

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA  
DA SOJA À COBERTURA VEGETAL E À CALAGEM SUPERFICIAL  
NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.**

**EDUARDO DO VALLE LIMA**  
**Engenheiro Agrônomo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP

Abril - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA  
DA SOJA À COBERTURA VEGETAL E À CALAGEM SUPERFICIAL  
NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.**

**EDUARDO DO VALLE LIMA**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU – SP  
Abril - 2001

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Eduardo do Valle Lima, nascido no município de Belém do Pará em 12 de dezembro de 1970, iniciou suas atividades nas Ciências Agrárias no ano de 1988 quando então foi aprovado no Vestibular da Faculdade Ciências Agrárias do Pará (FCAP), graduando-se em Agronomia no mês de março do ano de 1993.

Como discente, dentre varias atividades, exerceu a função de Monitor das disciplinas de Ecologia Básica (1 ano) e de Entomologia Agrícola (2 anos), mediante concurso. Em seguida (1992), iniciou atividades de pesquisa pelo programa PIBIC/FCAP do CNPq, desenvolvendo trabalho no Departamento de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ainda como discente foi aprovado em Concurso Público Federal para o cargo efetivo de Laboratorista nas áreas de Fitopatologia e Fisiologia Vegetal da FCAP.

Como profissional, após novo Concurso, ascendeu ao cargo efetivo de Engenheiro Agrônomo, assumindo a Coordenação Agrícola da Fazenda Experimental de Igarapé-Açu (1993/94) e a Chefia da Estação Experimental de Castanhal (1995), pertencentes a FCAP. No período de 1996/97 participou da equipe de Consultoria - Convênio BASA/FCAP. Paralelamente, no transcorrer das atividades profissionais, atuou como Instrutor e Supervisor de Formação Profissional Rural nos municípios do Estado do Pará, por intermédio do Convênio SENAR/FCAP. Atualmente encontra-se vinculado ao Departamento Sócio-Econômico da FCAP, onde desenvolve trabalho como Agrônomo responsável pelo seguimento agrícola do Projeto Várzea.

*A DEUS, pela dádiva da vida;*

*Aos meus pais;*

***Palmélia do Valle Lima***

*&*

***Emanuel Vitelle Lima;***

*Pelo início e formação da minha vida:*

**OFEREÇO**

*Em especial à minha esposa;*

***Patrícia Leitão Lima;***

*Continuação da minha vida:*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Nazaré por abençoarem a todas as etapas da minha vida, principalmente a caminhada para obtenção do título de Mestre;

Em especial a minha mãe, por todo apoio durante a realização do curso que, apesar da distância, sempre com amor e carinho me ajudou;

Ao meu pai, pelas palavras de estímulo em todos os momentos;

A minha esposa, por toda compreensão, paciência, amor e alegria, além de sua valiosa contribuição profissional;

Ao meu amigo Altir Raymundo dos Santos Carneiro, por toda a presteza, carinho e atenção em resolvendo como procurador os problemas na minha cidade;

A Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP), ao Departamento Sócio-Econômico, ao Projeto Várzea e a Unidade de Apoio à Pesquisa e Pós-Graduação, pela liberação concedida para realização do curso;

Ao Prof. Manoel Malheiros Tourinho, hoje Diretor da FCAP, pelo total apoio à concretização do meu afastamento e realização de um sonho antigo;

Ao programa da CAPES/PICDT/FCAP, pela concessão de bolsa de estudo, apoio financeiro fundamental na capacitação de técnicos e professores das Instituições de Nível Superior deste país;

A Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, UNESP, pelo excelente Curso de Pós-Graduação oferecido;

Ao Departamento Produção Vegetal, Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal da FCA/UNESP, pela oportunidade em e realizar o curso;

Ao coordenador do Curso de Pós-Graduação em Agricultura, Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, por sempre ter acreditado no meu potencial;

A Fazenda da FCA e ao PRONEX, que possibilitaram as condições físicas e financeira para o desenvolvimento do projeto de dissertação;

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela postura ética e responsável com que administra o patrimônio publico como Chefe do Departamento de Produção Vegetal e Coordenador do PRONEX;

Ao Prof Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela orientação, exemplo como professor e pesquisador, amigo e companheiro de todas as horas;

Aos professores do Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal, pela acolhida, dedicação, compreensão e amizade, com os quais adquiri conhecimento técnico e científico, aprendendo a fazer ciência;

A todos os funcionários da FCA, pela prestibilidade que possibilitou o desenvolvimento desse trabalho, com especial ênfase ao Sr. Célio Mariano Ricardino;

Aos colegas de curso, pelo convívio saudável e aprendizado compartilhado, em especial ao amigo Juliano Corulli Corrêa pelo total apoio durante a fase de estabelecimento e adaptação;

A todos que colaboraram de alguma forma, direta ou indiretamente, para que o objetivo na realização deste trabalho fosse alcançado;

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Cobertura vegetal e sistema de semeadura direta.....	7
4.2 Calagem superficial no sistema de semeadura direta.....	14
4.3 Cultivo de soja em safrinha.....	20
4.3.1 Safrinha.....	20
4.3.2 Soja safrinha.....	23
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1 Localização da área experimental e caracterização do local.....	28
5.2 Delineamento experimental e tratamentos empregados.....	31
5.3 Espécies de cobertura vegetal.....	32
5.4 Cultivar de soja.....	33
5.5 Instalação e condução do experimento.....	34
5.6 Obtenção dos dados.....	40

5.6.1 Produção de matéria seca, teor e extração de macronutrientes das coberturas vegetais.....	40
5.6.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja.....	41
5.6.3 Alterações dos atributos químicos do solo.....	42
5.6.4 Características agronômicas da soja e produtividade.....	42
5.7 Análise estatística.....	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
6.1 Produção de matéria seca, teor e extração de macronutrientes das coberturas vegetais.....	44
6.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja.....	49
6.3 Alterações dos atributos químicos do solo.....	62
6.4 Características agronômicas da soja e produtividade.....	96
7 CONCLUSÕES.....	107
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

**LISTA DE QUADROS**

Quadro		Página
1	Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 2000.....	34
2	Teores de areia, silte e argila, densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total do solo, em quatro profundidades, antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 2000.....	35
3	Teor de água, número de sementes por grama e depositadas por metro, e germinação das espécies de cobertura Botucatu-SP, 2000.....	36
4	Produção de matéria seca e teores de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.....	45
5	Extração de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.....	49
6	Produção de matéria seca da parte aérea da soja (R6) e diagnose foliar de macronutrientes (R2), em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.....	50
7	Diagnose foliar de micronutrientes da soja (R2), em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.....	58
8	Valores de pH do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	65
9	Teores de H+Al do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	68

Quadro		Página
10	Teores de cálcio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	70
11	Teores de magnésio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	71
12	Teores de potássio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	72
13	Valores de saturação por bases do solo (V%) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	88
14	Valores de soma de bases do solo (SB) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	89
15	Valores de capacidade de troca de cátions do solo (CTC) a pH 7,0 em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	90
16	Teores de matéria orgânica do solo (M.O.) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	93
17	Teores de fósforo do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.....	94
18	Estande final, altura de inserção da primeira vagem, altura de planta, número total de vagens e vagens chochas por planta, número de grãos por vagem total, massa de 100 grãos e produtividade da soja, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.....	97

**LISTA DE FIGURAS**

Figura		Página
1	Médias de precipitação pluvial mensal e de temperaturas mensais máximas e mínimas durante o transcorrer do experimento. Botucatu-SP, 2000.....	29
2	Precipitação pluvial acumulada no período de 28 de fevereiro a 3 de julho nos anos de 1990 a 2000. Botucatu-SP.....	30
3	Efeito de doses de calcário sobre os valores de pH, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).....	66
4	Efeito de doses de calcário sobre os teores de H+Al, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).....	69
5	Efeito de doses de calcário sobre os teores de Ca, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).....	74
6	Efeito de doses de calcário sobre os teores de Mg, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).....	74
7	Efeito de doses de calcário sobre os teores de K, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).....	75
8	Comportamento de H+Al, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).....	84
9	Comportamento de Ca, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).....	84

Figura		Página
10	Comportamento de Mg, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).....	85

## 1 RESUMO

Estudaram-se as alterações dos atributos químicos no perfil do solo e a resposta da soja safrinha em função de diferentes coberturas vegetais, com e sem calagem superficial, na implantação do sistema de semeadura direta (SSD). O experimento foi conduzido no ano agrícola de 1999/2000, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu/UNESP, em NITOSSOLO VERMELHO Estruturado. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas de 6 m x 10 m, foram constituídas de sorgo de Guiné vermelho e branco (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum americanum*), painço (*Panicum dichotomiflorum*), vegetação espontânea e sem vegetação. Aos 53 dias após a emergência (DAE), as coberturas vegetais foram dessecadas e acamadas, seguindo-se a aplicação superficial de 3,1 t ha<sup>-1</sup> de calcário na metade de cada parcela, visando a elevação da saturação por bases (V%) a 70%. Após duas semana, realizou-se a semeadura direta da soja,

cv. IAC-19, no início do período de outono-inverno (safrinha). Para as coberturas vegetais, foram avaliadas a produção de matéria seca (M.S.), os teores e extração (acúmulo) de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) da parte aérea. Enquanto que, para a soja, determinaram-se a sua produção de M.S., a diagnose foliar de macro e micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe e B), o estande final, a altura de inserção da primeira vagem, a altura de planta, o número total de vagens e vagens chochas por planta, o número de grãos por vagem total, a massa de 100 grãos e a produtividade. Com relação ao solo, 5 meses após a calagem, determinaram-se o pH ( $\text{CaCl}_2$ ), a acidez potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ), os teores de Ca, Mg e K trocáveis, a saturação por bases (V%), a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, os teores de matéria orgânica (M.O.) e P (resina), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Entre as espécies estudadas, no período de verão, o milho foi a mais indicada para cobertura de solo em curto período de desenvolvimento, por ter apresentado grande produção de M.S. e acúmulo de nutrientes. A cobertura vegetal e a calagem superficial não afetaram a produção de M.S., os teores de nutrientes nas folhas, as características agronômicas, os componentes da produção e a produtividade de grãos da soja safrinha. A calagem superficial apresenta eficiência na correção da acidez de superfície e de subsuperfície, tanto na presença como na ausência de cobertura vegetal. É possível implantar o SSD, em solos anteriormente cultivados no sistema convencional de preparo, mediante aplicação de calcário na superfície, sem prévia incorporação.

**SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS ALTERATIONS AND SOYBEAN RESPONSE  
TO VEGETAL SOIL COVERING AND SURFACE LIMING AT THE DIRECT  
SOWING SYSTEM ESTABLISHMENT** Botucatu, 2001. 125p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas,  
Universidade Estadual Paulista.

Author: EDUARDO DO VALLE LIMA

Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

## **2 SUMMARY**

Modifications of chemical characteristics of a soil profile, and soybean response to different covering crops, with and without surface liming, at direct sowing system establishment were studied. The experiment was carried out in 1999/2000, in the experimental farm of São Paulo State University, Campus of Botucatu, in a Red Nitosol (Alfisol). The experimental design was a split plot with four replications. Plots of 60 m<sup>2</sup> consisted of soil covering with red guinea sorghum, white guinea sorghum (*Sorghum guineense*), millet (*Pennisetum americanum*), millet pearl (*Panicum dichotomiflorum*), spontaneous vegetation and no vegetation as a control. Fifty three days after emergency desiccated and cut down. Half of the main plot was limed with 3,1 t ha<sup>-1</sup>, of lime with the purpose to reach bases saturation (V%) of 70%. A week later at the beginning of autumn-winter season, the soybean cv IAC-19 was sown. Vegetal coverings were evaluated for dry matter production and macronutrient levels (N, P, K, Ca, Mg, S). The soybean dry matter

production was evaluated for macro and micronutrient (Cu, Zn, Mn, Fe, B) contents and final stand, first pod height, plant height, pods per plant, empty pods per plant, grains per pod, 100 grains weight and productivity were also recorded. Regarding soil characteristics, after five month, pH CaCl<sub>2</sub>, potential acidity (H+Al), Ca, Mg, K, V%, SB, CTC, M.O. and P were evaluated at 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm depth. Millet was the most indicated species for soil covering for a short development period due to its great dry matter production and nutrient accumulation. The vegetal covering and surface liming did not affect soybean dry matter production, leaf nutrient contents, agronomic characteristics, yield component and grain yield. Surface liming was efficient for surface and subsoil acidity correction in the presence or absence of vegetal soil covering. It is possible to establish a direct sowing system without previous lime incorporation.

---

**Keywords:** *Glycine max*, mineral nutrition, soil fertility, acidity, ion leaching, subsoil, yield.

### 3 INTRODUÇÃO

A calagem, por meio da utilização de materiais corretivos à base de carbonatos, é uma prática cultural essencial, independente do sistema de cultivo adotado, para a neutralização e correção da acidez dos solos em regiões de clima tropical, onde, predominantemente, observam-se baixos valores de pH, bases trocáveis, P e teores elevados de H+Al.

Um questionamento a ser respondido surge quanto à forma atual de se realizar a calagem em semeadura direta, pois em áreas onde esse sistema de cultivo já encontra-se estabelecido, o calcário é normalmente aplicado na superfície do solo. Sabe-se, no entanto, que o calcário é um produto de baixa solubilidade em água e baixa reatividade, exigindo incorporação para o máximo contato com os colóides do solo.

O assunto relacionado à calagem superficial, em sistema de semeadura direta (SSD), é contraditório, particularmente quanto à correção da acidez de

subsuperfície. No entanto, recentemente, vários autores têm observado efeito do calcário aplicado na superfície, sobre a correção da acidez de camadas mais profundas, em SSD.

Os prováveis mecanismos que levariam os produtos da dissolução do calcário atuarem na subsuperfície dos solos podem estar relacionados aos tipos de resíduos vegetais das plantas de cobertura utilizadas no SSD, o que proporcionaria alterações positivas nos atributos químicos do perfil do solo e, conseqüentemente, na resposta da cultura da soja em sucessão ou rotação. Desta forma, evidencia-se a possibilidade para a implantação do SSD com cobertura vegetal adequada e posterior calagem superficial, em áreas nunca antes utilizadas com este sistema de cultivo, sugerindo, com isto, dentre as vantagens físicas, químicas, e biológicas já conhecidas, economia pela eliminação das operações de incorporação de calcário e preparo convencional do solo tradicionalmente recomendadas antes da adoção do sistema.

Um outro aspecto de interesse a ser observado é a resposta da soja em safrinha, num SSD recém implantado, pois o cultivo tecnicamente viável dessa cultura, no período de outono-inverno, possibilitaria uma alternativa ao milho safrinha, funcionando como uma nova opção de fonte de renda. Neste contexto, não deve ser esquecida a relação existente entre o SSD e o cultivo em safrinha, onde o primeiro possibilita a imediata semeadura, diminuindo os riscos climáticos do período, e o segundo proporciona a produção de fitomassa para a manutenção do sistema de cultivo.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações dos atributos químicos no perfil do solo e a resposta da soja safrinha em função de diferentes coberturas vegetais, com e sem calagem superficial, na implantação do sistema de semeadura direta.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Cobertura vegetal e sistema de semeadura direta**

A proteção dos solos com uma cobertura vegetal, nas regiões de clima temperado, tem sido objeto de estudo por vários pesquisadores (Derpsch & Calergari, 1992). Entretanto, nas regiões tropicais, são poucos os trabalhos de pesquisa sobre este assunto (Pereira, 1990; Landers, 1995), onde o clima favorece a rápida decomposição dos restos culturais, devendo-se, então, atentar para a quantidade e durabilidade dos resíduos vegetais (Alves et al., 1995), produzidos pelas espécies antecessoras à cultura principal. Essa necessidade torna-se ainda maior quando a colheita é de uma leguminosa e não ocorre imediata semeadura de outra cobertura vegetal.

Em pesquisa realizada por Alves et al. (1998), foi avaliada a persistência da cobertura vegetal morta, durante um período de pousio, em sucessão à cultura da soja. Estes autores observaram que, independente do manejo adotado com os resíduos dessa cultura, a soja produziu fitomassa em pequena quantidade e de baixa durabilidade. No entanto, Tanaka et al. (1993), analisando cinco diferentes cultivares, verificaram elevada produção de matéria seca (M.S.), com média superior a 18 t ha<sup>-1</sup>.

Pereira (1990), estudando o cultivo de 16 espécies, visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja, na região do cerrado, verificou que, entre as espécies testadas, não houve produção suficiente de fitomassa, para permanência até a ocasião da semeadura da soja. Portanto, torna-se necessária a seleção de coberturas vegetais, com a finalidade de proteção superficial do solo, formação de "palhada", bem como reciclagem de nutrientes, com impacto direto nos atributos químicos do solo e na resposta das culturas subseqüentes.

A formação de "palhada" representa a essência do SSD, que caracteriza-se, segundo Pöttker & Ben (1998), pela produção e manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo não revolvido. Derpsch et al. (1985) demonstraram que neste sistema de cultivo os restos de plantas podem ser deixados superficialmente, sem a mobilização do solo, pois a incorporação se daria por via biológica. De acordo com Holtz & Sá (1995), a situação anteriormente descrita promove condições distintas às propriedades do solo em relação à incorporação por meio do preparo convencional. Assim, com o transcorrer do tempo, o acúmulo de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento resultam em complexas modificações na fertilidade do solo (Caires, 2000).

O sucesso da semeadura direta como sistema de produção agrícola está diretamente relacionado com as alterações observadas na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais, considerando o não revolvimento do solo (Franchini et al., 2000). O não revolvimento leva à uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, quando comparada à incorporação realizada por meio de operações de preparo convencional (Holtz & Sá, 1995). Isto se deve, principalmente, ao menor contato com as partículas do solo, evitando-se a ação rápida dos microrganismos (Bartz, 1998).

A deposição periódica de resíduos orgânicos na superfície favorece a acidificação do solo (Caires, 2000), pois continuamente o material orgânico está sendo decomposto pelos microrganismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água. O ácido carbônico formado reage com Ca e Mg no solo para formar bicarbonatos solúveis que são lixiviados (POTAFOS, 1998), permanecendo prótons na camada superficial como acidez potencial (Bolan et al., 1991). Por outro lado, o acúmulo periódico de M.O. pode exercer efeitos positivos sobre a acidez do subsolo (Miyazawa et al., 1993), pois segundo Rheinheimer et al. (2000), a decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo devem originar compostos orgânicos hidrossolúveis, que complexam o Ca, permitindo sua descida no perfil. Na camada subsuperficial, o Ca complexado é deslocado pelo Al trocável, por formar complexos mais estáveis com o composto orgânico hidrossolúvel, diminuindo a acidez e aumentando o Ca trocável na subsuperfície (Caires et al., 1999). Além disso, com o passar do tempo, há elevação do teor de M.O. devido à menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais na superfície, resultando em aumento na CTC (Igue, 1984), e na atividade biológica (Caires, 2000), com conseqüente melhora da fertilidade dos solos ácidos de cargas

dependentes de pH associadas à M.O. (Rheinheimer et al., 1998). Isso tem proporcionado maior tolerância das culturas às condições de acidez dos solos (Franco & Souto, 1984).

Segundo Santos et al. (1999), há uma enorme variabilidade de espécies vegetais, que pela decomposição de seus resíduos liberam substâncias específicas capazes de minimizar a acidez em subsuperfície. Como exemplo, Liu & Hue (1996) demonstraram que fulvatos de Ca derivados de coberturas vegetais mortas apresentam elevada mobilidade em solos ácidos.

As condições ambientais criadas pelo acúmulo de resíduos vegetais leva a crer que a dinâmica dos nutrientes é diferente no SSD, mas de acordo com Bartz (1998), os princípios básicos praticamente não diferem do convencional, havendo modificações apenas quanto à velocidade e à intensidade das reações que controlam a disponibilidade da maioria dos nutrientes no solo. No SSD, ciclos alternados e variáveis de imobilização e mineralização são comuns, em decorrência das adições periódicas de resíduos vegetais com diferentes atributos químicos. Os efeitos da imobilização tendem a serem mais expressivos nos primeiros anos de implantação do sistema, podendo inclusive ocorrer certa competição entre as plantas e os microorganismos (Tsai & Rosseto, 1992), sendo que a longo prazo o aumento do teor de M.O. possibilitará maior liberação de nutrientes (Caires, 2000). Na verdade, os resíduos vegetais mantidos na superfície do solo funcionam como um reservatório de nutrientes, que são liberados lentamente pela ação de microorganismos (Franchini et al., 2000).

