

RODRIGO DE OLIVEIRA LIMA

**SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL  
CENTRAL: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E  
BALANÇO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L732s  
2004

Lima, Rodrigo de Oliveira, 1970-  
Sustentabilidade da produção de soja no Brasil Central :  
Características químicas do solo e balanço de nutrientes no sistema  
solo-planta / Rodrigo de Oliveira Lima. – Viçosa : UFV, 2004.  
vii,65 f. : il. ; 28cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.60-65.

1. Fertilidade do solo. 2. Química do solo. 3. Solos - Produtividade.  
4. Soja - Nutrição. 5. Desenvolvimento sustentável. 6. Cerrados -  
Brasil, Centro-2 Oeste.

I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.422

RODRIGO DE OLIVEIRA LIMA

**SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL  
CENTRAL: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E  
BALANÇO DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 29 de outubro de 2004

---

Prof. Roberto de Aquino Leite  
(Conselheiro)

---

Prof. Roberto Ferreira de Novais  
(Conselheiro)

---

Prof<sup>a</sup>. Herminia Emilia Prieto Martinez

---

Prof. Ivo Ribeiro da Silva

---

Prof. Júlio César Lima Neves  
(Orientador)

À Deus

Aos meus pais, *Ivis e Ariane*

À minha esposa *Elisângela* e minha filha *Ana Luisa*

As minhas tias *Alice e Maria Lúcia*

As minhas irmãs *Raquel, Josie e Carolina*

A meus tios *Bairon e Myriam, in memoriam.*

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa Elisângela e minha filha Ana Luisa, pelo afeto e compreensão.

A meus pais, pelo amparo e incentivo, essenciais à minha formação moral e acadêmica.

Ao professor Júlio César Lima Neves, exemplo de profissionalismo e dedicação, pela orientação, paciência, desprendimento e amizade.

Aos professores Roberto Ferreira de Novais e Roberto de Aquino Leite, pelo suporte, desprendimento e apoio.

À Solos e Nutrição de Plantas Consultoria (SNP Consultoria), na pessoa de Orlando Carlos Martins, Carlos Alberto Viviani, Fábio Garcia Borges e Alves Alexandre Alovisi, pela compreensão e disponibilização de parte de sua base de dados.

Aos amigos e colegas de trabalho Ailton e Elieny, pelo suporte e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, pelo acolhimento e oportunidades.

À funcionária da secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Solos, Luciana e ao José Roberto Freitas pelo apoio na formatação final deste material.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Aos amigos Helder, Nelci, Viviane, Moisés e Patrícia, Paulo e Monique, Derly e Dorinha, Fábio e Luana, que independente da distância, sempre estarão comigo.

## **BIOGRAFIA**

RODRIGO DE OLIVEIRA LIMA, filho de Ivis Bento de Lima e Ariane de Oliveira Lima, nasceu em São João Del Rei (MG) em 29 de setembro de 1970. É casado com Elisângela de Figueiredo e pai de Ana Luisa de Figueiredo Lima.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 1994. Desde então exerce suas atividades profissionais na empresa Solos e Nutrição de Plantas Consultoria (SNP consultoria), atuando como consultor na área de nutrição e manejo de lavouras de soja, algodão, cana-de-açúcar, milho e pastagens, sob alto nível tecnológico.

Em agosto de 2001, iniciou o curso de mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da UFV, defendendo tese em outubro de 2004.

## CONTEÚDO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	5
2.1. Caracterização da área e dos talhões estudados .....	5
2.2. Estimativa da biomassa dos componentes das plantas de soja e de seus conteúdos de nutrientes .....	8
2.3. Alterações nas características químicas do solo relacionadas à fertilidade e nos teores de nutrientes nas folhas .....	8
2.4. Balanço de nutrientes .....	9
2.5. Avaliação do desempenho do sistema FERTCALC-Soja .....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
3.1. Produtividade de soja .....	11
3.2. Estado nutricional das lavouras .....	17
3.3. Evolução de características do solo relacionadas à fertilidade .....	22
3.4. Evolução das quantidades de nutrientes adicionadas, extraídas e exportadas pela cultura .....	37

3.5. Correlação entre características químicas do solo, teores foliares de macronutrientes e produtividade de soja .....	50
3.6. Comparação entre observações-resultados de campo com estimativas feitas pelo FERTCALC-Soja, para fósforo e potássio .....	53
4. CONCLUSÕES .....	58
LITERATURA CITADA .....	60

## RESUMO

LIMA, Rodrigo de Oliveira. M.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2004. **Sustentabilidade da Produção de Soja no Brasil Central: Características Químicas do Solo e Balanço de Nutrientes no Sistema Solo-Planta**. Orientador: Júlio César Lima Neves. Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais, Víctor Hugo Alvarez V. e Roberto de Aquino Leite.

Tem havido preocupação crescente da comunidade científica e, também, dos agricultores, quanto à sustentabilidade da produção de soja nos solos de cerrado. Este trabalho teve como objetivos avaliar a sustentabilidade da produção de soja no Brasil Central, sob alto nível tecnológico; avaliar a evolução das características químicas do solo relacionadas à fertilidade; determinar o balanço entre as quantidades de nutrientes adicionadas e aquelas extraídas e exportadas pelas plantas de soja, e avaliar o desempenho do sistema FERTCALC-Soja quanto ao fósforo e ao potássio. Para isto, 293 talhões com cultivo comercial de soja, no município de Campo Novo do Parecis (MT), abrangendo solos argilosos e de textura arenosa-média, foram monitorados quanto à produtividade e às análises de solo e foliares, ao longo de duas sucessões: arroz como cultivo inicial e soja por cinco cultivos sucessivos, e soja sucedendo soja por 10 cultivos sucessivos. A produtividade média de soja elevou-se, ao longo dos anos de cultivo, de 3,1 e de 2,6 t ha<sup>-1</sup> para os patamares de 3,5 e de 3,3 t ha<sup>-1</sup> nos solos argilosos e

de textura arenosa-média, respectivamente, evidenciando a sustentabilidade da produção da cultura sob agricultura intensiva. Com os anos de cultivo, o manejo adotado resultou em alterações diferenciais conforme a característica química do solo considerada e a textura. A análise das tendências indicou aumentos, tanto nos solos argilosos como nos de textura arenosa-média, para pH, fósforo, cálcio, saturação por bases e CTC total, e decréscimo na acidez trocável. Foram verificados aumentos para matéria orgânica, potássio e acidez potencial nos argilosos, características que foram mantidas nos solos de textura arenosa-média. O magnésio tendeu à manutenção nos argilosos e ao aumento nos de textura média-arenosa. As características químicas da camada de 15-30 cm correlacionaram-se positivamente com a produtividade de grãos, especialmente nos solos de textura arenosa-média, ressaltando a importância de sua condição química para a nutrição da soja, fato que sinaliza a necessidade da consideração dessa camada quando da adoção de técnicas de manejo, mesmo sob condição de elevada precipitação pluviométrica. A recomendação de fósforo não tem sido balizada pela análise de solo: mesmo com pronunciado aumento do P disponível do solo, ao longo dos anos de cultivo, as doses de fósforo aplicadas aumentaram, principalmente nos últimos três anos do estudo (2000/01, 2001/02 e 2002/03), em razão da elevada rentabilidade da cultura nessas safras. As quantidades de nutrientes exportadas pela cultura da soja estão sendo repostas pelas quantidades adicionadas; contudo, há indicações de que aumentos de produtividade poderão ser obtidos com a elevação de níveis de calagem, com ênfase na utilização de corretivos com maiores teores de magnésio, e de doses de potássio. As recomendações obtidas com o uso FERTCALC-Soja para fósforo e potássio mostraram-se sensíveis às disponibilidades destes nutrientes no solo e à produtividade, diferentemente das recomendações que têm sido utilizadas no campo.

## ABSTRACT

LIMA, Rodrigo de Oliveira. M.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2004. **Soybean production sustainability in Central Brazil: soil chemical characteristics and nutrient balance in the soil-plant system.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Committee members: Roberto Ferreira de Novais, Víctor Hugo Alvarez V. and Roberto de Aquino Leite.

The concern about sustainability of soybean production in cerrado soils has grown among scientific community and also among farmers. This research had as objectives to evaluate the sustainability of high technology soybean production in Central Brazil and the evolution of soil chemical characteristics related with soil fertility, to determine the balance between nutrients added to the system and nutrients absorbed by soybean plants and exported from the system, and to evaluate the FERTCALC-soybean system performance for phosphorus and potassium. To achieve those objectives 293 commercial soybean fields in Campo Novo do Parecis (Mato Grosso State), including clayey and sandy to medium texture soils, were evaluated for productivity and soil and plant analysis during two crop rotation sequences: first-year rice followed by 5 years of soybean, and continuous soybean for 10 years. The soybean productivity results increased, during the evaluation period, from 3.1 and 2.6 t ha<sup>-1</sup> to 3.5 and 3.3 t ha<sup>-1</sup> in clayey and sandy to medium texture soils, respectively, demonstrating the sustainability of high

technology soybean production. The nutrient management utilized resulted in different modifications when considering soil chemical characteristics and soil texture. The tendency analysis showed that pH, phosphorus, calcium, bases saturation and total CEC increased, and exchangeable aluminum decreased, in both clayey and sandy to medium texture soils. In clayey soils there were increase in the content of organic matter, potassium and potential acidity, but in sandy to medium texture soils those contents did not change. The opposite tendency was observed for magnesium, that is, the contents did not change in clayey soils and increased in coarser textures. The soil chemical characteristics in the 15 to 30 cm soil layer had positive correlation with soybean productivity, especially in the sandy to medium texture soils. That highlights the importance of chemical status and management of this soil layer for improved soybean plant nutrition, even in heavy rainfall condition. The phosphorus recommendation has not been based on soil analysis: even with the increase of available P in soil during the years, the P doses increased mainly during the three last years (2000/01, 2001/02 and 2002/03) due to soybean high profitability. The nutrient management and fertilization have been replenishing the nutrients exported in soybean harvests. There are tendencies, however, of that increases in soybean productivities can be achieved with greater potassium and lime doses, especially those with higher Mg content. Different from the usual fertilizer recommendation, the recommendations made by FERTCALC-soybean for P and K were sensible to P and K soil availability and to soybean productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, situando-se entre os EUA e a Argentina, com 28 % da produção mundial em 2003/04, cultivando, nessa safra, 21,24 milhões de hectares com produção de 52,6 milhões de toneladas de grãos (USDA, 2004). Essa cultura movimentou no mundo, em 2003, aproximadamente US\$ 215 bilhões (Embrapa, 2004). No Brasil, segundo levantamento da Fundação Getúlio Vargas, a cadeia produtiva da soja participa com aproximadamente 20 % do PIB do agronegócio, correspondendo a mais de US\$ 35 bilhões ao ano (CONAB, 2004). Para a safra 2004/05, levantamentos da agência Safras apontam para incremento de 8,2 % sobre as áreas cultivadas, que possivelmente terá impacto maior sobre a produção, em razão das medidas e tecnologias geradas para o controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), doença que reduziu a produção nacional em torno de 17 % na safra 2003/04.

As perspectivas do Brasil se tornar o maior produtor mundial até o final desta década são grandes, graças às condições climáticas, às pesquisas genéticas com vistas à adaptação de cultivares a baixas latitudes (Arantes & Souza, 1993), aos custos de produção 25 % inferiores aos dos EUA e à enorme área ainda a ser cultivada nos cerrados (Embrapa, 2004). Com 50 milhões de hectares de terras ainda virgens sob cerrados e aptas à imediata incorporação ao processo produtivo de soja, o Brasil, seguido pela

Argentina, com 10 milhões de hectares são os dois países com áreas ainda sem cultivo e com potencial agrícola (Câmara, 2000).

O estado do Mato Grosso é o maior produtor nacional com 15 milhões de toneladas, produzidas em 5,15 milhões de hectares em 2003/04 (Embrapa, 2004). As projeções para 2004/05 indicam crescimento de 12,4 % na área cultivada. Juntamente com o Paraná, o Mato Grosso representa quase 50 % da produção nacional, sendo suas produtividades médias de 2,55 e 2,92 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Contudo, mesmo havendo disponibilidade de áreas potencialmente agricultáveis para a ampliação dessa cultura, a utilização de tecnologias ambientalmente corretas que visem à sustentabilidade da exploração agrícola torna-se cada vez mais um impositivo técnico. A busca de maiores produtividades com maior rentabilidade passa, de modo geral, pela melhoria de características do solo e da nutrição vegetal. Os custos de produção com fertilizantes foram, para a safra 2003/04, de 36 % no Mato Grosso e 20 % no Paraná, sobre o custo total de 522 e 435 US\$ ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para o mesmo nível de produtividade de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2004). Isso indica que o correto manejo nutricional poderá implicar na otimização desse recurso, incrementando a margem de lucro do agricultor.

Para a obtenção de produtividades elevadas é fundamental que o melhor do conhecimento disponível dê origem a técnicas utilizáveis no manejo da cultura e do solo. O sucesso no uso de solos ácidos e pobres como os de cerrado depende muito da aplicação de bons programas de correção e adubação (Arantes & Souza, 1993). Esses programas, segundo a FAO, são os que mais têm contribuído (40 %) para o aumento da produtividade agrícola (Haas, 1997).

Toda e qualquer produção agrícola econômica fundamenta-se na integração dos fatores: planta, ambiente de produção e manejo da cultura (Câmara, 2000). Com relação à planta, assume grande importância o acúmulo de matéria seca e de nutrientes, dos quais a produção de grãos depende primariamente (Kurihara, 2004).

A folha recém-madura é o órgão geralmente mais sensível às variações no suprimento de nutrientes pelo solo ou pelo fertilizante (Malavolta et al., 1997). A avaliação do estado nutricional da planta por meio da análise de um

de seus órgãos baseia-se na associação significativa entre o suprimento de nutrientes e seus teores na planta e entre esses e as produções das culturas (Evenhuis & Waard, 1980). Entretanto, a relação entre teores de nutrientes e a produção de matéria seca pode não ser tão simples e nem direta (Bataglia et al., 1992). Em condições de severa deficiência poderá ocorrer decréscimo desses teores com o aumento da disponibilidade dos nutrientes, em razão de o acréscimo da taxa de produção de matéria seca ser maior do que o da taxa de acúmulo dos nutrientes, ocasionando o assim chamado “efeito de diluição” (Jarrel & Beverly, 1981). Em condições de deficiências moderadas, os teores tendem a não se alterarem nos tecidos, em virtude do incremento no acúmulo do nutriente ser proporcional ao acúmulo de matéria seca. Em condições de maior disponibilidade de nutrientes, ocorre conseqüente incremento do teor do nutriente na planta, até se atingir o nível crítico, a partir do qual a probabilidade de resposta em produção de matéria seca é muito pequena. Caso o suprimento do nutriente aumente, poderá haver um consumo de luxo, sem incremento na matéria seca, podendo-se chegar à condição de redução na produção de matéria seca em razão do excesso do nutriente (Kurihara, 2004).

De acordo com Fageria (2001), as interações entre nutrientes podem ocorrer na superfície das raízes ou dentro das plantas, seja pela formação de precipitados e complexos, seja pela competição por sítios de absorção ou transporte. Caso essa interação resulte em incremento na absorção de outro nutriente e em uma resposta de produção superior à soma dos efeitos individuais dos nutrientes envolvidos, tem-se um efeito sinérgico. Do contrário, têm se efeito antagônico. As relações de equilíbrio entre nutrientes podem não ter um efeito direto com a produtividade das culturas, tendo em vista que outros fatores primariamente não nutricionais podem estar limitando o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Assim, uma lavoura de alta produtividade apresenta, necessariamente, uma nutrição equilibrada; o inverso, porém, pode não ocorrer (Kurihara, 2004).

Novais & Smyth (1999) sugerem que as tabelas utilizadas para a recomendação de adubação sejam substituídas por sistemas de cálculos que permitam aplicação mais abrangente e que, conforme também ressaltado por Tomé Junior (2004), sejam mais abertos ao crescente aperfeiçoamento desse

processo. Atualmente, o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa vem desenvolvendo sistemas de recomendação para várias culturas em que a base é um modelo para cálculo do balanço nutricional e recomendação de fertilizantes, denominado genericamente de FERTCALC. Esse modelo baseia-se na estimativa da demanda nutricional da cultura para uma determinada produtividade e do suprimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos orgânicos da cultura antecessora. O modelo também permite, mais facilmente, a percepção e a identificação de falhas ou lacunas do conhecimento, o que pode facilitar o direcionamento e a priorização de pesquisas.

Contudo, para soja, uma das limitações desse novo modelo é a escassez de informações sobre os valores de eficiência nutricional para as condições edafoclimáticas da região dos cerrados. Segundo Kurihara (2004), as predições realizadas por esses modelos tornam-se mais eficientes à medida que valores genéricos de eficiência nutricional, derivados da literatura, sejam substituídos por outros, originados de avaliações de campo, em condições de lavouras comerciais. Trabalhos com soja, relacionados às curvas de acúmulo de biomassa e de nutrientes, determinando extração e exportação, foram muito freqüentes durante as décadas de 70 e 80 (Mascarenhas, 1972; Bataglia & Mascarenhas, 1977; Mascarenhas et al., 1980; Moraes, 1983). Novos trabalhos, com cultivares de maior potencial, vêm sendo feitos nos últimos anos (Padovan, 2002; Kurihara, 2004). Por meio de modelos gerados por Kurihara (2004), conhecendo-se a produtividade de grãos e os teores de nutrientes no terceiro trifólio coletado entre os estádios R2 (floração plena) e R4 (vagem completamente desenvolvida), pode-se estimar as curvas de acúmulo de biomassa e de nutrientes nos estádios reprodutivos e, finalmente, em todo o ciclo, e assim obterem-se valores adequados de eficiência nutricional a serem utilizados no FERTCALC.

Este trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar a sustentabilidade da produção de soja no Brasil Central, sob alto nível tecnológico; avaliar a evolução das características químicas do solo relacionadas à fertilidade; determinar o balanço entre as quantidades de nutrientes adicionadas e aquelas extraídas e exportadas pelas plantas de soja e avaliar o desempenho do sistema FERTCALC-Soja quanto ao fósforo e ao potássio.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área e dos talhões estudados

Foram avaliados 293 talhões comerciais de soja no município de Campo Novo do Parecis (MT), entre as coordenadas de latitude sul e longitude oeste a seguir: 13° 52' 020" e 57° 57' 96"; 13° 13' 344" e 58° 03' 600"; 13° 15' 766" e 58° 03' 120"; 13° 41' 910" e 57° 53' 31". A altitude média é de 500 m e a área total avaliada foi de 17.580 ha.

Os talhões selecionados caracterizam-se por apresentar produtividades em torno ou superiores às médias do estado ( $2.915 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mesmo em condição de primeiro cultivo, dado ao elevado nível tecnológico utilizado e às condições climáticas da região. Estas se caracterizam por apresentar, durante o período de cultivo de verão (outubro a março), radiação em torno de  $12,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , temperatura mínima de  $20,5 \text{ °C}$  e máxima de  $31,3 \text{ °C}$ ; precipitação pluviométrica em torno de 1.908 mm (Quadro 1). Em sua grande maioria (87 %), os solos dos talhões são Latossolos Vermelho distróficos (LVd), de textura argilosa a média, sendo o restante dos solos classificados como Neossolos Quartzarênicos órticos (RQo).

Quadro 1. Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo de verão no município de Campo Novo do Parecis (MT)

Mês	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	Média
	mm										
Out.	128	120	130	264	112	308	152	116	252	195	177,7
Nov.	325	216	340	550	344	265	298	335	347	119	313,9
Dez.	461	570	501	182	364	259	389	209	398	412	374,5
Jan.	650	509	394	368	542	279	284	428	389	465	430,8
Fev.	207	469	485	168	288	157	344	266	307	211	290,2
Mar.	208	193	365	458	256	412	388	363	229	335	320,7
Total	1979	2077	2215	1990	1906	1680	1855	1717	1922	1737	1907,8

Fonte: Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária, Indústria e Comércio de Campo Novo do Parecis (MT).

O sistema de cultivo utilizado na região, principalmente a partir de 1996, é o de cultivo mínimo, com semeadura de milho logo após a colheita da soja (fevereiro/março) ou nas primeiras chuvas (setembro/ outubro) e fertilização de reposição de fósforo (P) e potássio (K) exportados nos grãos produzidos em safrinha. Quando da impossibilidade de semeadura de milho, as áreas são mantidas com os restos culturais de soja e sofrem dessecação das ervas daninhas, anteriormente ao novo cultivo, sem revolvimento do solo. As áreas recém-incorporadas ao sistema de cultivo, com a remoção do cerrado, são cultivadas com arroz ou soja. As áreas mais férteis, com maior tempo de cultivo com soja, inicialmente são utilizadas para o cultivo de algodão em uma ou mais safras, com posterior retorno para cultivo de soja.

Cada talhão apresentava histórico detalhado a partir do ano agrícola de 1993/94, abrangendo dados de correção (quantidade e tipo de corretivo), adubação (tipo e quantidade de adubo aplicado), espécies cultivadas e produtividades de grãos obtidas (umidade em torno de 13 %). A partir do ano agrícola 1996/97, parte dos talhões passou a participar do PIDAP (Programa Integrado de Diagnósticos para o Aumento da Produtividade, Martins et al., 1999; Martins et al., 2001). Esse programa emprega intenso monitoramento

da fertilidade do solo, da nutrição das plantas e de fatores não nutricionais, a fim de corrigir desequilíbrios nutricionais e não nutricionais, visando atingir produtividades elevadas e crescentes. Para tal, utiliza resultados de análises foliares da safra anterior e da corrente, bem como as de solo, para determinar valores de referência (normas) sempre atualizados em lavouras com níveis de produtividade elevados e crescentes. Dessa maneira, nutrientes que melhor se correlacionam com a produtividade são priorizados na fertilização da safra seguinte. Assim sendo, as amostras representativas das melhores produtividades são adotadas como norma para a safra seguinte. No processo de seleção das áreas que compõem as normas, o acompanhamento de características de ordem não nutricional é primordial para que a seleção seja feita somente em áreas sem maiores influências de fatores de ordem não nutricional. Com esses fatores tabulados, torna-se possível conhecer também quais os fatores não nutricionais que tiveram maior influência sobre essas áreas.

No período de cinco anos agrícolas, a partir de 1998/99, há informações adicionais sobre cultivares plantadas, resultados de análise de solo (pH-H<sub>2</sub>O, pH-CaCl<sub>2</sub>, matéria orgânica, P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H + Al, SB, CTC e V; em algumas situações também: S, Fe, Zn, Cu, Mn e B) e de análise foliar (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn e B), cabendo ressaltar que as amostras de solo e de folhas foram sempre analisadas no mesmo laboratório.

