

Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha

Novembro de 2016 (V. 2)

CIRCULAR TÉCNICA 2: Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha

Henry Sako¹;

Marcelo Alves²;

Milton Ferreira Moraes³,

Wilson Wagner Ribeiro Teixeira⁴,

Rodrigo de Oliveira Lima⁵;

Ernesto Akira Shiozaki⁶;

¹Eng Agrônomo Coordenador Técnico do CESB

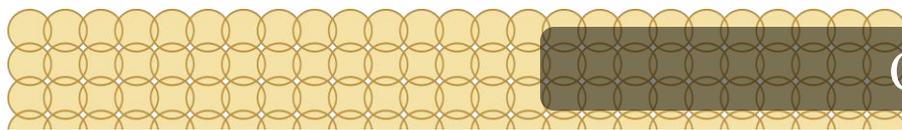
²Dr Eng Agrônomo, Análises de Sistemas do CIAGRI - ESALQ

³Dr Eng Agrônomo e docente da UFMT

⁴Msc Eng Agrônomo e doutorando da UFPR

⁵Msc Engenheiro Agrônomo, SNP Consultoria

⁶Acadêmico Engenharia Agrônômica ESALQ/USP e trainee CESB



SUMÁRIO

Resumo04

1 – Introdução05

2 – Material e Métodos05

3 – Resultados e Discussão.....07

4 – Conclusão.....24

5 - Agradecimentos.....25

6 – Referências Bibliográficas.....26

7 – Anexo 129

RESUMO

Este trabalho foi realizado pela Rede de Pesquisa do CESB com a participação das seguintes Instituições de Pesquisa: ESALQ, UFMT, UFPR, SNP consultoria, Ceres Consultoria, Rehagro, Dantas Consultoria e os departamentos técnicos da BASF, PRODUQUIMICA, AGRICHEM e BAYER. Na safra 2014/15, segundo o IBGE, 2.080 municípios brasileiros participaram da produção nacional de soja, mas apenas 9 municípios obtiveram produtividades maiores do que 4.200 sc/ha. A produtividade é o resultado da resposta das culturas a um conjunto de variáveis agrícolas. Com o objetivo de identificar as principais variáveis que podem afetar a produtividade de soja, foi realizado na safra 2015/16 um estudo exploratório e multidisciplinar para avaliar os fatores críticos importantes para se obter produtividades maiores que 4.200 kg/ha ou seja 70 sc/ha. Nesse estudo foram avaliadas 47 áreas agrícolas nos estados de GO, MG, MT, PR, RG e SP. As produtividades variaram de 30 a 110 sc/ha, com 23 locais expressando produtividades acima de 70 sc/ha (49% do total avaliado). Cinco fatores agronômicos se destacaram para na obtenção de produtividades maiores que 70 sc/ha: 1) impedimento físico do solo até 40 cm de profundidade (0,9 a 1,7 MPa de resistência do solo avaliado na capacidade de campo); 2) disponibilidade de Ca e Mg em profundidade no solo (29,7 a 43,2 mmol_c dm³ de Ca a 0-20cm; 16 a 28 mmol_c dm³ de Ca a 20-40cm e 13,2 a 18 mmol_c dm³ de Mg na camada de 0 a 20cm e 7,5 a 12 de Mg mmol_c dm³ na camada de 20 a 40cm); 3) fertilidade do solo na camada de 0 – 20 cm - teores de potássio (2,5 a 4,1 mmol_c /dm³), boro (0,7 a 1,0 mg/dm³), cobre (1,3 a 3,4 mg/dm³); 4) manejo fitossanitário adequado; 5) distribuição de plantas por área (associação do número de sementes por metro e espaçamento entrelinhas).

1. INTRODUÇÃO

Na safra 2014/15, o Brasil cultivou 32 milhões de hectares de soja com uma produtividade média de 3.000 kg/ha, ou seja, 50 sc/ha (IBGE, 2016). Participaram do cultivo de soja 2.080 municípios, mas apenas nove deles tiveram produtividade maiores que 70 sc/ha. Ainda segundo o IBGE, nos últimos 10 anos ocorre uma estagnação da produtividade da soja brasileira variando de 44 a 51 sc/ha, muito aquém do potencial produtivo da soja, considerando que o campeão do Desafio Nacional de Máxima Produtividade de Soja organizado pelo CESB alcançou na safra 2014/15, 141,7 sc/ha.

A produtividade agrícola possui uma natureza multidisciplinar e a interação dos fatores é mais importante do que os fatores isolados entre si para expressar a produtividade. MALAVOLTA (2006) cita que na agricultura há 52 fatores determinantes para expressar a produtividade e a combinação entre eles determina a produtividade da soja. COOKE (1975) em um seminário que tratou da adubação para alta produtividade da soja, menciona que "Na agricultura desenvolvida grandes aumentos de produtividade virão da interação dos efeitos e que os produtores devem estar preparados para testar todos novos avanços tecnológicos que podem aumentar a produtividade e estar preparado em testar combinações de duas ou mais práticas". Desse modo, a produtividade da soja é dependente de um conjunto de fatores que se não forem identificados, colaborarão para a estagnação da produtividade.

Com o objetivo de identificar as principais variáveis que podem afetar a produtividade de soja, foi realizado na safra 2015/16 um estudo exploratório multidisciplinar para avaliar os fatores críticos para obtenção de produtividades maiores que 70 sc/ha. Esse estudo, foi realizado pela Rede de Pesquisa do CESB, conduzido com a colaboração de seus integrantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, foram selecionados 47 locais distribuídos nos estados do RS, PR, MG, SP, GO, MT com bons históricos de produtividade. Com a colaboração de pesquisadores na área de agrometeorologia, solos, proteção de plantas, fisiologia vegetal e fitotecnia, foram selecionados 27 indicadores agrônômicos importantes para a produtividade da soja. Em cada área foram avaliados os seguintes parâmetros:

- a) **Dados de clima:** Monitoramento de precipitação por meio de pluviômetro, temperatura máxima, mínima e média, coletado pelas estações meteorológicas das fazendas, INMET e Fundações de Pesquisa.
- b) **Dados de solos:** Análise química do solo: matéria orgânica (dicromato de potássio), fósforo, potássio, cálcio e magnésio (resina) e micronutrientes: boro (água quente) e zinco, ferro, cobre e manganês (DTPA) e teor de argila no perfil do solo, estratificado em 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Todas as análises de solo das áreas foram realizadas no Laboratório IBRA. O levantamento do impedimento físico do solo (compactação) foi realizado por meio do índice de cone usando o penetrômetro modelo Hato, descrito por MEDEIROS et al. (2010) e avaliado com a umidade próximo a capacidade de campo. Na camada de 0-20 cm de profundidade foi avaliado a atividade microbiológica da B-glicosidase e fosfatase do solo, ambos feitos no Laboratório de Microbiologia da UFMT.
- c) **Dados do Sistema de produção da soja:** Foi coletado o histórico de culturas anteriores, dose e época de aplicação dos corretivos do solo, histórico de erosão. Foi avaliado em campo a qualidade de semeadura, e o número de plantas duplas e falhas aos 21 dias após semeadura. Para cada área, anotou se a cultivar adotada, vigor e peneira de sementes e o estande final de plantas. Anotou se o programa de adubação e agroquímicos utilizados. Avaliou se a perda de folha entre o estádio da soja R4/R5. Foi descrito o critério de aplicação dos defensivos. No final obteve se a produtividade e massa de 1000 grãos.