Especificamente quanto aos micronutrientes, dentre os fatores que afetam a disponibilidade estão o material de origem, pH, M.O., cultura, clima, microorganismos, interações com outros nutrientes e método de preparo do solo, sendo que os trabalhos com estes elementos precisam ainda serem mais detalhados (Pauletti, 1998). A falta

de definições ou o grande número de influências que os micronutrientes sofrem quanto à disponibilidade no solo ou à dinâmica na planta, levam a níveis de interpretação muito amplos e ainda inseguros (Pauletti, 1998).

As coberturas vegetais podem exercer efeitos positivos e negativos sobre o desenvolvimento de plantas (Santos & Reis, 1991; Santos et al., 1998), sendo que de acordo com Hernani & Salton (1996), a escolha das espécies para compor um programa de rotação e sucessão de culturas deve levar em conta, entre outros fatores, o seu objetivo. Para cobertura vegetal do solo e suprimento inicial de "palhada", deve-se optar por espécies de gramíneas com elevada capacidade de produção de M.S., capaz de formar uma proteção mais estável na superfície, observando-se o momento ideal para a dessecação. Deve-se considerar, também, a capacidade de reciclar, funcionando como fonte de nutrientes (Tanaka et al., 1992), as características ecofisiológicas das espécies (Bulisani & Roston, 1993), e a possibilidade de retorno financeiro na comercialização dos grãos ou sementes.

No período de inverno, no Mato Grosso do Sul, o milho tem se constituído em uma boa opção de cultivo (Salton & Kichel, 1997), assim como no restante de toda a região do cerrado, fornecendo quantidade razoável de M.S., que vem permitindo o sucesso na semeadura direta da cultura posterior. No mesmo Estado, Pereira (1990) chegou a obter 9,2 t ha<sup>-1</sup> de M.S. no florescimento, aos 50 dias após a emergência. A simples adição de resíduo vegetal de milho, em experimento realizado por Kretschmar et al. (1991), proporcionou o aumento de pH e a redução de Al, quando comparado ao solo sem vegetação.

Cordeiro & Souza (1999) constataram que, além da elevada produção de M.S., a cobertura vegetal morta do milho influenciou positivamente algumas características agronômicas da cultura de soja e, em especial, a produtividade de grãos,

enquanto que o tratamento com vegetação espontânea não foi eficiente na melhoria de nenhuma variável analisada. Da mesma forma, Delavale et al. (2000), na implantação do SSD, verificaram incremento significativo na altura de plantas e na produtividade de soja, em função do resíduo de milho. Silva (1998), ao estudar a nutrição da soja em função da cultura anterior, obteve melhores resultados com as gramíneas de verão milho e sorgo, respectivamente, por apresentarem as maiores capacidades de produção de M.S. da parte aérea e conseqüentemente maiores acúmulos de nutrientes.

Em trabalho realizado por Kissmann (1991), verificou-se a existência de centenas de variedades de sorgo no mundo e entre elas a ocorrência de híbridos. Estes materiais basicamente são divididos em quatro grupos: sorgos graníferos, sacarinos, forrageiros e de vassoura, de acordo com a predominância das características econômicas de interesse. Em função desta diferenciação ser restrita, apenas cultivares selecionadas e híbridos melhorados podem ser tipificados em um dos quatro grupos, ficando grande número de variedades selvagens de *Sorghum* sem caracterização específica, que determine um emprego econômico adequado e, por isso mesmo, acabam sendo identificadas como plantas infestantes. Daí a importância em se estudar variedades ou espécies desconhecidas, que apresentem potencial para servir como cobertura vegetal do solo, como é o caso das gramíneas sorgo de Guiné vermelho, vulgarmente conhecido como sorgo gigante, e sorgo de Guiné branco, também chamado de sorgo anão, ambos originados do oeste do continente africano (Doggett, 1976). Esses dois grupamentos de genes (pool), são classificados por Snowden (1936), como pertencentes a espécie *Sorghum guineense*, raça Guiné. No entanto, *Sorghum bicolor* Moench., raça Guiné, define melhor as características das plantas (Harlan & Wet, 1972).

Pace et al. (1999), estudando o desenvolvimento e a extração de nutrientes em diferentes espécies de verão em função da compactação do solo, verificaram que o sorgo de Guiné e o milho foram as espécies com maior potencial para manejo do solo com problemas de compactação, pois apresentaram um crescimento radicular superior às demais, além de, em média, produzirem duas vezes mais M.S. na parte aérea quando comparados ao girassol, *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*.

O painço (*Panicum dichotomiflorum* Mix.), é cultivado com a finalidade de exploração econômica dos grãos, para utilização na alimentação animal (Furuhashi, 1995), principalmente de pássaros em cativeiro. É também empregado na indústria cervejeira misturado em pequena proporção com a cevada. Ainda pouco conhecido pelos agricultores brasileiros e de reduzida expressão econômica, quando comparado às culturas tradicionais, o painço está sendo experimentado como cobertura vegetal do solo no SSD (Lima et al., 2000). Assim, em função do pequeno ciclo (60 a 70 dias), pode ser uma espécie interessante para o período de inverno-primavera, pois além da produção de "palhada", haveria tempo suficiente para colheita dos grãos, não atrasando a época ideal de semeadura da soja. Há informações de seu cultivo em condições de "sequeiro" no Estado de São Paulo, mais especificamente no município de Avaré, com o objetivo de produção de grãos à atender a demanda do comércio de alimentos para aves. Segundo Brandalitze (2001), nos demais estados brasileiros, constata-se que o painço, juntamente com o alpiste, apesar do mercado restrito, vem ocupando lentamente o lugar antes cultivado com o milho safrinha.

## 4.2 Calagem superficial no sistema de semeadura direta

A calagem em áreas onde o SSD já encontra-se estabelecido é realizada na superfície do solo (Caires et al., 1998; Caires et al., 1999). Isto tem gerado intenso questionamento no meio agrônômico, quanto à eficiência ou não dessa prática (Sá, 1995), pois os materiais corretivos da acidez utilizados na agricultura são pouco solúveis em água, tendo os produtos de sua reação com o solo mobilidade limitada no perfil (Caires et al., 1998).

No sistema convencional de cultivo ou na implantação do SSD, a correção da acidez pressupõe a incorporação do calcário ao solo com aração e gradagens (Rheinheimer et al., 2000), para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo aos colóides do solo (Sá, 1995). Embora essa prática seja tecnicamente viável para aumentar a eficiência do calcário em profundidade, a maioria dos produtores que encontram-se realizando semeadura direta, em sistemas já estabelecidos, não mais desejam utilizá-la, para não destruir as vantagens que foram ganhas durante os anos de adoção desse sistema de cultivo conservacionista (Pöttker & Ben, 1998), e por economia (Caires et al., 2000b).

Independente do sistema de cultivo adotado, há a necessidade da adição de insumos, especialmente o calcário, pois os solos cultiváveis em sua maioria são ácidos, possibilitando-se a correção desse problema (Rheinheimer et al., 2000). Todavia, as informações a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo, em SSD, bem como das conseqüências das alterações químicas do solo, sobre a nutrição mineral e produtividade das culturas em sucessão e rotação, são ainda contraditórias (Caires et al., 1999).

No SSD, como a calagem é realizada superficialmente, espera-se ação do calcário muito mais lenta e restrita às camadas superficiais do solo (Caires et al.,

1999). Há resultado de pesquisa que demonstrou pequeno ou nenhum movimento do calcário além do local de aplicação (Pavan et al., 1984). Neste caso, o pH e os teores de Ca e Mg somente seriam aumentados na superfície do solo. Esta restrição do efeito alcalino do calcário ao local de aplicação é atribuída à sua baixa solubilidade, à ausência de ânion estável em sua reação no solo e à geração de cargas dependentes de pH (Ritchey et al., 1982; Pavan et al., 1984).

As evidências quanto à ação benéfica da calagem superficial atuando nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo são hoje incontestáveis. Entre tantos outros trabalhos realizados, os de Caires et al. (1996), Sá (1996) e Pöttker & Ben (1998) confirmaram que o calcário em superfície corrige a acidez, aumentando significativamente o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis do solo até a profundidade de 5 cm e, em menor grau, na camada de 5 a 10 cm. Esses efeitos podem ser respondidos pela pequena mobilização do solo que ocorre somente na linha de semeadura, possibilitando a incorporação do calcário nesta região e, com os repetidos ciclos de cultivo podem auxiliar a movimentação descendente de suas partículas, mas não além da profundidade de semeadura (Rheinheimer et al., 2000). A outra possibilidade seria em função da porosidade contínua devido aos canalículos de raízes mortas (Oliveira & Pavan, 1994), galerias abertas pela macro e mesofauna do solo, com transporte pelos mesmos, e planos de fraqueza no solo, que permitiriam o deslocamento de finas partículas de calcário através do movimento descendente de água (Sá, 1996). Portanto, basicamente, todas as hipóteses de explicação encontram-se fundamentadas na movimentação física do calcário atribuída a diversos fatores.

As limitações causadas pela acidez de subsuperfície têm sido consideradas como uma das principais causas de baixas produtividades agrícolas, ao proporcionarem restrição do crescimento radicular e, conseqüentemente, de absorção de água

e nutrientes pelas culturas (Caires et al., 1998; Caires et al., 1999). Nesta situação, são consideradas a deficiência de Ca e a toxicidade de Al as principais causas (Pavan et al., 1982; Ritchey et al., 1982). O efeito primário do Al ocorre sobre as raízes, inibindo a divisão celular (Menosso et al., 2000), além de que, o aumento no suprimento de Al causa redução na absorção de Ca (Munns, 1965). Portanto, sabe-se que o Ca influencia o grau de fitotoxicidade do Al, pois aumentando o suprimento de Ca, é reduzida a absorção de Al (Lance & Pearson, 1969). Assim, uma das soluções seria a calagem do subsuperfície ácido, executada por meio de revolvimento profundo do solo, com implementos específicos e operações de preparo convencional. Porém, não é de interesse a quebra do SSD já estabelecido, além de exigir máquinas potentes e equipamentos caros, o que tornariam a prática onerosa (Caires et al., 1998).

A eficiência da aplicação superficial de calcário em solos sob semeadura direta, particularmente na correção da acidez do subsuperfície, é controversa (Caires et al., 2000a). No entanto, nos últimos anos, vários resultados de pesquisa têm demonstrado a formação de uma frente alcalinizante, que avança lentamente, neutralizando a acidez de subsuperfície, onde foram observados aumentos de pH, Ca trocável e redução do Al tóxico (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1996; Amaral, 1998; Caires et al., 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000; Caires et al., 2000a; Franchini et al., 2000), podendo estar envolvido diversos mecanismos. De acordo com Oliveira & Pavan (1996), a formação e migração de Ca  $(\text{HCO}_3)_2$  e Mg  $(\text{HCO}_3)_2$  para camadas mais profundas do solo é uma possível explicação, onde os resíduos vegetais desempenham papel fundamental (Sidiras & Pavan, 1985). Entretanto, para Sumner (1995), a apreciável movimentação de Ca e Mg em profundidade não deve ser utilizada como um índice de movimentação de calcário, pois há casos sem a redução da acidez potencial na subsuperfície.

A possibilidade de movimentação física do calcário em profundidade, conforme explicação de Pavan (1994), através de canais formados por raízes mortas que são mantidos intactos devido à ausência de preparo convencional, ou mesmo à presença de maior número de macroporos causados por insetos e outros processos semelhantes, não seriam suficientes para explicar a acentuada movimentação do calcário aplicado na superfície para a subsuperfície (Pöttker & Ben, 1998).

É possível que os ânions, como nitratos, sulfatos e cloretos presentes, originados da decomposição dos resíduos vegetais ou da adição de fertilizantes, contribuam para o caminhamento do Ca e Mg e, em menor grau, de outros cátions (Caires et al., 1998; Amaral, 1998; Silva et al., 2000). Embora existam estudos que demonstrem a interação entre a adubação nitrogenada e a calagem (Pearson et al., 1962; Adams et al., 1967; Weir, 1975; Caires, 1990), pouco tem sido pesquisado sobre a participação do íon  $\text{NO}_3^-$  no processo. Em relação ao SSD grande quantidade de  $\text{NO}_3^-$  é observada no solo, seja devido ao acúmulo de M.O., que ocorre em função das sucessões e rotações de culturas, ou pelas elevadas doses de adubos nitrogenados, que são utilizadas para obtenção de altas produtividades (Caires et al., 1996). Silva et al. (2000) constataram que a movimentação de Ca em profundidade no perfil do solo foi mais dependente da fertilização nitrogenada do que dos resíduos vegetais utilizados.

Recentemente, a eficiência da calagem superficial sobre a correção da acidez de subsuperfície, em sistema de semeadura direta, tem sido associada à permanência dos resíduos vegetais na superfície e à ausência de revolvimento do solo, que reduz a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos. Como há maior disponibilidade de água, os complexos orgânicos são solubilizados e podem ser lixiviados. Os ligantes orgânicos

complexam o Ca trocável do solo na camada superficial, formando complexos  $\text{CaL}^0$  ou  $\text{CaL}^-$ . A alteração da carga de  $\text{Ca}^{2+}$  facilita a sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o Ca dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons  $\text{Al}^{3+}$  formam complexos mais estáveis do que  $\text{Ca}^{2+}$ , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável (Caires, 2000). Reações semelhantes também ocorrem com o Mg (Miyazawa et al., 1996).

Os resultados imediatos da calagem na superfície sobre a correção da acidez de subsuperfície, apesar da complexidade dos mecanismos envolvidos, observados após 8 meses (Oliveira & Pavan, 1996) e 12 meses (Caires et al., 1998), oferecem suporte à ação de ligantes orgânicos como responsáveis pela melhoria das condições de acidez em subsuperfície no SSD. Em contra partida, Franchini et al. (1999) acreditam que a reação da fração hidrossolúvel de resíduos vegetais no solo é extremamente rápida e seus efeitos sobre a química da solução são drasticamente reduzidos pelo processo de decomposição microbiana.

Diante do exposto em todas as considerações anteriores, vem existindo, atualmente, grande interesse na busca de formas alternativas para implantação de culturas no SSD, em áreas nunca antes utilizadas com esse sistema de cultivo, sem a necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o estabelecimento (Caires et al., 2000b). As vantagens desse procedimento estariam relacionadas à manutenção das características químicas e estruturais do solo, ao maior controle da erosão e à economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo (Caires et al., 2000b). Rheinheimer et al. (2000), estudando as alterações químicas do solo em função da calagem superficial a partir de pastagem natural, constataram a formação de uma frente de correção da acidez em profundidade, proporcional à dose e ao tempo de aplicação. Portanto, verifica-se que, antes de

iniciar o SSD, há possibilidades de se prescindir do preparo convencional para correção da acidez superficial e subsuperficial.

A resposta da soja à calagem é bastante conhecida na literatura quando se trata de cultivo convencional (Rossetto et al., 1994), sendo o corretivo devidamente incorporado ao solo (Quaggio et al., 1993). No entanto, existem dúvidas com relação à resposta da cultura mediante a aplicação de calcário na superfície em SSD (Caires et al., 1998). Estudos como os de Oliveira & Pavan (1996) e Sá (1999), demonstram a viabilidade dessa prática sobre a produção acumulada de grãos de soja em um sistema de rotação. Porém, merece especial atenção as altas produtividades das culturas em semeadura direta, na ausência de calcário, em solos com elevada acidez, onde as explicações relacionam-se a uma série de fatores inerentes ao próprio sistema de cultivo (Caires, 2000). Esse fato é possível para a soja, desde que os teores de Ca, Mg e K estejam em disponibilidade suficiente no perfil do solo para reduzirem a atividade do Al (Caires et al., 1998). A outra hipótese está relacionada à adequada absorção de nutrientes pelas plantas, provavelmente em decorrência de maior umidade disponível no solo (Caires & Fonseca, 2000). A menor resposta das culturas à calagem no SSD, quando ocorre, pode, também, estar relacionada com o baixo efeito tóxico do Al decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis presentes nos resíduos vegetais (Miyazawa et al., 1996), ou com o aumento na CTC do solo, devido ao maior teor de M.O., que pode proporcionar elevação na concentração de cátions trocáveis, mesmo em condições de alta acidez (Caires et al., 1998). Outra situação que deve ser observada é a identificação da tolerância ou não dos genótipos de soja ao Al, utilizados nos experimentos com calagem superficial em SSD, tendo em vista que o desenvolvimento dessa cultura em solos com problemas de acidez não têm sido suficientemente estudado no Brasil (Menosso et al., 2000).

### **4.3 Cultivo de soja em safrinha**

#### **4.3.1 Safrinha**

A safrinha é o cultivo de "sequeiro", estabelecido de janeiro a março, após a cultura de verão na região centro-sul brasileira, destacando-se os Estados do Paraná e de São Paulo pelo pioneirismo e importância dada a esta época de cultivo (Duarte, 2001). Nos últimos cinco anos, a safrinha atingiu maior expressão econômica, atuando como nova fonte de renda aos produtores, principalmente em relação ao milho quando semeado depois da soja (Brandalitze, 2001). Para Duarte (2001), esse rápido crescimento ocorreu, principalmente, pela busca de alternativas agrícolas para o período de outono-inverno, em regiões que tradicionalmente as terras ficavam em pousio após o cultivo de verão.

Segundo Brandalitze (2001), o ápice do cultivo em safrinha foi verificado para a cultura do milho no ano de 2000. No entanto, de acordo com o mesmo autor, a expectativa é de que haja uma redução na área semeada com milho safrinha ou mesmo uma substituição por culturas alternativas, pois os produtores estão se conscientizando de que devem acompanhar o mercado, diversificando a produção, para terem sucesso econômico.

Nota-se que muitos produtores de feijão do interior de São Paulo, que normalmente colhiam a primeira safra e entravam com o milho safrinha, optaram pela semeadura de feijão novamente, buscando aproveitar o crescimento dessa cultura no Estado (Brandalitze, 2001). O sorgo é também uma boa opção para substituir o milho safrinha, por apresentar menor risco de perdas na colheita em decorrência de chuvas após a maturação (Fahl et al., 1998), em função de sua resistência as condições ambientais adversas e pelo baixo custo

de produção. Nos demais Estados Brasileiros constata-se, além das culturas já mencionadas, outras que substituem o milho safrinha como o girassol, o trigo, o algodão e o arroz, havendo casos de produtos exóticos como o alpiste e o painço (Brandalitze, 2001).

Os produtores e os pesquisadores estão a procura de culturas tecnicamente viáveis em safrinha e que dêem lucro (Brandalitze, 2001). Porém, a produtividade ainda é baixa, em decorrência de parte da semeadura ser efetuada em época acentuadamente tardia, reduzindo o potencial produtivo e aumentando os riscos de perdas por geadas ou seca, tornando antieconômica a adubação, sendo a safrinha, por isto, preferencialmente cultivada em áreas férteis (Duarte, 2001). Embora a produtividade seja menor e os riscos de produção sejam maiores que o da safra de verão, o risco de mercado é menor (Tsunechiro & Miele, 1999), pois tem-se melhores preços por ser a colheita realizada na entressafra (Duarte, 2001).

Nem sempre no mês de novembro tem ocorrido chuvas, sendo comum o atraso na implantação do cultivo de verão para fins de novembro e até dezembro (Duarte, 2001). Assim sendo, a safrinha torna-se um cultivo de risco elevado, devido a variabilidade de épocas de semeadura e, conseqüentemente, à irregularidade e às adversidades climáticas desse período (Sans, 2000). Portanto, o segredo do sucesso está relacionado à fuga do período seco, das temperaturas baixas do ar no início do inverno e da geada, ou seja, depende da combinação de época de semeadura e ciclo da cultivar, devendo o planejamento começar com a cultura de verão, visando liberar a área o mais cedo possível para o segundo cultivo (Gomes, 1995; Duarte, 2001). Neste contexto, o SSD possibilita a antecipação da semeadura em safrinha, graças ao não preparo convencional do solo (Duarte, 2001).