As amostras de solo foram compostas de 12 amostras simples retiradas nas entre-linhas das culturas, logo após a colheita, entre abril e maio. As amostras foliares (terceiro trifólio com pecíolo, TTP), foram coletadas no estágio R3 (final da floração: vagens com 1,5 cm), em um dos quatro últimos nós superiores, em pelo menos 30 plantas. As amostras, que não sofreram lavagem, sendo, contudo, inspecionadas quanto à presença visível de contaminantes como poeiras e resíduos de defensivos, foram secas em estufa a 65 °C. Posteriormente, no laboratório, foram novamente secas por 24 horas a 65 °C, moídas em moinho de aço inoxidável, peneiradas em peneiras de 20 mesh e pesadas. A determinação de nitrogênio (N) foi efetuada nos extratos de mineralização sulfúrica pelo método semi-micro-Kjeldahl. A determinação de boro (B) foi efetuada nos extratos de mineralização por via seca, por colorimetria de azometina-H. Para a

determinação de P, K, cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn), os extratos foram determinados por digestão nítrico-perclórica. Para o P, utilizou-se o método do metavanadato usando espectrofotometria UV-visível; para o K, utilizou-se fotometria de emissão de chama; para o S utilizou-se turbidimetria do sulfato de bário; e para Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, utilizou-se espectrofotometria de absorção atômica.

## **2.2. Estimativa da biomassa dos componentes das plantas de soja e de seus conteúdos de nutrientes**

Com base na produtividade de grãos e nos modelos matemáticos de Kurihara (2004), obtidos para a soja no Mato Grosso do Sul e que permitem determinar a produção de matéria seca dos componentes de uma planta de soja com base na produtividade de grãos, foram estimados os valores de matéria seca dos componentes das plantas: caule, pecíolos, trifólios e vagens em R2, R4, R6, e grãos, ao longo do estágio reprodutivo.

Os teores de nutrientes no TTP foram multiplicados pelos valores de biomassa do TTP, obtendo-se os respectivos conteúdos de nutrientes, com base nos quais e em modelos matemáticos obtidos por Kurihara (2004), foram estimados os conteúdos de nutrientes na matéria seca do caule, pecíolos, trifólios e vagens em R2, R4, R6 e de grãos. Dessa maneira, foi definida a demanda dos nutrientes pela planta nos vários estágios reprodutivos, bem como os respectivos índices de colheita, ou seja, a proporção entre o conteúdo de nutrientes no grão e seu conteúdo na parte aérea das plantas.

## **2.3. Alterações nas características químicas do solo relacionadas à fertilidade e nos teores de nutrientes nas folhas**

Para se avaliar as modificações das características químicas do solo relacionadas à fertilidade, e dos teores foliares de nutrientes, com o cultivo da soja, a base de dados foi estratificada segundo o esquema de sucessão de

culturas: cultivo de soja em áreas inicialmente cultivadas com arroz (79 talhões) e cultivo de soja em áreas com longo histórico de cultivo com soja (214 talhões). Em ambas as situações, a evolução das características químicas de solo foi também acompanhada considerando a separação dos talhões em duas classes quanto à textura do solo: argilosa e média-arenosa.

Vale ressaltar que nas duas estratificações, quanto ao esquema de sucessão, as áreas foram agrupadas de maneira tal que não se repetissem em outra classificação e que não existisse adição de talhões a partir da data do cultivo inicial. Dessa maneira, assegurou-se que os mesmos talhões fossem acompanhados no tempo de cultivo, sem interferência de outros cultivos que não os escolhidos nas sucessões. Assim, o número de talhões que compuseram as médias a cada safra ou cultivo foram sempre iguais ou inferiores ao da safra anterior. Quanto a esse procedimento, cabe considerar que a cada cultivo, por imposição de mercado ou de estratégia das fazendas, os melhores talhões eram selecionados para o cultivo de algodão ou arroz em área de cultivo antigo com soja, sendo assim, retirados da média das sucessões arroz-soja e soja-soja.

#### **2.4. Balanço de nutrientes**

O balanço de nutrientes foi obtido pela comparação das quantidades de nutrientes adicionadas com aquelas contidas nas plantas de soja, sendo consideradas duas situações: quantidades extraídas (somatório das quantidades contidas no caule, trifólios e vagens em R6 e nos grãos) e quantidades exportadas (contidas nos grãos).

Para o cálculo das quantidades de nutrientes adicionadas via corretivos e fertilizantes, foram usadas as concentrações determinadas para as matérias-primas utilizadas e listadas a seguir. Calcário dolomítico (29,5 % CaO; 17,1 % MgO e 78 % PRNT), calcário magnesiano (35,5 % CaO; 9,5 % MgO e 75 % PRNT), calcário calcítico (44,5 % CaO; 4,5 % MgO e 72 % PRNT), fórmula 02:20:20, sulfato de amônio (20 % N e 22 % S), superfosfato simples (18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 12 % S e 20 % CaO), sulfoamonofós (16 % N; 20 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 12 % S), MAP (11 % N e 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60 % K<sub>2</sub>O).

## **2.5. Avaliação do desempenho do sistema FERTCALC-Soja**

Para avaliar o desempenho do FERTCALC-Soja (Santos, 2002) quanto a P e K, as doses recomendadas por esse sistema foram comparadas com as doses efetivamente aplicadas. Para tanto, nas simulações foram utilizados os valores de produtividade de grãos observados e os teores médios de P e de K determinados nas análises de solo (0-30 cm), fazendo-se variar o fator de sustentabilidade (fator que estima a quantidade de nutriente a ser mantida no solo, ou a ser adicionada, para garantir determinada produtividade de grãos, em cultivos subseqüentes) indicado no FERTCALC-Soja.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Produtividade de soja

A produtividade de soja no primeiro ano de seu cultivo em áreas abertas com a cultura do arroz variou de 48 a 58 sc ha<sup>-1</sup>, conforme o ano agrícola de seu cultivo (Figura 1). As maiores produtividades foram obtidas nos plantios feitos a partir do ano agrícola 1996/97 (Figura 1c, d, e), quando teve início um manejo nutricional mais intensivo. Por sua vez, a evolução da produtividade de soja nos cultivos sucessivos foi influenciada também pelo ano agrícola em que se deu a implantação da cultura, podendo-se notar nos cultivos iniciados em 1994/95 (Figura 1a) um aumento de 48 para 56-58 sc ha<sup>-1</sup>; comportamento semelhante foi verificado para os plantios de soja iniciados em 1995/96 (Figura 1b). Para os plantios iniciados em 1996/97, 1997/98 e 1998/99 (Figura 1c, d, e), as produtividades inicialmente situaram-se em torno de 57-58 sc ha<sup>-1</sup>, valores que, exceto para a área em que o cultivo teve início em 1998/99 (Figura 1e), mantiveram-se nos cultivos sucessivos. No plantio iniciado em 1998/99, contudo, houve tendência de decréscimo de 58 para 53 sc ha<sup>-1</sup> com os cultivos sucessivos.

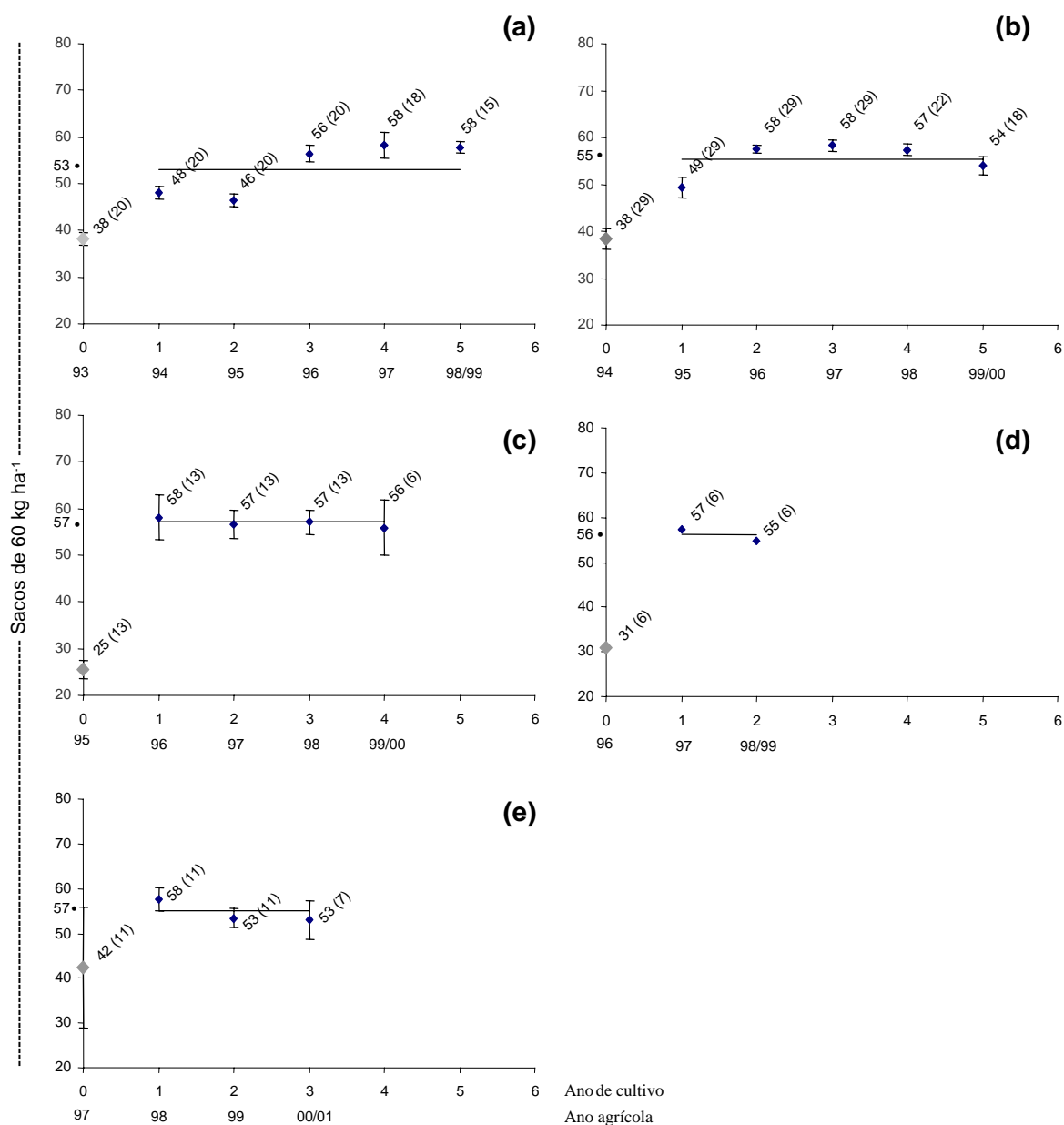


Figura 1. Evolução da produtividade de soja em áreas cultivadas inicialmente com arroz (ano de cultivo 0), nas safras 93 a 97 (Figura 1a a 1e, respectivamente), considerando o ano agrícola. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Em cada gráfico, a linha horizontal indica a média obtida.

Para as produtividades ao longo de cultivos sucessivos, em áreas geralmente com maior tempo de uso agrícola nas quais a cultura do arroz foi a mais freqüentemente utilizada para a abertura das áreas, segundo costume da região à época (Figura 2), as informações obtidas vêm alargar o escopo de análise já apresentado nas áreas representadas na Figura 1. Pode-se verificar que as produtividades de soja estão sendo mantidas ou mesmo aumentadas, de cerca de 48 sc ha<sup>-1</sup> para 56-58 sc ha<sup>-1</sup> ao longo do tempo de cultivo da área (Figura 2), mesmo considerando a retirada das áreas de melhor status nutricional para cultivo de algodão.

Nos plantios a partir de 1993/94 (Figura 2a), observa-se que as produtividades já partem de 55 sc ha<sup>-1</sup>, valor que se mantém ao longo dos anos, e se eleva no cultivo de 2002/03 para 61 sc ha<sup>-1</sup>, aproximadamente. Este comportamento indica que mesmo com a utilização de técnicas de manejo menos intensivas, como era usual anteriormente a 1996/97, as produtividades vinham se mantendo em níveis elevados, cabendo ressaltar, contudo, que as áreas já vinham sendo cultivadas, anteriormente a essa avaliação, com culturas agrícolas (principalmente arroz ou soja) por mais tempo, e também que, em sua grande maioria, tais áreas são de solos argilosos e de melhor fertilidade natural. Essas considerações apontam para o fato de que tem havido sustentabilidade da produção de soja nas áreas estudadas. De todo modo, a resposta da soja a um melhor manejo nutricional pode ser facilmente vista pela comparação entre as produtividades obtidas a partir de 1997/98 (Figura 2e, f), maiores, com aquelas obtidas anteriormente (Figura 2b, c, d).

Percebe-se assim que a adoção de manejo nutricional mais intensivo permitiu, já no ano de implantação, que a soja obtivesse as maiores produtividades (58 sc ha<sup>-1</sup>) (Figura 2c), em média, 20 % superiores às aquelas obtidas nos anos de implantação, quando eram adotadas técnicas de manejo nutricional menos apuradas. Os dados permitem sugerir que a produção de soja na área estudada é sustentável, desde que sejam utilizadas técnicas adequadas para o manejo nutricional. Cabe ressaltar que a área estudada é bem representativa, em termos de solo e de manejo da cultura, de grandes extensões utilizadas para agricultura na região central do Brasil. Contudo, deve-se ressaltar também que as condições climáticas da área estudada são altamente favoráveis aos cultivos de verão, como pode ser visto pelos dados de quantidade e distribuição de chuvas (Quadro 1), bem como pelos dados de radiação solar e de temperatura já apresentados (item 2.1).

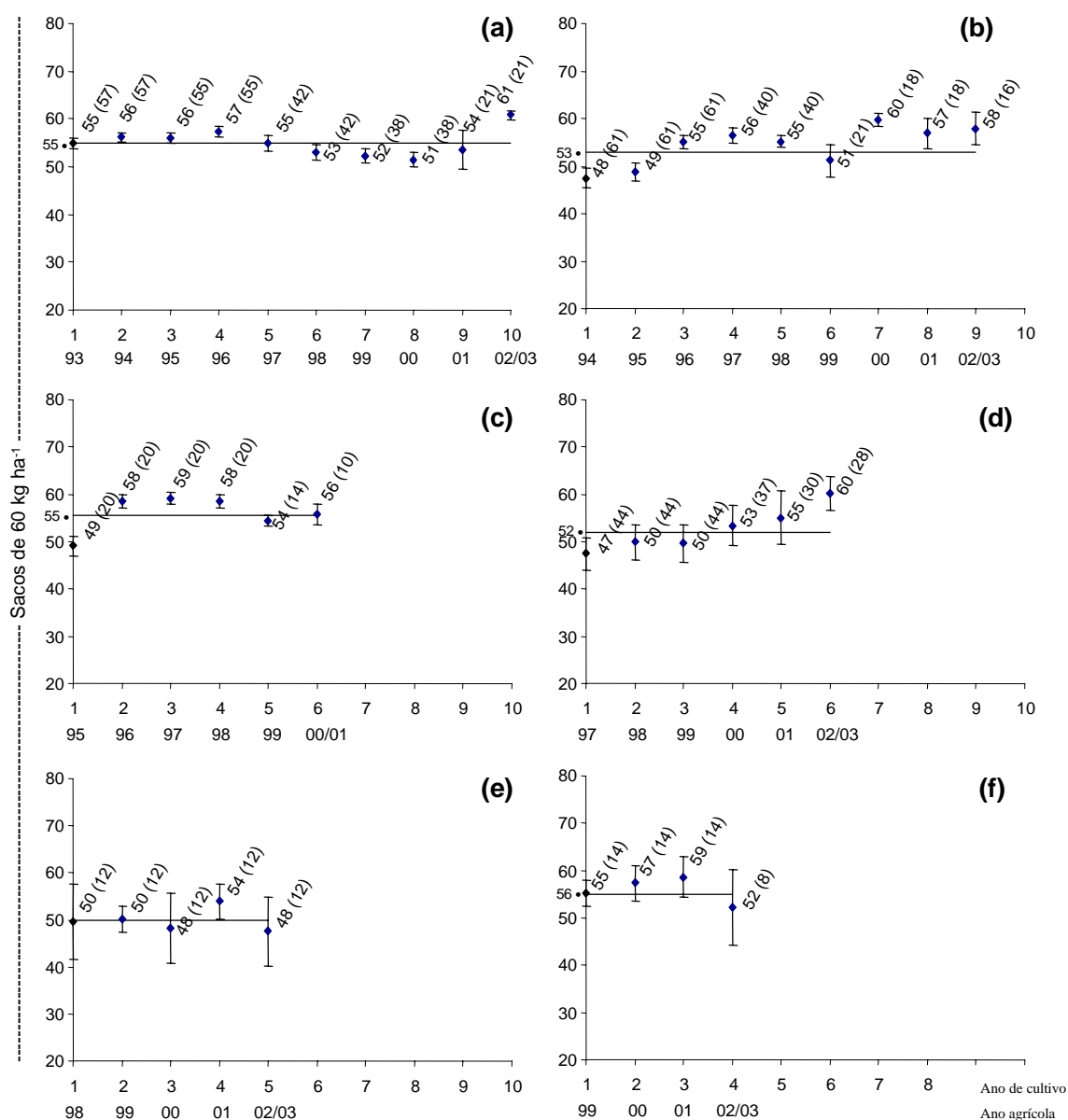


Figura 2. Evolução de produtividade de soja em cultivos sucessivos, nas safras 93 a 95 e 97 a 99 (Figura 1a a 1c e 1d a 1f, respectivamente), considerando o ano agrícola. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Em cada gráfico, a linha horizontal indica a média obtida.

Não obstante a evolução já comentada das produtividades de soja em áreas recém-abertas com a cultura do arroz (Figura 1) e em áreas com maior tempo de cultivo agrícola e mais longa seqüência de cultivos com soja (Figura 2), parece proveitoso avaliar, nessas áreas, a evolução das produtividades dessa cultura conforme a textura do solo. Para tanto, e com base no fato de as condições climáticas serem altamente favoráveis durante todos os anos agrícolas relacionados aos cultivos (1993/94 a 2002/03), adotou-se como critério de agrupamento dos talhões o número de cultivos com soja a partir de um primeiro cultivo com arroz, nas áreas mais recentemente abertas com esta cultura (Figura 3); ou a partir do primeiro registro de cultivo de soja nas áreas com maior histórico de uso com cultivos agrícolas, sem considerar o ano agrícola em que se deu cada cultivo de soja assumido como cultivo inicial com esta cultura e a tecnologia adotada a cada safra (Figura 4). Dessa maneira, foram consideradas como primeiro ano de cultivo de soja o segundo ano de cultivo nas áreas com histórico indicando arroz como cultura de abertura de área e soja em cultivos posteriores (Figura 3); nas áreas sem indicativo de cultivos anteriores à soja, mas com histórico de cultivo com soja a partir de determinada safra, foram consideradas como primeiro cultivo com soja o primeiro registro de cultivo (Figura 4).

Nas áreas recém-abertas com arroz, as produtividades de soja em cultivos sucessivos tendem a aumentar com os anos de cultivo, tanto para os solos de textura arenosa e média como para os de textura argilosa (Figura 3). Nas áreas com longo histórico de cultivo de soja (Figura 4) e de textura arenosa e média, vê-se que as produtividades aumentam com os cultivos, de 42 para 58 sc ha<sup>-1</sup>, com valores semelhantes aos verificados, em média, para os solos de textura argilosa. Não obstante, nos solos mais arenosos, os maiores aumentos consecutivos na produtividade foram verificados entre o primeiro e o terceiro cultivo. Nos solos de textura argilosa, as produtividades já partem de valores em torno de 52 sc ha<sup>-1</sup> e atingem, no décimo ano de cultivo, o valor de 61 sc ha<sup>-1</sup>, embora sem diferença estatística do maior valor obtido (58 sc ha<sup>-1</sup>) no solo de textura arenosa e média.

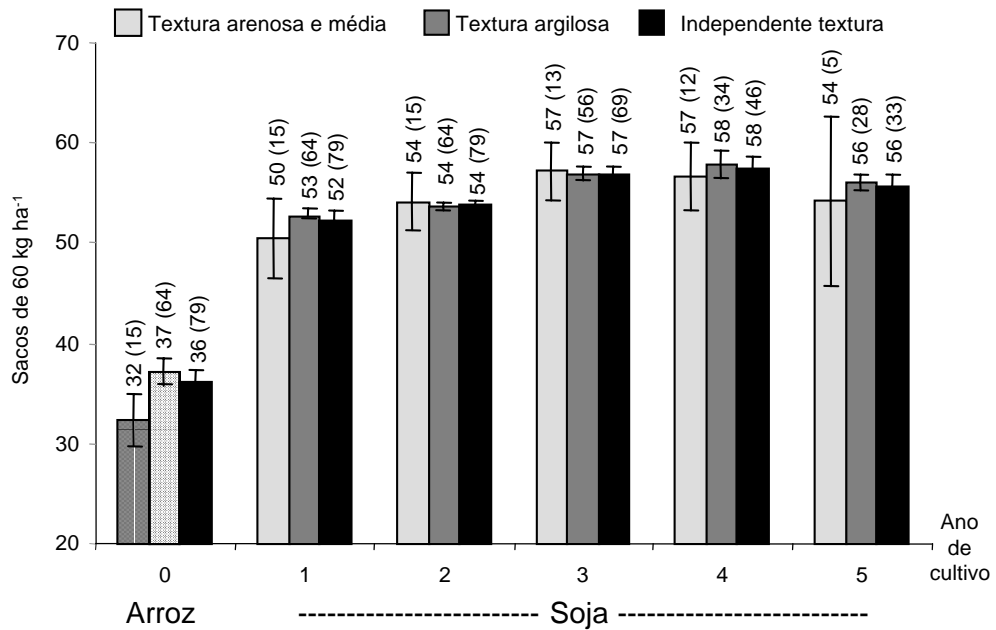


Figura 3. Evolução de produtividade de soja, em solos de textura arenosa e média, argilosa e independente da textura, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras verticais indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

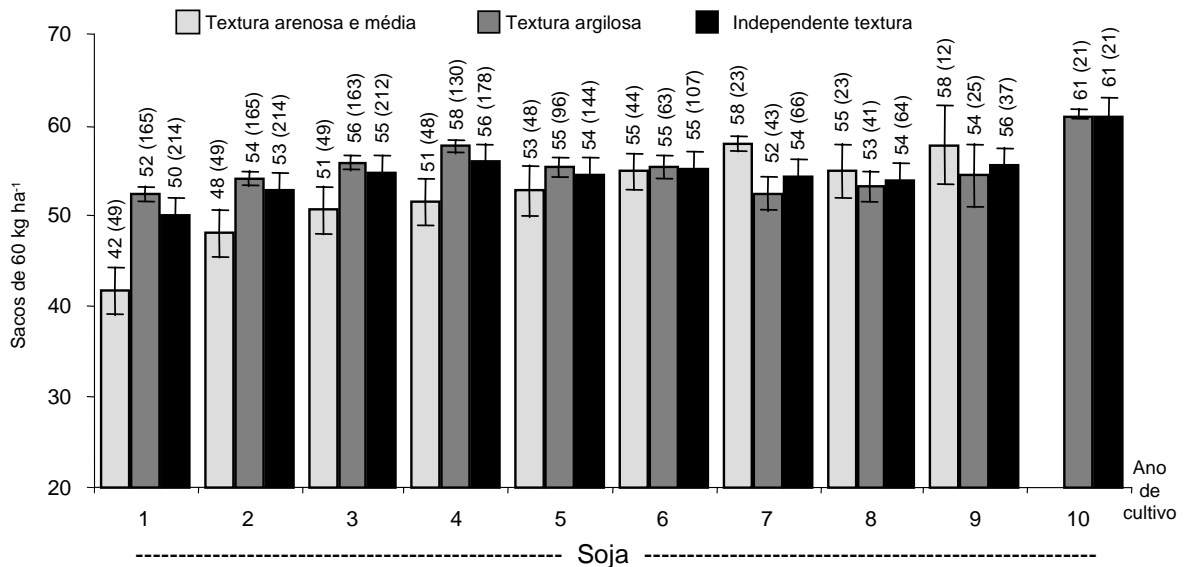


Figura 4. Evolução de produtividade de soja, em solos de textura arenosa e média, argilosa e independente da textura, em cultivos sucessivos, em áreas com longo histórico de cultivo desta cultura. As barras verticais indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

### 3.2. Estado nutricional das lavouras

O estado nutricional das lavouras de soja nas áreas recém-abertas com a cultura do arroz (Figuras 5 e 6) mostra-se adequado para N, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn e B, havendo indicações de carência para os nutrientes P, K, Ca, e S, considerando as faixas ótimas obtidas pelo método da chance matemática aplicado a lavouras de soja (Kurihara, 2004). Cabe ressaltar que os solos das lavouras de soja nas áreas recém-abertas se encontravam em fase de “construção” de fertilidade. Tal observação pode ser constatada ao se acompanhar o comportamento dos teores foliares de nutrientes, à medida que o número de cultivos avança, os teores apresentam tendência de elevação, à exceção do K (Figuras 5 e 6).