Para efeito das análises, a produtividade das áreas foi agrupada em 2 segmentos, ou seja, áreas com produtividade inferior a 70 sc/ha e acima desse valor. Portanto foi selecionado a mediana do conjunto de dados como divisor da alta e baixa produtividade. Para identificar os fatores críticos, a primeira etapa foi a aplicação da análise do qui-quadrado para as variáveis qualitativas. Elaboração de regressões para as variáveis quantitativas e identificação das variáveis que não ocorrem ao acaso. Seguiu-se para a estatística multivariada para entender as associações importantes entre as variáveis e a produtividade, e por final, foi aplicado a análise discriminante para chegar a um modelo que reúna as variáveis que mais influenciaram a produtividade, consideradas como críticas. Por final, foi identificado os limites inferiores e superiores das variáveis quantitativas e significativas com a produtividade, numa margem de 95% de segurança.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrição da amostra

Foram coletados dados em 47 locais. Determinou-se como critério, o valor de 70 sc/ha e esse valor se tornou o divisor entre a baixa e alta produtividade. A amplitude da produtividade das diversas áreas foi de 30 a 110 sc/ha, Figura 1.

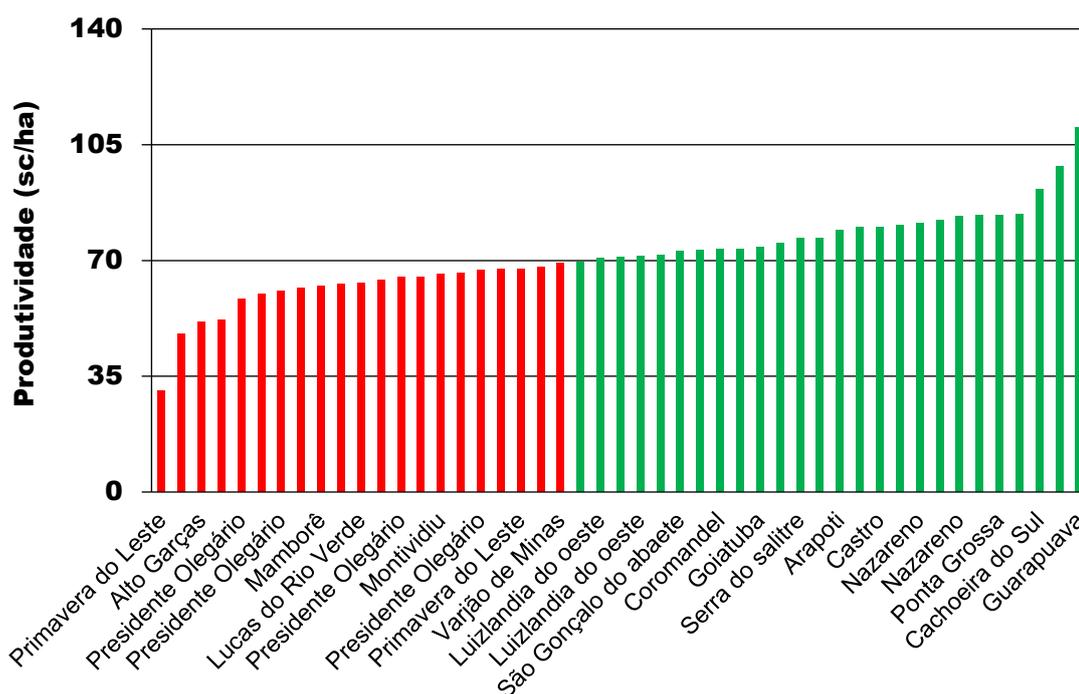


Figura 1. Produtividade inferior (■) e superior (■) a 70 sc/ha em 47 locais.

Teor de argila

Os locais amostrados possuem um teor de argila entre 428 a 524 g/kg, na camada de 0-10 cm e 450 a 577 g/kg de argila a 20 - 40 cm (Tabela 1). A análise de correlação de Pearson demonstrou que não houve relação significativa entre o teor de argila e a produtividade (Tabela 2). Desse modo, neste estudo o teor de argila não influenciou na produtividade da soja.

Tabela 1. Média, desvio padrão, limites de confiança da média (95%) e valores mínimo e máximo do teor de argila do solo nas diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Média	Desvio padrão	Lim. de conf.(95%)	
			Inferior	Superior
0 – 10	460	183,45	399,41	518,35
10 – 20	489	186,02	428,31	548,91
20 – 40	514	194,81	450,96	577,26
40 – 60	490	237,38	412,70	566,60
60 – 80	486	235,28	409,86	562,40
80 – 100	492	233,37	416,81	568,11

Tabela 2. Correlação de Pearson entre a produtividade e os teores de argila

Característica	Profundidade					
	0 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100
Teor de argila	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,25 ^{ns}

ns: não significativo

Variáveis climáticas

A temperatura foi um fator importante para expressar a produtividade da soja e obteve relação significativa em determinados estádios fenológicos da soja, tabela 3. A temperatura média exerceu influência significativa na produtividade da soja da emergência até o R5.1. A temperatura máxima influenciou negativamente a produtividade do V4 a R3 e positivamente no R5.1 a R6. Já a temperatura mínima exerceu influência significativa desde a emergência até o R6.

Tabela 3. Correlação entre produtividade e temperatura média, máxima e mínima nos estádios fenológicos.

Estádio fenológico	Temperatura								
	Média			Máxima			Mínima		
	R	p	n	r	p	N	r	P	N
Emergência - V4	-0,45	0,0036	39	-0,20	0,2231	39	-0,32	0,0474	39
V4 – R1	-0,63	0,0001	37	-0,57	0,0001	39	-0,55	0,0003	39
R1 a R3	-0,43	0,0071	37	-0,43	0,0072	37	-0,48	0,0024	37
R3 a R5.1	-0,09	0,5867	37	0,25	0,1327	39	-0,34	0,0393	37
R5.1 a R6	-0,12	0,4845	38	0,32	0,0412	40	-0,53	0,0005	40
R1 a colheita	-0,03	0,8794	38	0,03	0,8496	38	-0,23	0,1511	38

r: Coeficiente de correlação de Pearson; p: Valor-p para rejeição da hipótese de nulidade; n: número de observações. Os números em cor **vermelha** são significativos ao nível de 5%.

