9	2.1	0.7
26	4.1	2.1	2.1		0.1	5.80	0.48	1.0	5.0	2.1	0.7
27	4.2	2.2	2.1		0.1	5.89	0.49	1.0	5.0	2.1	0.7
28	4.2	2.2	2.2		0.1	5.98	0.50	1.1	5.1	2.2	0.8
29	4.2	2.3	2.2		0.1	5.98	0.52	1.1	5.1	2.2	0.8
30	4.2	2.3	2.2		0.1	6.07	0.53	1.1	5.2	2.2	0.8
31	4.2	2.4	2.3		0.1	6.16	0.54	1.1	5.2	2.2	0.8
32	4.2	2.4	2.3		0.1	6.25	0.55	1.2	5.3	2.2	0.8
33	4.2	2.5	2.3		0.1	6.33	0.57	1.2	5.3	2.2	0.8
34	4.2	2.5	2.4		0.1	6.42	0.58	1.2	5.3	2.2	0.9
35	4.2	2.6	2.4		0.1	6.50	0.59	1.2	5.6	2.2	0.9
36	4.2	2.6	2.4		0.1	6.58	0.61	1.2	5.7	2.2	0.9
37	4.2	2.6	2.4		0.2	6.66	0.62	1.3	5.7	2.3	0.9
38	4.2	2.7	2.5		0.2	6.74	0.63	1.3	5.7	2.3	0.9
39	4.2	2.7	2.5		0.2	6.81	0.64	1.3	5.7	2.3	0.9
40	4.2	2.8	2.5		0.2	6.88	0.66	1.3		2.3	1.0
41	4.2	2.8	2.6		0.2	6.96	0.67	1.3		2.3	1.0
42	4.2	2.9	2.6		0.2	7.03	0.68	1.4		2.3	1.0
43	4.2	2.9	2.6		0.2	7.09	0.69	1.4		2.3	1.0
44	4.2	2.9	2.7		0.2	7.16	0.71	1.4		2.3	1.0
45	4.2	3.0	2.7		0.2	7.19	0.72	1.4		2.3	1.0
46	4.2	3.0	2.7		0.2	7.22	0.73	1.4		2.3	1.1
47	4.2	3.1	2.7		0.2	7.28	0.75	1.5		2.3	1.1
48	4.2	3.1	2.7		0.2	7.34	0.76	1.5		2.4	1.1
49	4.2	3.2	2.8		0.2	7.40	0.77	1.5		2.4	1.1
50	4.2	3.2	2.8		0.2	7.45	0.78	1.5		2.4	1.1
51	4.2	3.2	2.8		0.2	7.50	0.80	1.5		2.4	1.1
52	4.2	3.3	2.8		0.2	7.55	0.81	1.6		2.4	1.2
53	4.2	3.3	2.9		0.2	7.60	0.82	1.6		2.4	1.2
54	4.2	3.4	2.9		0.2	7.64	0.83	1.6		2.4	1.2
55	4.2	3.4	2.9		0.2	7.68	0.85	1.6		2.4	1.2
56	4.2	3.5	2.9		0.2	7.72	0.85	1.6		2.4	1.2
57	4.2	3.5	3.0		0.2	7.75	0.86	1.7		2.5	1.3
58	4.2	3.5	3.0		0.2	7.78	0.87	1.7		2.5	1.3
59	4.2	3.6	3.0		0.2	7.81	0.89	1.7		2.5	1.3
60	4.3	3.6	3.0		0.2	10.9	0.90	1.7		2.5	1.3
61	4.3	3.7	3.1		0.2		0.91	1.7		2.5	1.3
62	4.3	3.7	3.1		0.2		0.92	1.8		2.5	1.3
63	4.3	3.7	3.1		0.2		0.93	1.8		2.5	1.4
64	4.3	3.8	3.1		0.2		0.94	1.8		2.5	1.4
65	4.3	3.8	3.1		0.2		0.95	1.8		2.5	1.4
66	4.3	3.8	3.2		0.2		0.97	1.8		2.5	1.4
67	4.3	3.9	3.2		0.2		0.98	1.8		2.5	1.4
68	4.3	3.9	3.2		0.2		0.98	1.9		2.6	1.5
69	4.3	3.9	3.2		0.2		1.00	1.9		2.6	1.5
70	4.3	4.0	3.2		0.2		1.01	1.9		2.6	1.5
71	4.3	4.0	3.3		0.2		1.02	1.9		2.6	1.5
72	4.3	4.0	3.3		0.2		1.04	1.9		2.6	1.5
73	4.3	4.0	3.3		0.2		1.04	1.9		2.6	1.6
74	4.3	4.1	3.3		0.2		1.05	2.0		2.6	1.6
75	4.3	4.1	3.3		0.2		1.06	2.0		2.6	1.6
76	4.3	4.1	3.3		0.2		1.08	2.0		2.6	1.6

Tabela A.2 – continuação...