A produção agrícola é substancialmente afetada pelas condições atmosféricas, sendo que esta influência se faz sentir nas fases de emergência, vegetativa, reprodutiva e de maturação das culturas (Tubelis, 1988). Seja qual for o sistema de cultivo, no verão ou em safrinha, a produtividade é altamente dependente das condições de clima dominantes, que são variáveis e não controláveis (Sans, 2000). A produtividade está correlacionada positivamente com o total de precipitação pluvial ocorrida durante parte ou todo o ciclo das culturas (Tubelis, 1988). Assim, a escolha da época de semeadura é uma forma de selecionar períodos em que as condições climáticas dominantes permitam haver disponibilidade de água para as fases críticas das culturas, sendo a mesma função da distribuição e intensidade pluvial, da capacidade de armazenamento de água do solo e do uso consumitivo de água pelas culturas (Sans, 2000).

Os baixos índices de chuva no período de outono-inverno fazem com que a capacidade de armazenamento de água no solo seja um fator limitante para o cultivo da safrinha em algumas áreas, ou seja, maior nos solos arenosos e menor nos argilosos. Isso, juntamente com a fertilidade do solo, explica porque a maioria das áreas de safrinha estão concentradas em regiões que apresentam solos mais argilosos (Duarte, 2001).

A altitude deve ter um efeito significativo na safrinha como atenuador de déficit hídrico, pois a medida que se eleva a altitude há maior disponibilidade de água no solo, em razão das temperaturas amenas proporcionarem menor evapotranspiração (Sans, 2000; Duarte, 2001).

De acordo com Haag (1987), as restrições de água podem diminuir a mineralização da M.O., além de reduzir a eficiência de utilização dos elementos minerais do solo, causando possíveis deficiências minerais às culturas.

Acredita-se que a safrinha é um sistema viável como fonte de recursos econômicos e, uma vez conhecidos e quantificados os riscos a que está sujeita e desenvolvidas tecnologias adequadas, a fragilidade desse cultivo será reduzida (Sans, 2000).

#### **4.3.2 Soja safrinha**

A soja é uma leguminosa anual, de crescimento determinado ou indeterminado, com altura variável (30 a 120 cm) e ciclo de 90 a 160 dias até a colheita de grãos, dependendo da cultivar e da época de semeadura (Wutke, 1993). Quanto a época de semeadura, esta pode ser realizada de outubro a dezembro para o cultivo de verão, janeiro a março para a safrinha e abril a junho para o cultivo de inverno irrigado. Para a faixa de latitude do Estado de São Paulo, a melhor época de semeadura de soja é no mês de novembro, onde melhores resultados de produtividade são alcançados (Nakagawa et al., 1983; Tubelis, 1988). Os fatores que condicionaram a escolha dessa época de semeadura e do período de cultivo são a temperatura do solo favorável à germinação, a temperatura do ar, o fotoperíodo, a boa distribuição hídrica e as cultivares existentes (Medina, 1994).

As condições climáticas durante o cultivo de verão, com excesso de chuvas e temperaturas elevadas na fase de maturação, comprometem a capacidade germinativa e o vigor das sementes de soja produzidas, principalmente de cultivares precoces em São Paulo (Crusciol, 1992; Medina, 1994). Portanto, uma das prováveis vantagens do cultivo em safrinha seria a coincidência da maturação e colheita com períodos climáticos mais favoráveis à obtenção de sementes de soja de melhor qualidade fisiológica e sanitária (Medina, 1994), fato este constatado por Costa (1979). Wutke (1993) cita que no ano de 1993, 90% da área

cultivada no município de Guaíra-SP, no período de fevereiro a março, conhecido como semeadura de safrinha, era com a cultura da soja, cv. IAC-16 de ciclo precoce. Em semeadura de entressafra, Miyasaka et al. (1970) também obtiveram bons resultados com a cultura da soja, cv. Santa Maria.

Os genótipos utilizados na safrinha são os mesmos recomendados na safra de verão. Portanto, cultivares que foram desenvolvidas para condições de temperatura elevada, alta radiação e comprimento de dia maior irão sofrer alterações na fenologia e no seu metabolismo, quando os fatores climáticos começarem a ser limitantes (Sans, 2000). Assim, a época de semeadura é a variável que produz o maior impacto sobre a produção da cultura da soja, sendo fato bem conhecido de que o atraso em relação à época mais apropriada à semeadura reduz a produtividade (Nakagawa et al., 1983), onde a disponibilidade de água é o principal fator determinante (Sans, 2000), assim como o fotoperíodo.

O fotoperíodo é responsável pela duração do ciclo biológico das cultivares de soja (Medina, 1994). A cultura da soja apresenta cultivares sensíveis e indiferentes ao fotoperíodo (Tubelis, 1988). As sensíveis vegetam continuamente em dias longos até que a duração do período de luz, diminuindo no verão, se torne menor que o valor crítico para cada cultivar, quando inicia-se a fase de florescimento (Tubelis, 1988; Medina, 1994). Como a duração do período de luz é função da latitude do local e da posição relativa do sol, a época de semeadura no período de verão se dá por faixas de latitude, pois semeaduras tardias podem provocar formação de plantas de menor estatura e menor altura de inserção da primeira vagem (Gandolfi & Muller, 1981), reduzindo a produtividade (Tubelis, 1988). Os dias mais curtos, característicos nas semeaduras em safrinha, antecipam o alcance do fotoperíodo crítico levando ao florescimento precoce, conforme verificado por Medina (1994).

A duração do período vegetativo determina a altura de planta (Medina, 1994), a altura de inserção da primeira vagem e o número de vagens por planta (Vernetti, 1983; Medina, 1994) e, conseqüentemente, o desempenho final de cultivares de hábito de crescimento determinado, adaptadas ao clima tropical (Medina, 1994). Ressalta-se que a altura de inserção da primeira vagem deve ter no mínimo 13 cm, para reduzir perdas na colheita mecânica de soja (Queiroz et al., 1981).

Athayde et al. (1984), em sementeiras tardias de soja, observaram maiores reduções no ciclo de desenvolvimento para as cultivares precoces do que para as de ciclo médio ou tardio, não só pela maior antecipação no florescimento, mas também pela diminuição do período de enchimento de vagens, resultando em quedas acentuadas na produtividade. Salienta-se que a utilização de cultivares de ciclo médio a tardio, para sementeira tardia em locais quentes, proporcionará plantas com porte e altura de inserção da primeira vagem consideravelmente maiores que as precoces cultivadas no verão, não havendo problemas quanto às perdas na colheita mecanizada (Crusciol, 1992).

A temperatura exerce influência sobre todas as fases do ciclo vegetativo de plantas de soja (Medina, 1994). No entanto, o efeito é maior nas fases mais avançadas, pois a safrinha é implantada no final do verão (Sans, 2000), podendo as baixas temperaturas ocorrerem nos estádios de fecundação e enchimento das vagens. Vilela et al. (1979), em experimento conduzindo soja no inverno do Distrito Federal, concluíram ser possível produzir soja em período de dias curtos, quando a temperatura não for um fator limitante.

A temperatura pode modificar as respostas da soja ao fotoperíodo (Medina, 1994), acarretando influência na fenologia, no prolongamento do ciclo, na redução

do porte das plantas e na queda de produção (Sans, 2000). Entretanto, dias curtos nas épocas de semeadura tardias apressam a ocorrência da maturidade, em intensidade tal que superam os efeitos retardadores das baixas temperaturas (Major et al., 1975), fato este também observado por Medina (1994).

A produtividade de soja está correlacionada com a precipitação acumulada em diferentes períodos do ciclo da cultura, conforme experimentos conduzidos no Estado de São Paulo por Arruda et al. (1976). Segundo Marcos Filho (1986), as regiões aptas à soja são as que apresentam boa distribuição de precipitações pluviais, entre 500 a 700 mm, durante todo o ciclo da cultura. Assim, como a safrinha é um sistema de cultivo de "sequeiro" implantado no final do verão, a precipitação é um dos elementos determinantes do seu sucesso, onde sua importância não se dá apenas pela distribuição, mas principalmente pela quantidade (Sans, 2000).

A cultura da soja, por apresentar um sistema radicular bem desenvolvido, principalmente em solos profundos e bem drenados, podendo chegar a atingir 1,9 m de profundidade, pode suportar períodos de escassez de chuvas, contanto que o período crítico não se dê nas fases de floração e início de frutificação (Tubelis, 1988). Particularmente, a cv. IAC-14, por ter um sistema radicular pivotante superior às demais, a torna adequada para situações de plantios adensados, sendo utilizada em semeadura direta no período de entressafra, em esquema de rotação (Wutke, 1993).

O estresse hídrico durante o início do período de formação de vagens (R3), causa maior redução no número de vagens e, conseqüentemente, no número de grãos (Rassini & Lin, 1981). A água insuficiente durante o período de formação e, principalmente, de enchimento das vagens é, freqüentemente, uma das principais barreiras às

produções elevadas de soja (Westgate & Grant, 1989). Portanto, a irreversibilidade no comportamento vegetal é função da duração do estresse hídrico, do estágio de desenvolvimento da cultura e do material genético empregado (Ortolani & Camargo, 1987).

Medina (1994) observou que, no Estado de São Paulo, a semeadura tardia da soja pode levar à ocorrência das fases de formação e desenvolvimento das sementes na época seca, sendo que para garantir boa produção a irrigação suplementar torna-se indispensável. De acordo com esse autor, há também dificuldade na implantação do cultivo em safrinha, em função da intensa pluviosidade que desfavorece ao preparo convencional do solo.

Nakagawa et al. (1983) atribuíram a redução na produção de sementes de soja, a medida em que se atrasava a semeadura de meados de outubro ao início de janeiro, em Botucatu, no Estado de São Paulo, principalmente aos efeitos do fotoperíodo associado à ação de baixas temperaturas e à falta de umidade no solo.

A safrinha é uma opção de risco devido não só à variabilidade climática do período em que se desenvolve os cultivos, mas também pela incerteza da sua época de semeadura. Portanto, o sucesso da safrinha fica na dependência de se conhecer as datas de semeadura da mesma, para que se possam reduzir os riscos climáticos a que está sujeita (Sans, 2000).

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

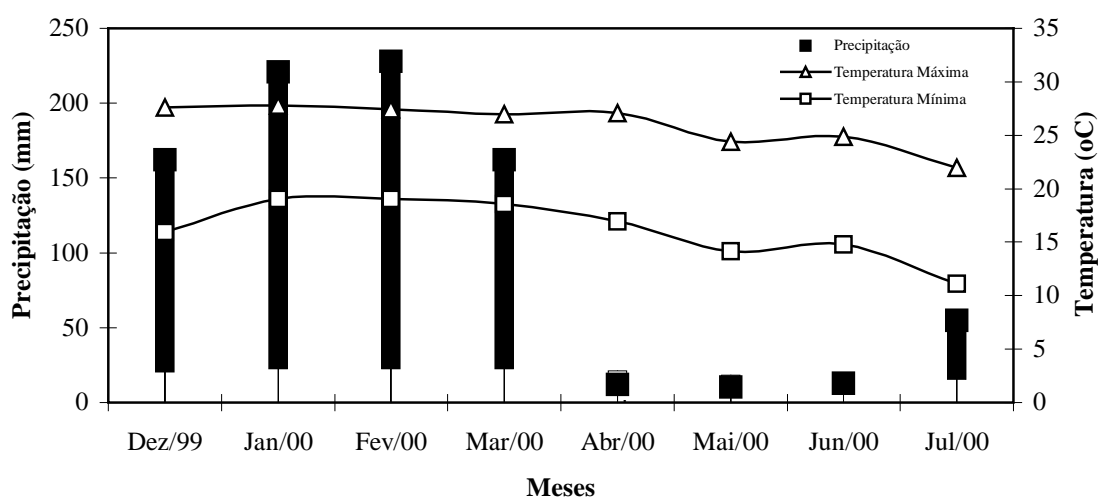
### **5.1 Localização da área experimental e caracterização do local**

O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola de 1999/2000, na Fazenda Experimental Lageado, em gleba do Departamento de Produção Vegetal - Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, Campus de Botucatu/UNESP, localizada no município de Botucatu-SP, a latitude 22° 51'S, longitude 48° 26'W e altitude de 740 m.

O solo da área experimental, é classificado como Terra Roxa Estruturada Distrófica, textura argilosa (Carvalho et al., 1983), atualmente NITOSSOLO VERMELHO Estruturado (EMBRAPA, 1999).

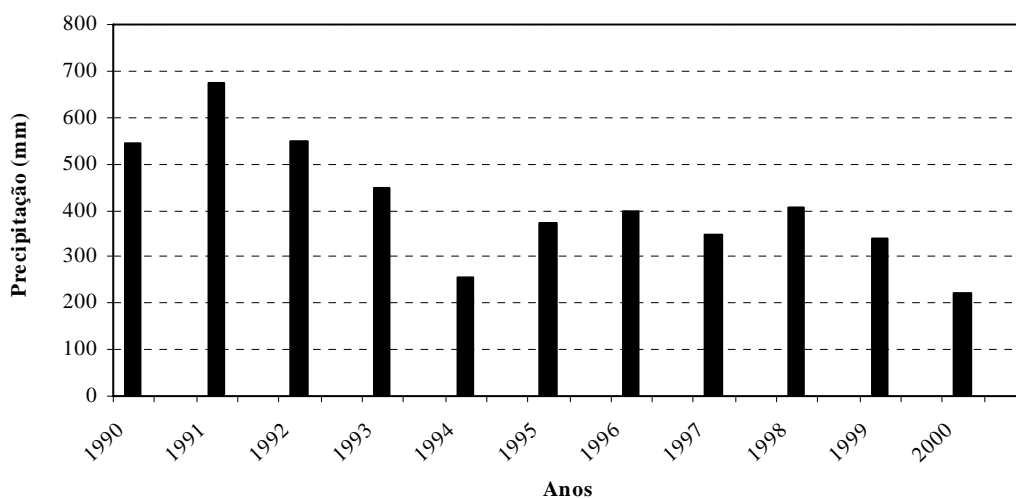
Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa. É caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (Lombardi Neto & Drugowich, 1994).

Na Figura 1, são apresentados os dados de precipitação pluvial mensal e as temperaturas máxima e mínima (médias mensais), durante o desenvolvimento do experimento, coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, pertencente ao Departamento de Ciências Ambientais - Setor de Climatologia. Como o cultivo no período de safrinha desenvolve-se no final do verão, outono e início do inverno, onde a temperatura apresenta variações maiores que no período de safra normal, as temperaturas médias não foram apresentadas, pois poderia acarretar em sérios erros, em função de valorizar o efeito da temperatura noturna igual à diurna (Sans, 2000).



**Figura 1.** Médias de precipitação pluvial mensal e de temperaturas mensais máximas e mínimas durante o transcorrer do experimento. Botucatu-SP, 2000.

Quanto à precipitação, procurou-se, também, caracterizar a sua frequência de ocorrência, utilizando-se a série histórica dos dez últimos anos onde o experimento foi desenvolvido, no período de 28/02 a 03/07, época em que houve o cultivo da safrinha no ano 2000 (Figura 2).



**Figura 2.** Precipitação pluvial acumulada no período de 28 de fevereiro a 3 de julho nos anos de 1990 a 2000. Botucatu-SP.

## 5.2 Delineamento experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas, de 6 m de largura e 10 m de comprimento, foram constituídas pelos tratamentos de cobertura vegetal: 1-sorgo de Guiné (*Sorghum bicolor* Moench.), raça Guinea e pool vermelho, 2-sorgo de Guiné (*Sorghum bicolor* Moench.), raça Guinea e pool branco, 3-milheto (*Pennisetum americanum*) cv. BN<sub>2</sub>, 4-painço (*Panicum dichotomiflorum* Mix.) variedade amarelo brasileiro, 5-vegetação espontânea presente na área, e 6-sem vegetação. Esse último tratamento, desde a implantação do experimento, foi mantido sem vegetação, sendo as invasoras controladas periodicamente por meio de capinas manuais sempre que iniciava-se a emergência de qualquer planta. Posteriormente, as parcelas foram divididas ao meio por carregadores de 50 cm, no sentido do comprimento, com o auxílio de enxadas, formando-se assim duas subparcelas de 27,5 m<sup>2</sup>, onde uma permaneceu sem calagem e a outra recebeu a aplicação de calcário, visando a elevação da saturação por bases (V%) para 70.

As coberturas vegetais deveriam ter sido semeadas no início do mês de setembro de 1999, sem irrigação suplementar, logo que iniciassem as primeiras chuvas típicas do período. No entanto, a forte estiagem que atingiu a região sudeste (Balarin et al., 1999), impediu a semeadura das coberturas vegetais no período inicialmente planejado, pois não houve umidade suficiente para o estabelecimento das espécies. Esse fenômeno climático adverso proporcionou o atraso no plantio da soja do RS ao MS, prejudicando o desenvolvimento das lavouras (Balarin et al., 1999). Assim sendo, decidiu-se pelo cultivo das coberturas vegetais no período de verão e a soja em safrinha, ou seja, na época de outono-inverno.

### 5.3 Espécies de cobertura vegetal

O milheto é uma gramínea de clima tropical, de crescimento ereto, altura variando entre 1,50 a 1,80 m e ciclo de 130 a 160 dias (Salton & Kichel, 1997). É considerado uma espécie rústica, indiferente a textura do solo, com baixa exigência quanto à fertilidade e média tolerância ao Al. Apresenta, também, média tolerância ao frio, resistência moderada à geada (Pinto & Crestana, 1998), e boa tolerância à seca, necessitando de no mínimo 600 mm anuais. Entretanto, apesar da capacidade de produzir em condições extremamente adversas, como em solos de baixa fertilidade, responde muito bem à adubação ou a solos mais férteis e com boa disponibilidade hídrica. Sua produção de M.S. pode chegar entre 10 a 15 t ha<sup>-1</sup>, dependendo da cultivar e do ambiente.

O sorgo, planta anual, de porte ereto, pertencente a família das gramíneas, caracteriza-se pela grande produção de M.S. e grãos de constituição semelhante a do milho. Este cereal destaca-se nas regiões onde a disponibilidade de água é reduzida ou a distribuição das chuvas é irregular, apresentando maior resistência à seca do que o milho. Sua altura pode variar de 1 a 5 m, dependendo do genótipo e do ambiente de cultivo. Recentemente o sorgo de Guiné vem se destacando, demonstrando ser um material promissor para utilização em SSD, por proporcionar melhoria nas características físico-químicas do solo.

O painço é uma gramínea de ciclo anual, que varia de 60 a 70 dias da emergência à colheita, em função da temperatura ambiente, com sistema radicular superficial e altura entre 0,60 a 1,00 m. É cultivado principalmente com o objetivo de exploração dos grãos, mas com potencial para tornar-se uma opção de cobertura vegetal que anteceda ao cultivo da soja (Lima et al., 2000).

#### 5.4 Cultivar de soja

A cultivar de soja utilizada foi a IAC-19, sendo que suas principais características são o hábito de crescimento determinado, florescimento de 55 a 60 dias, ciclo médio de maturação (130 a 140 dias), altura de planta de 80 a 110 cm, flor branca, hilo marrom, pubescência marrom, sementes amareladas e peso de 100 sementes igual a 15 g, quando semeada de outubro a dezembro (IAC, 1998 e 1999). Quanto ao nível de tolerância a doenças e pragas, apresenta-se resistente ao fogo selvagem e ao crestamento bacteriano, alta tolerância para pústula bacteriana, cancro da haste e oídio, média tolerância para mosaico comum e nematóide de galhas, baixa tolerância para nematóide de cisto, média para insetos desfolhadores e moderada resistência à mosca branca (IAC, 1998 e 1999). A densidade populacional ótima varia de 300.000 a 400.000 plantas por hectare, sendo que o período mais favorável de semeadura está limitado entre os meses de outubro a dezembro, com rendimento provável de 2.400 a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (IAC, 1998 e 1999).