Esse estudo foi feito dentro de um padrão climático da safra 2015/16. Segue os limites inferiores e superiores da temperatura média, máxima e mínima em cada estágio fenológico do comportamento climático dos locais amostrados.

Tabela 4. Média, desvio padrão, limites de confiança da média (95%) e valores mínimo e máximo das temperaturas média, mínima e máxima observadas ao longo dos dias.

Estádio fenológico	Média	Desvio padrão	Lim. de conf.(95%)		Mínimo	Máximo
			Superior	Inferior		
Temperatura média (°C)						
Emergência	22,9	1,9	23,5	22,2	17,9	25,9
V4	22,8	1,4	23,3	22,3	19,2	26,6
R1	22,5	1,3	23,0	22,1	20,4	26,3
R3	22,5	1,4	22,9	22,0	18,7	25,9
R5	22,6	1,4	23,0	22,1	20,9	26,4
Colheita	22,7	1,2	23,1	22,4	19,1	26,3
Temperatura máxima (°C)						
Emergência	24,6	3,6	25,7	23,4	17,9	31,5
V4	29,3	1,9	30,0	28,7	24,4	33,0
R1	28,6	1,9	29,3	28,0	26,3	33,8
R3	28,2	2,0	28,8	27,5	24,9	32,0
R5	28,4	1,6	28,9	27,9	25,6	33,1
Colheita	29,2	1,5	29,7	28,7	25,9	33,4
Temperatura mínima (°C)						
Emergência	21,7	2,8	22,6	20,8	16,3	25,9
V4	18,8	1,3	19,2	18,4	15,9	22,2
R1	18,9	1,3	19,3	18,4	14,8	22,1
R3	19,1	1,8	19,7	18,5	10,5	22,8
R5	19,0	1,4	19,5	18,6	16,3	23,1
Colheita	18,6	1,2	19,0	18,2	14,4	22,5

Variáveis qualitativas

Dos indicadores qualitativos deste estudo, 3 se mostraram positivamente relacionados com a produtividade da soja pelo teste do qui-quadrado, tabela 5.

Tabela 5. Distribuição de frequências e porcentagens simples e acumuladas de características ligadas ao local da parcela de avaliação da produção de soja.

Características	Nível de produtividade			
	Alto		Baixo	
	Frequência	(%)	Frequência	(%)
Histórico de correção do solo ($\chi^2:4,54$ – GL:1 – p:0,0383)				
Não	5	27,78	13	72,22
Sim	13	61,90	8	38,10
Sistema de distribuição de sementes ($\chi^2:5,14$ – GL:1 – p:0,0234)				
Disco	4	100,00	0	0,00
Vácuo	7	46,67	8	53,33
Aplicação:Multissítio ($\chi^2:5,14$ – GL:1 – p:0,0234)				
Não	6	28,57	15	71,43
Sim	13	68,42	6	31,58

χ^2 : Estatística qui-quadrado para ausência de associação entre linhas e colunas da tabela; χ^2 : Estatística qui-quadrado de razão da verossimilhança para ausência de associação entre linhas e colunas da tabela; GL: Graus de Liberdade; p: Valor-p para rejeição da hipótese de nulidade.

Foi anotado a correção de solo de cada área e a aplicação de calcário e/ou gesso nos últimos 3 anos. Dos locais que produziram mais de 70 sc/ha, 61,9% aplicaram calcário nos últimos 3 anos e 27,78% não precisaram fazer a aplicação de calcário. Isso mostra que a maioria dos agricultores aplicaram o calcário o que torna evidente a importância dessa prática para preservar a alta produtividade de soja.

Uma outra variável importante é a o mecanismo de distribuição de sementes. Dos produtores que passaram de 70 sc/ha houve uma maior adoção do sistema a vácuo.

Com relação ao controle fitossanitário, nas áreas com produtividade acima de 70 sc/ha, houve a predominância do uso de fungicidas multisítio associados a fungicidas com base nas estrobilurinas, para controle de doenças da soja principalmente ferrugem asiática. Essa estratégia de uso de fungicidas está em acordo com GODOY et al. (2015) e SILVA et al. (2015). Caso não acha controle eficiente de doenças poderá haver perdas consideráveis na produtividade da soja.

Desta forma, neste estudo, as variáveis qualitativas mais importantes do sistema de produção para se obter produtividades maiores do que 70 sc/ha, foram a correção

de solo nos últimos três anos, o sistema de distribuição de sementes e o manejo fitossanitário.

Variáveis quantitativas – Solos

As variáveis do solo que apresentaram relação significativa com a produtividade estão apresentadas na Tabela 6. Os teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, saturação de bases e a CTC em diversas profundidades do solo até 100 cm, possuíram significância e influência positiva na produtividade.

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade e as variáveis de disponibilidade de macro nutrientes no solo e relações derivadas.

Característica	Profundidade					
	0 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100
Matéria orgânica (MO)	0,36 *	0,31 ^{ns}	0,46 **	0,38 *	0,40 *	0,36 *
Fósforo (P)	0,60 **	0,40 *	0,07 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Potássio (K)	0,46 **	0,48 **	0,45 **	0,37 *	0,33 *	0,33 *
Magnésio (Mg)	0,59 **	0,55 **	0,55 **	0,38 *	0,43 **	0,55 **
Cálcio (Ca)	0,55 **	0,67 **	0,67 **	0,57 **	0,49 **	0,46 **
Soma de bases (SB)	-0,05 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Cap. de troca de cátions (CTC)	0,47 **	0,58 **	0,56 **	0,42 **	0,50 **	0,42 **
Saturação de bases (V%)	0,29 ^{ns}	0,43 **	0,48 **	0,35 *	0,38 *	0,56 **

** : Significativo com nível de significância de 1% ou menos; * : significativo com nível de significância entre 1 e 5%; ns: não significativo. Os valores em vermelho apresentaram significância a níveis menores que 5%.