Já nas áreas com longo histórico de soja (Figuras 7 e 8), é possível verificar a manutenção, dentro dos limites da faixa ótima definidos por Kurihara (2004), ou incremento dos teores foliares à medida que os cultivos avançam, refletindo o processo de correção da fertilidade; a exceção do K, cujo teor (em média,  $17 \text{ g kg}^{-1}$ ) situa-se no limite inferior da faixa ótima de  $16,8$  a  $27,6 \text{ g kg}^{-1}$ . Isso indica o acerto nutricional conseguido pelo monitoramento no contexto do PIDAP, onde somente o incremento dos nutrientes que mais se correlacionam com o aumento de produtividade são buscados. A situação observada para o K aponta o inadequado suprimento deste nutriente aos solos, o que poderia estar limitando a produtividade média da cultura ou, por outro lado, a inadequação, para as áreas estudadas, da faixa de suficiência estabelecida para este nutriente na cultura da soja.

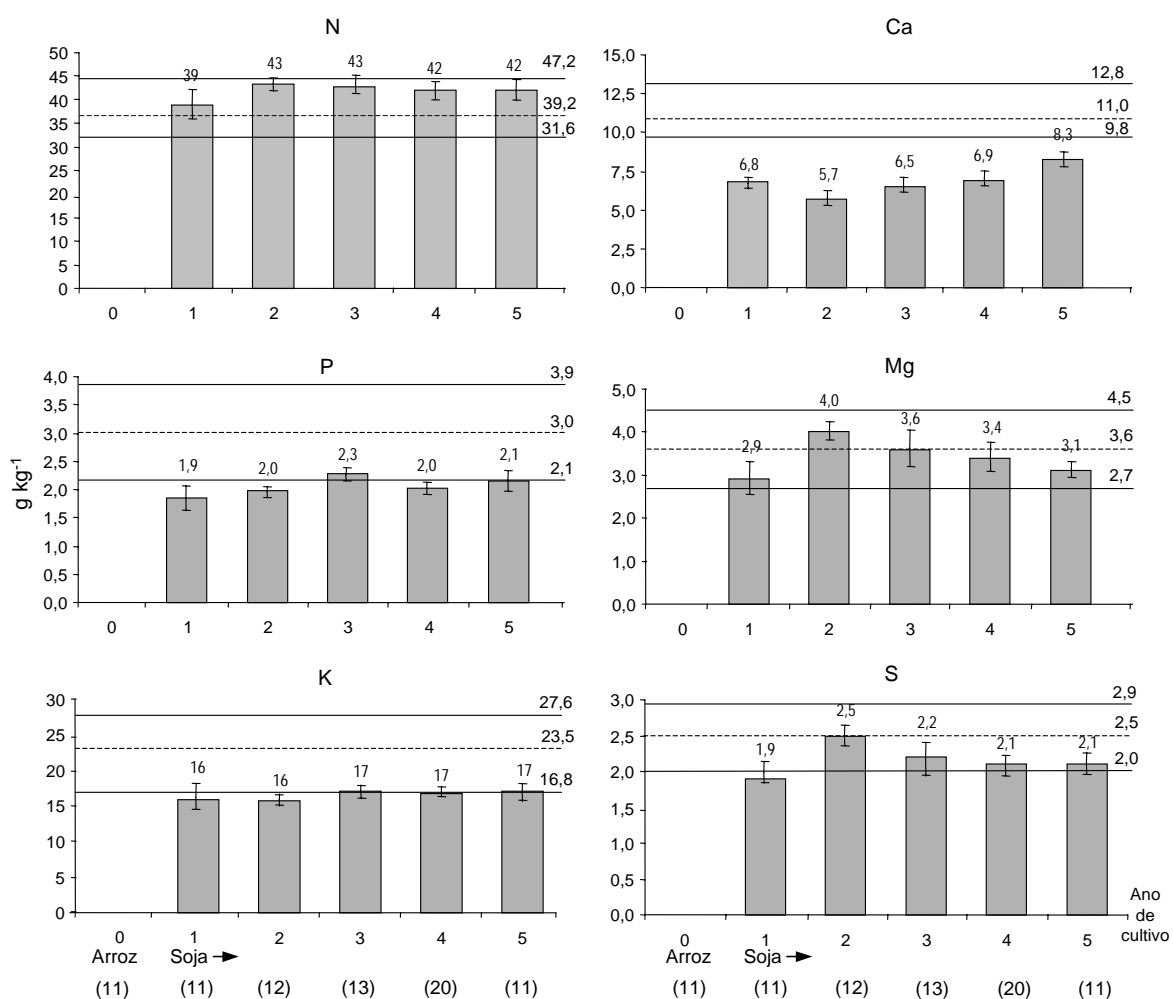


Figura 5. Evolução dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5 %. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Valores nas linhas horizontais contínuas indicam a faixa ótima e na linha pontilhada o teor ótimo, estimados pelo método da chance matemática, para produtividade de 3.900 kg ha<sup>-1</sup> (Kurihara, 2004).

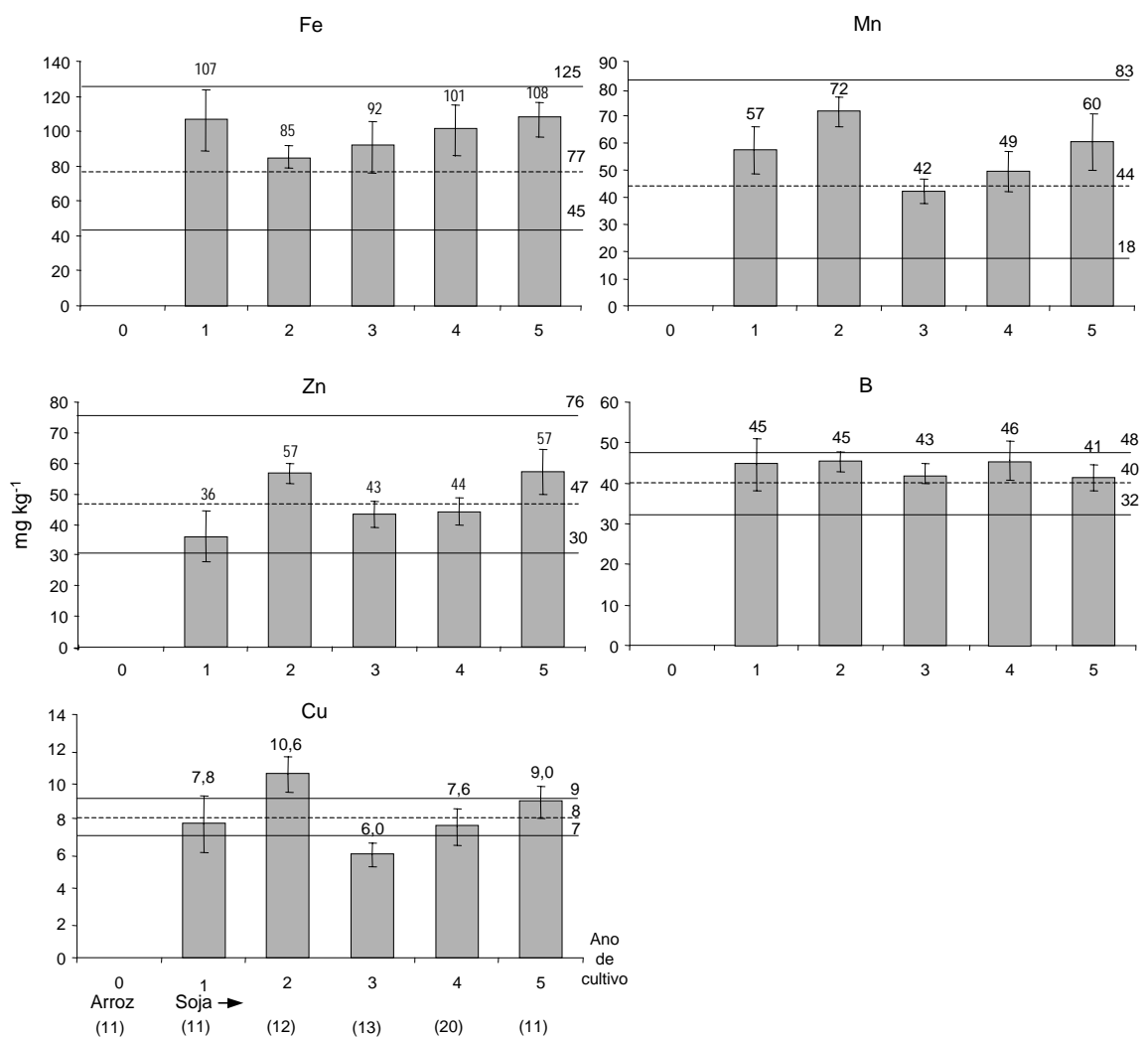


Figura 6. Evolução dos teores foliares de Fe, Zn, Cu, Mn e B em plantas de soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Valores nas linhas horizontais contínuas indicam a faixa ótima e na linha pontilhada o teor ótimo, estimados pelo método da chance matemática, para produtividade de 3.900 kg ha<sup>-1</sup> (Kurihara, 2004).

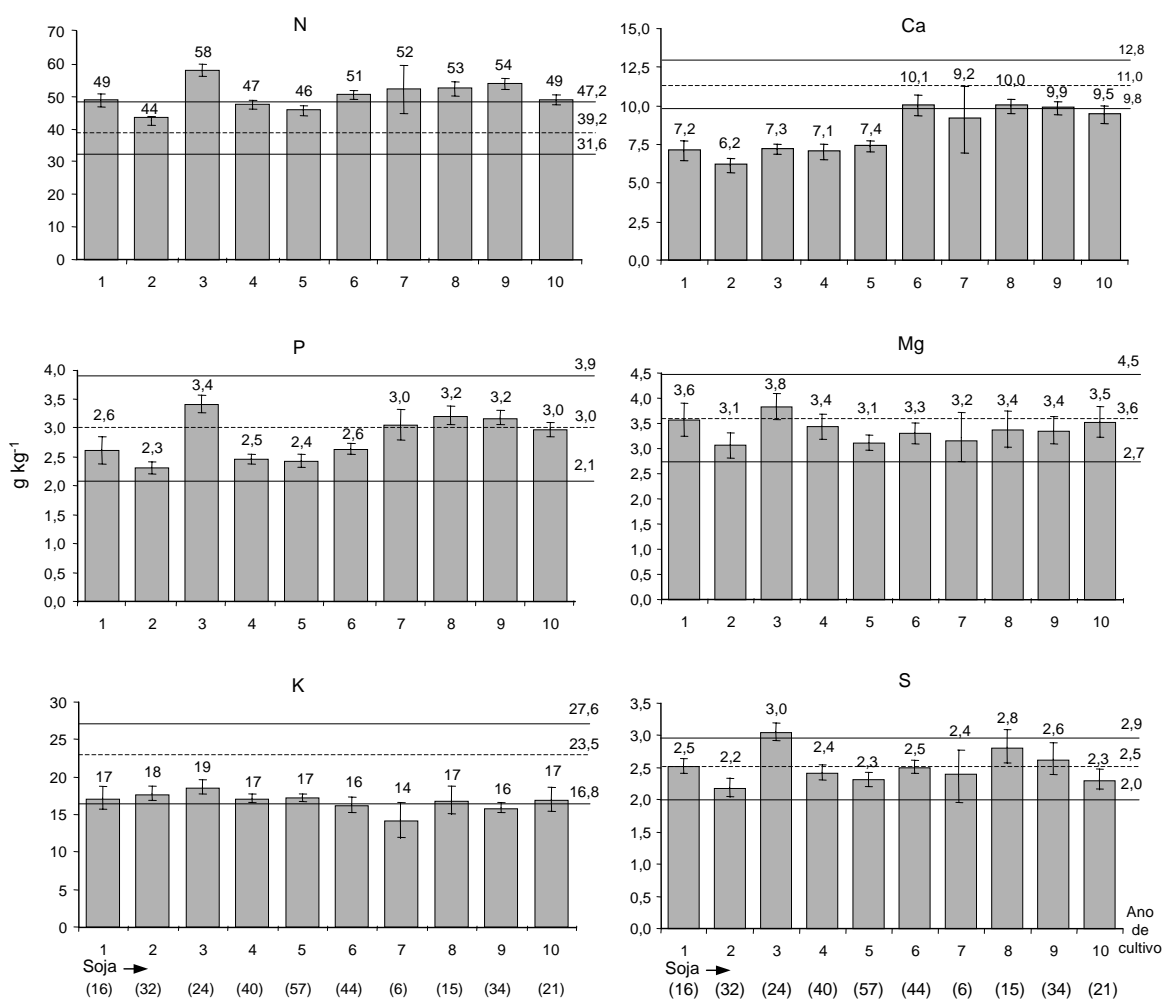


Figura 7. Evolução dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S em plantas de soja, em áreas com longo histórico de cultivo desta cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Valores nas linhas horizontais contínuas indicam a faixa ótima e na linha pontilhada o teor ótimo, estimados pelo método da chance matemática, para produtividade de 3.900 kg ha<sup>-1</sup> (Kurihara, 2004).

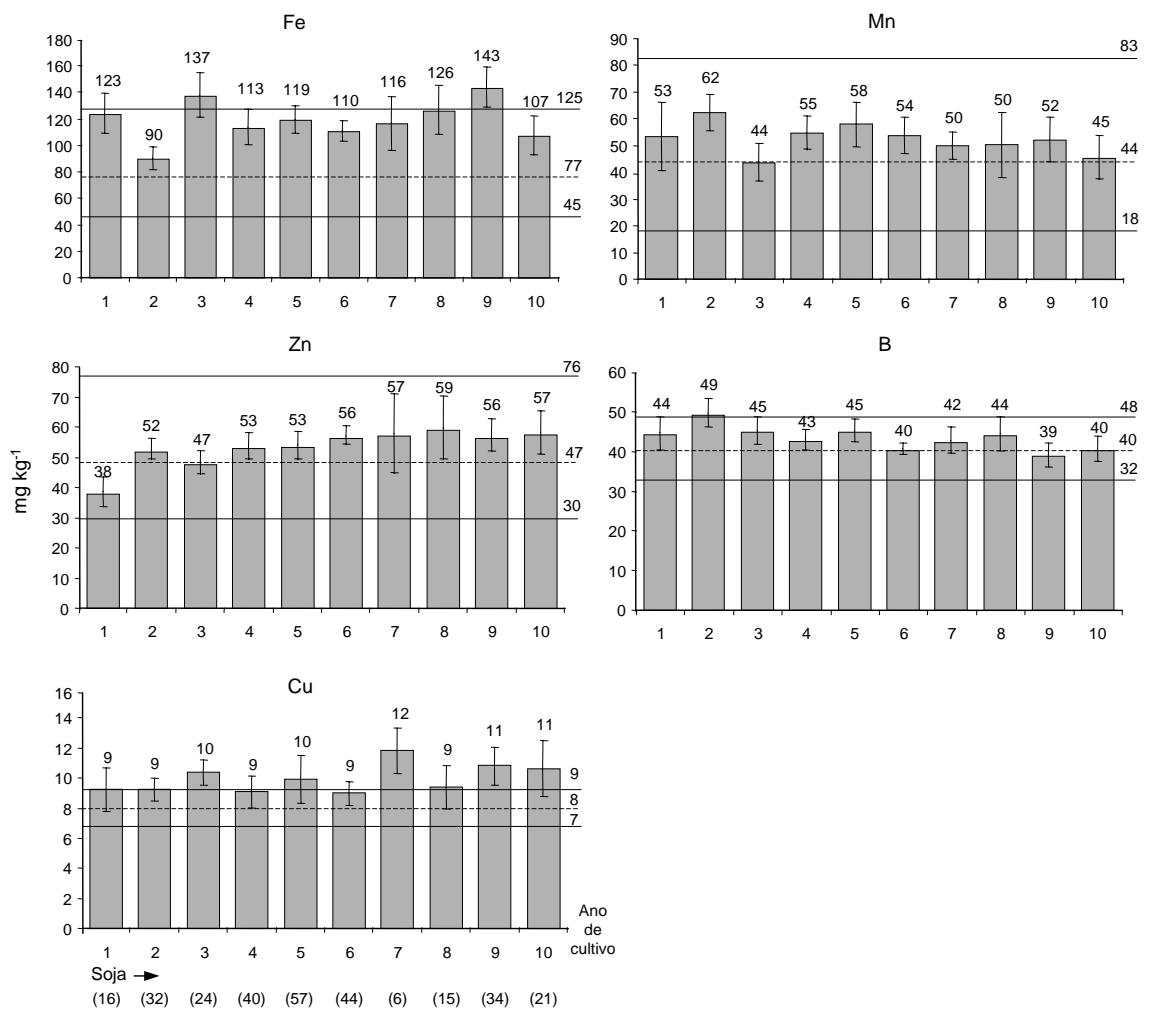


Figura 8. Evolução dos teores foliares de Fe, Zn, Cu, Mn e B em plantas de soja, em áreas com longo histórico de cultivo desta cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo. Valores nas linhas horizontais contínuas indicam a faixa ótima e na linha pontilhada o teor ótimo, estimados pelo método da chance matemática, para produtividade de 3900 kg ha<sup>-1</sup> (Kurihara, 2004).

### 3.3. Evolução de características do solo relacionadas à fertilidade

Desde o primeiro ano do cultivo da soja na sucessão ao arroz, as propriedades dos solos relacionadas à acidez mantiveram-se em um patamar, indicando que a correção do solo foi adequadamente feita desde o cultivo do arroz (Figura 9a). Os valores médios de pH-CaCl<sub>2</sub> na profundidade de 0 a 15 cm, estão na faixa de 4,8 a 5,1, com pequenas diferenças entre os cultivos, de modo geral não significativas, e mesmo entre os solos argilosos e os arenosos-texturas médias. Na profundidade de 15 a 30 cm (Figura 9b), nos solos arenosos-texturas médias houve incremento do pH-CaCl<sub>2</sub> de 4,8 para 5,1. Nos solos argilosos, o pH-CaCl<sub>2</sub> praticamente se manteve constante em 4,4. Como o pH-CaCl<sub>2</sub> foi, em média, 0,8 unidade menor que o pH-H<sub>2</sub>O, tem-se que este, na camada de 0 a 15 cm, variou na faixa de 5,6 a 5,9 e na de 15 a 30 cm de 5,1 a 5,3, faixa que se mostrou compatível com a produtividade média de 52 a 58 sc ha<sup>-1</sup> de grãos de soja na área estudada (Figura 3). Esses valores de pH corresponderam a valores de saturação por bases, na camada de 0 a 15 cm, variáveis entre 30 e 49 % para a média de todos os solos (Figura 11a), sem diferença significativa para textura e ano de cultivo (Figura 11a). O fato dessa faixa de valores de saturação por bases ter viabilizado produtividades de soja acima de 50 sc ha<sup>-1</sup> é de grande importância para a utilização do método de recomendação de calagem que se baseia nessa saturação, para a cultura de soja. A saturação por bases de 15 a 30 cm apresentou valores médios de 11 a 17 % (Figura 11b).

Pode-se observar quanto à matéria orgânica, tendência de incrementos nos cinco cultivos, tanto em solos argilosos como nos de textura arenosa e média (Figura 10a). O maior incremento ocorreu do 1º para o 2º cultivo de soja, com variação de 24 % e 13 %, de 0 a 15 e 15 a 30 cm, respectivamente (Figura 10a, b). A partir do 2º cultivo, na profundidade de 0 a 15 cm houve redução de 14 % até o 5º cultivo (Figura 10a). Na profundidade de 15 a 30 cm, a redução foi de 6 % (Figura 10b, d).

Os incrementos de Ca e Mg no solo foram maiores do 1º para o 2º cultivo com soja, variando de 11 para 26 e 7 para 16 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Figuras 12a, 13a). Esse mesmo comportamento, embora em magnitude inferior, pode ser verificado de 15 a 30 cm (Figuras 12b, 13b). Isso ocorreu em função da maior adição de Ca e Mg entre o 1º e o 2º cultivo de soja, como será mostrado mais adiante.