A cv. IAC-19 é indicada para solos de média a alta fertilidade dos Estados de SP, MG, GO, MS e MT (IAC, 1998 e 1999). Apesar de não haver pesquisa específica, acredita-se que a cultivar utilizada possa apresentar tolerância ao Al, em função de ser originária do cruzamento entre IAC-8 x D-72-9601, mesmo sabendo-se que a cv. IAC-8, em trabalho realizado por Menosso et al. (2000), foi classificada como genótipo sensível ao Al em solução. Porém, tanto a cv. IAC-8 como a linhagem D-72-9601 possuem a cv. Bragg na sua constituição genética, por meio de retrocruzamento. Assim sendo, sabe-se que a cv. Bragg é tolerante ao Al, em função de possuir a cv. Jackson como pai tolerante (Menosso et al., 2000).

### 5.5 Instalação e condução do experimento

A área, por vários anos, foi manejada de modo convencional, constando de arações e gradagens. Durante o ano de 1998 permaneceu sob pousio, voltando a ser cultivada no inverno de 1999 com aveia preta (*Avena strigosa*). Quando da instalação do experimento, a emergência de aveia preta e da vegetação original cobriam completamente o solo de toda área experimental. Essa fitomassa foi dessecada com a aplicação de 1.920 g i.a. ha<sup>-1</sup> de herbicida à base de glyphosate, duas semanas antes da semeadura direta das coberturas vegetais.

Antes da implantação das coberturas vegetais, foi realizada caracterização química do solo na profundidade de 0 a 20 cm conforme Raij et al. (1997). Para tal, foram coletadas 20 amostras simples de solo, em área de 0,5 ha, formando-se uma única amostra composta, a qual foi analisada segundo metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), cujos resultados de fertilidade encontram-se expressos no Quadro 1.

**Quadro 1.** Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 2000.

Prof. cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P (resina) mg dm <sup>-3</sup>	H+Al -----	K	Ca mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg -----	SB	CTC	V %
0-20	4,8	23	19	55	1,8	19	13	34	89	38

Realizou-se, também, a caracterização física inicial do solo, por meio de três amostragens executadas aleatoriamente em toda a área experimental, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm (Quadro 2). Foram analisadas a composição granulométrica, para determinação da classe textural do solo, a densidade de partículas (DP), pelo método do balão volumétrico, e a densidade do solo (DS), pelo método da parafina, segundo EMBRAPA (1997). A porosidade total (Pt) foi calculada por meio do método indireto de determinação, expresso pela fórmula  $Pt = (1-DS/DP)100$ , de acordo com Kiehl (1979), sendo a interpretação dos resultados realizada segundo Jorge (1983).

**Quadro 2.** Teores médios de areia, silte e argila, densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total do solo, em quatro profundidades, antes da instalação do experimento. Botucatu-SP, 2000.

Prof. cm	Composição Granulométrica			Densidade de Partículas kg dm <sup>-3</sup>	Densidade do Solo kg dm <sup>-3</sup>	Porosidade Total %
	Areia	Silte	Argila			
0-5	390	150	460	2,45	1,67	32
5-10	370	160	470	2,50	1,58	37
10-20	360	140	500	2,47	1,45	42
20-40	310	140	550	2,40	1,42	41

A semeadura foi realizada no dia 16/12/1999, utilizando-se a proporção de 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para todas as espécies de cobertura vegetal (Lima et al., 2000), sendo que em função do teor de água e do espaçamento adotado foi possível determinar o número total de sementes por grama e a quantidade depositada por metro (Quadro 3). Também foi determinada a germinação das sementes utilizadas, segundo metodologia descrita em BRASIL (1992). A emergência ocorreu, de modo geral, sete dias após a semeadura (23/12/1999), para todas as coberturas vegetais.

**Quadro 3.** Teor de água, número de sementes por grama e depositadas por metro, e germinação das espécies de cobertura. Botucatu-SP, 2000.

<b>Espécies de Cobertura</b>	<b>Teor de água (%)</b>	<b>Número de sementes/g</b>	<b>Número de sementes/m</b>	<b>Germinação (%)</b>
Sorgo de Guiné Vermelho	9,5	59	71	89
Sorgo de Guiné Branco	10,7	64	77	50
Milheto	8,8	245	98	78
Painço	9,9	227	91	74

A operação de semeadura ocorreu de forma mecanizada e direta, sobre a "palhada" da aveia preta + vegetação original, com o emprego de duas semeadoras-adubadoras de plantio direto, sendo uma com seis linhas espaçadas a 60 cm entre si (PST<sub>2</sub> da Tatu), para os sorgos de Guiné, e outra de quinze linhas espaçadas a 20 cm (TD 300 da Semeato), para o milheto e o painço.

Juntamente com a semeadura foi aplicado 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Ambrosano & Wutke, 1997), em todas as parcelas, correspondendo a aproximadamente 50 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo. O adubo fosfatado foi misturado, em betoneira, às sementes de milheto e painço, no dia da semeadura, em função de serem muito pequenas (< 2,0mm) e não disporem de semeadoras apropriadas, com regulação precisa, para distribuição isolada de sementes e fertilizantes (Lima et al., 2001). Assim, o adubo serviu como via de transporte na proporção de 0,4 g de sementes para cada 1 g de adubo depositado por metro. No caso dos sorgos de Guiné, a semeadura e a adubação fosfatada ocorreram por vias de deposição isoladas, na proporção de 1,2 g de sementes e 3 g de superfosfato triplo por metro. Todas as sementes foram previamente tratadas com fungicida a base de thiabendazole, na dosagem de 100 g i.a. kg<sup>-1</sup> de sementes.

Aos 53 dias após a emergência (DAE) (14/02/2000), as coberturas vegetais foram dessecadas com a aplicação mecanizada de herbicida a base de glyphosate, na dosagem de 1.920 g i.a. ha<sup>-1</sup> e volume de aplicação de 280 L ha<sup>-1</sup>, por meio de pulverizador tratorizado de barras, com bicos do tipo leque espaçados em 50 cm.

Utilizou-se rolo faca uma semana após a dessecação das coberturas vegetais (21/02/2000), com o objetivo de acamar as plantas facilitando assim a aplicação de calcário em superfície.

A calagem foi realizada em 23/02/2000, dois dias após o manejo mecânico da fitomassa dessecada, de forma manual e a lanço, na dose de 3,1 t ha<sup>-1</sup>. O calcário utilizado foi o dolomítico com PRNT = 91%. Portanto, apesar da recomendação de V% à ser atingida para a soja no Estado de São Paulo, na camada de 0 a 20 cm, seja 60 (Mascarenhas & Tanaka, 1997), a escolha por 70% fundamentou-se no fato de que na implantação de um sistema de rotação e sucessão, deve-se atender não mais a necessidade de uma única cultura, mas sim do sistema como um todo.

Antes da semeadura, as sementes de soja foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079 - CPAC 15 e SEMIA 5080 - CPAC 7), por meio de inoculante turfoso, com garantia mínima de 1x10<sup>9</sup> células viáveis por grama. Como a área já havia sido cultivada com soja em safras passadas, utilizou-se 250 g de inoculante por 50 kg de sementes (Mascarenhas & Tanaka, 1997). A operação de mistura entre o inoculante, as sementes e mais 300 ml de água, deu-se no mesmo dia da semeadura, por meio do emprego de betoneira e secagem à sombra por alguns minutos. Pelo fato das sementes não terem sido tratadas com fungicida específico, dispensou-se a mistura de açúcar na água.

A semeadura da soja foi realizada em 28/02/2000, duas semanas após a dessecação das coberturas vegetais, por meio de semeadora-adubadora de plantio direto, com seis linhas, modelo PST<sub>2</sub>, na densidade de 19 sementes por metro, ou seja, entorno de aproximadamente 400.000 sementes ha<sup>-1</sup> e espaçamento de 45 cm entrelinhas. A emergência ocorreu três dias após a semeadura em 02/03/2000. Como o cultivo se deu no período de outono-inverno, havendo a possibilidade de diminuição da atividade simbiótica, realizou-se, além da inoculação, a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo aproximadamente 1/4 dessa dose no sulco de semeadura e o restante em cobertura antes do florescimento

(Mascarenhas & Tanaka, 1997). Assim, a adubação mineral de semeadura utilizada, em função da análise de solo (Quadro 1) e da produtividade esperada entre 2.500 a 2.900 kg, foi de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Mascarenhas & Tanaka, 1997). Para tal, empregou-se 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 8-28-16, nas formas de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, misturando-se a esta mais 44 kg de KCl. A adubação mineral de cobertura foi realizada em 28/03/2000 aplicando-se 38 kg ha<sup>-1</sup> de N, correspondendo a 85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, sobre a superfície do solo úmido, ao longo e perto das fileiras de soja.

O controle de plantas daninhas em pós-emergência foi realizado 8 DAE da soja (10/03/2000), por meio de pulverizador tratorizado de barras, utilizando bicos do tipo leque espaçados em 50 cm. Foram empregados, em mistura de tanque, dois herbicidas seletivos registrados para a cultura da soja, cujos ingredientes ativos são fomesafen e haloxyfop R, éster metílico, sendo o primeiro específico para plantas de folhas largas, utilizando-se a dose de 250 g i.a. ha<sup>-1</sup>, e o segundo para folhas estreitas, na dosagem de 62 g i.a. ha<sup>-1</sup> (BRASIL, 1998). O volume de aplicação da calda foi de 280 L ha<sup>-1</sup>, acrescentando-se o espalhante adesivo do grupo dos hidrocarbonetos, na dose de 378 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Quanto ao controle de pragas, foi efetuado o emprego de inseticida químico a base de methamidophos, registrado para a cultura, na proporção de 300 g i.a. ha<sup>-1</sup> e volume de aplicação de 250 L ha<sup>-1</sup> da calda, por meio de pulverizador tratorizado de barras, com bicos cônicos (BRASIL, 1998). Foram realizadas duas aplicações, ou seja, aos 13 dias (15/03/2000) e aos 55 dias (26/04/2000) após a emergência da soja. Os demais tratamentos culturais seguiram os critérios de recomendações básicas para o cultivo da soja no Estado de São Paulo.

No dia 3 de julho de 2000, aos 123 dias após a emergência, estando as plantas de soja no estágio R8 (Fehr et al., 1971), o experimento foi colhido.

## 5.6 Obtenção dos dados

### 5.6.1 Produção de matéria seca, teor e extração de macronutrientes das coberturas vegetais

Uma semana após a dessecação das coberturas vegetais (21/02/2000), antes da utilização do rolo faca, fez-se amostragens aleatórias de 1 m<sup>2</sup> no centro de cada parcela, cortando-se as plantas na região do colo. Nas parcelas referentes ao tratamento 5, antes da amostragem, fez-se um levantamento visual das espécies presentes, apresentando-se em maior proporção a tiririca (*Cyperus esculentus*), o picão preto (*Bidens pilosa*), a nabiça (*Raphanus raphanistrum*), a braquiária (*Brachiaria decumbens*), a trapoeraba (*Commelina benghalenses*), o carrapicho (*Cenchrus echinatus*) e a aveia preta (*Avena strigosa*), independentemente da ordem percentual de ocorrência. O material coletado nas amostragens foi acondicionado em sacos de papel, postos em estufa a 60°C com circulação forçada de ar, até atingirem peso constante. Para tal, em função do elevado teor de água presente nas fitomassas, necessitou-se de aproximadamente 120 horas. Em seguida, a M.S. foi pesada, moída e submetida à determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997), avaliando-se o poder de extração e acúmulo das coberturas vegetais utilizadas.

### **5.6.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja**

No florescimento pleno das plantas de soja, aos 53 DAE (24/04/2000), correspondente ao estágio R2 na escala de Fehr et al. (1971), foram realizadas amostragens de folhas com pecíolos, coletando-se as terceiras folhas a partir do ápice, em 30 plantas por subparcela, visando a determinação da composição química e diagnose foliar (Ambrosano et al., 1997). Essas amostras foram lavadas em água corrente e desionizada, acondicionadas em sacos de papel, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante, e posteriormente moídas. Em seguida, os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe e B foram determinados de acordo com os métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

No início do estágio R6 (Fehr et al., 1971), ou seja, início do enchimento das vagens, efetuou-se, também, o corte da parte aérea, na região do colo, de 1 m de plantas de soja seqüenciadas por subparcela, sendo as amostras acondicionadas em sacos de papel, postos em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até peso constante, avaliando-se a produção de M.S. Convém ressaltar que em todas as amostragens, das seis linhas de soja existentes por subparcelas, foram desprezadas as duas laterais e 50 cm de cada extremidade, as quais representaram as bordaduras.

### **5.6.3 Alterações dos atributos químicos do solo**

Foram coletadas amostras de solo após a colheita da soja, em 21/07/2000, correspondendo a aproximadamente 5 meses após a calagem superficial. Para essa amostragem, retirou-se cinco amostras simples por subparcela, na diagonal, formando-se amostras compostas das camadas de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, com a utilização de trado calador. Foram determinados pH ( $\text{CaCl}_2$ ), M.O., P (resina), H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V%, segundo metodologia descrita em Raij & Quaggio (1983).

### **5.6.4 Características agronômicas da soja e produtividade**

No estágio R8, período em que a soja foi colhida, determinou-se a população de plantas formadoras do estande final por subparcela, por intermédio de estimativa realizada em função da contagem do número de plantas seqüenciadas em amostras de 1 m. Pouco antes da colheita, foram também amostradas 10 plantas em seqüência por subparcela, determinando-se a altura de inserção da primeira vagem, altura de planta, número total de vagens e vagens chochas por planta, número de grãos por vagem total e massa de 100 grãos. A produtividade de grãos foi avaliada a partir da colheita e trilhagem mecânica das duas linhas centrais de 9 m em cada subparcela, realizada com colhedora própria de parcelas, modelo Nurserymaster da Wintersteiger. As produtividades foram ajustadas para 13% de umidade.

## **5.7 Análise estatística**

Para as coberturas vegetais, durante a primeira etapa do experimento, a análise estatística dos dados constou da análise de variância, com aplicação do teste F, seguindo o modelo de blocos ao acaso, sendo as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%, somente entre os tratamentos de 1 a 5. Nas demais fases do experimento, foram realizadas análises de variância e aplicação do teste F, seguindo o modelo de blocos ao acaso em parcela subdividida, tendo-se comparado as médias pelo teste de Duncan a 5%. Todos os cálculos foram realizados por meio do programa de computador ESTAT, conforme método descrito por Banzato & Kronka (1989).

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Produção de matéria seca, teor e extração de macronutrientes das coberturas vegetais**

A precipitação pluvial e as temperaturas (Figura 1), ocorridas durante os dois primeiros meses de condução do experimento, foram favoráveis ao crescimento vegetativo das coberturas vegetais utilizadas. Essas, aos 53 DAE, alcançaram alturas médias de 1,6 m para o sorgo de Guiné vermelho, havendo relatos de que plantas conduzidas até a produção atingiriam 5 m, dando origem ao nome vulgar de sorgo gigante. O milho chegou à 1,4 m e o painço juntamente com o sorgo de Guiné branco, também chamado de sorgo anão, à 1,0 m. O problema climático verificado ocorreu em função da má distribuição das chuvas, acarretando baixa disponibilidade hídrica durante o estabelecimento das coberturas vegetais, ou seja, na fase entre a semeadura e a emergência das plantas. Em

seguida a temperatura e a umidade elevadas, favoráveis aos demais estádios de desenvolvimento, mantiveram-se até o mês de março (Figura 1), após o manejo das fitomassas e semeadura da soja, favorecendo a rápida decomposição dos resíduos vegetais.

A espécie que obteve maior produção de M.S. cobrindo a superfície do solo foi o milho (Quadro 4), diferindo estatisticamente das demais coberturas vegetais. A produção de 10 t ha<sup>-1</sup> de M.S. da parte aérea do milho, atingiu valor muito próximo ao de Pereira (1990), que encontrou 9,2 t ha<sup>-1</sup> aos 50 DAE. Nos dois casos a coleta do material coincidiu com o manejo da fitomassa no início do florescimento.

**Quadro 4.** Produção de matéria seca e teores de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.

Coberturas Vegetais	M.S. t ha <sup>-1</sup>	N P K Ca Mg S ----- g kg <sup>-1</sup> -----					
		Sorgo Vermelho	2,9 bc	19,2 a	2,3 ab	25,0 a	5,2 ab
Sorgo Branco	1,9 c	19,0 a	2,7 a	24,2 a	5,0abc	3,3	1,2 b
Milho	10,0 a	13,2 b	1,9 b	23,0 a	4,2 bc	3,6	2,5 a
Painço	5,6 b	15,0 ab	2,4 a	18,7 a	3,2 c	2,7	1,9 a
Vegetação Espontânea	3,7 bc	10,7 b	0,9 c	6,5 b	6,5 a	2,3	0,6 c
<b>Valor de F</b>	7,63**	7,12**	27,83**	7,64**	4,51*	1,85ns	50,59**
<b>CV (%)</b>	7,39	17,85	13,24	28,43	23,43	25,93	13,87

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

A produção de M.S. para os sorgos de Guiné (Quadro 4), foram inferiores aos resultados obtidos por Bairrão (1989) no oeste do Paraná, onde alcançou 8,7 t ha<sup>-1</sup> para o sorgo branco e 9,1 t ha<sup>-1</sup> para o sorgo vermelho, avaliados durante o período de florescimento. As prováveis explicações para as baixas produções de M.S. dos sorgos de Guiné devem-se ao maior espaçamento utilizado no presente experimento (60 cm), ao lento crescimento inicial e, principalmente, à dessecação realizada quando as duas coberturas vegetais ainda encontravam-se em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo.

Estudando o desenvolvimento e extração de nutrientes em coberturas vegetais de verão, sob condições de casa de vegetação, Pace et al. (1999) demonstraram que o milho e o sorgo de Guiné foram as espécies que apresentaram desenvolvimento superior e maior quantidade de M.S. da parte aérea, produzindo duas vezes mais que girassol, *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*.

Das coberturas vegetais apenas o painço, apesar de não apresentar elevada produção de M.S. como o milho (Quadro 4), no período em que foi dessecado, apresentou possibilidade de retorno econômico imediato, pois encontrava-se na fase final de enchimento de grãos. O painço é uma gramínea de ciclo curto, utilizada principalmente na alimentação de pássaros, com a perspectiva de expansão do seu cultivo no país, pois a produção nacional é insuficiente no suprimento do consumo interno, tornando-se necessária sua importação da Argentina (Furuhashi, 1995).

Quanto à produção de M.S. da vegetação espontânea, só foi superada significativamente pela fitomassa do milho, sendo igual as demais coberturas vegetais (Quadro 4). Isso provavelmente deveu-se à predominância de gramíneas, como braquiária, tiririca, carrapicho e, principalmente, a aveia preta, que segundo Derpsch et al.,

(1985), apresenta grande potencial de produção de M.S. ( $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Houve também a contribuição expressiva de nabiça. Porém, acredita-se que o resíduo vegetal desta última espécie, rapidamente se degrada, diminuindo substancialmente o resíduo total da vegetação espontânea sobre o solo.

Para o milho e a vegetação espontânea, verificou-se teores significativamente menores de N e P, comparados aos sorgos de Guiné e painço (Quadro 4). Esse fato, especificamente para o milho, pode ser justificado, em parte, por meio de um efeito de diluição, em função da elevada produção de M.S. dessa cobertura vegetal. No entanto, o painço com produção de M.S. superior a vegetação espontânea, apresentou teor mais elevado de P, assim como o sorgo de Guiné branco, sendo indicativo de bons extratores desse elemento pouco solúvel. Para o painço, em função da fase de enchimento de grãos em que foi dessecado, a justificativa fundamenta-se no fato de que à medida que as plantas atingem a maturação o P vai sendo translocado para as sementes, além do que estas concentram mais P do que todas as outras partes do vegetal (POTAFOS, 1998).

O sorgo branco, juntamente com o sorgo vermelho, caracterizaram-se por teores significativamente maiores de N (Quadro 4). Acredita-se que pelo fato dos sorgos de Guiné encontrarem-se em pleno estágio vegetativo de desenvolvimento na data em que foram dessecados, suas velocidades de absorção de N eram máximas, concentrando uma grande quantidade desse elemento na fitomassa aérea.