Os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica obtidos nas áreas com produtividade acima de 70 sc/ha, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%), de fósforo, potássio e matéria orgânica, nos níveis de produtividade acima de 70 sc/ha

Profundidade (cm)	Produtividade maior que 70 sc/ha			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Inferior	Superior
Fósforo (mg/dm ³)				
0 – 10	53,1	24,6	40,5	65,8
10 – 20	25,4	14,2	18,1	32,7
20 – 40	9,0	3,5	7,2	10,8
40 – 60	5,9	3,2	4,2	7,6
60 – 80	9,5	18,2	0,1	18,8
80 – 100	7,0	6,1	3,9	10,2
Potássio (mmol _c /dm ³)				
0 – 10	3,8	1,7	3,0	4,7
10 – 20	2,7	1,5	2,0	3,5
20 – 40	1,9	1,2	1,2	2,5
40 – 60	1,3	0,9	0,8	1,8
60 – 80	1,4	1,1	0,8	2,0
80 – 100	1,1	0,9	0,6	1,6
Matéria orgânica				
0 – 10	45,4	11,3	39,6	51,2
10 – 20	39,3	12,0	33,1	45,4
20 – 40	32,4	8,9	27,8	37,0
40 – 60	25,6	11,4	19,8	31,5
60 – 80	24,8	9,3	20,0	29,5
80 – 100	21,6	8,9	17,0	26,2

Conforme a Tabela 7 os teores de fósforo na camada 0 a 20 cm, variam em média de 29,3 a 49,2 mg/dm³. Esses teores são considerados adequados (CANTARELLA et al., 1998). Para potássio na camada de 0 a 20 cm, os teores variam em média de 2,5 a 4,1 mmol_c/dm³ e esses valores são superiores (1,6 a 3 mmol_c/dm³) aos encontrados por Cantarella et al., 1998. Esses resultados sugerem que para produção de 70 sc/ha os teores de potássio devem estar acima de 2 mmol_c/dm³. Os níveis de matéria orgânica encontrado no solo estão adequados para produtividade acima mencionada.

Os teores de cálcio e magnésio para a produtividade acima de 70 sacos sc/ha são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%), de magnésio e cálcio nos níveis de produtividade acima de 70 sc/ha

Profundidade (cm)	Produtividade maior que 70 sc/ha			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Inferior	Superior
Magnésio (mmol _c /dm ³)				
0 – 10	17,5	4,0	15,4	19,6
10 – 20	13,7	5,1	11,1	16,4
20 – 40	9,8	4,5	7,5	12,1
40 – 60	7,3	3,9	5,3	9,3
60 – 80	8,3	5,6	5,5	11,2
80 – 100	7,9	4,6	5,5	10,3
Cálcio (mmol _c /dm ³)				
0 – 10	39,5	10,5	33,9	45,1
10 – 20	33,4	14,8	25,5	41,3
20 – 40	22,2	11,5	16,1	28,4
40 – 60	15,2	8,4	10,7	19,7
60 – 80	15,6	11,4	9,5	21,7
80 – 100	12,8	5,7	9,7	15,8

Os teores de cálcio na camada de 0 a 20 cm estão entre 29,7 e 43,2 mmol_c/dm³. Esses valores estão próximos com estudos de Ribeiro e outros, 1999 que consideram que o solo deve atender valores de 20 mmol_c/dm³ da soma de cálcio e magnésio. Do mesmo modo trabalhos de pesquisa (FUNDAÇÃO MT, 2016) em solos com teor de argila menor que 15%, indicam que teores de Ca acima de 15 mmol_c/dm³ são adequados para a produção de grãos.

Constatou-se o nível de cálcio na camada de 80 a 100 cm foi de 9,7 a 15,8 mmol_c/dm³, e apresentou com a produtividade (Tabela 6). O cálcio é importante para o crescimento radicular da soja em grandes profundidades e isso tem relação decisiva na tolerância a estresses hídricos (SENTELHAS & BATTISTI, 2016 - Informe verbal). Além disso, ROSOLEM et al. (1998) avaliaram doses de cálcio e sua influência no crescimento radicular e verificaram que valores acima de 8 mmol_c/dm³ não afetaram o crescimento radicular. Os teores de magnésio na camada de 0 a 20 cm está entre 13,2 a 18 mmol_c/dm³. Esses teores são superiores (7 a 8 mmol_c/dm³) aos encontrados por CANTARELLA et al. (1998).

Os cátions competem pelo mesmo canal de entrada na célula, o que leva a uma competição de absorção entre esses nutrientes, como exemplo a proporção do K: Mg: Ca, além disso, a aplicação de fontes de adubos e corretivos com K e Ca podem causar deficiência de magnésio (MARSCHNER, 2012). Dessa forma a proporção de K: Mg: Ca são importantes para estabelecer o equilíbrio nutricional da planta. Nesse trabalho foi

constatado os seguintes equilíbrios nutricionais no solo para produtividades maiores que 70 sc/ha na camada de 10-20 cm: Mg/K – 4,6 a 5; Ca/Mg – 2,2 a 2,51; Ca/K 11,8 a 12,7; (Mg+Ca) /K – 16,4 a 18,3.

Saturação por base

Os dados de saturação por base nas camadas de solo de 0 -10 cm até 80 - 100 cm de profundidade são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%) CTC e V (%), nos níveis de produtividade acima de 70 sc/ha.

Profundidade (cm)	Produtividade maior que 70 sc/ha			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Inferior	Superior
CTC (mmolc/dm ³)				
0 – 10	94,2	21,3	83,2	105,1
10 – 20	87,0	23,3	75,0	99,0
20 – 40	73,2	25,1	60,4	86,1
40 – 60	58,5	25,2	45,5	71,4
60 – 80	58,4	24,7	45,7	71,0
80 – 100	55,5	25,0	42,7	68,4
V(%)				
0 – 10	65,8	7,8	61,7	70,0
10 – 20	57,4	14,2	49,9	65,0
20 – 40	47,1	14,2	39,5	54,6
40 – 60	39,1	14,7	31,3	46,9
60 – 80	42,8	13,2	35,8	49,9
80 – 100	41,1	12,2	34,6	47,6

Observa-se que a saturação por base da camada de 0-20 cm de profundidade foi em média de 55,8 a 67,5%. Estes dados foram semelhantes aos encontrados por SOUZA & LABATO (2004) que consideram que uma saturação por base de 50% é suficiente para o manejo da soja. Entretanto CANTARELLA et al. (1998) consideram como uma saturação por base alvo para boas produtividades de soja em 60%, enquanto Sfredo (2008) considera um ótimo de 70% de saturação por base para os solos do Paraná. Como a agricultura se trata de sistemas biológicos não é o objetivo neste momento definir um valor numérico exato, mas sim valores de referência para a tomada de decisão dos técnicos.

Tem sido frequente a prática de calagem superficial no plantio direto. Entretanto é importante observar que produtividades acima de 70 sc/ha apresentaram saturação por base de 70% na camada de 0-10 cm (Tabela 9).