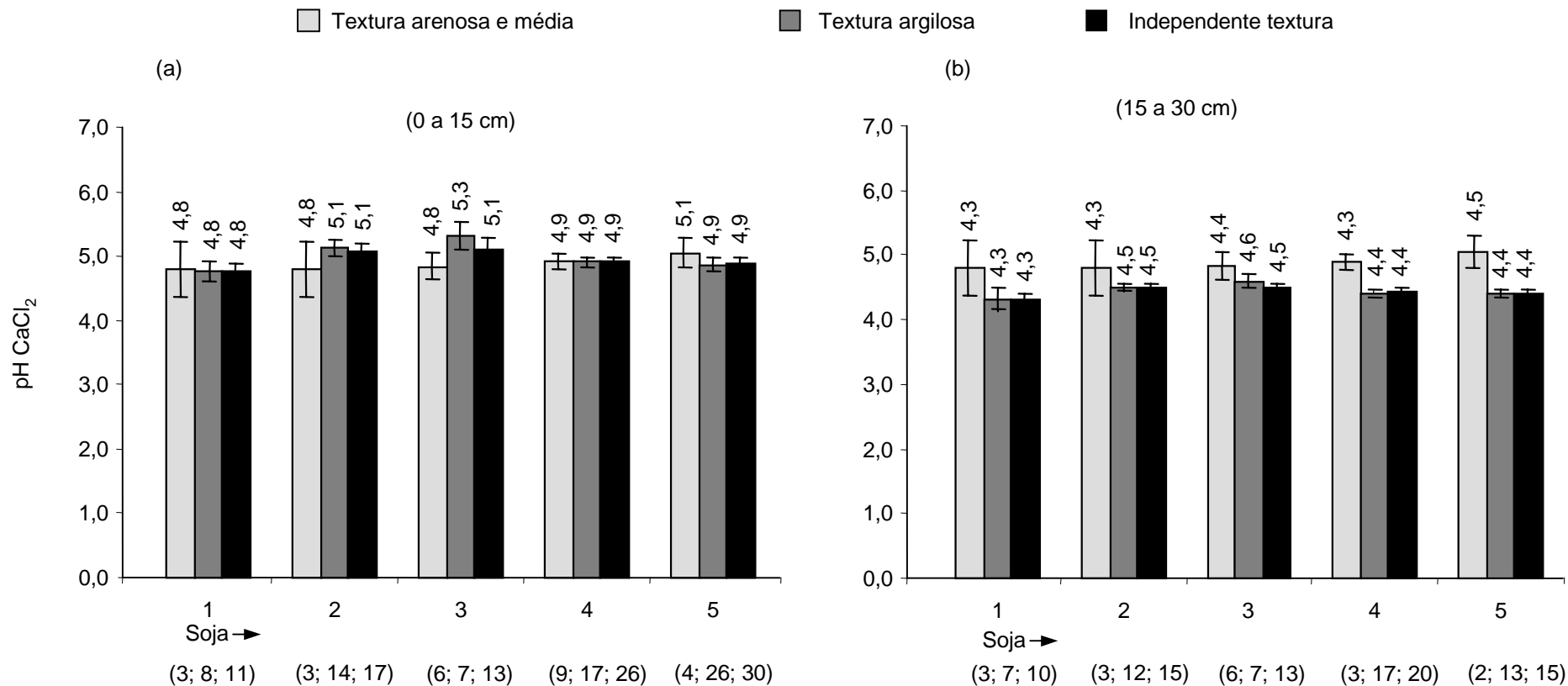


Figura 9. Evolução do pH-CaCl<sub>2</sub> em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

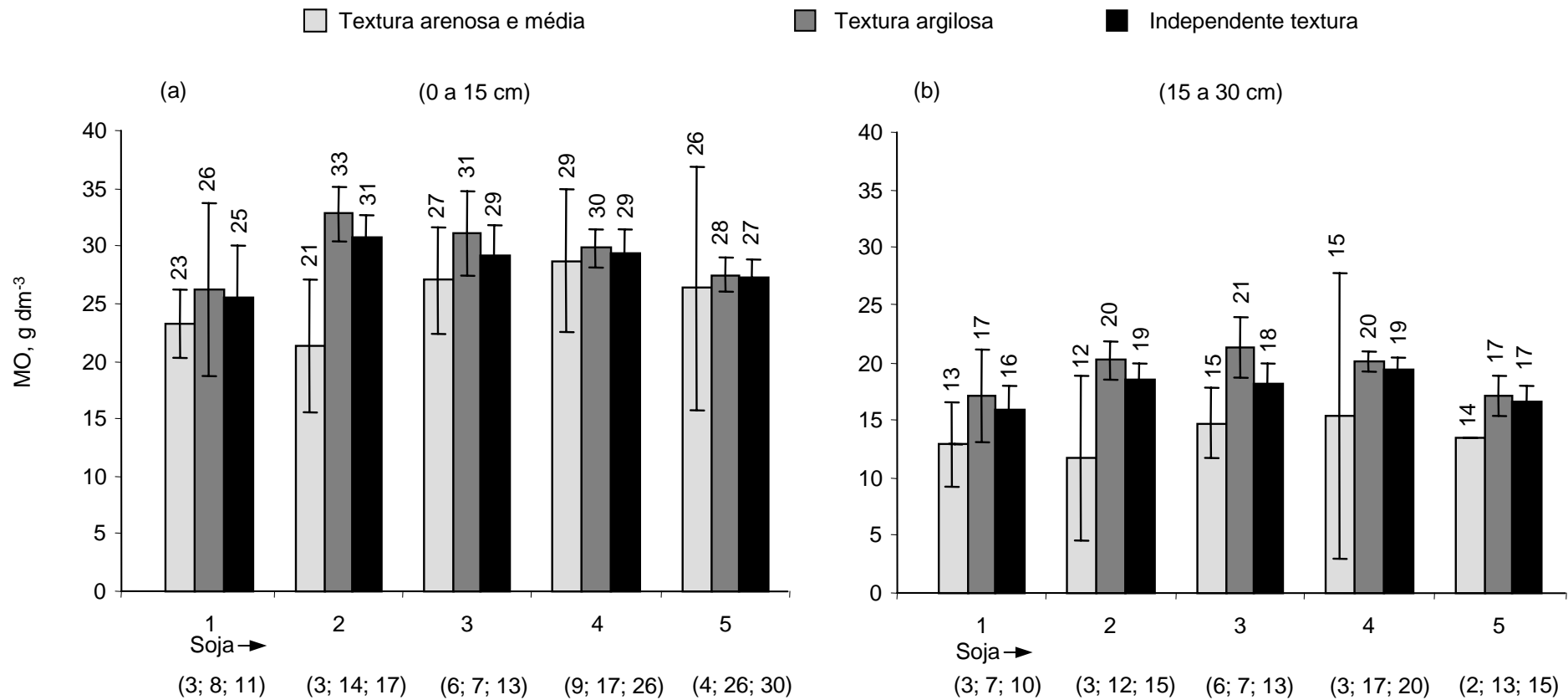


Figura 10. Evolução da matéria orgânica (MO) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

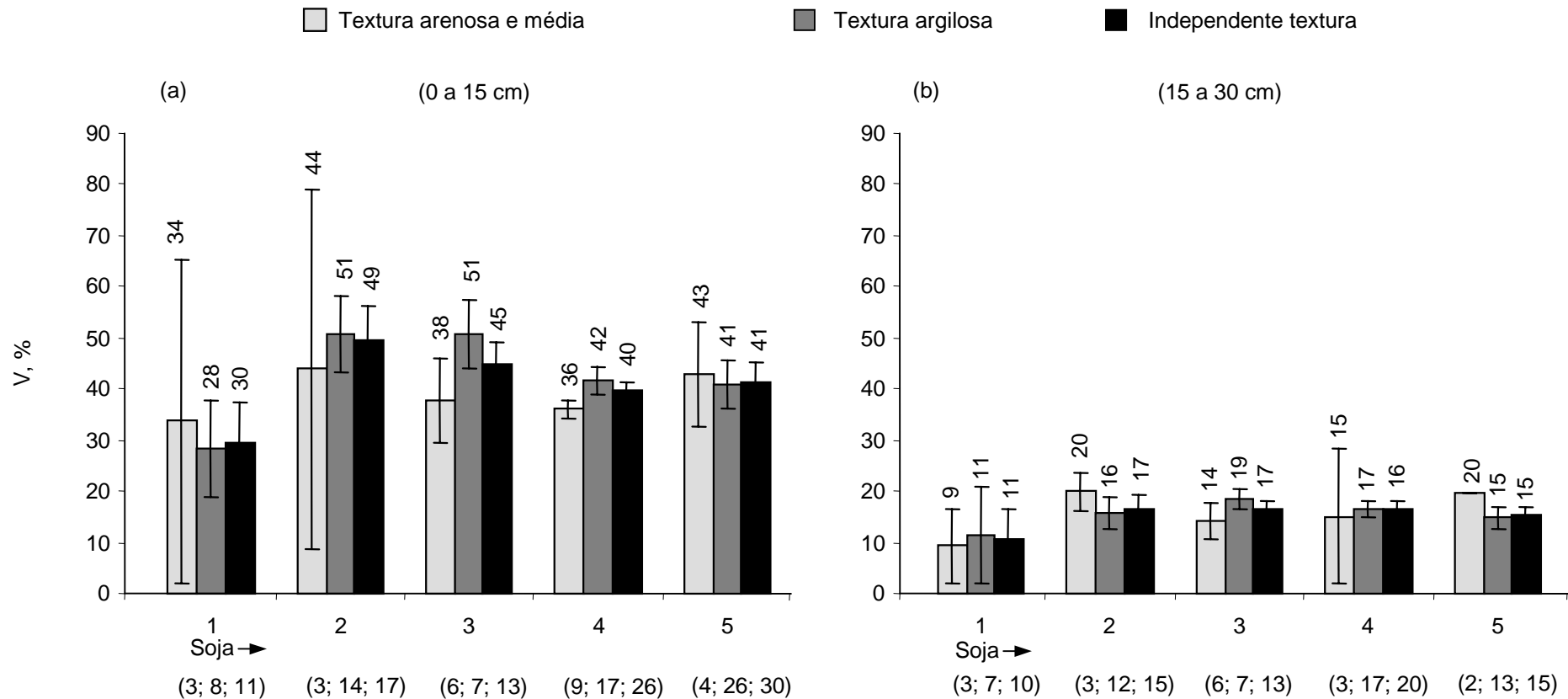


Figura 11. Evolução da saturação por bases (V) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

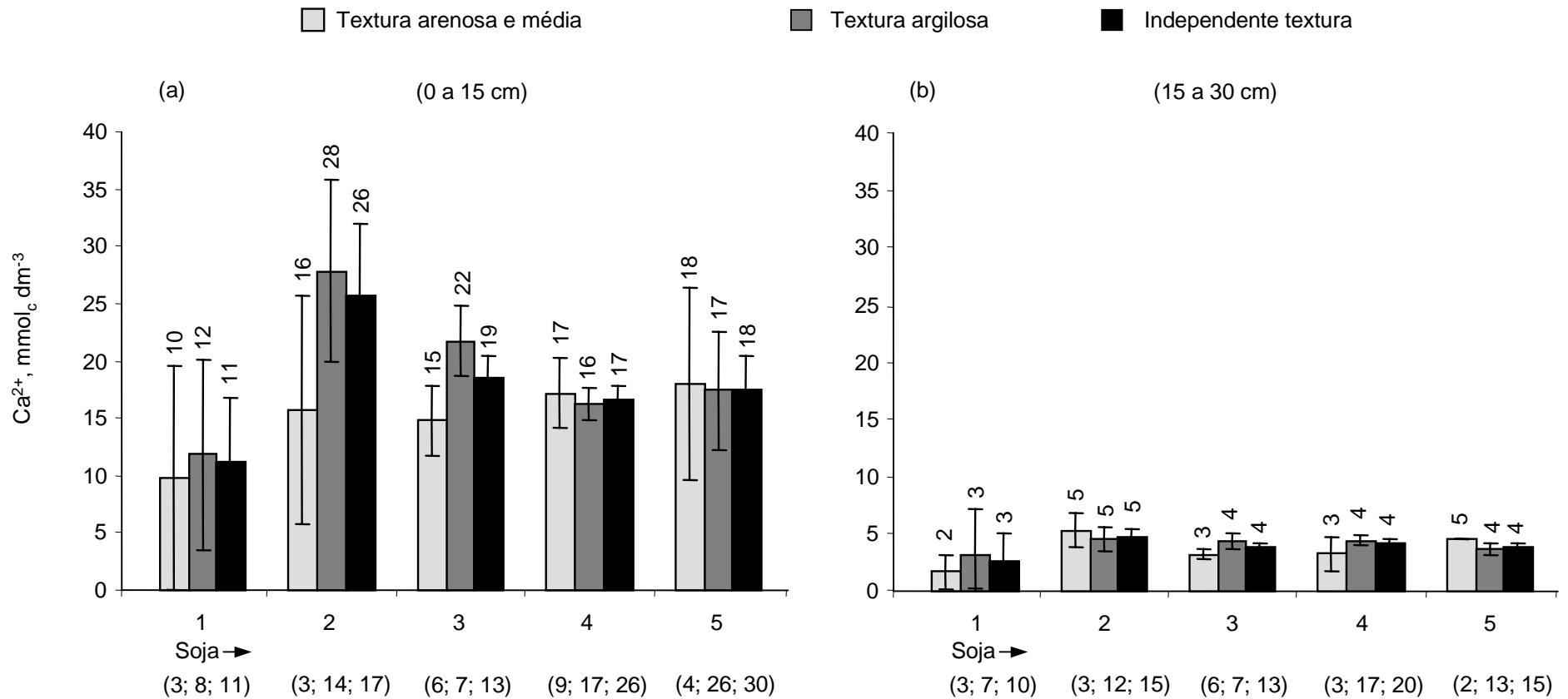


Figura 12. Evolução do Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

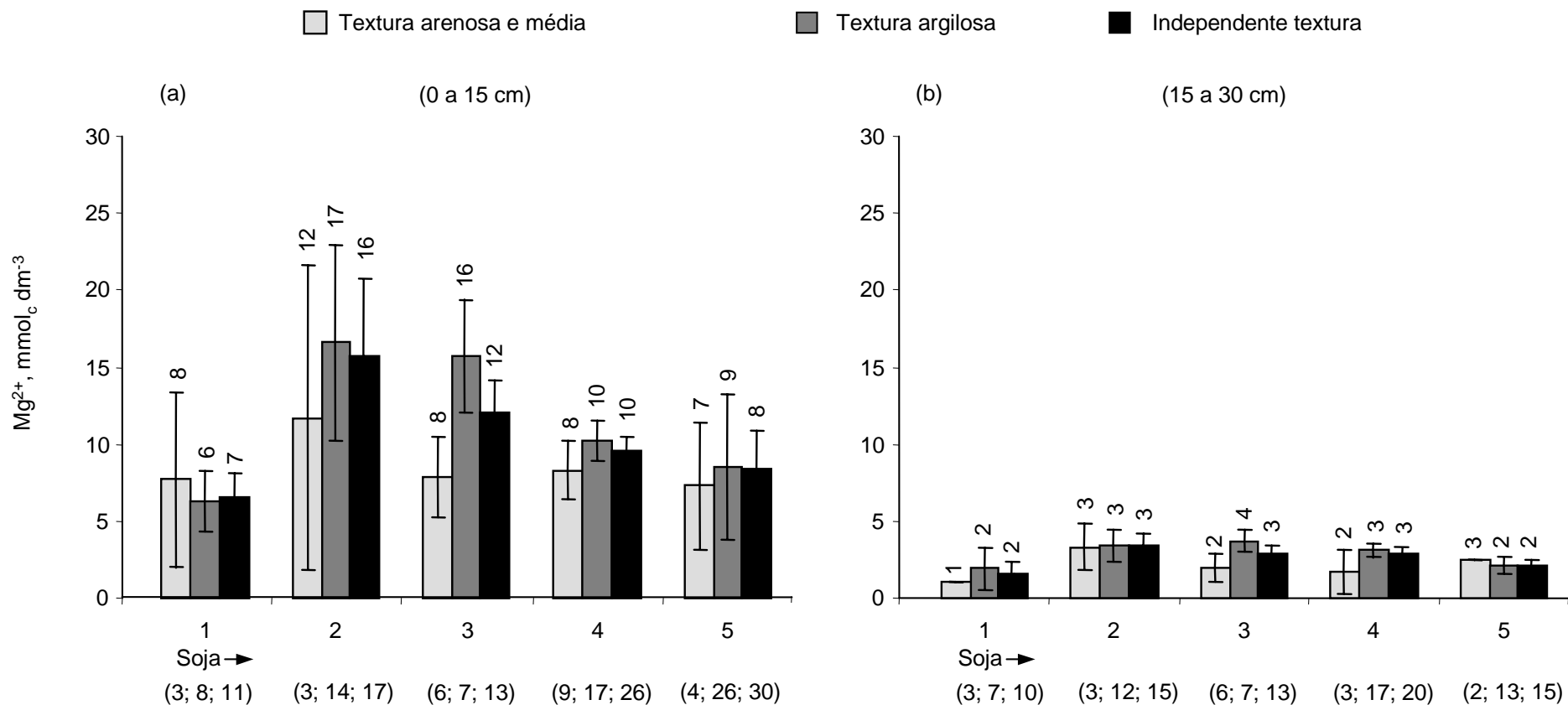


Figura 13. Evolução do Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

Quanto aos valores de H + Al, no solo sob a sucessão arroz-soja (Figura 14), observa-se que tal característica não foi alterada significativamente com o cultivo da área. Não obstante, percebe-se a existência de algumas flutuações nos valores de H + Al, que podem ser explicadas como resultantes do balanço entre as alterações na saturação por bases e no teor de matéria orgânica. Desse modo, aumentos na saturação por bases, per si, ocasionam decréscimo nos valores de H + Al, e, por outro lado, aumentos na matéria orgânica promovem acréscimo nos valores dessa acidez potencial.

Observou-se de 0 a 15 cm, aumento linear do P disponível do solo com os anos de cultivo da soja (Figura 15a), indicando que o suprimento de P tem sido superior à extração pela cultura. Como média das texturas, o teor de P disponível mais que dobrou entre o primeiro e o quinto ano de cultivo (Figura 15a). Dada a baixa recuperação do P aplicado pelas culturas, de modo particular nos solos mais intemperizados como os deste estudo (Gonçalves et al., 1985; Novais & Smyth, 1999), este tipo de comportamento de P no solo é comum, e necessário às altas produtividades como obtidas no caso em estudo. Na profundidade de 15 a 30 cm, nos solos de textura arenosa e média, o P tendeu ao incremento. O mesmo não ocorreu para os argilosos e no conjunto de solos (Figura 15b).

O K disponível, entre 0,5 e 0,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (20 e 16 mg dm<sup>-3</sup>), de 0 a 15 cm, no primeiro cultivo de soja, que indica forte deficiência, elevou-se para um patamar de 1,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> a partir do segundo cultivo, se mantendo nos cultivos subsequentes em torno de 0,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, como média de todos os solos (Figura 16a). Esta concentração de K (35 mg dm<sup>-3</sup>) corresponde a 71 kg ha<sup>-1</sup> deste nutriente na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, quantidade inferior à demanda total da parte aérea desta cultura (105 kg ha<sup>-1</sup>, em média), como será visto mais adiante. Como consequência do incremento de K de 0 a 15 cm em função das doses de K aplicadas, associadas à alta precipitação, pode-se verificar aumento de 15 a 30 cm, de 0,2 para 0,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na média dos solos, independente da textura (Figura 16b). Os solos de cerrado, mesmo os de textura mais pesada e com boa capacidade de retenção de K, estão sujeitos à lixiviação quando da adição de doses mais elevadas de K (Souza, et al., 1979). Esse efeito é potencializado quando a fonte é o cloreto de potássio (Zanzonowicz & Mielniczuk, 1985).

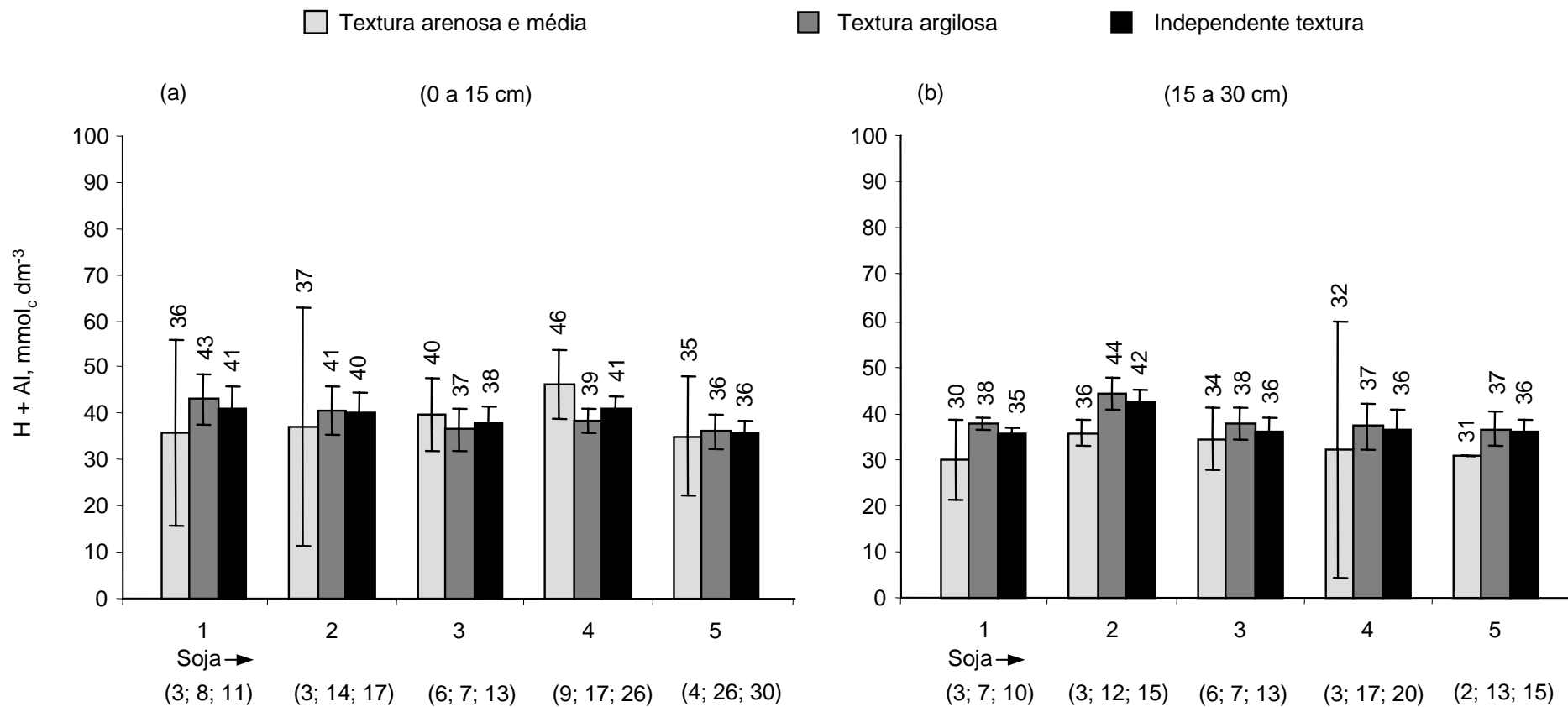


Figura 14. Evolução da acidez potencial (H + Al) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