O teor de K na vegetação espontânea foi significativamente menor em relação às demais coberturas vegetais. Os elevados teores de K no sorgo vermelho, sorgo branco, milho e painço, confirmaram a alta reciclagem desse nutriente pelas gramíneas ( $> 18 \text{ g kg}^{-1}$ ), favorecendo a rotação e sucessão com leguminosas fornecedoras de N (Raij et al.,

1997). A explicação para os valores obtidos na vegetação espontânea, foi em função de que parte das espécies que compunham sua M.S. não serem gramíneas. A vegetação espontânea somente se destacou na reciclagem de Ca (Quadro 4), provavelmente em função da aveia, que em condições normais apresenta até  $5,0 \text{ g kg}^{-1}$  de teor adequado de Ca nas folhas durante o florescimento (Raij et al., 1997). Os teores de Mg não diferiram entre as coberturas vegetais.

O milho foi superior estatisticamente apenas em relação ao teor de S, junto com o painço, mostrando-se excelentes extratores desse elemento, enquanto que a vegetação espontânea foi a que proporcionou menor valor (Quadro 4). Ressalta-se que culturas forrageiras de alta produtividade de M.S., tais como alguns híbridos de gramíneas, removem mais S e, em geral, respondem mais freqüentemente a esse nutriente (POTAFOS, 1998).

Como a quantidade extraída de um elemento provém da multiplicação do teor de nutrientes pela M.S. produzida, observa-se que as coberturas vegetais com as maiores produções de M.S., independentemente dos teores de seus macroelementos (Quadro 4), apresentaram maiores acúmulos para todos os elementos avaliados, com exceção da vegetação espontânea (Quadro 5). Assim, o milho em curto período, ou seja, aos 53 DAE, foi a cobertura vegetal que produziu a maior quantidade de M.S. e, conseqüentemente, a maior extração (acúmulo) de macronutrientes.

**Quadro 5.** Extração de macronutrientes na parte aérea das coberturas vegetais, aos 53 dias após a emergência, em sistema de semeadura direta. Botucatu-SP, 2000.

<b>Coberturas Vegetais</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	----- <b>kg ha<sup>-1</sup></b> -----					
Sorgo Vermelho	55,8 bc	6,7 bc	74,8 bc	15,3 bc	10,1 b	3,9 b
Sorgo Branco	39,1 c	5,5 c	48,3 cd	9,6 c	6,6 b	2,5 b
Milheto	137,2 a	19,7 a	220,0 a	41,4 a	37,4 a	25,2 a
Painço	82,1 ab	13,2 ab	105,3 b	19,1 bc	15,4 b	11,3 a
Vegetação Espontânea	39,4 bc	3,2 c	24,0 d	24,2 b	8,7 b	2,1 b
<b>Valor de F</b>	6,45 **	8,93 **	13,66 **	6,38 **	4,76 *	18,11 **
<b>CV (%)</b>	18,95	10,96	19,44	14,57	19,86	11,29

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

## 6.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes na avaliação da diagnose foliar da soja

A produção de M.S. da parte aérea e os teores de macronutrientes do tecido foliar da soja estão apresentados no Quadro 6. Verificou-se pela análise de variância que não houve interação entre a cobertura vegetal e a calagem superficial, tão pouco o efeito isolado desses fatores sobre as variáveis analisadas.

**Quadro 6.** Produção de matéria seca da parte aérea da soja (R6) e diagnose foliar de macronutrientes (R2), em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	M.S.	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>							
Sorgo de Guiné Vermelho	2,0	27,5	1,1	13,9	9,0	2,8	2,6
Sorgo de Guiné Branco	2,4	28,8	1,2	16,2	8,4	2,6	2,6
Milheto	2,6	29,8	1,1	13,7	8,8	3,0	2,6
Painço	2,1	28,7	1,2	16,1	8,8	2,6	2,8
Vegetação Espontânea	2,0	29,3	1,1	16,0	7,9	2,5	2,6
Sem Vegetação	2,3	33,1	1,1	15,0	8,3	2,6	2,6
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>							
Sem Calcário	2,2	30,7	1,1	15,6	8,6	2,7	2,7
Com Calcário	2,3	28,4	1,2	14,7	8,6	2,7	2,6
<b>Valor de F</b>							
C.V.	1,02 ns	0,96 ns	0,52 ns	1,73 ns	0,35 ns	0,81 ns	0,78 ns
C.S.	1,49 ns	3,26 ns	0,33 ns	2,46 ns	0,00 ns	0,15 ns	3,92 ns
C.V. x C.S.	1,35 ns	0,82 ns	1,64 ns	1,33 ns	1,21 ns	1,37 ns	0,28 ns
<b>CV (%)</b>							
C.V.	28,26	18,74	13,89	16,51	21,99	19,51	10,27
C.S.	19,91	15,26	11,78	11,97	10,62	9,68	7,94

Comparam-se valores na vertical. Médias sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

De modo geral, a falta de resposta na aplicação dos diferentes tratamentos pode ser explicada pela ação do fotoperíodo e, principalmente, pela baixa disponibilidade hídrica ocorrida durante o desenvolvimento da soja (Figura 1). Assim, analisando-se os dados de precipitação pluvial nos dias em que a soja foi cultivada, verificou-

se que a região de Botucatu-SP, apresentou um volume total de chuvas de aproximadamente 221 mm, concentradas com maior frequência durante a fase inicial de crescimento vegetativo da cultura (março), havendo decréscimo substancial nos meses subseqüentes (Figura 1). Essa quantidade precipitada foi a mais baixa ocorrida nos dez últimos anos (Figura 2), caracterizando uma forte estiagem.

O histórico de precipitação pluvial (Figura 2), apresenta alguns anos tidos como aptos ao cultivo da soja, como em 1990, 1991 e 1992, com volume total de chuvas entre 500 a 700 mm, segundo indicação de Marcos Filho (1986). Portanto, no cultivo de outono-inverno, juntamente com o fotoperíodo, a quantidade e a distribuição pluvial irão definir o maior ou menor desenvolvimento das plantas, pois a implantação das culturas ocorre no final da estação chuvosa, quando há condições marginais de distribuição hídrica, sujeitas à déficits acentuados e irreversíveis (Bulisani & Roston, 1993). Essa irreversibilidade no comportamento vegetal depende da duração e da severidade do estresse, do estágio de desenvolvimento da cultura e do genótipo utilizado (Ortolani & Camargo, 1987).

Medina (1994), devido ao pequeno volume total de chuvas ocorridas nos municípios de Campinas-SP (143 mm) e Votuporanga-SP (179 mm), em cultivos de soja safrinha implantados em março e abril respectivamente, concluiu ser necessária a irrigação suplementar, pois evidenciou-se período extremamente seco coincidente com a fase reprodutiva.

A produção média de M.S. da parte aérea da soja, no início do estágio R6 (Fehr et al., 1971), foi de aproximadamente  $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ , considerada baixa quando comparada aos dados apresentados por Tanaka et al. (1993), que observaram, em cultivo de verão, na média de 5 cultivares (IAC-11, IAC-13, IAC-15, Santa Rosa e Cristal),  $18,8 \text{ t ha}^{-1}$ .

Isso ressalta o quanto a água é responsável por definir a atividade fotossintética, que fundamentalmente responde, em média, por 90% da M.S. acumulada pelos vegetais ao longo do seu crescimento.

A restrição de água durante o cultivo da soja (Figura 1), independente dos tratamentos aplicados, pode ser considerada como uma importante hipótese na redução da eficiência de utilização dos nutrientes minerais pelas plantas (Haag, 1987). Isto se confirma no Quadro 6, pelos teores médios de N, P, K, e Mg encontrarem-se abaixo das faixas adequadas de 40 a 54; 2,5 a 5,0; 17 a 25 e 3,0 a 10,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para cada elemento, na M.S. das folhas no florescimento, para a cultura da soja no Estado de São Paulo, como preconizado por Ambrosano et al. (1997).

A seca prolongada pode, também, induzir à deficiências minerais em função da diminuição na mineralização da M.O. do solo pelos microrganismos (Haag, 1987). Agravando essa situação, os efeitos da imobilização tendem a serem mais expressivos na fase inicial de implantação do SSD (Caires, 2000), decorrente do emprego de gramíneas com elevada adição de M.S. na forma de resíduos (Quadro 4).

Quando inicia-se as adições de material orgânico na superfície do solo, paralelamente começa o processo de decomposição, sendo que nos primeiros anos o produto da mineralização será reutilizado para a manutenção da própria biomassa (Bartz, 1998), assim como uma parcela dos fertilizantes minerais aplicados, podendo ocorrer deficiências nutricionais temporárias ou permanentes às culturas em sucessão e rotação. Contudo, boa parte da explicação dos resultados deve-se realmente à deficiência hídrica como o principal limitante na absorção dos nutrientes minerais. É também importante considerar que a semeadura da soja foi realizada 5 dias após a aplicação do calcário na superfície, sendo o

tempo de reação do corretivo teoricamente muito pequeno para que houvessem alterações nutricionais na soja.

A disponibilidade de água no solo é muito importante, pois o N entra em contato com as raízes por fluxo de massa. A falta de água e a diminuição da temperatura, durante o transcorrer da fase vegetativa do cultivo da soja (Figura 1), provavelmente reduziram a atividade simbiótica e a fixação do  $N_2$ . Assim, possivelmente em função das inferências anteriores, mesmo com a adubação suplementar de N-mineral na semeadura e em cobertura, constatou-se baixos teores foliares de N (Quadro 6).

A não alteração dos teores de N em função do efeito isolado da calagem, independentemente das condições climáticas adversas, que foram iguais à todos os tratamentos, foi também observado por Caires et al. (1998), com a aplicação de diferentes doses de calcário na superfície do solo, não ocorrendo alterações significativas dos teores de N nas folhas de soja, apesar de ser conhecido os efeitos benéficos da calagem sobre o processo biológico de fixação de  $N_2$ , associados principalmente com a maior disponibilidade de Mo e redução da acidez do solo. Ao contrário, na implantação do SSD, Caires et al. (2000b) verificaram efeito positivo da calagem superficial, sendo o teor de N menor nos tratamentos em que houve incorporação do calcário, provavelmente por efeito de diluição do nutriente nos tecidos vegetais, visto que Quaggio et al. (1993) constataram íntima correlação entre o N das folhas de soja com doses de calcário incorporados ao solo.

Quanto à não resposta significativa dos teores de N em função das diferentes coberturas vegetais, acredita-se que os processos de mineralização, imobilização e remineralização em resíduos com alta relação C/N, como nas gramíneas, provoquem aumentos na população microbiana com elevada demanda de N, que será imobilizado na sua massa

celular, podendo causar as deficiências observadas nas plantas de soja (Quadro 6), caso não seja adicionado N via fertilizante (Bartz, 1998). Entretanto, apesar de se ter seguido as recomendações de Mascarenhas & Tanaka (1997), para aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em função da baixa atividade simbiótica esperada no cultivo da soja de outono-inverno, os efeitos do N-mineral combinado com a inoculação realizada, independente dos tratamentos aplicados, não proporcionaram teores foliares de N adequados (Quadro 6), conforme Ambrosano et al. (1997).

A elevada deposição inicial de resíduos vegetais na implantação do SSD (Quadro 4), juntamente com o teor de umidade inferior ao adequado (Figura 1), respondem por uma menor mineralização e maior imobilização de P, diminuindo a sua disponibilidade na solução do solo e conseqüentemente provocando deficiências como as observadas no Quadro 6. Quando se adiciona M.O. com alta relação C/P ou fertilizantes fosfatados, os microorganismos podem assimilar os fosfatos disponíveis, predominando a imobilização, podendo inclusive ocorrer certa competição entre as plantas e os microorganismos pelo P do solo (Tsai & Rossetto, 1992). No entanto, com o passar dos anos, a formação de compostos orgânicos estáveis podem ajudar a retardar as reações de fixação de P, repondo-o de forma gradual e constante na solução do solo.

Ao contrário do observado neste experimento, Barizon & Fernandes (2000), estudando a nutrição da soja no SSD em função da calagem superficial, constataram que a aplicação de calcário na superfície apresentou efeito significativo nos teores de P, apesar dos mesmos encontrarem-se abaixo da faixa de teores adequados na M.S. das folhas no florescimento (Ambrosano et al., 1997).

O K é absorvido pelas plantas na forma iônica (K<sup>+</sup>), sendo que ao contrário do N e do P, não forma compostos orgânicos estáveis no tecido vegetal (POTAFOS,

1998). Este fato explica a maior concentração de K disponível nas camadas superficiais de solos sob semeadura direta. Entretanto, para tal, os resíduos vegetais precisam ser "lavados" pela água das chuvas ou mesmo sofrer extração com a própria umidade do solo, sem a necessidade de mineralização (Bartz, 1998). Além disso, a umidade também se faz necessária à movimentação de K por difusão até as raízes das plantas para que ocorra absorção. Portanto, baseado nas considerações anteriores, mesmo que a soja apresente elevado potencial em absorver quantidades significativas de K, justificam a não resposta da soja no aumento de seu teor foliar para este nutriente (Quadro 6), em função da restrição hídrica ocorrida durante o cultivo (Figura 1).

A não alteração dos teores foliares de K na soja pela aplicação de calcário superficial ao solo (Quadro 6), foi também observado por Caires et al. (1998), em SSD já estabelecido, e por Caires et al. (2000b), na implantação do sistema, sendo que nos dois casos, ao contrário do presente trabalho, os teores de K encontravam-se na faixa adequada, segundo Ambrosano et al. (1997). Apesar de tudo, verifica-se com frequência o aparecimento de sintomas de deficiência de K na soja, em SSD, na fase de implantação ou em exploração intensiva, como a sucessão contínua de soja/trigo. No primeiro caso atribui-se ao cultivo de coberturas vegetais sem aplicação de K, com a posterior remoção da parte aérea (Bartz, 1998). O segundo ocorre se não houver a devida reposição de K, pois decréscimos acentuados nos teores trocáveis desse elemento no solo são observados, principalmente em decorrência da exportação pelos grãos das culturas principais (Caires, 2000).

A não interferência significativa da aplicação de calcário na superfície do solo sobre os teores de Ca das folhas de soja (Quadro 6), foram também observados por Caires et al. (2000b), assim como nas condições de um SSD já estabelecido

(Caires et al., 1998). Em contrapartida, Caires et al. (1999) verificaram que os teores foliares de Ca na cultura da soja foram aumentados de forma quadrática com a aplicação de calcário na superfície. Segundo relato de Caires et al. (1999), o fato ocorreu por causa do aumento do Ca trocável em todo o perfil do solo. Essa movimentação pode ocorrer devido aos ânions aplicados como fertilizantes ou resultantes da decomposição dos resíduos vegetais (Silva et al., 2000). Em SSD estabilizado, a aplicação de calcário na superfície pode exercer efeito em profundidade, devido à quantidade de  $\text{NO}_3^-$  presentes na superfície do solo, em função do acúmulo periódico de M.O. que ocorre com as rotações e sucessões de culturas (Caires et al., 1996). No entanto, como já foi anteriormente discutido, as condições ambientais adversas para a mineralização (Figura 1), e a implantação do sistema de cultivo com elevada imobilização, dificultaram a obtenção de resposta diferenciada entre as coberturas vegetais utilizadas. É interessante ressaltar que neste trabalho, assim como em todos anteriormente citados, independentemente das condições experimentais, os teores foliares de Ca encontravam-se dentro da faixa adequada, de acordo com Ambrosano et al. (1997).

Os teores foliares de Mg nas plantas de soja, em função da cobertura vegetal e calagem superficial (Quadro 6), encontraram-se abaixo da faixa considerada adequada para o desenvolvimento dessa leguminosa (Ambrosano et al., 1997). Caires et al. (1998) verificaram que, das bases trocáveis nas folhas de soja, somente o Mg, no segundo cultivo, foi influenciado positivamente pela aplicação superficial de calcário dolomítico, em SSD já estabelecido. Da mesma forma, Caires et al. (1999) constataram aumento dos teores de Mg pela calagem em superfície, sendo possível com esta prática elevar a disponibilidade de Mg até 10 cm de profundidade (Caires et al., 1996). Ressalta-se que independentemente do mecanismo de ação, caso ocorra intensa lixiviação do Mg, a soja passa

a ser influenciada negativamente em decorrência de sua maior exigência à esse nutriente presente nas camadas superficiais do solo e de sua menor habilidade de aproveitamento do mesmo em subsuperfície (Caires et al., 1999). Dentre suas várias funções, o Mg destaca-se como átomo central na molécula de clorofila, ligado a quatro átomos de N, estando diretamente envolvido com a atividade fotossintética. Assim sendo, as deficiências de Mg e N observadas (Quadro 6), significaram que as plantas não utilizaram eficientemente a luz do sol como fonte de energia, para levar a efeito funções essenciais como a absorção de nutrientes e a produção de M.S., necessárias ao desenvolvimento satisfatório da cultura de soja.

Em sistema de cultivo convencional, Quaggio et al. (1993) observaram a elevação significativa dos teores foliares de S pela calagem. No entanto, esse fato não ocorreu no presente trabalho com a aplicação de calcário na superfície ou mesmo em função de diferentes resíduos oriundos das coberturas vegetais (Quadro 6). Igualmente, só que em sistema já estabelecido, Caires et al. (1998) e Caires et al. (1999), também não verificaram influência da calagem superficial sobre os teores de S nas folhas de soja. Ainda assim, em todos os tratamentos deste experimento, os teores de S nas folhas encontravam-se na faixa considerada adequada para o desenvolvimento normal da soja (Ambrosano et al., 1997).

Os resultados obtidos para as médias dos teores de Cu, Zn, Mn, Fe e B nas folhas das plantas de soja, em relação às diferentes coberturas vegetais e à calagem superficial, encontram-se no Quadro 7. Verifica-se que não houve efeito significativo da interação entre os fatores cobertura vegetal e calagem, assim como de seus efeitos isolados, para todas as variáveis estudadas, conforme valores de F apresentados. Contudo, o teste de comparação de médias detectou diferença significativa para os teores foliares de Cu, Zn e Fe, em função das coberturas vegetais. Ressalta-se que dentre os micronutrientes estudados,

independente do tratamento, apenas os teores de Cu encontravam-se bem abaixo da faixa adequada (10 a 30 mg kg<sup>-1</sup>), para o desenvolvimento ideal da soja (Ambrosano et al., 1997).

**Quadro 7.** Diagnose foliar de micronutrientes da soja (R2), em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>					
Sorgo de Guiné Vermelho	2,50 b	38,75 ab	84,00	138,50 ab	47,64
Sorgo de Guiné Branco	4,25 ab	39,75 ab	105,00	168,50 a	47,77
Milheto	5,75 a	44,00 a	92,50	138,50 ab	44,27
Painço	3,50 b	33,75 b	80,50	134,75 ab	47,33
Vegetação Espontânea	3,25 b	42,25 a	79,00	127,50 b	45,70
Sem Vegetação	3,25 b	38,00 ab	96,75	149,25 ab	45,25
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>					
Sem Calcário	3,92	38,08	95,92	141,00	46,53
Com Calcário	3,58	40,75	83,33	144,67	46,12
<b>Valor de F</b>					
C.V.	2,65 ns	2,01 ns	0,41 ns	1,45 ns	0,50 ns
C.S.	0,41 ns	1,57 ns	3,34 ns	0,20 ns	0,17 ns
C.V. x C.S.	1,03 ns	0,96 ns	0,52 ns	1,96 ns	1,31 ns
<b>CV (%)</b>					
C.V.	18,46	18,07	22,62	23,69	12,54
C.S.	17,41	18,72	11,07	19,68	7,45

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

A não influência da calagem superficial sobre os teores foliares de Cu na soja (Quadro 7), foi da mesma forma observado por Costa (2000), onde nas doses mais elevadas de calcário incorporado e na ausência de calagem superficial, os teores foliares de Cu foram mais altos do que aqueles verificados com a aplicação de calcário em cobertura. Dessa forma, Moreira, citado por Costa (2000), constatou que os coeficientes de correlação entre doses de calcário aplicado ao solo e Cu nas folhas de soja, em amostragens executadas na fase de florescimento, não foram significativos. No entanto, já é bastante conhecido o efeito da elevação do pH do solo, proporcionado pela calagem, sobre a diminuição na disponibilidade do Cu às plantas (Pauletti, 1998).