Os dados de saturação por base se mostraram significativo para o aumento da produtividade da soja até 1 m de profundidade. Os valores obtidos na profundidade de 40 a 100 cm estão semelhantes a saturação por base das áreas dos campeões do Desafio de Máxima Produtividade do CESB. O campeão nacional com 120 sc/ha de 2015/16 tinha na sua área, na camada de 40 a 100 cm de profundidade uma saturação por base de 42% a 57%, o campeão da região Sul de 2015/16 com 114 sc/ha tinha de 35 a 52% de saturação por base e o campeão nacional 2014/15 com 141,7 sc/ha possuía na área uma saturação por base de 39 a 42% (CESB, 2016).

Micronutrientes

Os dados sobre os micronutrientes são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade e as variáveis de análise de solo referentes aos micronutrientes e relações derivadas.

Micronutriente	Profundidade					
	0 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100
Boro (B)	0,31 ^{ns}	0,33 [*]	0,23 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Manganês (Mn)	0,24 ^{ns}	0,35 [*]	0,23 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Zinco (Zn)	0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
Ferro (Fe)	0,16 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Cobre (Cu)	0,41 [*]	0,39 [*]	0,33 [*]	0,34 [*]	0,37 [*]	0,23 ^{ns}

r: Coeficiente de correlação de Pearson; p: Valor-p para rejeição da hipótese de nulidade; n:número de observações. Os valores em vermelho são significativos ao nível de 5%.

Os dados mostram que dentre os micronutrientes, houve efeito significativo para boro, manganês, cobre.

Os dados das análises de boro e manganês são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%), de boro e manganês nos níveis de produtividade acima de 70 sc/ha.

Profundidade (cm)	Produtividade maior que 70 sc/ha			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			inferior	Superior
Boro (mg/dm ³)				
0 – 10	1,0	0,3	0,8	1,1
10 – 20	0,8	0,3	0,7	1,0
20 – 40	0,7	0,3	0,6	0,8
40 – 60	0,6	0,2	0,5	0,7
60 – 80	0,5	0,2	0,5	0,6
80 – 100	0,5	0,2	0,4	0,6
Manganês (mg/dm ³)				
0 – 10	3,5	2,2	2,4	4,7
10 – 20	2,4	2,5	1,1	3,7
20 – 40	0,9	0,6	0,6	1,3
40 – 60	0,6	0,5	0,4	0,9
60 – 80	2,1	4,5	0,2	4,4
80 – 100	0,6	0,6	0,3	0,9

Os teores médios de boro na camada de solo de 0 a 20 cm estão entre 0,7 a 1,0 mg/dm³. Esses valores estão superiores aos encontrados por RAIJ et al. (1996) e SOUZA & LOBATO (2004) em ensaios com produtividade mais baixa. Os teores médios de manganês na camada de solo de 0 a 20 cm estão adequados conforme dados da literatura (Tabela 11).

Tabela 12. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%), de cobre, nos níveis de produtividade baseados na mediana.

Profundidade (cm)	Produtividade maior que 70 sc/ha			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Inferior	Superior
Cobre (mg/dm ³)				
0 – 10	2,6	2,0	1,5	3,6
10 – 20	2,2	2,0	1,2	3,2
20 – 40	1,6	1,5	0,8	2,4
40 – 60	1,1	1,1	0,5	1,6
60 – 80	1,0	0,8	0,6	1,4
80 – 100	0,8	0,6	0,5	1,1

Os teores médios de cobre na camada de solo de 0 a 20 cm estão entre 1,3 a 3,4 mg/dm³. Esses teores são superiores aos obtidos por SFREDO et al. (2010) e FAGERIA et al. (2001).

Presença do alumínio

Os dados de alumínio encontrados na correlação de Pearson e os teores desse nutriente no solo são mostrados nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade e as variáveis de análise de solo referentes aos teores de alumínio e relações derivadas.

Característica	Profundidade					
	0 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100
Teor de alumínio (Al)	-0,10 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Saturação por alumínio (m%)	-0,13 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,33 [*]	0,18 ^{ns}

r: Coeficiente de correlação de Pearson; p: Valor-p para rejeição da hipótese de nulidade; n: número de observações.

Tabela 14. Média, desvio padrão, limites de confiança da média (95%) e valores mínimo e máximo referentes aos teores de alumínio.

Profundidade (cm)	Média	Desvio padrão	Lim. de conf.(95%)	
			Inferior	Superior
Teor de alumínio (Al)				
0 – 10	0,29	0,77	0,0	0,4
10 – 20	1,48	3,84	0,0	2,1
20 – 40	2,58	5,01	0,2	4,9
40 – 60	2,34	4,46	0,5	5,2
60 – 80	1,11	2,84	0,0	4,0
80 – 100	1,62	4,99	0,0	5,2
Saturação por alumínio (m%)				
0 – 10	0,66	1,56	0,0	0,6
10 – 20	3,84	8,63	0,0	5,1
20 – 40	8,12	11,47	2,3	11,4
40 – 60	8,52	10,68	4,0	12,4
60 – 80	5,68	10,64	0,6	10,1
80 – 100	3,82	9,31	0,6	11,2

Os teores de alumínio na camada de 60-80cm apresentam significância com a produtividade. Os teores médios de alumínio na camada de solo de 0 a 20 cm estão

entre 0,0 a 1,63 mmol_c/dm³ ou seja 0 a 2,7% de saturação de alumínio. NICOLODI et al. (2008), identificou valores maiores que 3 mmol_c/dm³ de Al e 5% de saturação de Al para que se inicie o decréscimo da produtividade de soja. Ribeiro et al., (1999) considera 20% de saturação de alumínio, no entanto ambos autores não deixam claro em qual patamar de produtividade se inicia o decréscimo.

Neste estudo os teores de alumínio não interferiram na produtividade acima de 70 sc/ha provavelmente devido a presença de magnésio e boro. Silva (2001) analisando doses de magnésio e cálcio verificaram que o magnésio possui uma capacidade 100 vezes maior em reduzir a toxidez de alumínio que o cálcio. O boro, possui efeito em melhorar a tolerância ao alumínio (CORRALES et al, 2008). Nesse levantamento o magnésio e boro estão em teores considerados altos o que provavelmente contribuí na tolerância ao alumínio e permitiu produtividades de 70 sc/ha.

Apesar de haver manejos para reduzir a toxidez de alumínio, é salutar considerar que as produtividades obtidas pelos campeões de produtividade do Desafio Nacional possuem teores de alumínio na camada 0-20 cm em valores iguais a zero e abaixo de 20cm valores próximo a zero.

Impedimento físico ou Compactação do solo

Neste trabalho, para avaliação dos impedimentos físicos, foi avaliada a resistência do solo utilizando se o penetrômetro. A resistência do solo, por ser uma avaliação muito bem explorada pelos técnicos, permite avaliar indiretamente a resistência que o solo oferece ao crescimento de uma raiz. Os dados são apresentados nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Estudo de correlação entre a produtividade e as variáveis associadas às compactações.