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
77	4.3	4.1	3.3		0.2		1.09	2.0		2.6	1.6
78	4.3	4.2	3.4		0.2		1.09	2.0		2.6	1.7
79	4.3	4.2	3.4		0.2		1.11	2.0		2.7	1.7
80	4.3	4.2	3.4		0.2		1.12	2.1		2.7	1.7
81	4.3	4.2	3.4		0.2		1.14	2.1		2.7	1.7
82	4.3	4.3	3.4		0.2		1.14	2.1		2.7	1.8
83	4.3	4.3	3.4		0.2		1.15	2.1		2.7	1.8
84	4.3	4.3	3.4		0.2		1.16	2.1		2.7	1.8
85	4.3	4.3	3.5		0.2		1.18	2.1		2.7	1.8
86	4.3	4.3	3.5		0.2		1.19	2.2		2.7	1.8
87	4.3	4.4	3.5		0.2		1.19	2.2		2.7	1.9
88	4.3	4.4	3.5		0.2		1.21	2.2		2.7	1.9
89	4.3	4.4	3.5		0.2		1.22	2.2		2.7	1.9
90	4.3	4.4	3.5		0.2		1.23	2.2		3.0	1.9
91	4.3	4.4	3.5		0.2		1.23	2.2			1.9
92	4.3	4.4	3.5		0.2		1.25	2.2			2.0
93	4.4	4.4	3.5		0.2		1.26	2.3			2.0
94	4.4	4.4	3.5		0.2		1.27	2.3			2.0
95	4.4	4.4	3.5		0.2		1.28	2.3			2.0
96	4.4	4.4	3.5		0.2		1.29	2.3			2.1
97	4.4	14	3.6		0.2		1.30	2.3			2.1
98	4.4		3.6		0.2		1.30	2.3			2.1
99	4.4		3.6		0.2		1.32	2.3			2.1
100	4.4		3.6		0.2		1.33	2.3			2.1
101	4.4		3.6		0.2		1.33	2.3			2.2
102	4.4		3.6		0.2		1.35	2.3			2.2
103	4.4		3.6		0.2		1.36	2.4			2.2
104	4.5		3.6		0.2		1.37	2.4			2.2
105	4.5		3.6		0.2		1.38	2.4			2.3
106	4.5		3.6		0.2		1.39	2.4			2.3
107	4.5		3.6		0.2		1.40	2.4			2.3
108	4.5		3.6		0.2		1.41	2.4			2.3
109	4.5		3.6		0.2		1.41	2.4			2.3
110	4.5		3.6		0.2		1.42	2.4			2.4
111	4.5		3.6		0.2		1.43	2.4			2.4
112	4.5		3.6		0.2		1.44	2.4			2.4
113	4.5		3.6		0.2		1.44	2.4			2.4
114	4.5		3.6		0.2		1.45	2.5			2.4
115	4.5		3.6		0.2		1.46	2.5			3.1
116	4.5		3.6		0.2		1.47	2.5			3.8
117	4.6		3.6		0.2		1.47	2.5			3.8
118	4.6		3.6		0.2		1.48	2.5			3.8
119	4.6		3.6		0.2		1.49	2.5			3.8
120	4.6		3.6		0.8		1.49	2.5			3.8
121	4.6		5.1				1.49	3.3			
122	4.6						1.50				
123	4.6						1.51				
124	4.6						1.51				
125	4.6						1.52				
126	10.3						1.52				
127							1.53				
128							1.53				
129							1.53				
130							1.53				
131							1.53				
132							1.53				
133							1.54				
134							1.54				
135							1.54				

Tabela A.2 – continuação...

# amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
136							1.54				
137							2.41				
138							2.80				
139							2.80				
140							2.80				
Média	4,28	3,2	2,83	2,3	0,18	5,99	1,00	1,66	4,65	2,3	1,42

Notas: A – Santos et al. (2012); B - Souza (2006); C - Machado et al. (2007); D - Barreto (2010); E - Oliveira et al. (2009); F- Mattioni et al. (2013); G - Saviano et al. (1998); H - Zanão Junior et al. (2010); I - Cherubin et al. (2011); J - Zonta et al. (2014); K - Dalchiavon et al. (2013).



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Instrumentação

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Telefone: (16) 2107 2800 - Fax: (16) 2107 2902

www.embrapa.br/instrumentacao



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