Quanto aos efeitos das coberturas vegetais, independente do milheto ter proporcionado maior produção de M.S. (Quadro 4) e maior teor foliar de Cu na soja (Quadro 7), foram observados baixos teores de Cu nas folhas para todos os tratamentos. Isto, provavelmente, deve-se ao efeito da M.O. na complexação do elemento. A M.O. depositada sobre o solo é composta por ácidos que podem diminuir ou aumentar a disponibilidade de micronutrientes para as plantas, sendo comum a formação de complexos insolúveis. Dados obtidos no SSD, revelam que o efeito na diminuição dos teores disponíveis de Cu na superfície do solo podem estar relacionados mais ao teor de M.O. do que propriamente ao pH (Pauletti, 1998).

O efeito não significativo da calagem em superfície sobre os teores de Zn nas folhas de soja (Quadro 7), foi também constatado no experimento realizado por Caires et al. (2000b), na implantação do SSD, sendo que nos dois casos mantiveram-se níveis considerados normais para o desenvolvimento da cultura (Ambrosano et al., 1997). Costa (2000) observou que o uso parcelado de calcário na superfície do solo aumentou os valores de pH, quando comparado aos tratamentos que não receberam corretivo superficial, havendo

diminuição na solubilidade e disponibilidade de Zn. Assim sendo, Caires et al. (2000a) sugeriram que a redução na produção de grãos com a utilização de doses elevadas de calcário na superfície, podem ser decorrência de diminuição da absorção de Zn e Mn pela soja. Entretanto, a adoção e o estabelecimento do SSD proporciona como consequência a concentração dos nutrientes nas camadas superficiais, em função do não revolvimento do solo e calagem em superfície, sendo que mesmo com maiores valores de pH os teores de Zn e Mn também serão maiores nas primeiras camadas (Pauletti, 1998).

Observou-se que os resíduos vegetais do milho e da vegetação espontânea proporcionaram os maiores teores de Zn à soja em relação as demais coberturas vegetais mortas (Quadro 7).

Os teores foliares de Mn no florescimento da soja não foram afetados pelos tratamentos (Quadro 7), fato este também constatado por Caires et al. (2000b), no estabelecimento do SSD pela calagem em superfície. Ao contrário, Costa (2000) verificou que os teores de Mn nas folhas de soja, com a aplicação de calcário na superfície do solo, diminuíram. A menor absorção de Mn é decorrente de redução da concentração deste na solução do solo, com a elevação do pH pela calagem superficial (Tanaka et al., 1992). Para Barizon & Fernandes (2000), houve também diminuição nos teores foliares de Mn da soja, em todos os tratamentos que receberam as maiores doses de calcário na superfície do solo. Porém, Barizon & Fernandes (2000) verificaram que no tratamento onde não se aplicou calcário os teores foliares de Mn da soja foram reduzidos da mesma forma quando manteve-se a "palhada" de brizantão (*Brachiaria brizantha*) na superfície do solo. A hipótese de explicação para tal fato pode estar relacionada com a complexação do Mn por compostos orgânicos

liberados na decomposição dos resíduos vegetais, reduzindo, desta forma, a solubilidade em água desse micronutriente.

Apesar dos teores de Fe nas folhas de soja não terem variado significativamente com os tratamentos empregados, conforme valores de F apresentados (Quadro 7), houve diferença estatística entre as médias para as coberturas vegetais, sobressaindo-se o sorgo de Guiné branco. Entretanto, não houve diferença entre as médias dos teores foliares de Fe para os tratamentos com e sem calagem superficial, quando poderia ser esperado que o aumento do pH diminuísse a disponibilidade de Fe às plantas. Barizon & Fernandes (2000), utilizando diferentes doses de calcário em superfície com e sem "palhada", também não obtiveram efeito significativo nos teores de Fe das folhas de soja e igualmente verificaram que os teores desse micronutriente mantiveram-se na faixa considerada adequada, segundo Ambrosano et al. (1997), não havendo assim, efeito inibitório de excesso de Fe sobre a absorção de Zn. Cabe lembrar que a cultura da soja é considerada como pouco responsiva aos teores de Fe disponível (POTAFOS, 1998), além de que sua faixa de teor adequada (50 a 350 mg kg<sup>-1</sup>), parece extremamente ampla na separação entre a escassez e o excesso.

Os teores foliares de B na soja não foram influenciados pela calagem superficial (Quadro 7). Já para Costa (2000), foi verificado teores mais baixos quando se utilizou calcário em superfície. Espera-se que os teores foliares de B em soja fossem diminuídos com o aumento do pH do solo. Entretanto, mesmo as leguminosas graníferas sendo altamente exigentes em B, dentre as quais a soja é classificada como de alta resposta a esse micronutriente (POTAFOS, 1998), ainda assim, percebe-se que em todos os tratamentos do experimento os teores de B nas folhas encontravam-se na faixa adequada (Quadro 7) ao desenvolvimento da cultura (Ambrosano et al., 1997). Quanto ao efeito das coberturas

vegetais não verificou-se diferença significativa entre os tratamentos. Como a M.O. é a fonte mais importante de B no solo e em função do período seco ocorrido (Figura 1), a decomposição poderia ter sido diminuída na superfície do solo, onde a maior parte desse micronutriente é encontrado, podendo ter levado à sérias deficiências, não observadas nesse trabalho. Ao contrário, Barizon & Fernandes (2000) obtiveram médias dos teores foliares de B estatisticamente menores quando mantiveram a "palhada" na superfície da área, onde provavelmente não houve tempo hábil para liberação do B à cultura da soja.

### **6.3 Alterações dos atributos químicos do solo**

A análise de variância dos resultados das características químicas do solo após a colheita da soja, aproximadamente 5 meses após o calcário aplicado em superfície, não mostrou interação entre a cobertura vegetal e a calagem superficial (Quadros de 8 a 17). Assim, os efeitos isolados desses fatores foram discutidos separadamente.

As análises químicas de amostras de solo coletadas de forma estratificada até 40 cm de profundidade (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm), revelaram que não houve efeito significativo das coberturas vegetais para as variáveis estudadas, conforme valores de F apresentados (Quadros de 8 a 17). No entanto, para os teores de Ca na profundidade de 10 a 20 cm, K de 5 a 10 e de 20 a 40 cm, V% de 10 a 20 cm, SB de 10 a 20 cm e CTC de 0 a 5 e de 10 a 20 cm foram detectadas diferenças estatísticas entre as coberturas vegetais, pelo teste de comparação de médias (Quadros 10, 12, 13, 14 e 15).

Nota-se nos Quadros 10, 13 e 14, na camada de 10 a 20 cm, que o painço destacou-se por ter proporcionado os teores mais elevados de Ca em relação às demais coberturas vegetais, apresentando conseqüentemente maior V% e SB nesta profundidade. Na camada de 5 a 10 cm o painço foi a cobertura vegetal que proporcionou o maior teor de K, assim como na profundidade de 20 a 40 cm, sobressaindo-se nesta última camada juntamente com a vegetação espontânea. A vegetação espontânea possibilitou valores de CTC mais elevados nas camadas de 0 a 5 e de 10 a 20 cm (Quadro 15).

Silva et al. (2000), ao estudarem o movimento do Ca aplicado superficialmente na forma de corretivo em função da adubação nitrogenada e de resíduos vegetais, observaram que a cobertura morta de milheto, mesmo sem a aplicação de N, permitiu menor retenção de Ca na superfície, sugerindo um efeito maior dos resíduos no movimento de Ca, verificado até a profundidade de 10 cm. Entretanto, no presente trabalho o milheto não apresentou esta capacidade diferenciada em relação às demais coberturas vegetais (Quadro 10).

Kretzschmar et al. (1991), relataram que a simples adição de "palhada" moída de milheto reduziu o teor de Al "lábil" em solos arenosos, o qual apresentou maior pH quando comparado com o tratamento sem vegetação. No entanto, é questionável valores altos de resíduos vegetais, como mais de 40 t ha<sup>-1</sup>, empregado por Franchini et al. (1999), em estudo das alterações químicas de solos ácidos.

Independente do efeito não significativo observado para todos os atributos químicos do solo em função do fator cobertura vegetal, é interessante introduzir no SSD espécies de cobertura que maximizem a correção da acidez em subsuperfície (Rheinheimer et al., 2000), uma vez que há grande variabilidade de plantas com potencial para isto (Santos et al., 1999), capazes de produzir substâncias específicas, em geral, liberadas

durante a decomposição dos seus resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Liu & Hue (1996) demonstraram que fulvatos de Ca derivados de resíduos vegetais, considerando a estabilidade do complexo orgânico, apresentam elevada mobilidade em solos ácidos, evidenciando potencial na melhoria dos atributos químicos de subsuperfície.

Com relação ao efeito isolado do fator calagem superficial, verificou-se resultados significativos pelo teste F e diferenças estatísticas entre as médias de cada tratamento, para todas as variáveis analisadas (Quadros de 8 a 17).

Os efeitos da calagem superficial, na implantação do SSD, sobre os valores de pH, comparativamente ao tratamento sem calcário, estão apresentados no Quadro 8. Observa-se que, já após 5 meses, a aplicação de calcário havia proporcionado aumento do pH nas quatro profundidades. Rheinheimer et al. (2000), aos 6 meses da aplicação de calcário sobre o solo, a partir de pastagem natural, verificaram aumento significativo do pH somente na camada de 0 a 2,5 cm, quando comparado à incorporação do corretivo. Pöttker & Ben (1998), em amostras coletadas aproximadamente 3 anos após a aplicação do calcário superficial, constataram elevação significativa do pH apenas na camada de 0 a 5 cm. Caires et al. (1998) aos 12 meses e Caires et al. (1999) aos 18 meses, em SSD estabelecido, observaram que a aplicação de calcário superficial aumentou o pH até 10 cm de profundidade, desaparecendo de 10 a 20 cm e voltando a exercer efeito nas camadas mais profundas. Portanto, as alterações de pH do presente trabalho são consideradas significativas e contraditórias aos resultados dos autores supracitados citados, onde foram observados menor mobilidade do calcário aplicado em superfície e menor velocidade de migração através do perfil do solo.

**Quadro 8.** Valores de pH do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

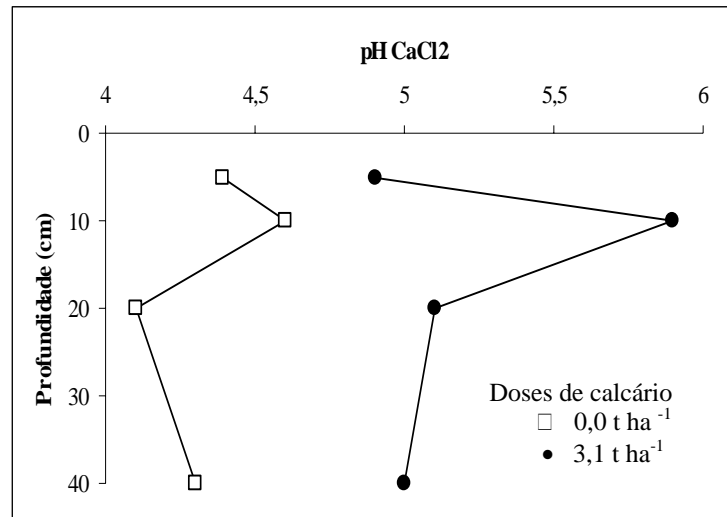
Fatores	pH CaCl <sub>2</sub>			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	4,9	5,4	4,7	4,6
Sorgo de Guiné Branco	4,6	5,3	4,5	4,6
Milheto	4,7	5,1	4,6	4,5
Painço	4,8	5,2	4,8	4,7
Vegetação Espontânea	4,4	5,1	4,4	4,7
Sem Vegetação	4,8	5,2	4,6	4,9
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	4,4 b	4,6 b	4,1 b	4,3 b
Com Calcário	4,9 a	5,9 a	5,1 a	5,0 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	1,03 ns	0,22 ns	0,87 ns	0,33 ns
C.S.	44,85 **	131,58 **	67,42 **	63,79 **
C.V. x C.S.	0,28 ns	0,76 ns	1,15 ns	1,18 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	11,53	11,70	10,30	13,54
C.S.	5,68	7,38	8,69	6,86

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

O tratamento com calcário apresentou pH, na camada de 0 a 5 cm (Quadro 8), muito próximo daquele verificado na profundidade de 0 a 20 cm, antes da instalação do experimento (Quadro 1), quando era de se esperar valor mais elevado em função

da calagem superficial e do não revolvimento do solo. A possível causa para tal comportamento deve-se à decomposição de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, que em SSD favorece a acidificação (Caires, 2000). Assim, quando o processo de mineralização da M.O. inicia, o primeiro produto formado com N é o  $\text{NH}_4^+$ , que na conversão à  $\text{NO}_3^-$ , íons  $\text{H}^+$  são liberados (POTAFOS, 1998), à semelhança dos fertilizantes amoniacais inorgânicos, provocam o aumento da acidez em superfície. No entanto, essa hipótese de explicação não se sustenta, pois o tratamento sem vegetação demonstrou o mesmo comportamento (Quadro 8).

As alterações no pH em diferentes profundidades, considerando-se os efeitos dos tratamentos com e sem calagem superficial, são apresentadas na Figura 3.



**Figura 3.** Efeito de doses de calcário sobre os valores de pH, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).

Verifica-se na Figura 3 que, após 5 meses, o máximo acúmulo do calcário aplicado foi observado na camada de 5 a 10 cm, onde o valor de pH foi mais elevado, sendo classificado como alto dentro dos limites de interpretação da camada arável (0 a 20 cm), proposto por Raij et al. (1997). Ressalta-se que a precipitação pluvial insuficiente durante o cultivo da soja (221 mm), pode ter impedido efeitos ainda mais expressivos do calcário em maior profundidade na elevação do pH.

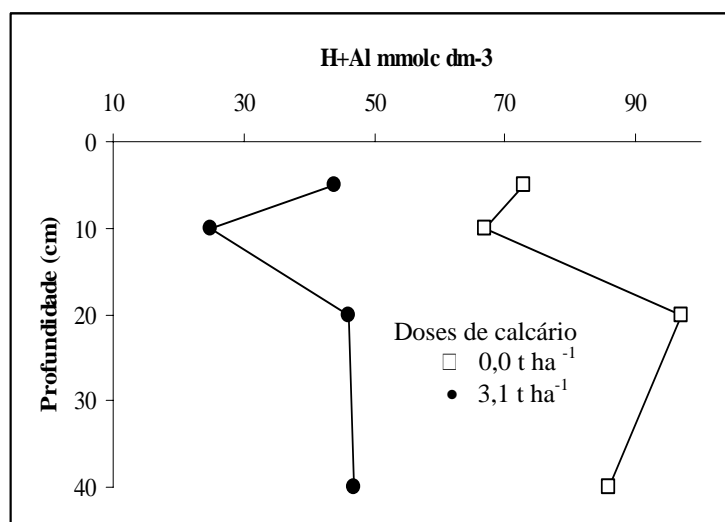
Nota-se no Quadro 9, que a calagem superficial, em relação ao tratamento que não recebeu calcário, proporcionou diminuição significativa na acidez potencial do solo (H+Al), atingindo todas as profundidades analisadas.

As modificações no comportamento da acidez potencial, em profundidade no perfil do solo, podem ser observadas na Figura 4, onde transcorridos 5 meses, o máximo acúmulo do calcário foi constatado na camada de 5 a 10 cm, com o valor mais baixo para esta variável, condizente aos resultados obtidos para o pH (Figura 3). Da mesma forma, só que em SSD já estabelecido e aos 12 meses após a calagem superficial, Caires et al. (2000a) perceberam grande ação do calcário no aumento de pH e na redução da acidez potencial, até 10 cm de profundidade e nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm, demonstrando claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez de subsuperfície.

**Quadro 9.** Teores de H+Al do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	H+Al mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	51	40	66	63
Sorgo de Guiné Branco	67	46	78	79
Milheto	56	45	62	67
Painço	54	49	64	65
Vegetação Espontânea	72	45	87	63
Sem Vegetação	54	51	74	64
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	73 a	67 a	97 a	86 a
Com Calcário	44 b	25 b	46 b	47 b
<b>Valor de F</b>				
C.V.	1,06 ns	0,18 ns	1,49 ns	0,23 ns
C.S.	97,61 **	58,42 **	72,90 **	40,53 **
C.V. x C.S.	1,90 ns	0,39 ns	0,39 ns	1,11 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	39,82	21,21	31,57	23,51
C.S.	17,17	14,68	29,05	11,97

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.



**Figura 4.** Efeito de doses de calcário sobre os teores de H+Al, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).

A aplicação de calcário elevou significativamente os teores de Ca, Mg e K, até a profundidade de 40 cm, após 5 meses (Quadros 10, 11 e 12).

Sá (1996) observou elevação nos teores de Ca e Mg até a profundidade de 5 cm no tratamento calcário em superfície, com diferença significativa em relação à testemunha. Caires et al. (1998 e 2000a) constataram que a calagem superficial, após 12 meses, proporcionou aumentos significativos nos teores de Ca, Mg e K até 10 cm de profundidade. Caires et al. (1999) demonstraram que a calagem na superfície, em SSD estabelecido, após 18 meses, elevou os teores de Ca trocável até a profundidade de 10 cm e em subsuperfície (60 a 80 cm). Neste mesmo trabalho, verificou-se que os teores de Mg trocável do solo foram aumentados significativamente até 10 cm de profundidade, sendo que somente após 40 meses da calagem em superfície houve elevação significativa até a camada de 40 cm,

ou seja, ocorreu movimentação lenta e gradual do Mg no perfil do solo em função do tempo de aplicação do calcário.