Profundidade	R	P	N
10	-0,0708	0,6861	35
20	-0,3682	0,0295	35
30	-0,4285	0,0102	35
40	-0,4660	0,0048	35
50	-0,4114	0,0141	35
60	-0,3033	0,0765	35
70	-0,2299	0,1840	35
80	-0,1506	0,3877	35
90	-0,1404	0,4210	35
100	-0,1272	0,4665	35
110	-0,1500	0,6791	10
120	-0,0756	0,8467	9

r: Coeficiente de correlação de Pearson; p: Valor-p para rejeição da hipótese de nulidade; n: número de observações. Em vermelho são os valores significativos ao nível de 5%.

Tabela 16. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%) da compactação nas diferentes profundidades nos níveis de produtividade baseados na mediana.

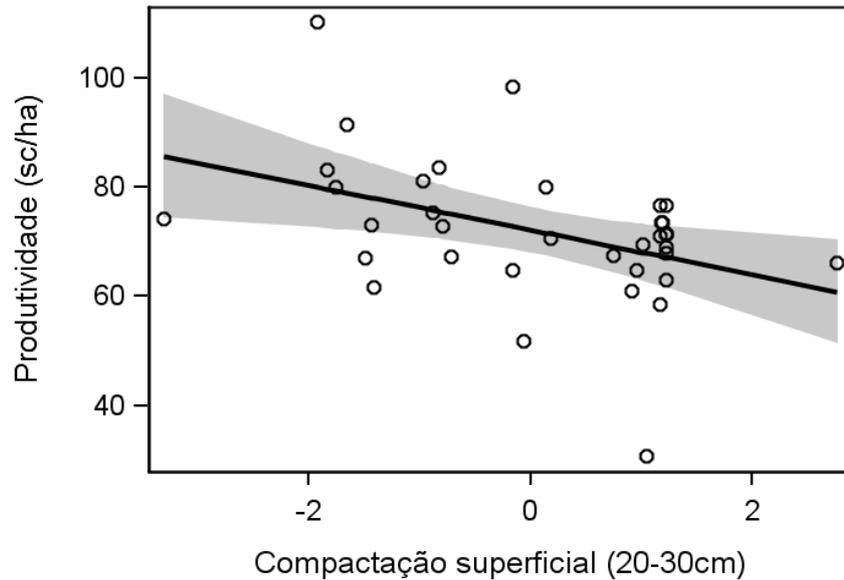
Profundidade	Alto			
	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Inferior	superior
10	1,2	0,7	0,9	1,5
20	1,4	0,5	1,1	1,7
30	1,4	0,5	1,2	1,7
40	1,3	0,5	1,1	1,6
50	1,3	0,4	1,1	1,5
60	1,2	0,4	1,0	1,4
70	1,1	0,5	0,9	1,3
80	1,0	0,5	0,8	1,2
90	1,0	0,5	0,7	1,2
100	0,9	0,5	0,7	1,2
110	0,7	0,6	0,2	1,3
120	0,7	0,6	0,1	1,4

Observa-se que na tabela 16 que o máximo de resistência obtido foi de 1,7 MPa. BENNIE et al. (1996) avaliando o aumento da resistência do solo com o crescimento radicular identificaram que o comportamento dessas duas variáveis é logarítmico e valores acima de 1 MPa inicia um decréscimo de crescimento radicular até 2 MPa. Valores acima de 2 MPa a raiz perde de 60% a 80% do seu potencial de crescimento.

O teste de penetrômetro deve ser feito com a umidade próxima a capacidade de campo, após uma chuva e esperando-se o escoamento o excesso de água. Essa leitura deve ser feita em até no máximo 3 dias após a chuva. BUSSCHER et al. (2000) identificaram que para cada 1 MPa que se aumenta há o decréscimo de 12 sc/ha de soja.

Os valores de resistência do solo para produtividades maiores que 70 sc/ha deve estar com valores menores que 1,7 MPa até a camada de 30 cm e menores que 1,6 e 1,5 MPa na camada de 40 e 50 cm respectivamente (Tabela 16). São faixas de valores menores que o citado por alguns trabalhos como críticos para a produtividade da soja. Taylor & Burnett em 1964 cita que a partir de 2 MPa praticamente não há crescimento radicular e atividade metabólica, BENHOUGH & MULLINS (1990), Silva et al., (1987) definiram que 2 MPa são valores restritivos ao crescimento radicular. Dexter (1987) e Zou (2001) considera que quando o solo atinge 2 MPa o crescimento radicular cai pela metade. Lima e outros (2011) em trabalhos com produtividade entre 46 a 53 sc/ha identificou que valores em 1,9 MPa se mostraram limitantes na produtividade. TORMENA (2014) cita que em sistema de plantio direto pode-se chegar a 3,5 MPa no entanto não se especifica para quais patamares de produtividade de soja. Nesse trabalho apresenta valores menores que o citado por outros autores para produtividades maiores que 70 sc/ha, o que esclarece a importância do impedimento físico do solo e menores valores de resistência do solo para altas produtividade de soja.

Na figura 2 está apresentado a curva de regressão dos valores de resistência do solo com a produtividade. Observa-se que quanto maior a resistência menor a produtividade.



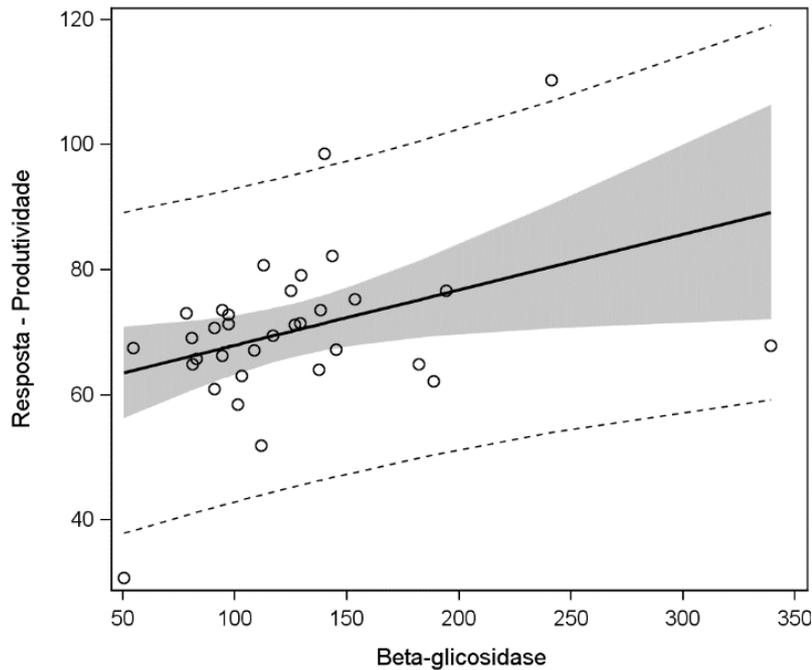
$$\text{Produtividade (sc/ha)} = 72,16 - 4,10 \times \text{Compactação superficial (20-30cm)} \quad (R^2:17,42\%)$$

Figura 2. Ajuste de modelo de regressão linear para predição da produtividade em função do componente *Compactação superficial (20 – 30 cm)*.