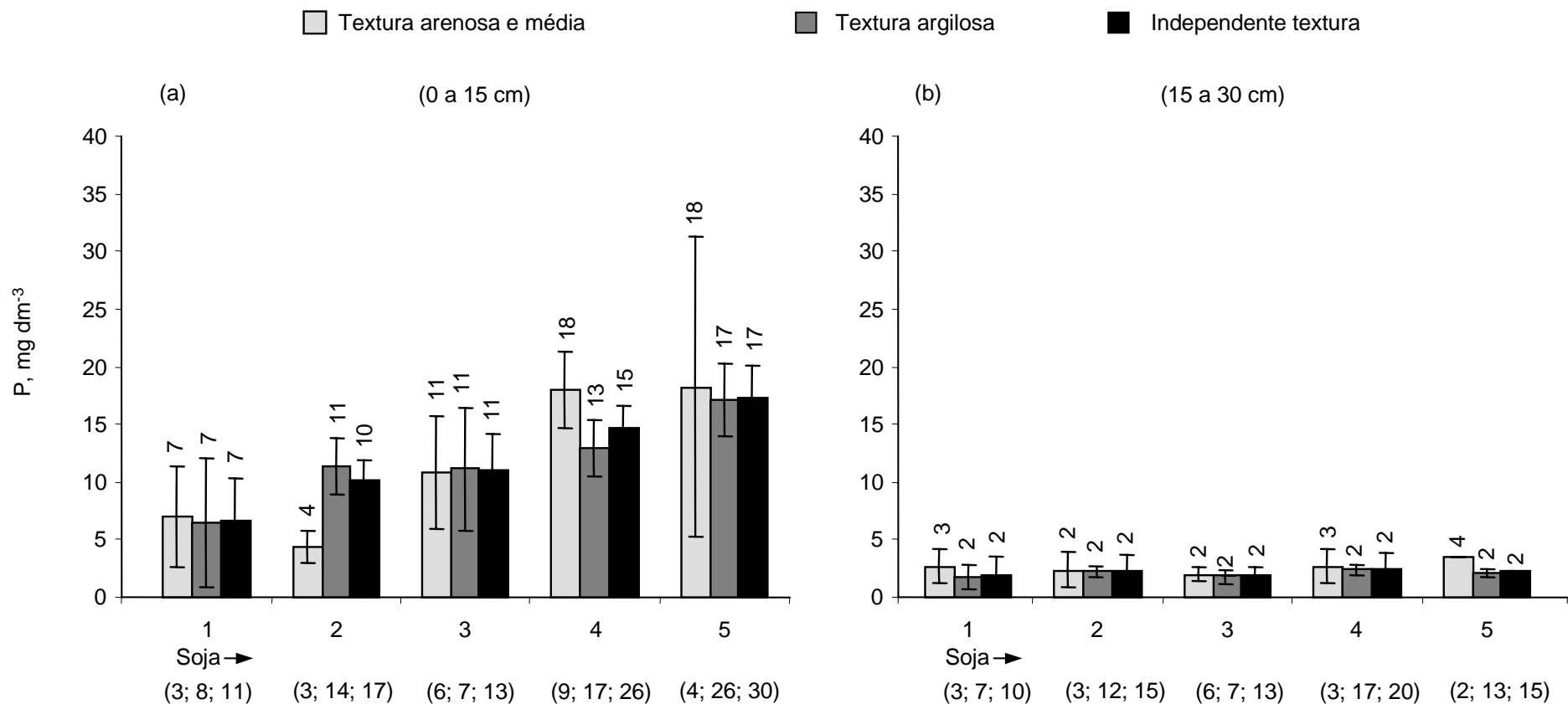


Figura 15. Evolução do P-resina em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

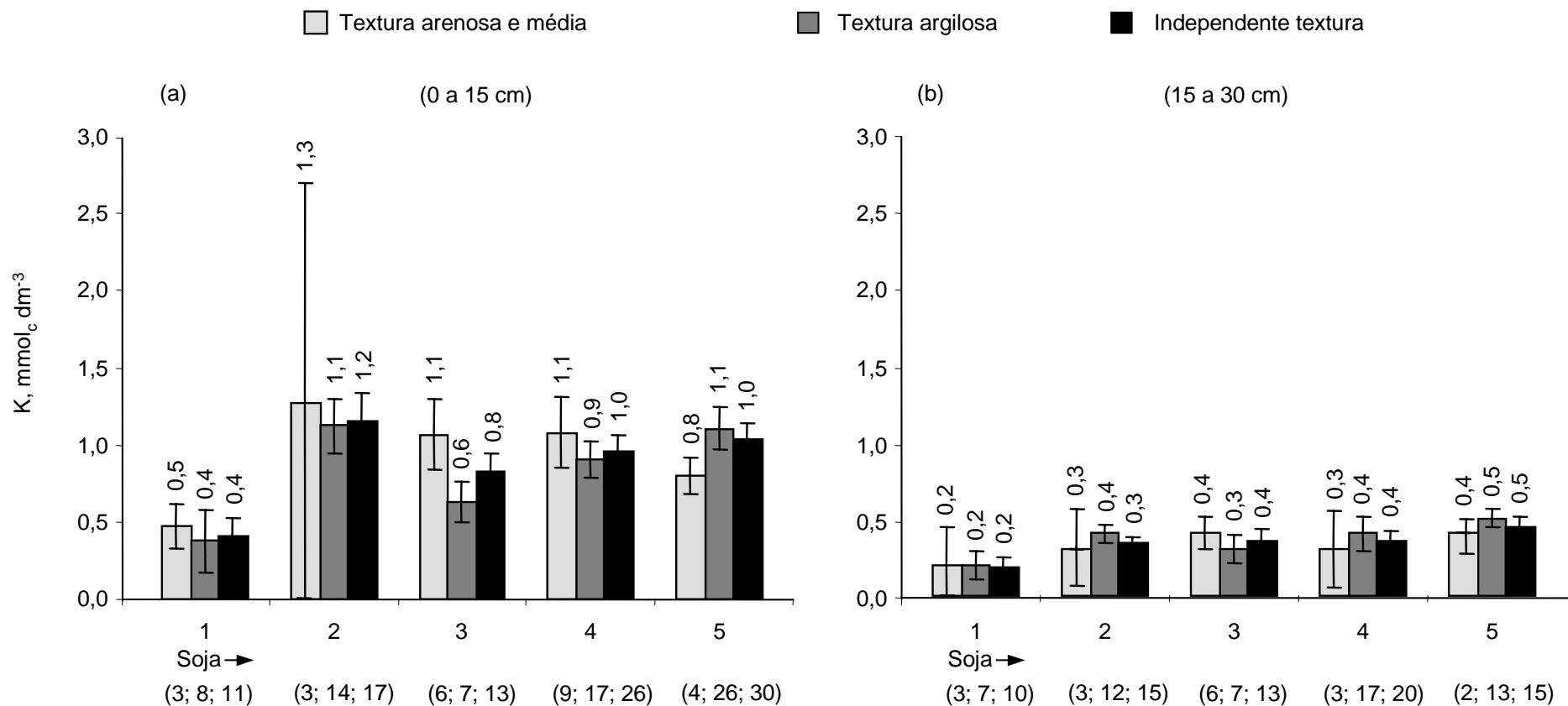


Figura 16. Evolução do K-resina em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas cultivadas inicialmente com arroz. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

Estes números médios relativos ao K do solo sugerem tendências à limitação, ou à não-sustentabilidade de elevadas produtividades, acima de 60 sc ha<sup>-1</sup>, freqüentemente obtidas nessa mesma região.

A sustentabilidade da produção agrícola, de modo particular em solos tropicais submetidos a elevado intemperismo e, por conseguinte, a todo um quadro desfavorável à química do solo – aumento de densidade de cargas positivas em detrimento das negativas – tem na matéria orgânica do solo o componente de cargas negativas que minora esse quadro de excessiva adsorção de ânions como fosfatos e sulfatos (troca de ligantes) e de insatisfatória adsorção de bases como K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (atração eletrostática) (Novais et al., 1998; Novais & Smyth, 1999).

Para que haja manutenção ou aumento da matéria orgânica de um solo é necessário que a entrada de carbono seja igual ou superior à sua saída (mineralização) do sistema. O resíduo da cultura da soja, com baixa relação C/N na parte aérea, é altamente propenso à rápida e ampla respiração. Também a eutroficação de solos originalmente ácidos e distróficos, conseqüência da adição de bases – Ca e Mg – pela calagem e da fertilização com outros nutrientes (Bauhus & Khanna, 1994; Dantas, 2000), além do revolvimento de solo, em diferentes graus, pelo uso de implementos agrícolas, são fortes condicionantes à mineralização ainda mais rápida dos resíduos vegetais e da MO do solo. A propósito, práticas de manejo inadequadas podem resultar em liberação de C maior do que sua fixação (Smith, 2004).

Assim, a conseqüência esperada do cultivo da soja nessas condições seria de intensa e rápida perda da MO do solo com os anos de cultivo, sem rotação com gramíneas, como tem acontecido com freqüência. Por conseguinte, essa perda de MO seria a causa principal da perda da sustentabilidade da produção agrícola desses solos. A MO relaciona-se intimamente com propriedades do solo seja nos mais arenosos (retenção de água e suprimento de nutrientes) ou nos argilosos; onde seu papel mais importante é na manutenção de propriedades físicas, assim, é importante utilizar técnicas de manejo que mantenham ou aumentem o teor de MO do solo (Grigal & Vance, 2000).

Há, portanto, entre os pesquisadores, de modo geral, a consciência da importância da MO do solo como índice ou medida da sustentabilidade da produção agrícola (Smith et al., 2000; Barros & Comeford, 2002). Os

resultados encontrados neste trabalho para os teores de MO dos solos indicam sua manutenção, ao longo dos cultivos de soja para os solos argilosos, com valores entre 26 e 33 g dm<sup>-3</sup> e para os arenosos e médios entre 21 e 29 g dm<sup>-3</sup> (Figura 10a). Tais comportamentos – que chamam a atenção por ser a textura média-arenosa o ambiente geralmente mais favorável às perdas e não o dos solos argilosos nos quais a MO fica mais protegida e, portanto, menos susceptível a perdas (Zinn et al., 2002; Jolivet et al., 2003; Rawls et al., 2003) – merecem ser elucidados em estudos mais aprofundados. A propósito, a relação C/N do sistema radicular da soja é elevada, como pode se depreender dos dados da relação lignina/N (Cadish et al., 2004), fato que pode, ao menos em parte, concorrer para a manutenção dos teores de MO verificada neste trabalho.

Para a sucessão soja-soja por dez anos de cultivo, as propriedades dos solos relacionadas à acidez tiveram incremento. Os valores médios de pH-CaCl<sub>2</sub> de 0 a 15 cm, apresentaram incremento médio de 4,8 para 5,2, sendo essa variação maior nos solos de textura arenosa-média (4,5 para 5,6) do que nos argilosos (4,8 para 5,1) (Figura 17a). Essa variação não se repetiu de 15 a 30 cm, ficando em média entre 4,5 e 4,7 (Figura 17b). Considerando a diferença entre o pH-CaCl<sub>2</sub> e o pH-H<sub>2</sub>O de 0,8, tem-se que esse variou na mesma faixa de 5,7 a 6,0; apresentada na sucessão arroz-soja. O mesmo ocorrendo para a saturação por bases (Figura 19a), que esteve entre 29 e 51 %, com produtividade de 50 e 61 sc ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Comportamento semelhante pode ser observado na saturação por bases de 15 a 30 cm, contudo em proporções menores (Figura 19b).

A MO de 0 a 15 cm e considerando todas as texturas, manteve-se em torno de 29 g dm<sup>-3</sup> (Figura 18a) e de 15 a 30 cm, em 19 g dm<sup>-3</sup> (Figura 18b). Contudo, na camada mais superficial, pode-se verificar a maior oscilação nos solos de textura arenosa e média, o mesmo não ocorrendo na camada inferior. Além disso, a variabilidade média dos teores de MO ao longo dos cultivos na sucessão soja-soja por cerca de 10 anos de cultivo, como indicada pelos coeficientes de variação das médias dos teores de MO, foi de 14,0 % para os arenosos-texturas médias e de apenas 6,3 % para os argilosos. Já na sucessão arroz-soja, essas variabilidades foram próximas, embora ligeiramente maior nos solos arenosos-texturas médias (11,8 %) de que nos argilosos (9,0 %).

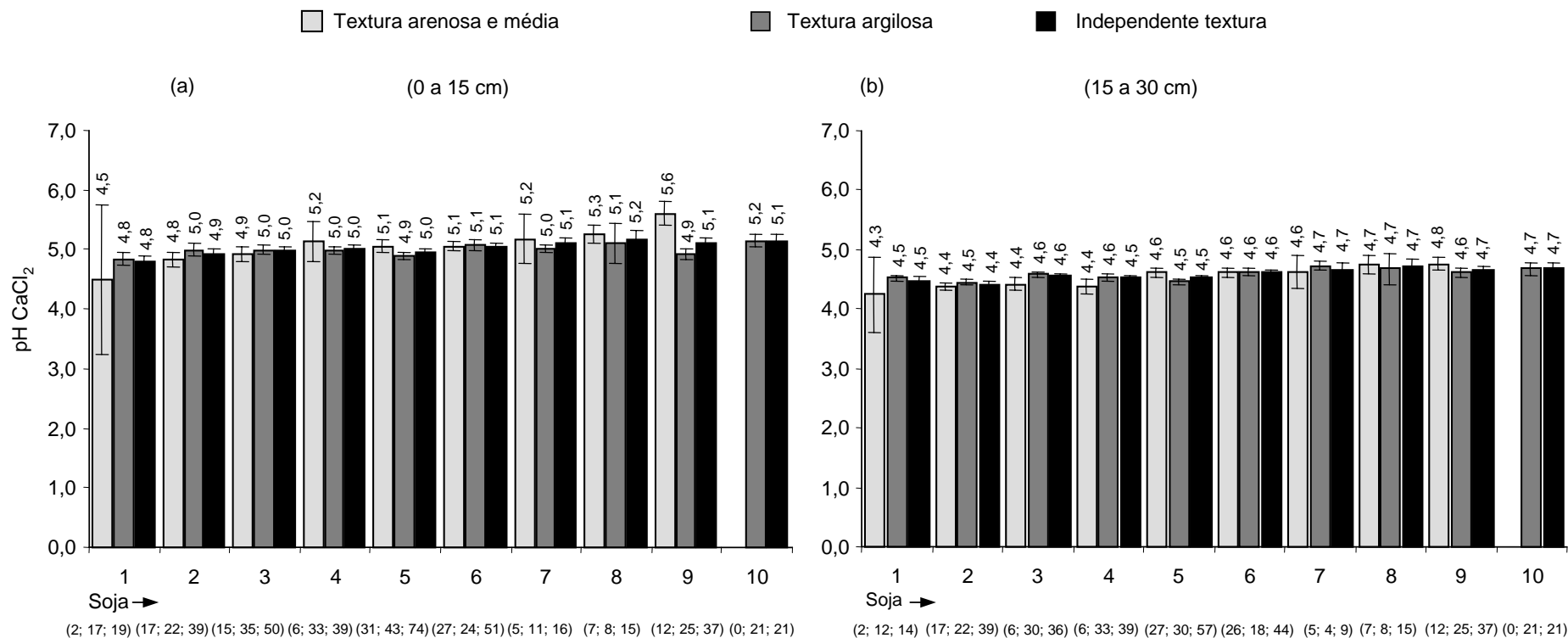


Figura 17. Evolução do pH  $\text{CaCl}_2$  em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

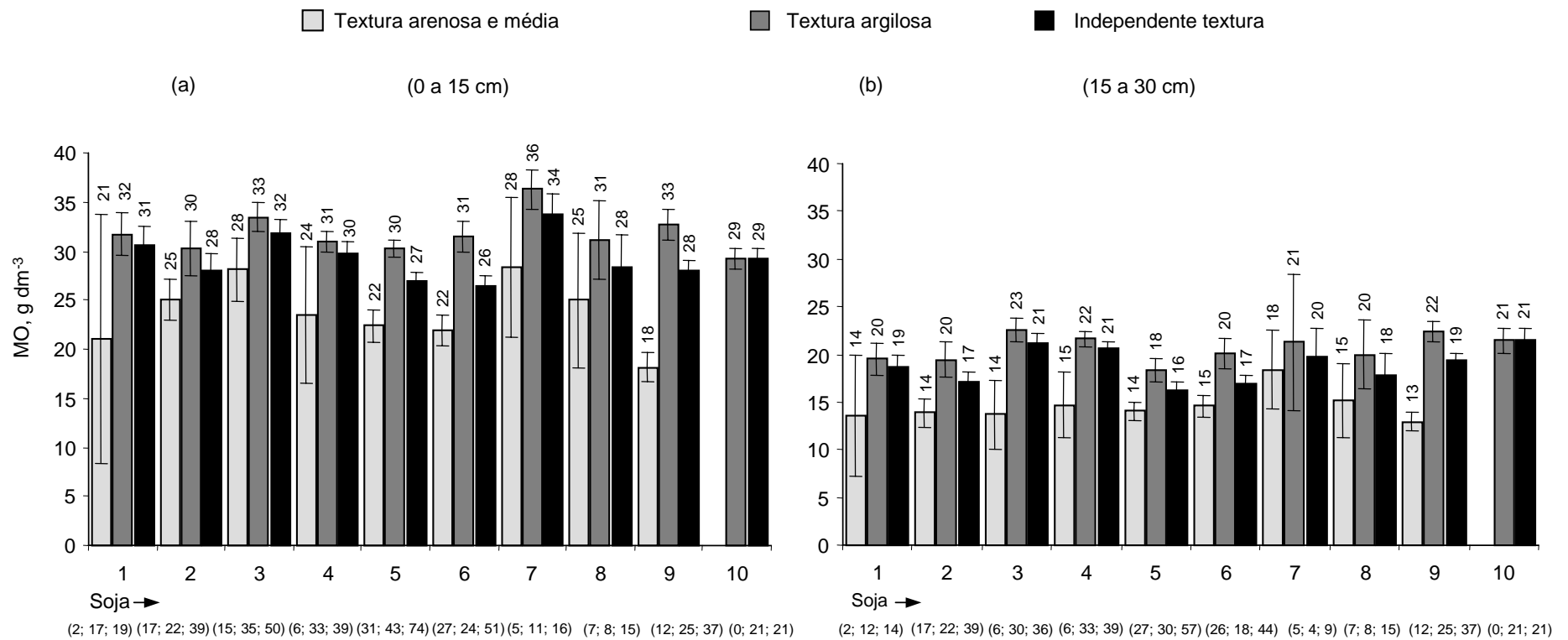


Figura 18. Evolução da matéria orgânica (MO) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

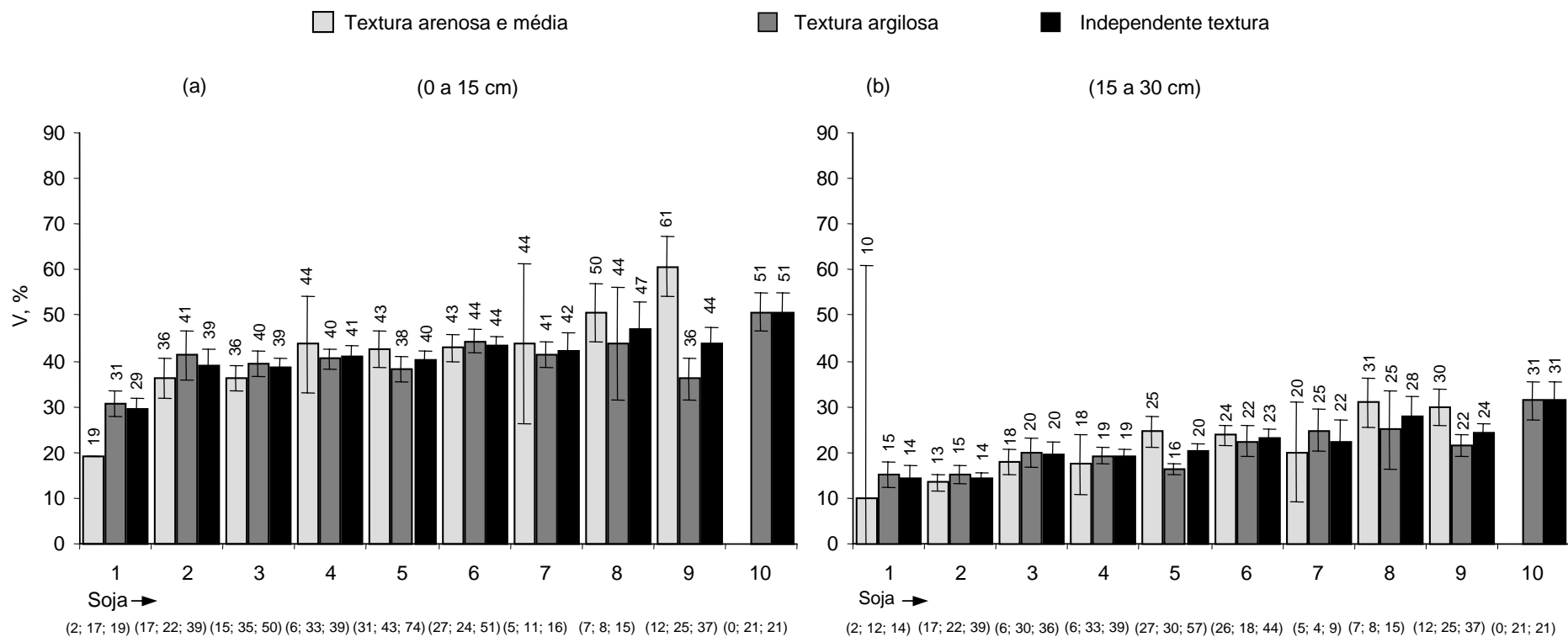


Figura 19. Evolução da saturação por bases (V) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5 %. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

Os teores de Ca e Mg, em todas as texturas e de 0 a 15 cm, tiveram incremento de 100 e 63 %, respectivamente (Figuras 20a, 21a) e de 15 a 30 cm de 200 e 100 % (Figura 20b, 21b).

O aumento linear observado para P na sucessão arroz-soja se manteve na sucessão soja-soja. O incremento médio foi de 240 % de 0 a 15 cm, sendo, maior nos solos argilosos (Figura 23a). De 15 a 30 cm, o incremento foi superior, com valores variando de 2 a 10 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 23b).

O comportamento do K apresentado de 15 a 30 cm foi praticamente o mesmo de 0 a 15 cm, contudo em valores inferiores (Figura 24a, b), que por sua vez, acompanha as doses aplicadas no solo (Figura 26), reforçando o anteriormente comentado para a lixiviação do K na sucessão arroz-soja.

A acidez potencial (H + Al) do solo sob a sucessão soja-soja (Figura 22) variou ao longo dos anos de cultivo. Como já mencionado para a sucessão arroz-soja, as alterações no H + Al devem refletir as alterações na saturação por bases e no teor de matéria orgânica. De fato, as correlações entre H + Al nos solos sob a sucessão soja-soja e a saturação por bases da camada de 0–15 cm são negativas e estatisticamente significativas e negativas tanto nos solos argilosos ( $r = -0,62$ ,  $p < 0,05$ ) como nos de textura arenosa-média ( $r = -0,51$ ,  $p < 0,10$ ), enquanto que na camada de 15–30 cm elas não foram estatisticamente significativas. E as correlações de H + Al com MO foram todas significativas e positivas, tanto nos solos argilosos (0–15 cm:  $r = 0,71$ ,  $p < 0,01$ ); 15–30 cm:  $r = 0,72$ ,  $p < 0,01$ ), como nos de textura arenosa-média (0–15 cm:  $r = 0,87$ ,  $p < 0,01$ ; 15–30 cm:  $r = 0,75$ ,  $p < 0,01$ ).

#### **3.4. Evolução das quantidades de nutrientes adicionadas, extraídas e exportadas pela cultura**

Na sucessão arroz inicial e cinco cultivos consecutivos de soja (Figura 25), é interessante notar a grande preocupação inicial do agricultor com o P, retratada nas elevadas doses médias aplicadas, 122 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos solos argilosos e 138 nos arenosos-texturas médias, valores superiores aqueles indicados nas tabelas de recomendação, para solos com baixa disponibilidade de P: 120 kg ha<sup>-1</sup> em Minas Gerais (Comissão..., 1999),

cerca de 80 kg ha<sup>-1</sup> em São Paulo (Raij, 1996) e em torno de 100 kg ha<sup>-1</sup> nos estados do Sul (Tomé Jr., 1997). Nessa linha, tem sido amplamente verificado em diversos trabalhos e em lavouras comerciais que as doses ótimas para o crescimento da soja, nos primeiros anos de abertura do cerrado, estão bem acima dos 90 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na linha de plantio, indicados nas tabelas referidas.