**Quadro 10.** Teores de cálcio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	Ca mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	Profundidades			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	19,2	31,1	15,1 ab	14,2
Sorgo de Guiné Branco	10,9	39,2	8,4 b	17,1
Milheto	11,7	33,0	12,5 b	16,5
Painço	22,9	31,2	23,4 a	21,4
Vegetação Espontânea	11,5	30,7	10,7 b	13,2
Sem Vegetação	15,0	28,5	14,0 ab	20,4
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	9,5 b	25,4 b	6,7 b	11,7 b
Com Calcário	20,9 a	55,9 a	21,9 a	22,6 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	1,12 ns	1,42 ns	3,12 *	0,72 ns
C.S.	73,54 **	6,56 *	47,22 **	10,17 **
C.V. x C.S.	0,15 ns	0,54 ns	0,89 ns	1,16 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	41,58	23,88	29,68	30,82
C.S.	15,44	13,96	30,21	39,30

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

**Quadro 11.** Teores de magnésio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	Mg mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	14,3	18,6	10,5	9,4
Sorgo de Guiné Branco	8,5	15,2	7,5	8,8
Milheto	9,6	15,3	11,0	9,0
Painço	14,9	15,4	13,8	12,2
Vegetação Espontânea	9,9	14,6	7,7	10,1
Sem Vegetação	12,7	15,1	9,9	12,7
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	8,4 b	9,4 b	3,7 b	5,4 b
Com Calcário	14,9 a	22,0 a	16,4 a	15,3 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	0,99 ns	0,28 ns	1,20 ns	0,61 ns
C.S.	80,18 **	54,68 **	64,48 **	75,27 **
C.V. x C.S.	1,14 ns	0,49 ns	0,69 ns	2,63 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	31,02	25,51	28,31	30,73
C.S.	9,84	18,08	24,12	18,64

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

**Quadro 12.** Teores de potássio do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

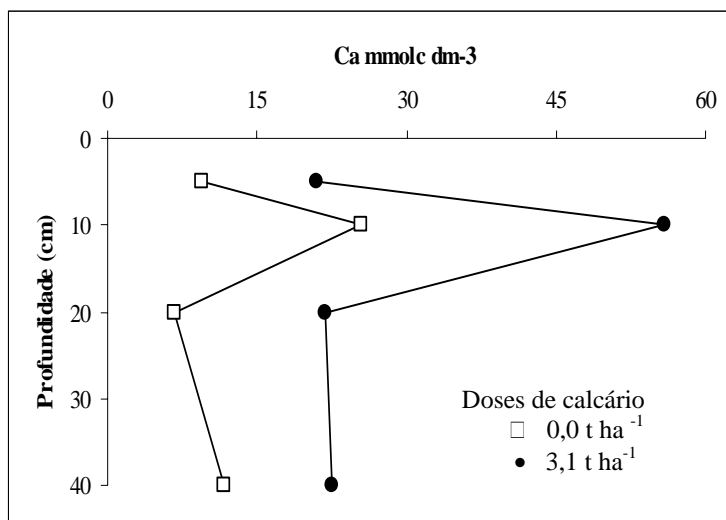
Fatores	K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	2,3	2,2 ab	1,0	1,3 ab
Sorgo de Guiné Branco	2,2	1,6 b	1,3	1,1 ab
Milheto	2,5	2,0 ab	1,3	0,7 b
Painço	2,1	2,6 a	1,1	1,6 a
Vegetação Espontânea	2,9	2,4 ab	1,6	1,5 a
Sem Vegetação	2,1	1,7 b	1,3	1,1 ab
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	1,1 b	0,9 b	0,8 b	0,6 b
Com Calcário	3,6 a	3,3 a	1,8 a	1,8 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	0,67 ns	3,22 *	0,77 ns	2,49 ns
C.S.	117,99 **	402,52 **	75,24 **	110,83 **
C.V. x C.S.	1,23 ns	2,29 ns	0,73 ns	1,85 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	15,85	33,37	14,24	12,47
C.S.	10,03	19,05	8,61	7,19

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

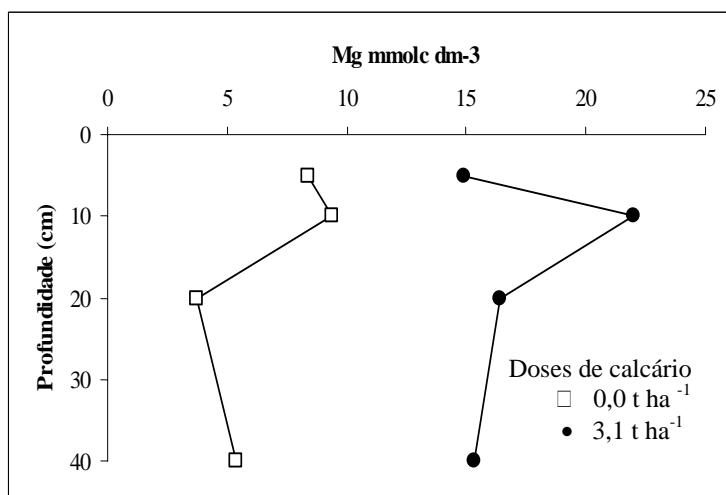
Ressalta-se no Quadro 10, que os teores de Ca nas quatro profundidades do tratamento que recebeu calcário superficial apresentaram-se bem acima da classe de teor alto ( $> 7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), utilizada para interpretação da fertilidade na camada arável do solo (0 a 20 cm), segundo Raij et al. (1997). No entanto, para o tratamento sem calcário, apesar de valores mais baixos, apenas na profundidade de 10 a 20 cm constatou-se teor de classe média ( $4 \text{ a } 7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Quanto ao Mg (Quadro 11), notou-se comportamento semelhante ao Ca para o tratamento com calagem, atingindo teores acima de  $8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , considerado alto (Raij et al., 1997). Já no tratamento sem calagem, o Mg seguiu a mesma classe de teor que o Ca nas duas primeiras profundidades, enquanto que de 10 a 20 cm foi considerado baixo ( $0 \text{ a } 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e de 20 a 40 cm médio ( $5 \text{ a } 8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Com relação ao K (Quadro 12), em função da calagem superficial, verificou-se classe de teor alto ( $3,1 \text{ a } 6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) até a profundidade de 10 cm e para as demais teor médio ( $1,6 \text{ a } 3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). No tratamento sem calagem, nas três primeiras camadas, encontraram-se limite de teor de K baixo ( $0,8 \text{ a } 1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na profundidade mais elevada teor muito baixo ( $0,0 \text{ a } 0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), conforme Raij et al. (1997).

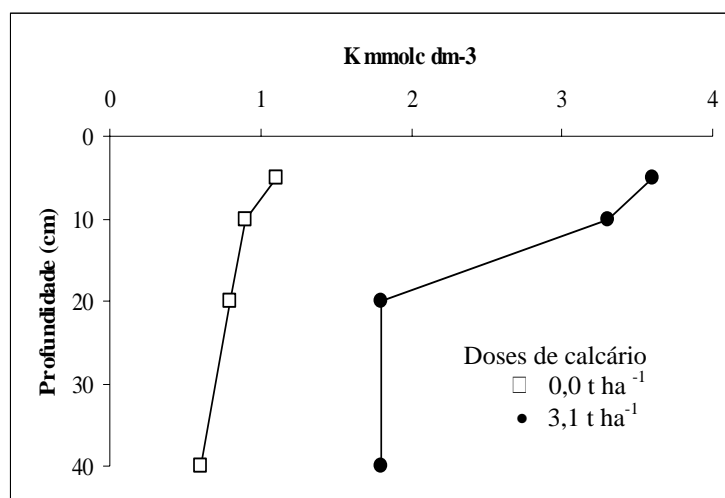
Nas Figuras 5, 6 e 7, os efeitos da calagem em superfície ficam melhor evidenciados, permitindo inferir que houve movimentação das bases trocáveis ao longo do perfil do solo. Observa-se que para o Ca (Figura 5) e o Mg (Figura 6), o máximo acúmulo do calcário aplicado em superfície, após 5 meses, foi verificado na camada de 5 a 10 cm, com os maiores teores obtidos para os dois elementos, seguindo-se o mesmo comportamento do pH (Figura 3) e o inverso da acidez potencial (Figura 4).



**Figura 5.** Efeito de doses de calcário sobre os teores de Ca, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).



**Figura 6.** Efeito de doses de calcário sobre os teores de Mg, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).



**Figura 7.** Efeito de doses de calcário sobre os teores de K, em diferentes profundidades, após 5 meses da calagem superficial. (Médias de 6 tratamentos de coberturas vegetais).

Constatou-se que para o K houve maior concentração na camada de 0 a 5 cm (Figura 7). Cabe ressaltar que a coleta do solo para a análise foi realizada após a colheita da soja. Como a maior parte do K presente no tecido das plantas se encontra na forma iônica, sem participar na formação de compostos orgânicos estáveis, este nutriente pode ser extraído dos tecidos, tanto pela água das chuvas, como pela própria umidade do solo, sem a necessidade de mineralização dos resíduos, explicando a maior concentração de K disponível nas camadas superficiais de solos sob semeadura direta (Bartz, 1998). Além disso, a calagem reduz as perdas de K por lixiviação (Quaggio et al., 1993). Tal efeito pode estar associado à alteração das cargas de cátions divalentes pela formação de complexos  $[ML^0$  ou  $ML^-$  ( $M = Ca$  ou  $Mg$ )] com ligantes orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas (Miyazawa et al., 1996). Neste caso, o Ca ou o Mg na forma orgânica tem sua carga líquida alterada,

reduzindo a energia de ligação com o complexo de troca, o que favorece sua lixiviação e a manutenção do K na camada superficial do solo (Franchini et al., 2000), embora seria esperado que o K fosse o cátion preferencialmente lixiviado, considerando a menor energia de ligação com o complexo de troca. Entretanto, a hipótese anterior não apresenta consistência para justificar o mesmo efeito observado na ausência de vegetação (Quadro 12).

Os resultados obtidos neste trabalho, com relação à redução da acidez de subsuperfície, mostram ser possível realizar a correção da acidez do solo por meio da calagem superficial no início de implantação do SSD, em solos anteriormente cultivados pelo sistema convencional de preparo. Diversos mecanismos podem estar envolvidos na correção da acidez de subsuperfície, em SSD, pela calagem na superfície (Caires, 2000), sendo as diferentes hipóteses discutidas a seguir.

Nos experimentos de calagem superficial em SSD, as reduções na acidez da superfície do solo até a camada de no máximo 10 cm de profundidade são justificadas, em geral, pela reduzida solubilidade em água e baixa mobilidade vertical do calcário (Caires et al., 1996), sendo necessário que as partículas do corretivo entrem em máximo contato com os colóides do solo para efetiva reação (Sá, 1995). No entanto, a eficiência imediata da aplicação do calcário na superfície, para a correção da acidez de subsuperfície, no sistema de cultivo com rotação e sucessão de culturas em semeadura direta, apesar da complexidade dos mecanismos envolvidos, foi demonstrado após 8 meses por Oliveira & Pavan (1996) e 12 meses por Caires et al. (1998), em sistemas já estabelecidos, e 5 meses nas condições do presente trabalho.

A dissolução do calcário, em solos ácidos, promove a liberação de ânions ( $\text{OH}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), os quais reagem com os cátions de reações ácidas da solução do solo

( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) (Rheinheimer et al., 2000), havendo posteriormente a formação e a migração de  $Ca(HCO_3)_2$  e  $Mg(HCO_3)_2$  para camadas mais profundas do solo (Oliveira & Pavan, 1996). Entretanto, Rheinheimer et al. (2000) observaram que os efeitos da calagem só ocorreram em profundidade após o pH ( $H_2O$ ) na zona de dissolução do calcário ter atingido valores de 5,2 a 5,5, pois enquanto existirem cátions ácidos a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície. Esse fato constitui uma possível explicação às alterações químicas observadas no presente trabalho, pois como pode-se verificar no Quadro 8, os valores de pH nas duas camadas mais profundas do solo (10 a 20 e 20 a 40 cm), encontraram-se praticamente dentro da faixa ótima para o desenvolvimento da cultura de soja (Raij et al., 1997), com a aplicação do calcário em superfície. Sendo assim, para que a neutralização da acidez tenha ocorrido em subsuperfície, os produtos da dissolução do calcário devem ter sido arrastados para camadas inferiores (Rheinheimer et al., 2000).

É possível que ocorra movimentação física do calcário em profundidade, atribuída a diversos fatores. O mais conhecido é o deslocamento mecânico de partículas do corretivo através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo convencional do solo (Oliveira & Pavan, 1994). Essa hipótese, sozinha, provavelmente não justifica o expressivo efeito da calagem superficial em profundidade observado neste experimento, pois a área encontrava-se recém implantada no SSD.

A pequena mobilização do solo que ocorre somente na linha de plantio em SSD, também contribui com a movimentação física do calcário em função da incorporação ocorrida nesta região, e, com os repetidos ciclos de semeadura, auxilia no caminhamento em profundidade das partículas do corretivo (Rheinheimer et al., 2000). Porém,

uma única mobilização realizada, após calagem superficial, com semeadora-adubadora apropriada para semeadura direta da soja, não deve ter respondido, exclusivamente, pela melhora química do ambiente radicular até 40 cm de profundidade, aqui observado.

A formação de planos de fraqueza no solo permitem o deslocamento físico de finas partículas de calcário através do movimento descendente de água (Sá, 1996). Esta, que normalmente encontra-se enriquecida com os produtos da dissolução do calcário, responsáveis pela neutralização da acidez e aumento dos cátions de reação básica, permite maior atuação em profundidade (Rheinheimer et al., 2000). Também, pode ocorrer arrasto de calcário pela água de infiltração nas galerias de organismos do solo (Sá, 1996) e macrocanais biológicos (Rheinheimer et al., 2000) formados pela mesofauna do solo (ácaros e colêmbolas) e macrofauna (minhocas, besouros, cupins, formigas, centopéias, aranhas, lesmas e caracóis). Entretanto, a escassez de água no solo em função da baixa precipitação pluvial observada durante o cultivo da soja (221 mm), não permite fazer maiores inferências com as hipóteses anteriores, para explicação dos resultados obtidos na correção da subsuperfície ácida.

A incorporação biológica do calcário pela ação da macrofauna do solo é uma possibilidade no auxílio à movimentação física do corretivo em profundidade (Rheinheimer et al., 2000). No entanto, os microorganismos apresentam o maior poder de ação no solo, onde são responsáveis por mais de 95% da decomposição, sendo que os outros 5% a fauna participa com o rearranjo dos detritos e sua desintegração (Holtz & Sá, 1995), havendo com isto a incorporação dos resíduos vegetais da superfície juntamente com o calcário aplicado (Sá, 1996).

Considerando a baixa solubilidade do calcário e a grande necessidade para corrigir a acidez do solo em subsuperfície, as contribuições da

movimentação física do corretivo em profundidade devem ser pequenas (Rheinheimer et al., 2000), porém importantes. Pöttker & Ben (1998) acreditam que mesmo a presença de maior número de macroporos no SSD, causados por qualquer um dos processos anteriormente descritos, não seria suficiente para explicar a acentuada movimentação do calcário aplicado em superfície. Inclusive para Caires et al. (1999), a ausência de efeito da calagem superficial sobre o pH nas camadas intermediárias de solo, voltando a atuar em profundidade, é um forte indício de que não deve ocorrer acentuado deslocamento mecânico do calcário, devendo a elevação do pH em camadas mais profundas do solo ser atribuída a outros mecanismos. No entanto, apesar de todas as considerações anteriores, contrárias à efetiva movimentação física do calcário aplicado em superfície, levarem à crer na sua ineficiência em subsuperfície, faltam ainda estudos mais consistentes para rejeitar essa hipótese de explicação. Assim, acredita-se que o deslocamento mecânico de calcário deva ter a sua maior ou menor parcela de contribuição, juntamente com os demais mecanismos envolvidos na explicação da correção da acidez de subsuperfície, dependendo basicamente das características físicas do solo e das condições de precipitação pluvial.

No Quadro 2, observa-se pela caracterização física original da área que, em função da composição granulométrica, trata-se de um solo de classe textural extremamente argiloso, definido como de alta retenção de água (Sans, 2000). No entanto, pouca importância teve esta característica com o volume total de chuvas verificado (255 mm), da calagem superficial, passando pelo cultivo da soja, até a amostragem do solo para análise química final, perfazendo um total de 5 meses.

Quanto a densidade de partículas (Quadro 2), que refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra sem considerar a porosidade, seus valores

variaram, em todas as profundidades, abaixo da amplitude normalmente encontrada para Terra Roxa Estruturada no Estado de São Paulo, que é de 2,76 a 2,98 kg dm<sup>-3</sup> para o horizonte A e 2,82 a 2,98 kg dm<sup>-3</sup> para o B (Kiehl, 1979). Esses resultados são justificados pelo alto teor de M.O. (Quadro 1), cuja presença faz diminuir sensivelmente a densidade de partículas do solo, principalmente quando encontra-se acima de 3 g kg<sup>-1</sup> (Kiehl, 1979). Assim, o solo do presente trabalho pode ser classificado como leve, pelo fato do conjunto de componentes orgânicos e inorgânicos apresentarem densidade de partículas menor que 2,85 kg dm<sup>-3</sup> (Kiehl, 1979).

A densidade do solo, definida como a relação entre a massa de solo seco e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros, geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade (Kiehl, 1979). Entretanto, no presente trabalho (Quadro 2), o fenômeno se mostrou de forma inversa, com a maior densidade do solo observada na camada superficial, decrescendo progressivamente em profundidade. A provável explicação baseia-se na existência de uma elevada correlação negativa ( $r > 80\%$ ), para o horizonte superficial, entre a densidade do solo e a porcentagem de C (Kiehl, 1979), pois é sabido que, anteriormente a área experimental sempre foi cultivada de forma convencional. Apesar de tudo, espera-se que com a estabilização do SSD, o acúmulo periódico de resíduos orgânicos na superfície do solo em função das coberturas vegetais e, o não revolvimento, venham proporcionar o abaixamento dos valores de densidade do solo, não só na superfície, mas em todo o perfil.

Os valores de densidade do solo (Quadro 2), independente da profundidade, apesar de estarem acima da faixa de amplitude para solos argilosos (1,00 a 1,25 kg dm<sup>-3</sup>), os mesmos não são superiores a 1,7 kg dm<sup>-3</sup>, que é tido como a densidade na qual as

raízes não conseguem penetrar no solo (Kiechl, 1979), o que impediria a absorção de água em camadas mais profundas, tornando as culturas mais susceptíveis aos períodos de estiagem. Portanto, de maneira geral, pode-se afirmar que quanto mais elevada for a densidade do solo maior será sua compactação, menor será sua estruturação, menor sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições ao crescimento radicular de plantas (Kiechl, 1979).

A porosidade total, sendo a porcentagem de volume do solo não ocupado pelos componentes sólidos, depende principalmente da textura e da estrutura dos solos, que é função da densidade de partículas e da densidade do solo (Kiechl, 1979). Nos solos de textura argilosa, como o do presente trabalho, as finas partículas não se arranjam de maneira tão compactada, contribuindo para formação de agregados que aumentam a porosidade (Kiechl, 1979). Entretanto, no Quadro 2, verifica-se que os valores de porosidade total, nas duas primeiras camadas do solo, encontram-se abaixo da faixa considerada normal para solos argilosos (40 a 60%), e que nas demais profundidades os limites são respeitados, de acordo com proposição de Jorge (1983). Portanto, o manejo incorreto do solo cultivado convencionalmente pode provocar compactação, em função de alterações na densidade do solo e, conseqüentemente, na sua estruturação (Kiechl, 1979).

Diante do que foi exposto sobre as características físicas originais do solo, é possível constatar a existência de uma camada superficial moderadamente compactada e um perfil sem horizonte de impedimento. Com isto, pode-se inferir que a maior atuação dos produtos da dissolução do calcário aplicado em superfície, na camada de 5 a 10 cm, deveu-se à menor porosidade até esta profundidade e pelo baixo volume total de chuvas ocorridas (255 mm), durante os 5 meses após a calagem. Portanto, de modo geral, acredita-se que se houvesse maior precipitação pluvial, as condições físicas do solo não seriam limitantes

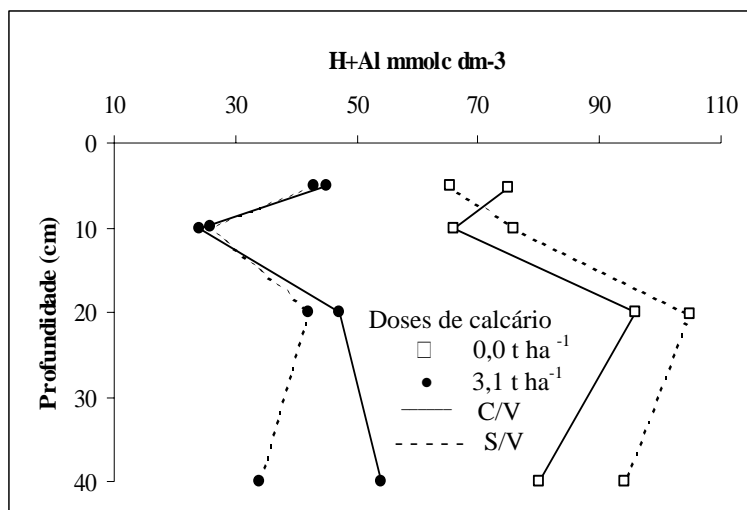
ao mecanismo de caminhamento mecânico do calcário aplicado superficialmente, aumentando sua parcela de contribuição.

Os resíduos de coberturas vegetais mortas depositados sobre o solo em SSD, podem desempenhar importante papel na eficiência da calagem superficial sobre a elevação do pH, movimentação de Ca + Mg trocáveis e redução da acidez potencial (H+Al), nas camadas subsuperficiais. Essa melhoria química em profundidade pode estar relacionada com o mecanismo de lixiviação proposto por Miyazawa et al. (1996). Assim, de acordo com Caires et al. (1998), na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o Ca trocável do solo, formando complexos  $\text{CaL}^0$  ou  $\text{CaL}^-$ . A alteração da carga do  $\text{Ca}^{2+}$  facilita sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o Ca dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons  $\text{Al}^{3+}$  formam complexos mais estáveis que  $\text{Ca}^{2+}$ , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável. Reações semelhantes também ocorrem para o Mg.