Atividade enzimática

Uma variável que apresentou relação significativa com a produtividade foi a atividade enzimática do solo Beta-glicosidase, Figura 3. A enzima Beta-glicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, pela hidrolisação dos resíduos de celulose (DENGER & TABATABAI, 1994). Dentre as diversas enzimas para avaliar a qualidade do solo, a Beta-glicosidase tem tido êxito para avaliar o manejo de solo (CHAER & TÓTOLA, 2007).

Os dados da Beta-glicosidase encontrados na camada de 0 -20 cm das áreas amostradas são apresentados na Figura 3 e Tabela 17.



$$\text{Produtividade (sc/ha)} = 59,07 + 0,09 \times \text{Beta-glicosidase} \quad (R^2:14,83\%)$$

Figura 3. Ajuste de modelo de regressão linear para predição da produtividade em função dos níveis de beta-glicosidase.

Tabela 17. Média, desvio padrão e limites de confiança da média (95%) dos teores de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase nos níveis de produtividade baseados na mediana.

Indicador	Média	Desvio padrão	Lim. Conf. (95%)	
			Superior	Inferior
Beta-glicosidase	130,7	41,1	108,8	152,6

Os dados obtidos indicam que para produtividades de 70 sc/ha os valores de 108,8 e 152,6 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} foram adequados com uma margem de 95% de segurança. Segundo LOPES et al. (2013) valores de beta-glicosidase acima 115 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} são considerados como adequados e indicativo de um solo de boa qualidade microbiológica, considerando amostragem na camada 0-20 cm.

Análise multivariada

A análise multivariada agrupa variáveis que ao serem alteradas pelo manejo ou clima de forma conjunta aumenta-se a probabilidade do aumento de produtividade. Na tabela 18, descreve-se todas as variáveis que foram agrupadas. Como exemplo, análise multivariada associou o aumento de cálcio com o magnésio no perfil do solo para o aumento da produtividade da soja, portanto para fins de manejo, deve-se ater ao manejo dessas duas variáveis em conjunto para aumento da produtividade.

Tabela 18. Estudo de regressão linear simples tendo a produtividade como resposta e o componente principal ou variável individual como preditora.

Componente principal	Número de variáveis	Proporção de variância (%)
População de Plantas planejada e final	2	89,2
Temperatura V4 e Emergência	4	85,1
Temperatura Reprodutivo	6	68,7
Solo		
CTC (até 1m)	6	80,2
V(%) e pH CaCl ₂	8	47,3
Delta pH (até 1m)	6	78,1
Potássio (até 1m)	6	69,6
Matéria Orgânica e P	8	61,5
Mg e Ca superficial (0-40 cm)	6	78,5
Mg e Ca profundidade (40-100 cm)	5	82,2
B e Cu	8	65,4
Compactação superficial (20-30cm)	2	91,2
Compactação sub-superficial (40-50cm)	2	94,5

R²: coeficiente de determinação; p: Valor-p para teste da hipótese H₀: $\rho=0$ que representa a ideia de independência entre a variável preditora e a produtividade.

Interação dos fatores

Nesse abrangente estudo feito, de todas as variáveis que apresentaram relação significativa com a produtividade, a análise discriminante selecionou as variáveis agrupadas pela análise multivariada que apresentaram efeitos mais pronunciados para a produtividade passar de 70 sc/ha. Os resultados são mostrados na tabela 19.

Tabela 19. Resultado da Análise discriminante de indicadores agronômicos associados a produtividade. As análises foram feitas pelo programa SAS.

Efeito	Maior 70 sc/há	Menor 70 sc/ha
Compactação superficial (20-30cm)	-0,98978	-0,75646
Compactação sub-superficial (40-50cm)	2,35464	2,05253
Aplicações - Número de produtos	0,28072	0,29518
Mg e Ca superficial (0-40 cm)	1,20245	0,53019
K	0,78854	0,62961
B e Cu	0,81856	0,46086
População de Plantas	1,80731	0,83260

Foi identificado cinco fatores agronômicos que ao ser manejado em conjunto terá 88,9% de probabilidade para produtividade passar de 70 sc/ha. Seguem eles: 1) impedimento físico; 2) Perfil de solo, Ca e Mg; 3) Nutrição de planta (K, B e Cu); 4) Manejo fitossanitário; 5) Distribuição de plantas por área (associação do número de sementes por metro e espaçamento entrelinha).

Apesar da variável temperatura ter tido uma relação significativa com a produtividade, ela não se mostrou como a variável mais importante. Os 5 fatores citados foram mais relevantes para aumentar a produtividade dentro do padrão climático de 2015/16.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo, para alcançar produtividades maiores do que 4.200 kg/ha ou 70 sc/ha podemos destacar 5 fatores agronômicos e seus padrões agronômicos.

1) Impedimento físico do solo até 40 cm de profundidade (0,9 a 1,7 MPa de resistência do solo avaliado na capacidade de campo);

2) Disponibilidade de Ca e Mg em profundidade no solo (29,7 a 43,2 mmol_c dm³ de Ca a 0-20cm; 16 a 28 mmol_c dm³ de Ca a 20-40cm e 13,2 a 18 mmol_c dm³ de Mg na camada de 0 a 20cm e 7,5 a 12 mmol_c dm³ de Mg de 20 a 40cm);

3) A fertilidade do solo com teores de potássio (2,5 a 4,1 1 mmol_c/dm³), boro (0,7 a 1,0 mg/dm³) e cobre (1,3 a 3,4 mg/dm³);

4) Manejo fitossanitário adequado;

5) Distribuição de plantas por área (associação do número de sementes por metro e espaçamento entrelinhas).

5. AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve a colaboração do Alessandro Aparecido Lopes (FMT), Rafael Fornari (FMT), Leandro Zancanaro (FMT e membro CESB), Breno Araujo (Reagro), João Paulo de Sá Dantas (Dantas Consultoria), Rodrigo de Oliveira Lima (SNP Consultoria), Rodrigo Franco Dias (Campear), Antonio Luis Fancelli (ESALQ e membro fundador CESB), Orlando Martins (SNP Consultoria e Membro do CESB), Walyston P Batista (SNP Consultoria), Rodrigo Franco Dias (Campear), Marcelo Alves (ESALQ), Paulo Cesar Sentelhas (ESALQ), Rafael Battisti (ESALQ), André Cebulski, Felipe Pozzan (AGRICHEM), Jose Erasmo Soares (Membro Fundador CESB), Fabio Melo (Ceres Consultoria), Remilson Moraes da Silva (Ceres Consultoria), Jose Marcos Leite (Produquimica), Milton Moraes (UFMT), Wilson Wagner Ribeiro Teixeira (UFPR), Daniela Campos (UFMT), Ernesto Akira Shiozaki (ESALQ e CESB), departamento técnico da BASF e BAYER e aos produtores que colaboraram no levantamento de dados desse trabalho.

Segue nossos agradecimentos aos patrocinadores do CESB 2016, SYNGENTA, BASF, BAYER, JACTO, MOSAIC, TMG, UPL, SEMENTES ADRIANA, MONSANTO, STOLLER, AGRICHEM, APROSOJA, INSTITUTO PHYTUS, TIMAC AGRO, PRODUQUIMCA, DUPONT, PLANTDEFENDER e apoiadores IBRA e MAFES.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots: the hidden half**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996.

BUSSCHER e outros. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. *Soil. Science Society of America Journal*. v. 64, n. 3, 2000.

CANTARELLA, H et al. Soil and plant analyses for lime and fertilizer recommendations in Brazil. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v. 29, n.1691, 1998.

CESB – COMITE ESTRATEGICO SOJA BRASIL. Acessado em 14 de outubro de 2016. Online. Disponível em: www.cesbrasil.org.br.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.15, 2007.

COOKE, GW. **Fertilizing for Maximum Yield**. 2nd ed. Granada Publishing, Limited, London, England, 1975.

CORRALES, I et al. Boron-induced amelioration of aluminium toxicity in a monocot and a dicot species. *Journal of plant physiology*. V. 165, n. 5, 2008.

DENG, S.P.; TABATABAI, M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biology and Fertility of Soils*, v.24, n.5, 1997.

DEXTER, AR. Mechanics of root growth. *Plant and Soil*. v.98. n.3. 1987.

EMBRAPA. Tecnologia de produção de soja – região central do Brasil – 2012 e 2013. **Sistema de produção 15**. Embrapa Soja. Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, Londrina, 2011.

FAGERIA, NK. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean and wheat grown on Oxisol. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v. 32, n.7, 2001.

FUNDAÇÃO MT. Boletim de pesquisa. 2016.

GODOY, CV et al. Eficiência de fungicidas multissítios e fertilizantes no controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular técnica** 113, Londrina, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: Acesso em: 10 setembro 2016.

LIMA, CLR; REINERT, DJ; REICHERT, JM; SUZUKI, LEAS. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. agropec. bras.** v.45. n.1. 2010

LOPES, A. A. de C. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal.** v. 77, n. 2 , 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p

MEDEIROS, JC et al. Portable penetrometer for agricultural soil: sensitivity test to identify critical compaction depth. **Revista Brasileira de Ciência Solo** v. 34, n.6 , 2010.

NICOLODI, M et al. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 32: n.10, 2008.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RIBEIRO, AC; GUIMARÃES, PTG; ALVAREZ, VH. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5 a APROXIMAÇÃO.** Viçosa 1999. 359p.

ROSOLEM, CA e MARCELLO, CS. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agricola.** v. 55 n. 3, 1998.

SILVA, AP; KAY, BD; PERFECT E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal.** v. 58 n. 6. 1994.

SFREDO, GJ. Soja no brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. **Documento** 305. Londrina. 2008.

SFREDO, GJ; STORER, WN; NELSON, SS; SOUZA, MP. Estimativa do nível crítico de cobre para a soja, em solos do cerrado brasileiro. **FerBio,** Guarapari. Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais. Viçosa: SBCS, 2010.

SHERREL, CG. Effect of cobalto application on the cobalt status of pastures. 1. Pasture with history of regular cobalt application. **New Zealand Journal of Agricultural Research** v.33, n.2, 1990.

SILVA, IR; SMYTH, TJ; ISRAEL, DW; RAPER, CD; RUFTY, TW. Magnesium is More Efficient than Calcium in Alleviating Aluminum Rhizotoxicity in Soybean and its Ameliorative Effect is not Explained by the Gouy-Chapman-Stern Model. **Plant Cell Physiol.** v. 62, n. 7, 2001.

SILVA, LHCP; et al. Controlo f asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. **Summa phytopathol.** v. 41, n.1, 2015.

SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TAYLOR, HM; BURNETT, E. Influence of soil strength on the roo-growth habits of plants. *Soil Science.* v. 98 n 3, 1964;

Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014. – Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p. ; 21cm. – (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.16)

TORMENA, C. Manejo físico em produção de soja e milho. In. Fancelli, AL. **Inovações tecnológicas no sistema de produção soja-milho.** Piracicaba 2014.

ZOU, C; PENFOLD, C; SANDS, R; MISRA, RK; HUDSON, I. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. **Plant and Soil.** v. 236 n.1 . 2001.

ANEXO 1. Padrões agronômicos para produtividades maiores que 70 sc/ha.

Tabela 20. Padrões agronômicos para produtividades maiores que 70 sc/ha.

Fatores de manejo	Padrão agronômico (Limite inferior e superior com 95% de segurança)
Impedimento Físico	
Impedimento físico, índice de cone até 50cm de profundidade	De 0,9 a 1,7MPa
Fertilidade química do solo	
V% (0 a 10cm)	61 a 70
V% (10 a 20cm)	50 a 65
V% (20 a 40cm)	39,5 a 54
Ca mmolc/dm ³ (0-10cm)	33 a 45
Ca mmolc/dm ³ (10-20cm)	25 a 41
Ca mmolc/dm ³ (20-40cm)	16 a 28
Mg mmolc/dm ³ (0-10cm)	15 a 20
Mg mmolc/dm ³ (0-20cm)	11 a 16
Mg mmolc/dm ³ (20-40cm)	7 a 12
K mmolc/dm ³ (0-10cm)	3 a 5
K mmolc/dm ³ (10-20cm)	2 a 3,5
B mg/dm ³ (0-20cm)	0,8 a 1,1
B mg/dm ³ (20-40cm)	0,6 a 0,8

Cu mg/dm³ (0-20cm)

1,2 a 3,2

Práticas de manejo

Distribuição de plantas por área (associação do número de sementes por metro e espaçamento entre-linha)

Manejo fitossanitário adotar um manejo fitossanitário adequado