Causa estranheza a maior dose utilizada nos solos mais arenosos (Figura 25c) que nos argilosos (Figura 25a). Nos solos-dreno, como os mais argilosos e mais intemperizados, a competição do solo com a planta pelo P aplicado é muito maior que nos solos-fonte, como os mais arenosos e, ou, menos intemperizados (Novais & Smyth, 1999). Portanto, seriam esperadas doses menores de P nos solos mais arenosos que nos argilosos, para a mesma produtividade.

Causa também estranheza a queda consistente da dose de K<sub>2</sub>O recomendada, particularmente para o solo argiloso: 143 kg ha<sup>-1</sup> no primeiro cultivo para 84 kg ha<sup>-1</sup> no quinto cultivo (Figura 25a). A diminuição da dose de K<sub>2</sub>O ao longo dos cultivos (Figura 25e) é refletida na diminuição (tendência) do K disponível nos solos (Figura 24b). Esta tendência sugere limitação crescente do K à produtividade da soja ao longo dos anos da sucessão desta cultura, como já aconteceu num passado recente, quando da utilização generalizada da formulação 0-30-15 que indicava uma ênfase maior, e correta, naquela época, ao P e pequena preocupação com o K.

As alterações nas doses de CaO e MgO ao longo da sucessão arroz-soja (Figura 25) indicam ter havido uma calagem para o cultivo do arroz e outra, maior que a primeira, para o primeiro cultivo de soja. O que chama a atenção são as pequenas doses de Ca e Mg adicionadas nos quatro cultivos seguintes, que podem ser explicadas pela preocupação em não se elevar muito o pH, em virtude das fontes fertilizantes de micronutrientes disponíveis no mercado, à época, apresentarem baixa solubilidade. Essa preocupação é de novo discutida mais a frente, quando se apresentarem as correlações de diversas características do solo e da planta com a produtividade de grãos de soja.

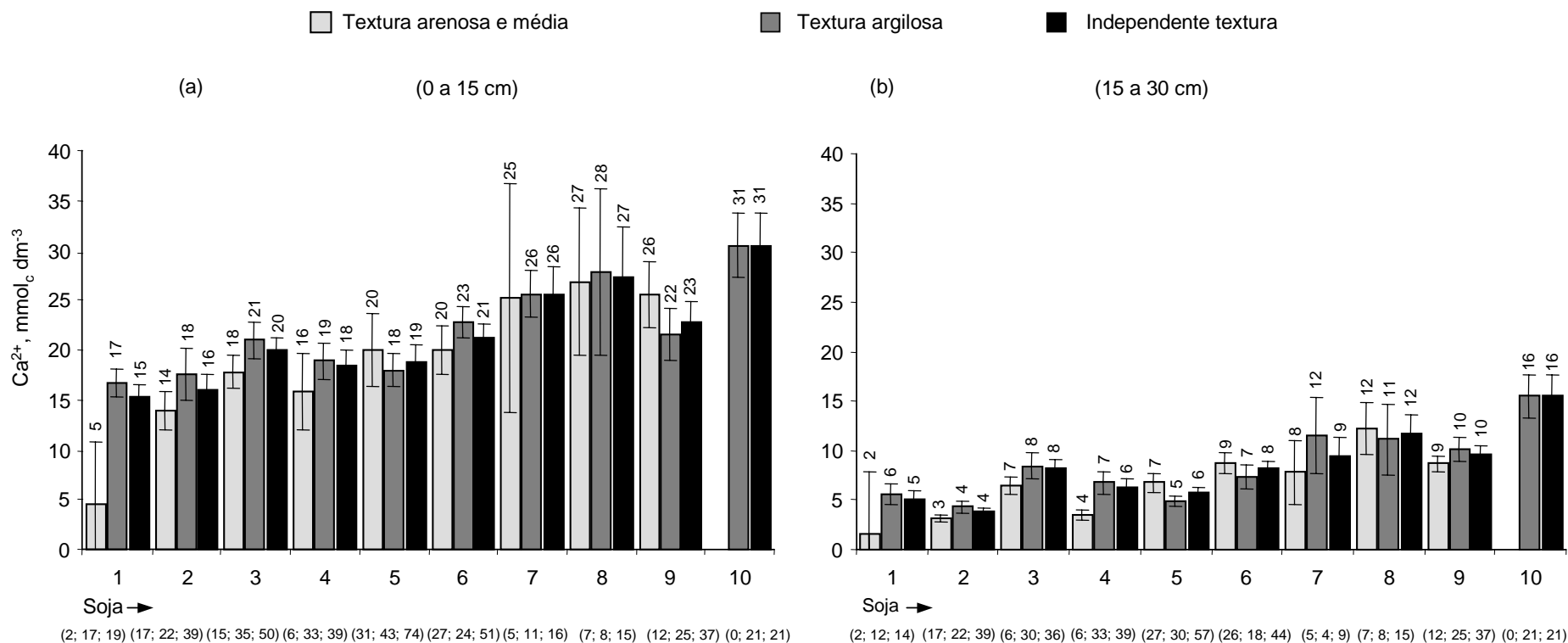


Figura 20. Evolução do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “,” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

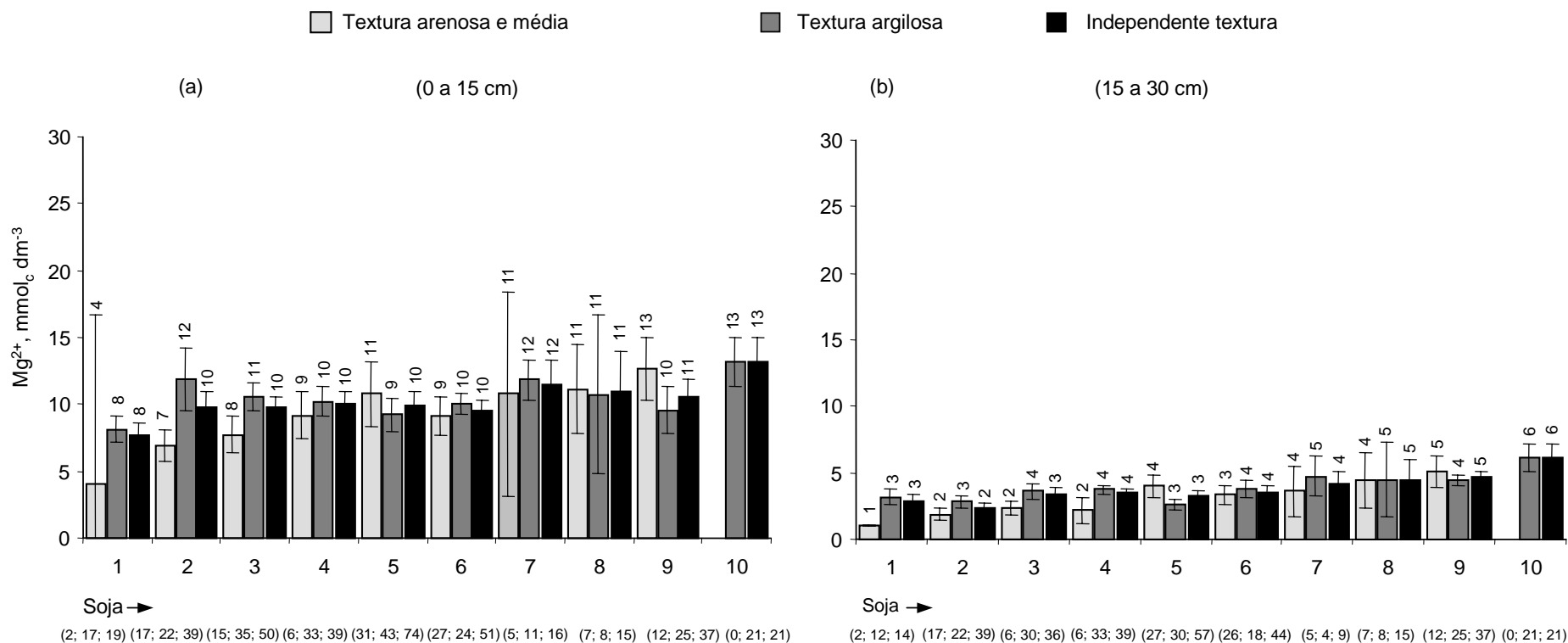


Figura 21. Evolução do magnésio ( $Mg^{2+}$ ) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

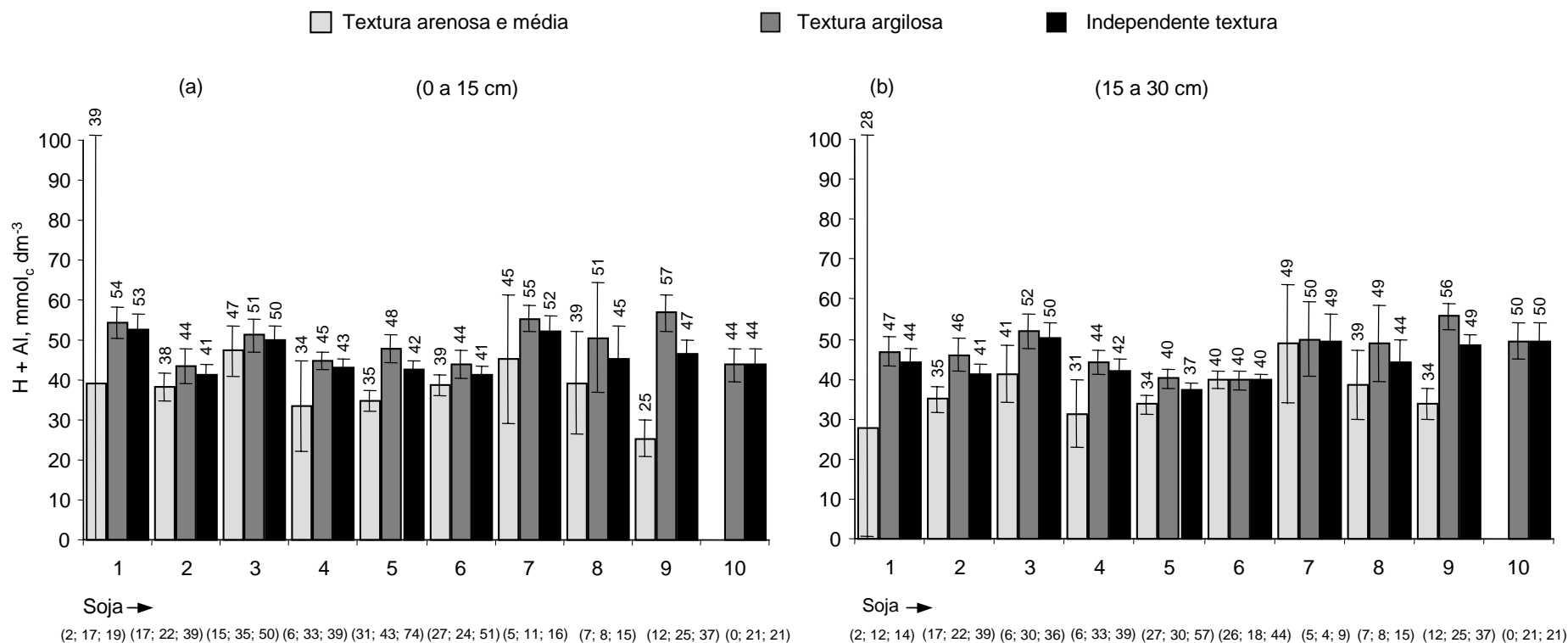


Figura 22. Evolução da acidez potencial (H + Al) em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5 %. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

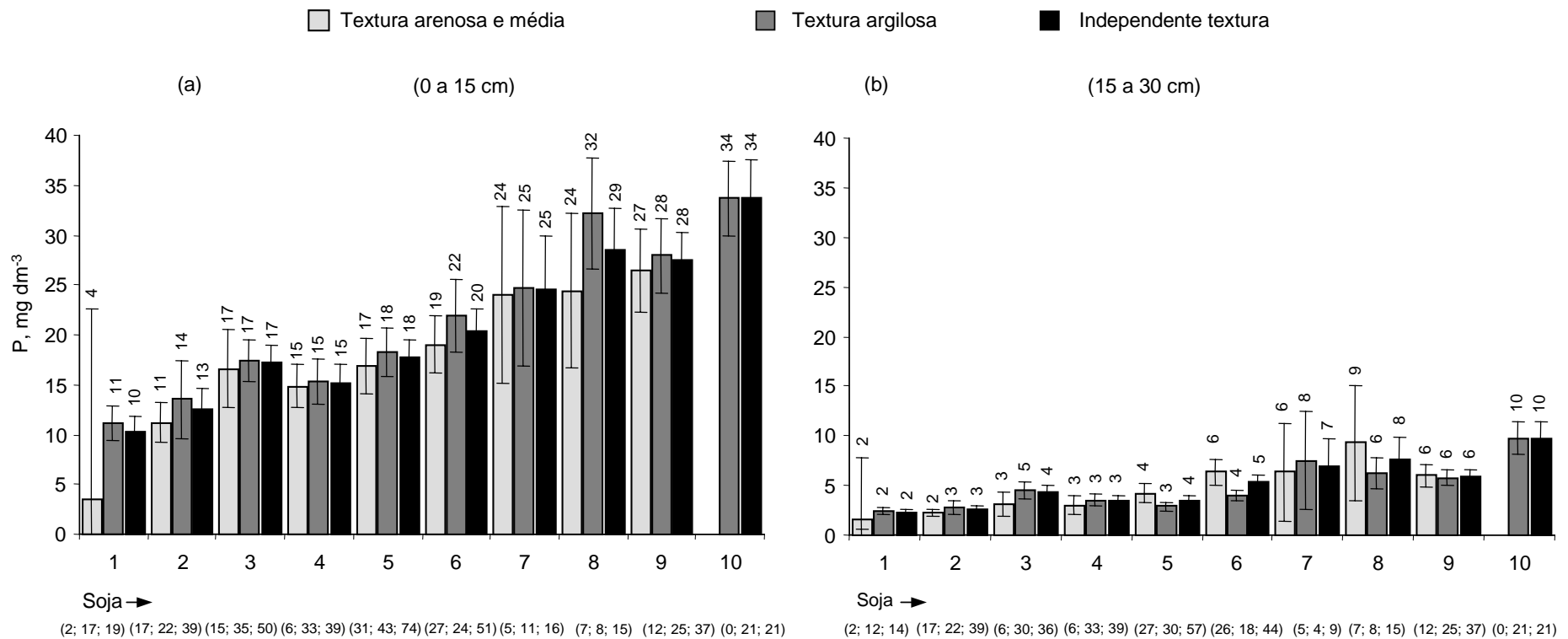


Figura 23. Evolução do P-resina em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

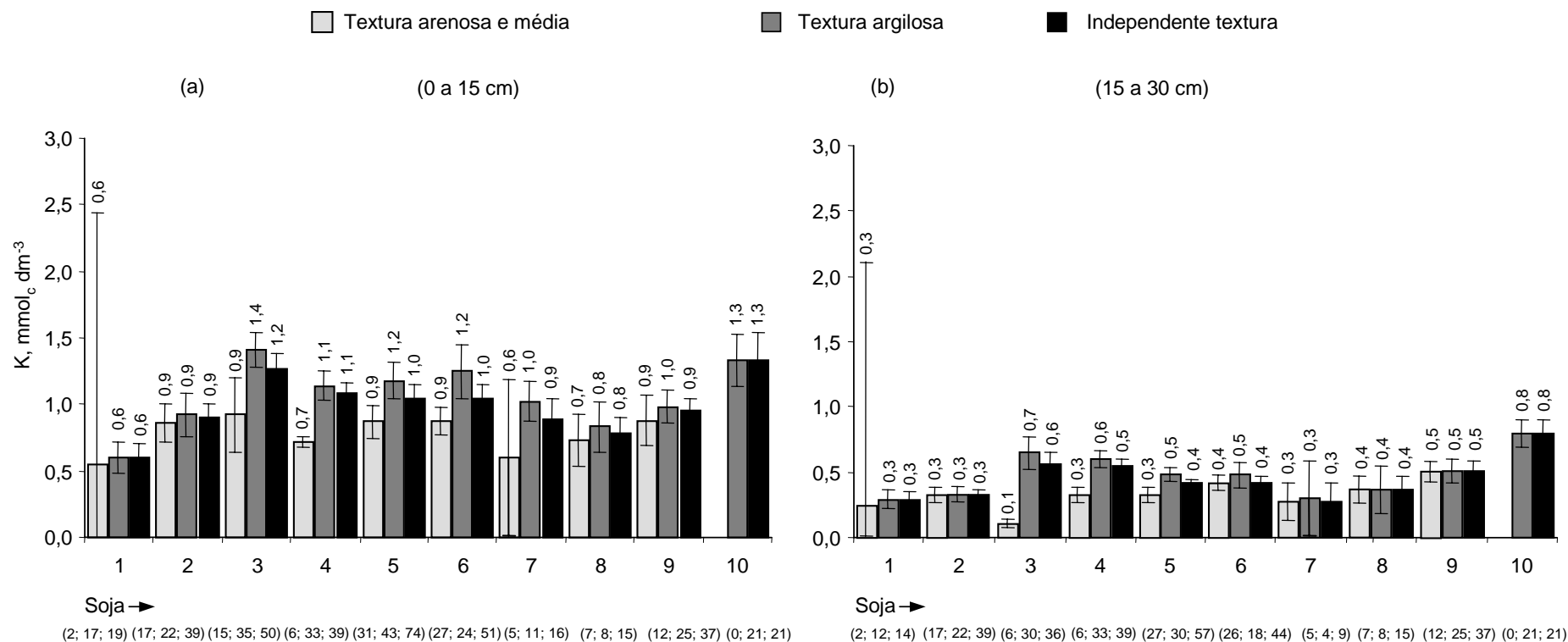


Figura 24. Evolução do K-resina em solos de textura arenosa e média, argilosa e no conjunto de solos, independente da textura, na profundidade de 0 a 15 cm (a) e de 15 a 30 cm (b), cultivados com soja, em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. As barras indicam o intervalo de confiança a 5%. Valores entre parênteses e separados por “;” indicam o número de talhões com solos arenosos-texturas médias ou argilosos ou independente da textura, respectivamente, que compuseram a média de cada cultivo.

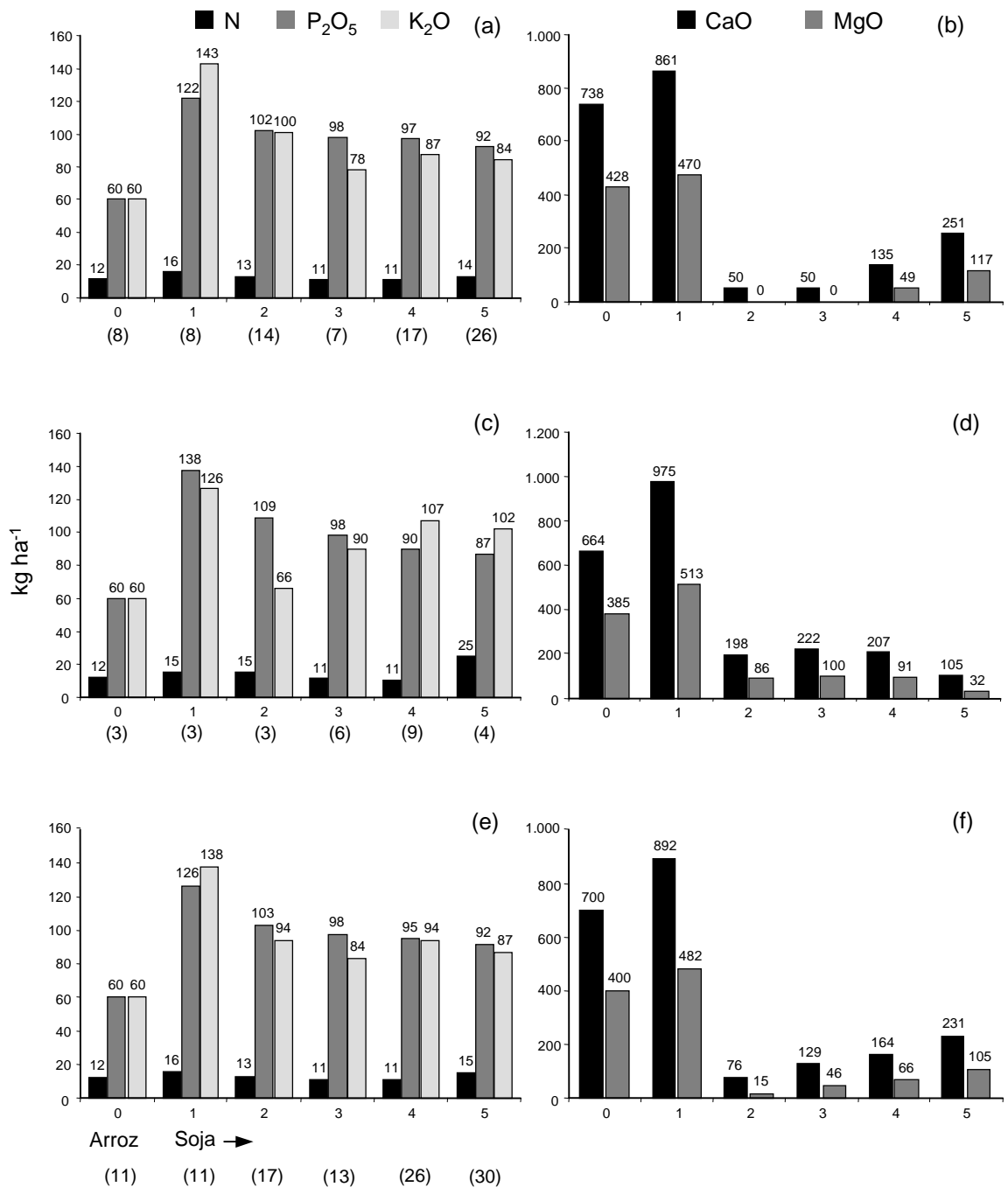


Figura 25. Evolução das quantidades ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , CaO e MgO adicionadas na fertilização e correção de solos de textura argilosa (a, b), arenosa e média (c, d), e no conjunto dos solos, independente da textura (e, f), para o cultivo de soja em áreas cultivadas inicialmente com arroz. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

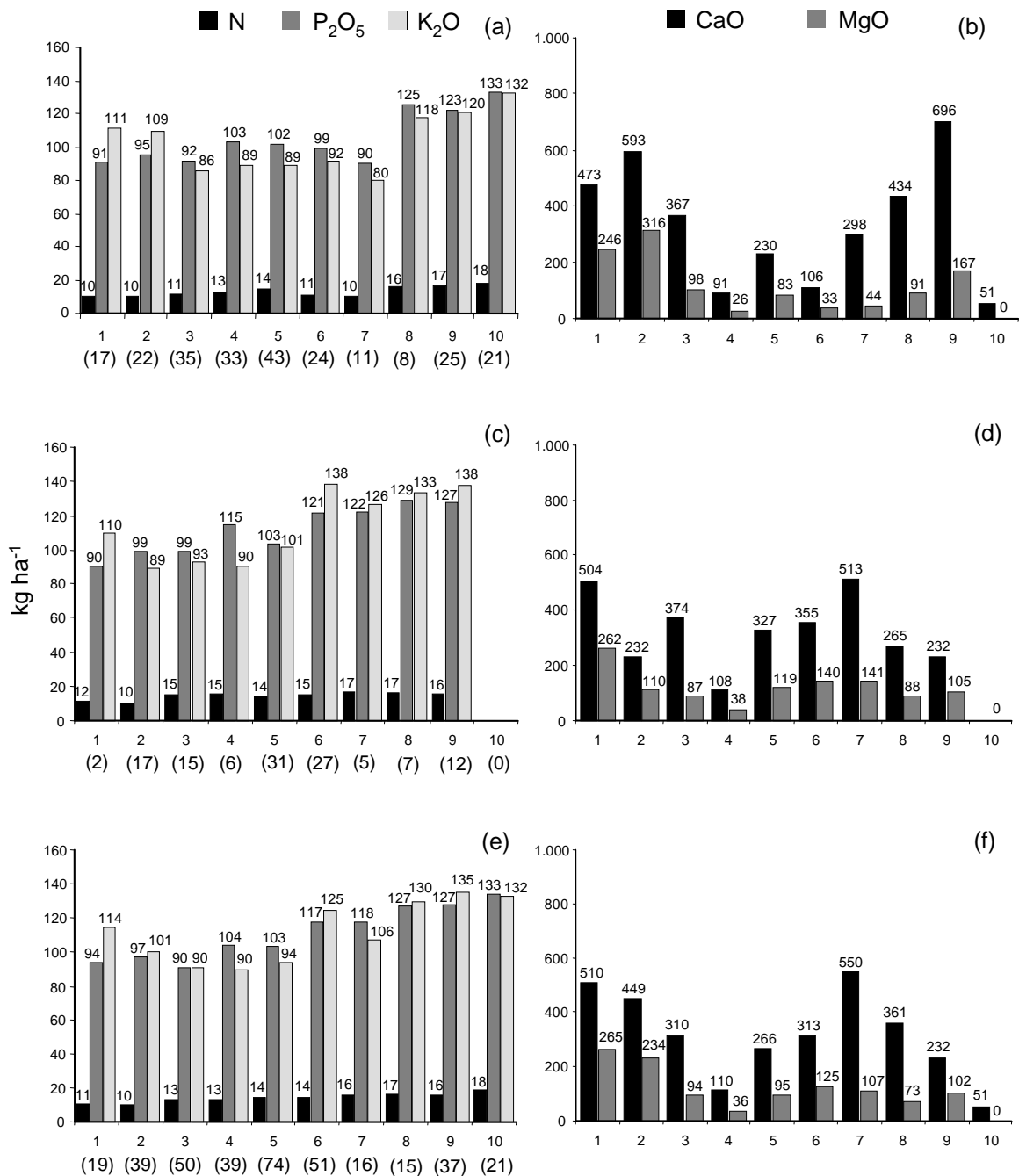


Figura 26. Evolução das quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO adicionadas na fertilização e correção de solos de textura argilosa (a, b), arenosa e média (c, d), e no conjunto dos solos, independente da textura (e, f), para o cultivo de soja em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

Para a sucessão soja-soja por dez cultivos (Figura 26), nota-se pequena tendência de queda, até o 7º cultivo – menor de que na sucessão arroz-soja – nas doses de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  aplicadas, diferentemente do observado anteriormente (Figura 25), para o solo argiloso; nota-se também um grande aumento nas quantidades aplicadas de ambos nutrientes a partir do oitavo cultivo (Figura 26a), fato que coincide com o aumento do preço de mercado para a soja. Por outro lado, observa-se clara tendência de aumento das doses de  $P_2O_5$  e de  $K_2O$  ao longo de todo o período do estudo (Figura 26c), para os arenosos-texturas médias, fato resultante, pelo menos para K, do decréscimo no teor foliar que vinha sendo observado do quinto para o sétimo cultivo (Figura 7). Causa também especulação o aumento das doses de  $P_2O_5$  com os anos de cultivo (Figura 26c, e), que ocorre mesmo tendo aumentado o teor de P disponível do solo ao longo desse período (Figura 15a, b). Para a sucessão soja-soja por dez anos (Figura 26b, d, f), também a aplicação de calcário envolve maiores doses e é realizada muito mais freqüentemente do que para o cultivo de soja logo após o de arroz (Figura 25b, d, f).

Chama a atenção, em ambas as sucessões (arroz-soja e apenas soja) (Figuras 25 e 26) a presença média constante de N na formulação, com dose em torno de 11 a 13 kg ha<sup>-1</sup>. Embora se saiba que esta dose é insignificante em relação ao N total acumulado na planta e, de modo geral, não recomendada nos estudos sobre fixação biológica de N<sub>2</sub>, sua importância para o crescimento inicial do sistema radicular da planta, particularmente nos sistemas plantio direto, dada a imobilização do N mineral, é documentada na literatura (Drew & Saker, 1975). Outra possibilidade para a presença de N na formulação é a utilização de MAP como fonte de P, que contribui para um menor custo de produção da formulação.

Quanto às quantidades de N, P e K extraídas (acumuladas em toda a parte aérea da planta) e exportadas nos grãos (Figura 27) e de Ca e Mg (Figura 28) para os solos argilosos e arenosos-texturas médias, nos talhões com a sucessão da soja por dez cultivos, observou-se que para a produtividade média em torno de 55 sc ha<sup>-1</sup> houve uma extração média de 400 kg ha<sup>-1</sup> de N, 105 de K e 35 de P.

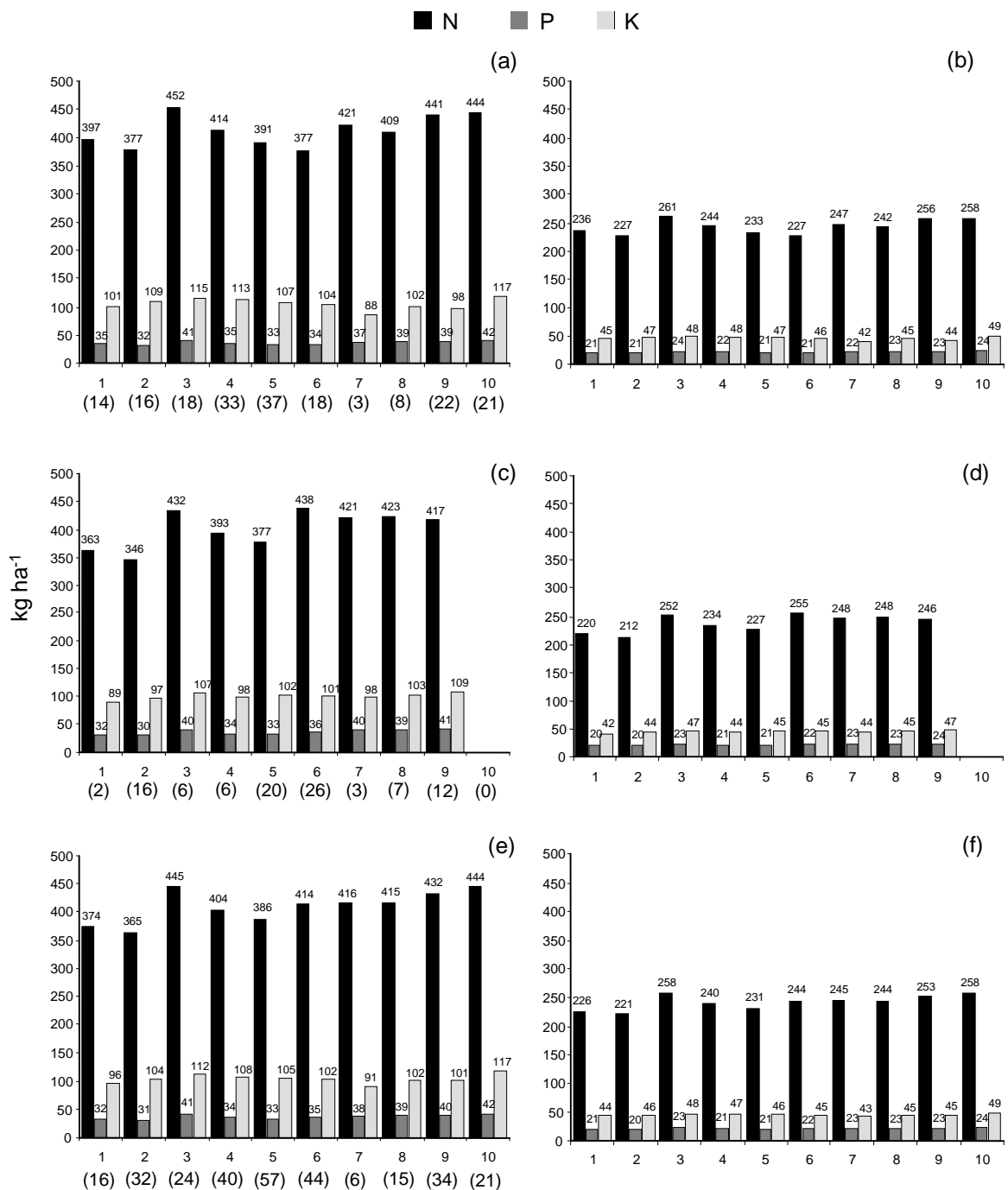


Figura 27. Quantidades extraídas (a, c, e) e exportadas (b, d, f) de N, P e K por plantas de soja em solos de textura argilosa (a, b), arenosa e média (c, d), e no conjunto dos solos, independente da textura (e, f), em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

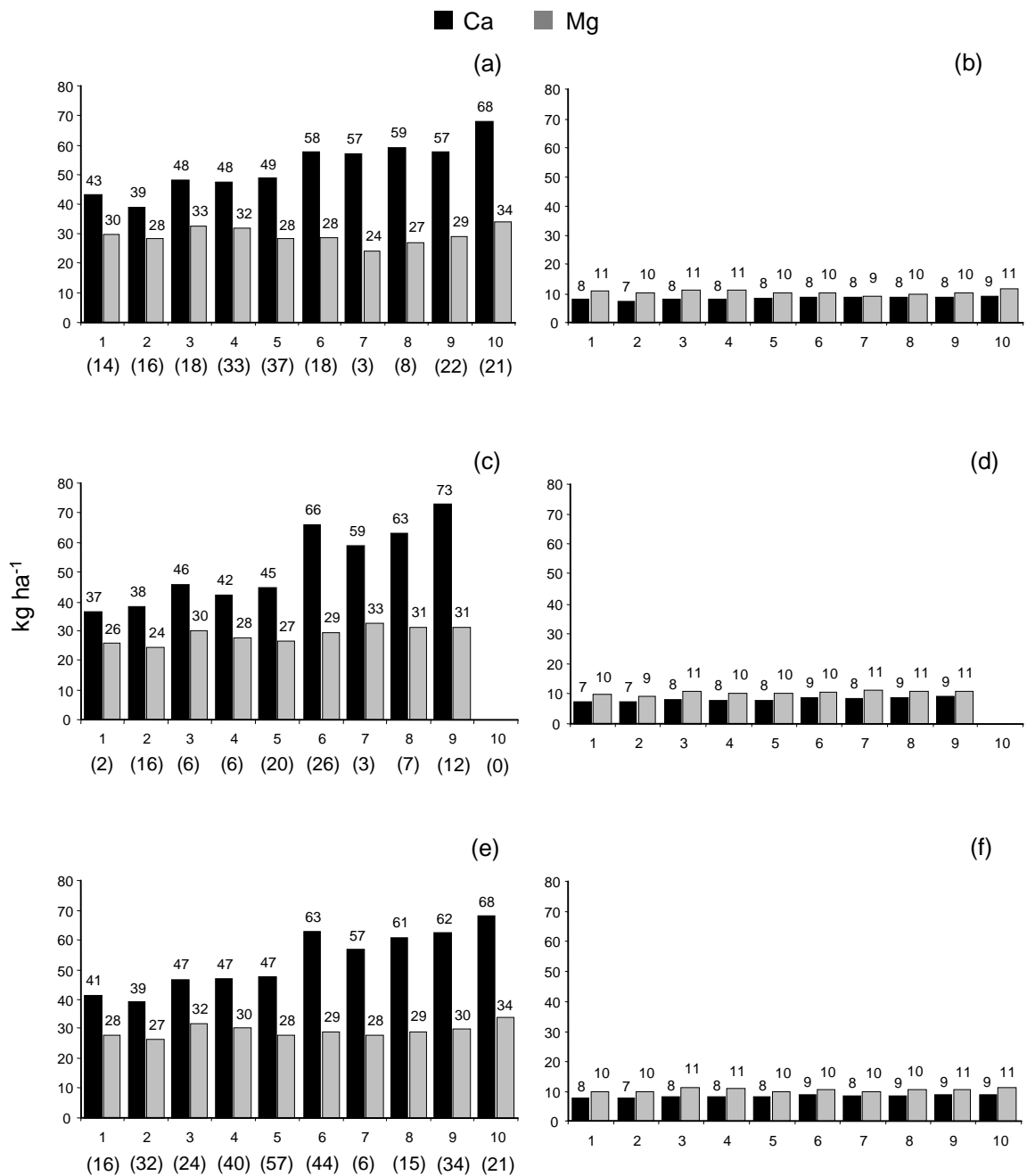


Figura 28. Quantidades extraídas (a, c, e) e exportadas (b, d, f) de Ca e Mg por plantas de soja em solos de textura argilosa (a, b), arenosa e média (c, d), e no conjunto dos solos, independente da textura (e, f), em áreas com longo histórico de cultivo dessa cultura. Valores entre parênteses indicam o número de talhões que compuseram a média de cada cultivo.

As quantidades de nutrientes exportadas da área nos grãos foram de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, 47 de K e 22 de P. Pode-se dizer que, na média, para cada 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, nas condições deste trabalho, há uma exportação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N, 14 de K (17 de K<sub>2</sub>O) e 7 kg de P (16 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Embora fosse esperada maior eficiência de utilização do P (kg de biomassa produzida / kg do elemento absorvido) nos solos de textura argilosa (Muniz et al., 1985) isto não aconteceu de maneira clara, como se esperava. O envolvimento de um grande número de talhões e o fato de, para alguns talhões, a textura ter sido estimada são exemplos de fatores que podem justificar este desvio do teoricamente esperado e já comprovado em diversos trabalhos, para diversas culturas (Freire et al., 1985; Fabres et al., 1987; Mello et al., 1993; Novais et al., 1993).

A estabilidade, ao longo dos cultivos, das quantidades de N, P e K extraídas ou exportadas (Figura 27) indica sobre a sustentabilidade da produtividade de grãos observada bem como o ajuste fino das técnicas de recomendação de nutrientes adotadas naquela região. Por outro lado, observou-se aumento consistente das quantidades de Ca extraídas pela planta toda, ao longo dos anos de cultivo (Figura 28) e o não pareamento dessa curva de extração de Ca com a de Mg. Pressupondo-se que, na média, o calcário dolomítico utilizado foi o mesmo, como sugerem os resultados das quantidades de CaO e MgO aplicadas ao longo dessa sucessão (Figura 26), torna-se necessária a explicação do porquê para as crescentes maiores extrações de Ca.

Esse resultado talvez possa ser explicado por raízes mais profundas com os anos de cultivo e condicionamento químico do perfil pelo carreamento de bases para camadas mais profundas pela ação de cloreto como ânion acompanhante (Dal Bó et al., 1986a,b; Soprano & Alvarez V., 1989) ou mesmo de ácidos orgânicos de menor massa molecular (Salet et al., 1999). E, com o maior aprofundamento do sistema radicular das plantas o fluxo de massa de Ca teria se mantido elevado por mais tempo, apesar das chuvas fartas e bem distribuídas nas áreas estudadas.

### **3.5. Correlação entre características químicas do solo, teores foliares de macronutrientes e produtividade de soja**

Para verificar o que poderia estar influenciando a produtividade da soja ao longo dos anos de cultivo, independentemente da sucessão (arroz-soja ou soja-soja), procedeu-se ao cálculo das correlações entre características químicas do solo, teores foliares de macronutrientes e a produtividade de soja (Quadro 2). Isto foi feito para as áreas com solos argilosos e para aquelas com textura arenosa-média. Procurou-se com isto identificar possíveis fatores limitantes da produtividade que, se corrigidos, poderiam viabilizar maiores produtividades que as obtidas neste estudo.

A correlação da produtividade com pH-CaCl<sub>2</sub> foi sempre positiva, tanto para a camada de 0–15 cm como de 15–30 cm, ainda que nos solos de textura argilosa tal correlação não tenha sido significativa ( $p > 0,10$ ) em 15–30 cm (Quadro 2). Esses resultados sugeririam que a calagem deveria ser aumentada, tanto nos solos argilosos e especialmente nos de textura arenosa-média. Tal sugestão é compatível com o fato de as correlações com Al terem sido negativas (Quadro 2), todas estatisticamente significativas, e com o fato de as correlações da produtividade com a saturação por bases das camadas de 0–15 cm e de 15–30 cm, nos solos de textura argilosa e nos de textura arenosa-média, terem sido sempre positivas e significativas, sendo os coeficientes de correlação maiores nos solos de textura arenosa-média (Quadro 2).

Vale salientar que, na condição de aumento da saturação por bases, maior atenção deverá ser dada ao fornecimento de micronutrientes, naturalmente baixos sob condições naturais de cerrado (Lopes, 1983), com disponibilidade cada vez menor em níveis mais altos de pH.

Como a saturação por bases deriva da relação entre as bases e a CTC total, cabe investigar as correlações obtidas entre a produtividade e as bases (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>), estas em termos de teores e das relações entre estes e a CTC total (saturações por Ca, por Mg e por K, respectivamente).

Quadro 2. Matriz de correlação linear simples entre produtividades de grãos de soja e características nutricionais de planta e de solo considerando toda a base de dados, para solos argilosos e para arenosos-textura média

Variável	Argilosos	Arenosos-texturas médias
pH ( 0–15 cm)	0,36*	0,66***
MO ( 0–15 cm)	-0,28	0,24
P ( 0–15 cm)	0,24	0,66***
K <sup>+</sup> ( 0–15 cm)	0,48**	0,42*
Ca <sup>2+</sup> ( 0–15 cm)	0,21	0,77***
Mg <sup>2+</sup> ( 0–15 cm)	0,26	0,73***
Al <sup>3+</sup> ( 0–15 cm)	-0,36*	-0,76***
H + Al ( 0–15 cm)	-0,48**	-0,02
SB ( 0–15 cm)	0,27	0,80***
CTC ( 0–15 cm)	-0,12	0,69***
V ( 0–15 cm)	0,52**	0,75***
Sat. Ca na CTC ( 0–15 cm)	0,43**	0,75***
Sat. Mg na CTC ( 0–15 cm)	0,38*	0,51**
Sat. K na CTC ( 0–15 cm)	0,56***	0,12
pH (15–30 cm)	0,11	0,54**
MO (15–30 cm)	0,30	0,37*
P (15–30 cm)	0,26	0,49**
K <sup>+</sup> ( 15–30 cm)	0,74***	0,47**
Ca <sup>2+</sup> (15–30 cm)	0,25	0,52**
Mg <sup>2+</sup> (15–30 cm)	0,36*	0,59***
Al <sup>3+</sup> (15–30 cm)	-0,21	-0,53**
H + Al (15–30 cm)	-0,16	0,47**
SB (15–30 cm)	0,30	0,56**
CTC (15–30 cm)	0,07	0,57**
V (15–30 cm)	0,40*	0,56**
Sat. Ca na CTC (15–30 cm)	0,29	0,53**
Sat. Mg na CTC (15–30 cm)	0,50**	0,54**
Sat. K na CTC (15–30 cm)	0,78***	0,07
N foliar	-0,13	0,32
P foliar	-0,03	0,38*
K foliar	0,37*	-0,17
Ca foliar	0,03	0,33
Mg foliar	0,49**	0,53**
S foliar	-0,15	0,15

\*\*\*, \*\* e \*: Significativos a 1, 5 e 10 %, respectivamente.

Observa-se que a produtividade esteve sempre correlacionada positivamente com os teores de Ca, de Mg e de K, como também para com as respectivas saturações, nas camadas de 0–15 cm e de 15–30 cm e em ambas as texturas de solo (Quadro 2). Nos solos de textura arenosa-média, essas correlações foram todas significativas, exceto para a saturação de K. Já nos solos argilosos, as correlações da produtividade com o K (teor e saturação) foram todas significativas, mas quanto a Ca e Mg as correlações não foram significativas, exceto para o Mg em 15–30 cm, apesar de as saturações por esses cátions terem sido significativamente correlacionadas com a produtividade. Este fato foi também verificado nos solos de textura arenosa-média. As correlações da produtividade com os teores foliares de Ca e de Mg, todas positivas, foram significativas ( $p < 0,10$ ) apenas para Mg, sugerindo que atenção especial deva ser dada a este nutriente.

As correlações positivas obtidas com o K no solo, e para os solos argilosos com o teor foliar de K, reforçam o anteriormente comentado quanto a provável resposta da produtividade em função do maior fornecimento de K às plantas. Os coeficientes de correlação entre as produtividades e os teores de K em 0–15 cm, nos solos de textura argilosa e arenosa-média, são muito próximos; contudo, na profundidade de 15–30 cm, o coeficiente de correlação foi maior nos solos argilosos. Isso ocorreu possivelmente pela menor adição de  $K_2O$  em parte do período estudado (Figuras 25a, c; 26a, c), notadamente nos solos argilosos, ocasionando menor disponibilidade de K em 15–30 cm nestes solos (Figura 24d). Além disso, em geral, nos solos argilosos há maior retenção de K do que nos arenosos (Mielniczuk, 1977). Esse efeito de menor retenção em função da menor CTC nos solos arenosos deve ter sido potencializado pela elevada precipitação pluviométrica (Quadro 1). Assim, com a conseqüente descida do K no perfil foi gerada maior disponibilidade de K em 15–30 cm nos solos de textura arenosa-média.

O teor de P pela resina em 0–15 e em 15–30 cm esteve sempre positivamente correlacionado com a produtividade, embora nos solos argilosos as correlações não tenham sido significativas ( $p > 0,10$ ). As melhores correlações da produtividade com o teor de P nos solos de textura arenosa-média, fato reforçado pela correlação positiva e significativa da produtividade com o teor foliar de P nesses solos, apontam para o fato de que

as produtividades foram mais dependentes de um maior suprimento de P nos solos de textura arenosa-média. Esse fato não era esperado à luz do comportamento do P no solo (Novais & Smyth, 1999), especialmente ao se considerar as elevadas doses de P aplicadas nos solos de textura arenosa-média, semelhantes ou até superiores às aplicadas nos solos argilosos (Figuras 25c e 26c).

A correlação da produtividade com a MO variou com a textura do solo. Nos solos de textura média-arenosa a correlação foi positiva para a MO de ambas as camadas, ainda que somente tenha sido estatisticamente significativa ( $p = 0,10$ ) para a camada de 15 a 30 cm. Esses resultados indicariam que nestes solos mais MO, inclusive em camada mais profunda do perfil, favoreceria o crescimento da soja, possivelmente em razão de promover melhores condições físicas (como retenção de água), químicas (retenção de bases, principalmente) e microbianas ao solo.

Cabe comentar que a existência de correlações positivas entre a produtividade e características químicas da camada de 15–30 cm, tais como pH, MO, P, K,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e V, todas elas significativas nos solos de textura arenosa-média, ressalta a importância da condição química dessa camada para a nutrição da soja, e sinaliza assim para a necessidade de sua consideração quando da adoção de técnicas de manejo.

### **3.6. Comparação entre observações–resultados de campo com estimativas feitas pelo FERTCALC-Soja, para fósforo e potássio**

A comparação entre o que foi observado na área estudada e os resultados obtidos pelo uso do sistema FERTCALC-Soja (Santos, 2002) alimentado com as mesmas condições (produtividades e disponibilidades de P e K no solo) verificadas no campo, mostra os aspectos de maior coerência e aqueles que devem ser melhorados neste sistema.

Para P, à medida que os cultivos se sucedem, o teor de P disponível do solo aumenta, como já comentado anteriormente, e as doses de P efetivamente recomendadas aumentam, particularmente a partir do oitavo cultivo, quando a dose média de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicada foi elevada para  $125 \text{ kg ha}^{-1}$ ,

mantendo-se aproximadamente neste patamar até o décimo cultivo (Quadro 3). Deve-se ressaltar que durante todo o período do estudo, a produtividade manteve-se em torno dos 55 sc ha<sup>-1</sup>. Conclui-se, a partir desta observação, que a recomendação que está sendo praticada pelos agricultores independe da análise de solo: o aumento do P disponível deveria implicar na recomendação e utilização de menores doses deste nutriente.

Por outro lado, o FERTCALC-Soja mostrou-se sensível ao P disponível do solo, dentro do esperado, uma vez que o programa contabiliza o P do solo de modo a recomendar menores doses com o aumento de seu teor. Para o fator de sustentabilidade 0,25, a maior dose inicial de 122 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (solo com 13,7 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível), é reduzida para 54 kg ha<sup>-1</sup> (solo com 43,4 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível) no décimo cultivo.

Portanto, o FERTCALC-Soja é mais sensível às variáveis produtividade e P disponível, que definem a quantidade de P a ser recomendada como fertilizante.

O FERTCALC-Soja mostrou-se também, como teoricamente esperado, sensível à textura do solo ao recomendar, para a mesma produtividade, doses menores de P para os solos arenosos-texturas médias.

Apesar da eficiência do FERTCALC-Soja na recomendação de P, houve grande discrepância entre os valores estimados por este programa e os calculados para o P total acumulado na parte aérea das plantas e o acumulado nos grãos. Dadas as diferenças entre os bancos de dados utilizados para a elaboração do programa e para o presente estudo, não se pode afirmar onde está o erro, se de fato existe, uma vez que são regiões, produtividades, épocas distintas envolvidas na constituição desses bancos de dados.

A mesma comparação campo – FERTCALC-Soja foi também feita para K (Quadro 4). De modo geral, foram aplicados: no primeiro cultivo, nos solos argilosos, 111,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para um teor médio de 35,9 mg dm<sup>-3</sup> de K no solo e 132,1 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no décimo cultivo quando a média de K nos solos era de 83,2 mg dm<sup>-3</sup>. Para o K, as doses efetivamente aplicadas visaram também reduzir a susceptibilidade das plantas à doenças foliares, favorecidas pelo clima da região (Borkert, 1992; Yamada et al., 2004). Desse modo, procurou-se garantir a obtenção de elevadas produtividades, dados os preços da soja no mercado a partir dos três últimos cultivos.

Quadro 3. Comparação entre observações de campo relativas à produtividade, disponibilidade de fósforo no solo, dose de P recomendada, teor foliar de P, quantidades de P extraídas pela cultura e quantidades exportadas pelos grãos e estimativas feitas pelo FERTCALC-Soja para algumas dessas variáveis

Variável	Cultivo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Solos argilosos</b>										
Observações – recomendações de campo										
Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	52,3	54,0	55,8	57,6	55,3	55,3	52,4	53,2	54,4	60,8
P disponível <sup>(1)</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	13,7	16,3	21,8	18,8	21,1	25,5	29,2	38,5	33,8	43,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	91,0	95,0	92,0	103,0	102,0	99,0	90,0	125,0	123,0	133,0
P Foliar (g kg <sup>-1</sup> )	2,7	2,3	3,3	2,4	2,4	2,4	3,1	3,3	3,2	3,0
P Extraído <sup>(2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	35,0	36,0	37,0	38,0	37,0	37,0	35,0	35,0	36,0	40,0
P Exportado <sup>(3)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	21,0	22,0	22,0	23,0	22,0	22,0	21,0	21,0	22,0	24,0
Estimativas pelo FERTCALC-Soja										
Recomendação <sup>(4)</sup> , kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>										
Fator sustentabilidade <sup>(5)</sup> 0,00	87	83	70	86	71	56	35	6	25	12
0,25	122	120	108	125	108	94	70	41	62	54
0,50	157	156	146	164	146	131	105	77	99	95
1,00	227	229	221	242	220	205	175	149	172	178
P Extraído <sup>(6)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	21	22	23	23	22	22	21	21	22	25
P Exportado <sup>(7)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	14	14	14	15	14	14	14	14	14	16
Fator sust. corrigido <sup>(8)</sup>	0,39	0,51	0,42	0,46	0,58	0,66	0,94	0,80	0,78	-
<b>Solos arenosos-texturas médias</b>										
Observações – recomendações de campo										
Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	41,6	48,0	50,6	51,5	52,7	54,9	57,9	54,9	57,7	
P disponível <sup>(1)</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	5,0	13,4	19,8	17,8	21,0	25,3	30,4	33,7	32,5	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	128,0	99,0	85,0	105,0	103,0	121,0	122,0	129,0	127,0	
P Foliar (g kg <sup>-1</sup> )	1,7	2,3	3,7	2,6	2,5	2,8	3,0	3,1	3,1	
P Extraído <sup>(2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	28,0	32,0	34,0	34,0	35,0	37,0	39,0	37,0	38,0	
P Exportado <sup>(3)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	17,0	19,0	20,0	21,0	21,0	22,0	23,0	22,0	23,0	
Estimativas pelo FERTCALC-Soja										
Recomendação <sup>(4)</sup> , kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>										
Fator sustentabilidade <sup>(5)</sup> 0,00	84	75	61	71	64	56	48	27	40	
0,25	111	107	95	105	99	93	87	64	79	
0,50	138	139	129	140	134	130	126	101	118	
1,00	192	202	196	208	205	204	205	175	196	
P Extraído <sup>(6)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	16	19	20	21	21	22	24	22	23	
P Exportado <sup>(7)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	11	12	13	13	14	14	15	14	15	
Fator sust. corrigido <sup>(8)</sup>	0,42	0,53	0,45	0,52	0,61	0,70	0,73	0,75	-	

<sup>(1)</sup> Resina (0–30 cm). <sup>(2)</sup> P acumulado em toda a parte aérea (parte vegetativa e grãos). <sup>(3)</sup> P acumulado nos grãos; <sup>(4)</sup> Recomendado pelo programa. <sup>(5)</sup> Percentuais a mais na recomendação em relação ao balanço igual a zero. <sup>(6)</sup> e <sup>(7)</sup> Valores estimados pelo programa. <sup>(8)</sup> Fator de sustentabilidade a ser utilizado pelo programa para se atingir o P disponível no solo determinado por ocasião da amostragem de solo para o cultivo subsequente.

Quadro 4. Comparação entre observações de campo relativas à produtividade, disponibilidade de potássio no solo, dose de K recomendada, teor foliar de K, quantidades de K extraídas pela cultura e quantidades exportadas pelos grãos e estimativas feitas pelo FERTCALC-Soja para algumas dessas variáveis

Variável	Cultivo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Solos argilosos</b>										
Observações – recomendações de campo										
Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	52,3	54,0	55,8	57,6	55,3	55,3	52,4	53,2	54,4	60,8
K disponível <sup>(1)</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	35,9	49,1	79,2	68,1	63,8	67,8	54,0	46,4	58,3	83,2
K <sub>2</sub> O aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	111,0	109,0	86,0	89,0	89,0	92,0	80,0	118,0	120,0	132,0
K Foliar (g kg <sup>-1</sup> )	17,1	18,2	18,8	17,5	17,2	16,5	14,0	16,9	15,4	16,9
K Extraído <sup>(2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	103,0	106,0	110,0	113,0	109,0	109,0	103,0	105,0	107,0	120,0
K Exportado <sup>(3)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	44,0	46,0	47,0	49,0	47,0	47,0	44,0	45,0	46,0	51,
Estimativas pelo FERTCALC-Soja										
Recomendação <sup>(4)</sup> , kg ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O										
Fator sustentabilidade <sup>(5)</sup> 0,00	4	-45	-144	-89	-104	-123	-80	-39	-85	-151
0,25	60	14	-110	-40	-43	-61	-24	19	-25	-78
0,50	116	73	-47	26	19	0	32	77	35	-5
1,00	228	192	78	159	143	124	144	192	155	140
K Extraído <sup>(6)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	125	131	137	143	135	135	126	128	132	154
K Exportado <sup>(7)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	54	56	58	60	57	57	54	55	56	63
Fator sust. corrigido <sup>(8)</sup>	1,03	1,57	1,48	1,13	1,29	1,03	0,97	1,18	1,14	-
<b>Solos arenosos-texturas médias</b>										
Observações – recomendações de campo										
Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	41,6	48,0	50,6	51,5	52,7	54,9	57,9	54,9	57,7	
K disponível <sup>(1)</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	31,3	46,7	41,2	38,4	47,0	48,8	33,6	42,5	54,1	
K <sub>2</sub> O aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	111,0	89,0	98,0	94,0	101,0	138,0	126,0	133,0	138,0	
K Foliar (g kg <sup>-1</sup> )	17,5	17,1	18,7	16,7	17,0	15,9	14,1	16,4	16,4	
K Extraído <sup>(2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	82,0	94,0	100,0	101,0	104,0	108,0	114,0	108,0	114,0	
K Exportado <sup>(3)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	35,0	41,0	43,0	44,0	45,0	46,0	49,0	46,0	49,0	
Estimativas pelo FERTCALC-Soja										
Recomendação <sup>(4)</sup> , kg ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O										
Fator sustentabilidade <sup>(5)</sup> 0,00	-48	-78	-34	-14	-45	-37	58	-7	-40	
0,25	-10	-30	19	41	12	24	125	54	27	
0,50	27	19	72	95	68	85	192	114	93	
1,00	103	115	178	204	182	207	352	237	226	
K Extraído <sup>(6)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	91	111	120	123	127	134	144	134	143	
K Exportado <sup>(7)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	43	50	52	53	55	57	60	57	60	
Fator sust. corrigido <sup>(8)</sup>	1,45	1,00	0,85	1,01	1,01	0,65	0,75	1,04	-	

<sup>(1)</sup> Resina (0–30 cm). <sup>(2)</sup> K acumulado em toda a parte aérea (parte vegetativa e grãos). <sup>(3)</sup> K acumulado nos grãos; <sup>(4)</sup> Recomendado pelo programa. <sup>(5)</sup> Percentuais a mais na recomendação em relação ao balanço igual a zero. <sup>(6)</sup> e <sup>(7)</sup> Valores estimados pelo programa. <sup>(8)</sup> Fator de sustentabilidade a ser utilizado pelo programa para se atingir o K disponível no solo determinado por ocasião da amostragem de solo para o cultivo subsequente.

Para K o programa mostrou-se muito mais sensível à análise de solo, certamente em razão de o efeito-tampão do solo sobre K ser de pequena magnitude comparativamente a que ocorre para o P. Observa-se que para valores de K no solo acima de 50 a 60 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0-30 que, em termos relativos-quantitativos corresponderiam a se ter de 75 a 90 mg dm<sup>-3</sup> de K, o FERTCALC-Soja já não mais recomenda K, embora as recomendações praticadas continuem acima de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, de modo geral. Deve-se entender que a não recomendação pelo programa nesses casos implica na existência de K disponível no solo suficiente para a produtividade daquele cultivo, mas teoricamente, na análise de solo seguinte o K disponível estaria próximo de zero.

Portanto, a recomendação adotada pelos agricultores atende a demanda da cultura, deixando um excedente que tem mantido os teores de K num patamar relativamente constante.

Ao contrário do que ocorreu para P, houve boa coincidência entre as quantidades observadas do K acumulado na parte aérea (K extraído) e do acumulado nas sementes (exportado) e as quantidades estimadas pelo FERTCALC-Soja. Na média, a recomendação de K pelo programa é em torno da metade daquela praticada pelos agricultores (fator de sustentabilidade corrigido em torno de 1,0).

#### 4. CONCLUSÕES

A produtividade média de soja elevou-se, ao longo dos anos de cultivo, de 3,1 e de 2,6 t ha<sup>-1</sup> para os patamares de 3,5 e de 3,3 t ha<sup>-1</sup> nos solos argilosos e de textura arenosa-média, respectivamente, evidenciando a sustentabilidade da produção da cultura sob agricultura intensiva.

Com os anos de cultivo, o manejo adotado resultou em alterações diferenciais conforme a característica química considerada e a textura do solo. A análise das tendências indica aumentos, tanto nos solos argilosos como nos de textura arenosa-média, para pH, fósforo, cálcio, saturação por bases e CTC total, e decréscimo na acidez trocável. Foram verificados aumentos para matéria orgânica, potássio e acidez potencial nos argilosos, características que foram mantidas nos solos de textura arenosa-média. O magnésio tendeu à manutenção nos argilosos e ao aumento nos de textura média-arenosa.

As características químicas da camada de 15–30 cm, tais como pH, MO, P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SB e V correlacionaram-se positivamente com a produtividade de grãos, especialmente nos solos de textura arenosa-média, ressaltando a importância da condição química dessa camada para a nutrição da soja, fato que sinaliza a necessidade da consideração dessa camada quando da adoção de técnicas de manejo, mesmo sob condição de elevada precipitação pluviométrica.

A recomendação de fósforo não tem sido balizada pela análise de solo: mesmo com pronunciado aumento do P disponível do solo, ao longo dos anos de cultivo, as doses de fósforo aumentaram, particularmente nos últimos três anos do estudo (2000/01, 2001/02 e 2002/03), em razão da elevada rentabilidade da cultura nessas safras.

As quantidades de nutrientes exportadas pela cultura da soja estão sendo repostas pelas quantidades adicionadas. Contudo, há indicações de que aumentos de produtividade poderão ser obtidos com a elevação de níveis de calagem, com ênfase na utilização de corretivos com maiores teores de magnésio, e de doses de potássio.

As recomendações obtidas com o uso FERTCALC-Soja para fósforo e potássio mostraram-se sensíveis às disponibilidades destes nutrientes no solo e à produtividade, diferentemente das recomendações que têm sido utilizadas no campo.

## LITERATURA CITADA

- ARANTES, N.E. & SOUZA, P.I.M. Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1993. 535p.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, V.II, 2002. p.487-592.
- BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41)
- BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. & SANTOS, W.R. Diagnose visual e análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, Fundação Cargill, 1992. p.369-393.
- BAUHUS, J.; KHANNA, P.K.; HOPMANS, P. & WESTON, C. Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? A case study from native eucalypt forests of South-Eastern Australia. For. Ecol. Manag., 171:59-74, 2002.
- BORKERT, C.M. Relação da baixa disponibilidade de potássio no solo com a incidência de cancro da haste em soja. In: POTAFOS. Piracicaba. Inf. Agron., 60:1-3, 1992.
- BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P. & SFREDO, G.J. Seja o doutor da sua soja. In: POTAFOS. Piracicaba. Inf. Agron., 66:1-16, 1994.

- CADISH, G.; WILLIGEN, P.; SUPRAYOGO, D.; MOBBS, D.; NOORDWIJK, M. & ROWE, E.C. Catching and competing for mobile nutrients in soils. In: CADISH, G. & NOORDWIJK, M., eds. Below-ground interactions, in tropical agroecosystems: concepts and models with multiple plant components CAB International, 2004. p.171-207.
- CÂMARA, G.M.S. Fenologia da soja. In: SOUZA CÂMARA, G.M., ed. Soja: tecnologia da produção II. Piracicaba, G.M.S. Câmara, 2000. 450p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999, 359p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Custo Verão Resumo 30/01/2004. [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br) (acessado em 15 de outubro de 2004).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Quinto levantamento da safra agrícola 2003/2004. [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br) (acessado em 15 de outubro de 2004).
- DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar – Movimentação de bases no solo. R. Bras. Ci. Solo, 10:195-198, 1986a.
- DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar – Resposta da planta. R. Bras. Ci. Solo, 10:231-234, 1986b.
- DANTAS S.S.A. Crescimento, acúmulo de nutrientes e relações hídricas em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000, 83p. (Tese de Doutorado)
- DREW, M.C. & SAKER, L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley II. Localized, compensatory increases in lateral root growth and rates of nitrate uptake when nitrate supply is restricted to only part of the root system. J. Exp. Bot., 26:79-90, 1975
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Soja - Dados econômicos, setembro de 2004. Embrapa/CNPSo. [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br) (acessado em 15 de outubro de 2004).

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2004. Londrina, 2003a. 237p. (Embrapa-Soja, Sistemas de Produção 4)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – região sul do Brasil – 2004. Londrina, 2003b. 237p. (Embrapa-Soja, Sistemas de Produção 1)
- EVENHUIS, B. & WAARD, P.W.F Principles and practices in plant analysis. In: FAO, Soils. Rome, 1980. p.152-163 (FAO Bulletin, 38/1)
- FABRES, A.S.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & CORDEIRO, A.T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. R. Bras. Ci. Solo, 11:51-57, 1987.
- FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. J. Plant Nut., 24:1269-1290, 2001.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo para o crescimento de estilosantes como função do fator capacidade de fósforo do solo. R. Ceres, 32:488-499, 1985.
- GRIGAL, D.F. & VANCE, E.D. Influence of soil organic matter on forest productivity. J. For. Sci., 30:169-205, 2000.
- GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F. & RIBEIRO, A.C. Cinética de absorção de fósforo em solos de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 9:107-111, 1985.
- HAAS, F.D. Plantio Direto, fatores que interferem na eficiência da adubação. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema de plantio direto, Passo Fundo, RS, 1997. Resumo de palestras. 64p.
- JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron., v.34, p.197-224, 1981.
- JOLIVET, C.; ARROUAYS, D.; LÉVÉGUE, J.; ANDREUX, F. & CHENU, C. Organic carbon dynamics in soil particle-size separates of sandy Spodosols when forest is cleared for maize cropping. Eur. J. Soil Sci., 54:257-268, 2003.
- KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 101p. (Tese de Doutorado)
- LOPES, A.S. Solos sob “Cerrado”. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1983. 162p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A., eds. Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. p.115-230.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London. Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINS, O.C.; LIMA, R.L.; VIVIANI, C.A.; BORGES, F.G.; FRANCO, D. & ALOVISI, A.A. Aplicação do DRIS, do PASS e do PIDAP no monitoramento nutricional de soja e algodão. In: SIMPÓSIO SOBRE MONITORAMENTO NUTRICIONAL PARA A RECOMENDAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE CULTURAS. Piracicaba, 1999. Anais. Piracicaba, POTAFOS, 1999. CD-ROM.
- MARTINS, O.C.; LIMA, R.L.; VIVIANI, C.A.; BORGES, F.G.; FRANCO, D. & ALOVISI, A.A. PIDAP (Programa integrado de diagnósticos para o aumento da produtividade) no monitoramento nutricional do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., Campo Grande, 2001. Palestras. Campina Grande, Embrapa Algodão/UFMS, 2001. p.172-178.
- MASCARENHAS, H.A.A. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja, durante o seu ciclo vegetativo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1972. 100p (Tese de Doutorado)
- MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). R. Bras. Ci. Solo, 4:92-96, 1980.
- MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V., V.H. Concentrações críticas de fósforo em plantas de arroz cultivadas em solos inundados. R. Bras. Ci. Solo, 17:211-216, 1993.
- MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo 2.ed. Porto Alegre, Gênese. 2004. 290p.
- MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 1:55-61, 1977.
- MORAES, E.A. Concentração, acumulação de P, K, Ca e Mg e crescimento da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em diferentes estádios de desenvolvimento. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1983. 139p. (Tese de Mestrado)

- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea de soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:237-243, 1985.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 13:199-204, 1989
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & BARROS, N.F. A natureza não tem palito de fósforo! Queima rápida ou mineralização lenta (nem sempre tão lenta) de resíduos florestais? Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 23:22-29, 1998.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V.W.D. & FABRES, A.S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M.A.C. & BEUSICHEM, M.L.V., eds. Optimization of plant nutrition. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1993, p.73-76.
- PADOVAN, M.P. Desempenho da soja, sob manejo orgânico, para produção de grãos e adubação verde. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 88p. (Tese de Doutorado)
- POTAFOS. Como a planta de soja se desenvolve. In: Arquivo do agrônomo, 11. 21p. Piracicaba, 1998.
- RAIJ, B. van. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996, 107p. (Boletim 100)
- RAWLS, W.J.; PACHEPSKY, Y.A.; RITCHIE, J.C.; SOBECHI, T.M. & BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma, 116:61-76, 2003.
- RIBEIRO, A.C. Adsorção de boro pelo solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 60p. (Tese de Mestrado)
- ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A. & SILVA, N.M. Algodão, amendoim e soja. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. & RAIJ, B. van., eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPq, FAPESP, POTAFOS, 2001, p.319-354.
- SALET, R.L.; ANGHINONI, I. & KOCHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução do solo do sistema plantio direto. R. Ci. UNICRUZ, 1:9-13, 1999.

- SANTOS, F.C. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 100p. (Tese de Mestrado)
- SMITH, E.G.; LEROHL, M.; MESSELE, T. & JANZEN, H.H. Soil quality attribute paths: optimal levels and values. J. Agr. Res. Econ. 25:307-324, 2000.
- SMITH, P. Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. Eur. J. Agron., 20:229-236, 2004.
- SOPRANO, E. & ALVAREZ V., V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. R. Bras. Ci. Solo, 13:25-29, 1989.
- SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.T.; LOBATO, E. & GOEDERT, W.J. Potássio em solo de cerrado. II. Balanço no solo. R. Bras. Ci. Solo, 3:33-36, 1979.
- TOMÉ Jr., J.B. Manual para interpretação de análises de solo. Guaíba Agropecuária, 1997. 247p.
- TOMÉ Jr., J.B. Uma nova abordagem nas recomendações de adubação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 133p. (Tese de Doutorado)
- USDA, Soybean: World supply and distribution. Acessado em 13/09/2004. ([www.fas.usda.gov/psd/complete\\_tables/OIL-table11-183.htm](http://www.fas.usda.gov/psd/complete_tables/OIL-table11-183.htm))
- YAMADA, T. & STIPP ABDALLA, R.S. A importância do potássio na produtividade e qualidade das colheitas e na sanidade das culturas. In: POTAFOS. Piracicaba. Inf. Agron., 107:1-14, 2004.
- ZANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. R. Bras. Ci. Solo, 9:45-50, 1985.
- ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S. & SILVA, J.E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the cerrado region of Brazil. For. Ecol. Manag., 166:285-294, 2002.