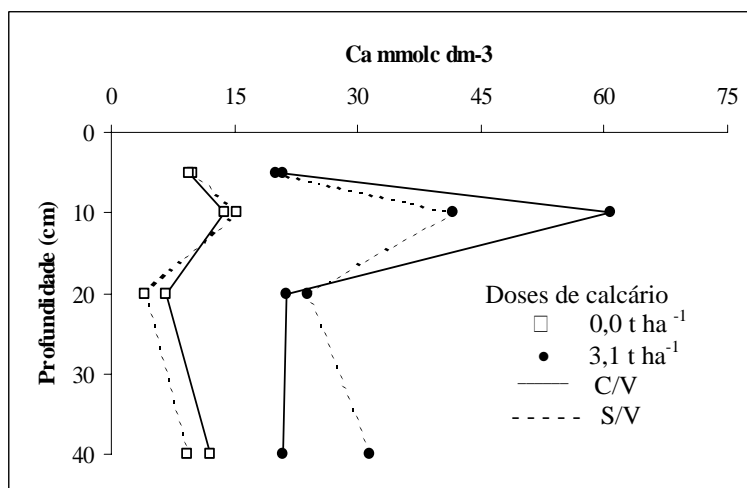
Atualmente, os efeitos positivos do calcário, aplicado na superfície em semeadura direta sobre a correção da acidez subsuperficial, tem sido associado ao manejo da cobertura vegetal morta. Segundo Caires (2000), a permanência de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos, sendo que com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos podem ser solubilizados e lixiviados, conforme mecanismo proposto por Miyazawa et al. (1996) e explicado por Caires et al. (1998). No entanto, a estabilidade desses complexos orgânicos pode ser questionada, por não ter sido constatado efeito sobre a acidez em subsuperfície após 40 meses, em trabalho realizado por Caires et al. (1999). A reação da fração hidrossolúvel de resíduos vegetais no solo é extremamente rápida e seus efeitos sobre a

química da solução são drasticamente reduzidos pelo processo de decomposição microbiana (Franchini et al., 1999). Embora os efeitos sejam de curta duração, os restos vegetais podem melhorar a fertilidade de solos ácidos, pelo menos na fase inicial de implantação da próxima cultura em sucessão (Caires, 2000).

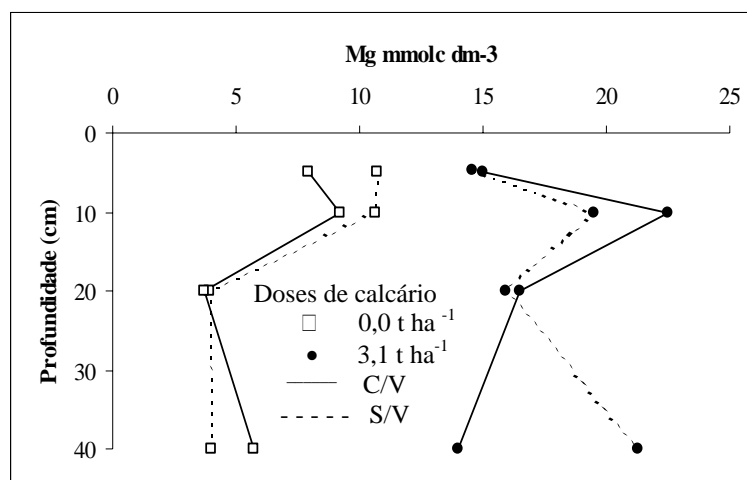
Neste experimento, em função da falta de chuvas verificada durante o cultivo da soja, acredita-se que a atuação do calcário aplicado superficialmente, observada em profundidade, não tenha ocorrido pelo mecanismo sugerido por Miyazawa et al. (1996), principalmente quando analisamos as Figuras 8, 9 e 10, onde estão apresentados os comportamentos do H+Al, Ca e Mg trocáveis, nas diferentes profundidades, com a aplicação e a ausência de calcário, em condições de solo sem vegetação em relação à média das coberturas vegetais utilizadas. Verifica-se que houve efeito da calagem mesmo quando o solo não tinha vegetação na superfície, ou seja, a participação de ácidos orgânicos na movimentação do calcário, no presente trabalho, provavelmente teve contribuição mínima. Além disso, questiona-se a durabilidade dos ácidos orgânicos liberados na solução do solo. Ácidos orgânicos naturais, como cítrico e oxálico formam complexos estáveis com o Al, do tipo anel com 5 a 6 átomos, sendo mais estável quanto maior o número dessa ligação. Já o ácido fórmico, maléico, acético e succínico formam complexos de baixa estabilidade com o Al (Caires et al., 1999).



**Figura 8.** Comportamento de H+Al, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).



**Figura 9.** Comportamento de Ca, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).



**Figura 10.** Comportamento de Mg, nas diferentes profundidades, após 5 meses, com e sem calagem superficial, em condições de solo com (C/V) e sem vegetação (S/V).

Uma outra hipótese a ser considerada, para explicar a correção da acidez em subsuperfície pela calagem superficial realizada em SSD, é a participação de ânions como nitrato, sulfato e cloretos presentes no solo, originados da decomposição dos resíduos vegetais ou da adição de fertilizantes minerais, contribuindo para a lixiviação do Ca e Mg e, em menor grau, de outros cátions (Pearson et al., 1962; Caires et al., 1998; Amaral, 1998), melhorando o ambiente radicular. Provavelmente, a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  presente no solo em SSD é bastante elevada, em função do acúmulo de material orgânico na superfície, com as sucessões e rotações de culturas, e pelas elevadas doses de adubos nitrogenados, que são aplicadas devido às altas produtividades almejadas (Caires et al., 1996).

O ânion  $\text{NO}_3^-$  pode formar par iônico com o Ca, deslocando-se em profundidade e possibilitando a absorção pelas raízes (Sá, 1996). Para que o  $\text{NO}_3^-$  seja lixiviado, cátions básicos (K, Ca ou Mg) são requeridos como íons acompanhantes, enquanto os prótons produzidos pela nitrificação do  $\text{NH}_4^+$  e, ou do N-orgânico permanecem na camada superficial como acidez potencial (Bolan et al., 1991). Segundo Franchini et al. (2000), a adubação nitrogenada com fontes amoniacais tem sido indicada como uma das principais causas da acidificação da superfície do solo no SSD. No entanto, Caires (1990) relatou efeitos positivos do calcário e doses elevadas de adubos nitrogenados na correção da acidez de subsuperfície. Silva et al. (2000), estudando o movimento do calcário aplicado na superfície do solo em função da adubação nitrogenada e de resíduos vegetais, constataram que os efeitos das doses de N praticamente foram semelhantes para os tratamentos com e sem resíduos, sugerindo que o caminhamento de Ca no perfil do solo foi mais dependente da fertilização nitrogenada.

Ressalta-se que no presente trabalho a adubação nitrogenada de semeadura e em cobertura se fez necessária devido ao cultivo da soja no período de outono-inverno (Mascarenhas & Tanaka, 1997), sendo que nos meses em que foram realizadas (fevereiro e março de 2000), a precipitação pluvial até então ocorrida (Figura 1), parece ter sido suficiente em proporcionar a reação entre o N do fertilizante e os elementos oriundos da dissociação do calcário na superfície do solo, que formariam sais solúveis sujeitos à lixiviação pelo movimento descendente da água (Silva et al., 2000).

Os resultados quanto à eficiência da calagem superficial na neutralização da acidez de subsuperfície são discordantes e, em alguns casos, o movimento de Ca tem sido usado como um índice de movimentação de calcário, o que não é necessariamente

verdadeiro (Sumner, 1995). Farina, citado por Sumner (1995), observou apreciável movimentação de Ca e Mg pela adição de calcário na superfície, sem redução significativa na acidez potencial em subsuperfície. Portanto, independente dos mecanismos envolvidos na correção da acidez de subsuperfície e qual seja o mais importante, os resultados positivos na alteração dos atributos químicos do solo deste experimento, em SSD recém implantado, 5 meses após a calagem superficial, foram apresentados em relação ao tratamento que não recebeu esta prática. O tempo de reação do calcário na superfície em SSD pode variar de acordo com a dose de corretivo, o tipo de solo, o manejo da adubação nitrogenada, o sistema de rotação e secessão de culturas, o manejo dos resíduos vegetais, a reatividade do corretivo, a precipitação pluvial (Caires, 2000), e o histórico de calagem e de revolvimento do solo.

Os Quadros 13, 14 e 15 mostram os efeitos dos tratamentos com e sem calagem nos valores de V% do solo, na SB e na CTC, nas diferentes profundidades, 5 meses após a aplicação do corretivo.

**Quadro 13.** Valores de saturação por bases do solo (V%) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	V %			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	42	52	31 ab	28
Sorgo de Guiné Branco	26	51	20 b	28
Milheto	31	52	29 ab	28
Painço	43	53	40 a	37
Vegetação Espontânea	26	47	20 b	30
Sem Vegetação	36	50	29 ab	39
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	22 b	27 b	10 b	18 b
Com Calcário	46 a	75 a	46 a	45 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	0,91 ns	0,08 ns	1,84 ns	0,52 ns
C.S.	160,69 **	165,32 **	87,61 **	44,18 **
C.V. x C.S.	0,73 ns	0,51 ns	0,81 ns	1,19 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	32,92	25,45	28,16	33,47
C.S.	10,74	18,28	24,06	24,89

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

**Quadro 14.** Valores de soma de bases do solo (SB) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	SB mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidade -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	36	67	27 ab	25
Sorgo de Guiné Branco	22	56	17 b	27
Milheto	24	50	25 ab	26
Painço	40	54	38 a	35
Vegetação Espontânea	24	48	20 b	25
Sem Vegetação	30	45	25 ab	34
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	19 b	24 b	11 b	18 b
Com Calcário	39 a	83 a	40 a	40 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	1,09 ns	0,63 ns	2,13 ns	0,70 ns
C.S.	121,69 **	109,49 **	66,68 **	25,21 **
C.V. x C.S.	0,43 ns	1,28 ns	0,87 ns	1,46 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	33,10	27,66	26,31	27,63
C.S.	10,29	17,42	23,60	28,31

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

**Quadro 15.** Valores de capacidade de troca de cátions do solo (CTC) a pH 7,0 em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidade -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	86 ab	108	92 ab	88
Sorgo de Guiné Branco	89 ab	102	96 ab	106
Milheto	80 b	95	87 b	93
Painço	94 ab	102	102 ab	101
Vegetação Espontânea	96 a	93	107 a	88
Sem Vegetação	84 ab	97	99 ab	98
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	92 a	91 b	108 a	104 a
Com Calcário	84 b	107 a	86 b	87 b
<b>Valor de F</b>				
C.V.	2,12 ns	0,59 ns	1,9 ns	0,60 ns
C.S.	7,41 *	7,37*	18,69 **	7,67 *
C.V. x C.S.	0,94 ns	1,92 ns	0,43 ns	1,42 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	13,53	20,11	15,36	28,03
C.S.	12,46	20,85	18,11	21,39

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

Observando-se o Quadro 13 e analisando comparativamente aos dados de pH do Quadro 8, verifica-se a necessidade de reaplicação de calcário em superfície, de acordo com o método sugerido por Caires et al. (2000a), para SSD já estabilizados. Segundo estes autores, o método baseia-se no monitoramento da fertilidade na camada de 0 a 5 cm, onde somente indica-se a calagem para solos com pH ( $\text{CaCl}_2$ ) inferior a 5,6 ou V% menor que 65. O cálculo da dose necessária do corretivo a ser aplicado deve seguir o método da elevação da saturação por bases do solo à 65%, em amostras coletadas na profundidade de 0 a 20 cm. Esse método de amostragem de solo e recomendação de calagem, fundamenta-se na hipótese de que os efeitos da calagem, na camada arável (0 a 20 cm), quando o calcário é incorporado no solo, são semelhantes aos obtidos na camada de 0 a 5 cm, quando a aplicação é feita na superfície. Essa inferência parece sustentar-se em SSD já estabelecidos após vários anos de cultivo, pois, ao contrário, no presente experimento, 5 meses após calagem superficial, verificou-se os maiores valores de pH e V% na camada de 5 a 10 cm (Quadros 8 e 13). Na Figura 8 observa-se que a acidez potencial do solo nas camadas de 0 a 5 e de 5 a 10 cm, com ou sem vegetação, foi a mesma. Portanto, a grande deposição inicial de material orgânico na superfície do solo não deve ter sido a causa da maior acidez observada na camada superficial.

A SB é resultante das análises de seus principais componentes (Ca, Mg e K), indicando o número de cargas negativas dos colóides que estão ocupadas por bases trocáveis. Sendo assim, verificou-se no Quadro 14 que a mesma, em função da calagem superficial após 5 meses, elevou significativamente os seus valores para todas as profundidades, comparativamente ao tratamento sem calcário. No entanto, observou-se maior SB trocáveis na camada de 5 a 10 cm, graças aos valores de Ca (Quadro 10) e de Mg (Quadro 11), que suplantaram os teores mais elevados de K encontrados na camada superficial do solo

(Quadro 12). Quanto à CTC a pH 7,0 (Quadro 15), constatou-se que nas profundidades de 0 a 5, 10 a 20 e 20 a 40 cm, para o tratamento sem calagem, seus valores foram estatisticamente superiores em relação àquele que recebeu corretivo superficialmente. Entretanto, na camada de 5 a 10 cm, onde houve a maior atuação do calcário sobre a correção da acidez, detectou-se valor de CTC significativamente maior para o tratamento com calagem.

Os teores de M.O. (Quadro 16), foram aumentados significativamente em todas as profundidades estudadas, após 5 meses, com a aplicação de calcário na superfície, em relação ao tratamento sem calagem. Essa elevação, provavelmente deveu-se ao maior crescimento do sistema radicular da soja, principalmente, em função do incremento de Ca, Mg, K e P disponíveis em profundidade (Quadros 10, 11, 12 e 17), e pela redução do teor de H+Al (Quadro 9). O aumento da M.O. com a calagem foi acompanhado de redução da CTC nas camadas de 0 a 5, 10 a 20 e 20 a 40 cm, evidenciando resultados contraditórios.

**Quadro 16.** Teores de matéria orgânica do solo (M.O.) em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	M.O. g dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidade -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	33	35	31	31
Sorgo de Guiné Branco	37	37	32	33
Milheto	33	34	28	29
Painço	36	37	31	33
Vegetação Espontânea	33	33	30	32
Sem Vegetação	34	34	30	30
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	32 b	34 b	28 b	28 b
Com Calcário	37 a	37 a	33 a	35 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	0,89 ns	1,03 ns	0,74 ns	1,00 ns
C.S.	17,90 **	5,72 *	14,04 **	10,79 **
C.V. x C.S.	0,97 ns	0,71 ns	0,67 ns	0,25 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	12,98	13,46	13,85	14,01
C.S.	12,02	11,18	13,14	21,25

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

**Quadro 17.** Teores de fósforo do solo em diferentes profundidades, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, após cinco meses. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	P mg dm <sup>-3</sup>			
	----- Profundidades -----			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>				
Sorgo de Guiné Vermelho	19	23	13	17
Sorgo de Guiné Branco	18	22	11	14
Milheto	19	19	13	13
Painço	19	22	18	16
Vegetação Espontânea	19	22	20	14
Sem Vegetação	19	27	19	16
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>				
Sem Calcário	15 b	15 b	10 b	10 b
Com Calcário	24 a	30 a	21 a	19 a
<b>Valor de F</b>				
C.V.	0,03 ns	0,63 ns	1,29 ns	0,60 ns
C.S.	26,42 **	39,10 **	13,38 **	41,35 **
C.V. x C.S.	0,35 ns	0,82 ns	0,97 ns	0,45 ns
<b>CV (%)</b>				
C.V.	38,81	38,47	15,28	36,83
C.S.	32,05	35,77	16,69	31,15

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada fator não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

No Quadro 17, ao analisar-se o efeito da calagem sobre os teores de P do solo, é possível constatar que para o tratamento sem calcário na superfície foi verificado valores pertencentes à classe de teor baixo (7 a 15 mg dm<sup>-3</sup>), em todas as profundidades estudadas, segundo os limites de interpretação de Raij et al. (1997). Já as parcelas que receberam calagem superficial, observou-se nas quatro profundidades teores considerados médios (16 a 40 mg dm<sup>-3</sup>), assim como o obtido antes da implantação do experimento na camada arável (0 a 20 cm). Portanto, confirma-se a diferença estatística apresentada pelo teste de comparação de médias entre os tratamentos com e sem calagem superficial. Além disso, os valores absolutos do tratamento que recebeu calcário foram maiores nas três primeiras profundidades em relação ao verificado antes da instalação do experimento, sendo igual na camada de 20 a 40 cm (19 mg dm<sup>-3</sup>).

Ressalta-se que durante a condução do experimento foram realizadas duas aplicações de P, sendo uma na implantação das coberturas vegetais (20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e a outra na semeadura da soja (40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Assim, apesar de não ter ocorrido boas condições hídricas, principalmente durante o cultivo da soja (Figura 1), a aplicação do calcário superficial disponibilizou P em todas as camadas analisadas, provavelmente favorecendo o crescimento radicular em profundidade, o que pode ser confirmado pelos teores de M.O. no solo (Quadro 16), já discutido anteriormente.

#### **6.4 Características agronômicas da soja e produtividade**

O ciclo da cv. IAC-19 foi de 123 dias, o que significou uma redução entre 7 a 17 dias, em relação a um cultivo realizado com semeadura entre outubro a dezembro (IAC, 1998 e 1999). Observou-se que a redução no ciclo de cultivo da soja em safrinha foi atribuída, principalmente, em função da diminuição no período reprodutivo, já que os números de dias para o florescimento (53 dias), pouco diferiram em relação à época de cultivo convencional (55 a 60 dias), conforme caracterização do IAC (1998). A provável causa para a redução no ciclo, normalmente deve-se ao fotoperíodo (Crusciol, 1992). No entanto, de modo geral, considerou-se a redução no ciclo da cv. IAC-19 como pequena, provavelmente por ter a cv. IAC-8 como um dos parentais. Em trabalho realizado por Crusciol (1992), com diferentes cultivares de soja semeadas no período de inverno, constatou-se que a IAC-8 foi a que se mostrou menos sensível à variação do fotoperíodo, principalmente quanto ao seu ciclo, altura de inserção da primeira vagem e altura de planta.

O Quadro 18 contém os resultados obtidos sobre algumas características agronômicas estudadas, componentes da produção e produtividade da soja, em função da cobertura vegetal utilizada e da calagem superficial. Verificou-se que não houve interação significativa entre os dois fatores aplicados sobre as variáveis analisadas.

**Quadro 18.** Estande final, altura de inserção da primeira vagem, altura de planta, número total de vagens e vagens chochas por planta, número de grãos por vagem total, massa de 100 grãos e produtividade da soja, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. Botucatu-SP, 2000.

Fatores	Estande final (1.000 plantas ha <sup>-1</sup> )	Altura de inserção da 1 <sup>o</sup> vagem (cm)	Altura de planta planta (cm)	Número total de vagens/planta	Número de vagens chochas/planta	Número de grãos/vagem total	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Cobertura Vegetal (C.V.)</b>								
Sorgo de Guiné Vermelho	260 ab	23	54	11,5	0,3	2,0	13,7	705
Sorgo de Guiné Branco	259 ab	22	56	10,8	0,4	2,0	13,3	789
Milheto	263 a	23	56	11,1	0,6	1,9	13,5	818
Painço	234 b	22	56	12,4	0,4	1,9	13,4	739
Vegetação Espontânea	250 ab	21	50	9,2	0,3	1,9	13,1	659
Sem Vegetação	251 ab	24	60	12,7	0,4	1,9	13,1	809
<b>Calagem Superficial (C.S.)</b>								
Sem Calcário	247	23	55	11,1	0,4	1,9	13,3	761
Com Calcário	212	22	55	11,5	0,4	1,9	13,4	746
<b>Valor de F</b>								
C.V.	1,63 ns	0,47 ns	0,76 ns	0,84 ns	0,86 ns	1,05 ns	0,68 ns	0,52 ns
C.S.	1,55 ns	0,54 ns	0,09 ns	0,13 ns	0,06 ns	0,01 ns	0,41 ns	0,23 ns
C.V. x C.S.	0,47 ns	0,60 ns	0,26 ns	0,63 ns	0,67 ns	0,38 ns	0,27 ns	1,45 ns
<b>CV (%)</b>								
C.V.	9,22	17,49	20,05	34,77	11,59	6,27	5,50	32,88
C.S.	12,04	11,25	12,89	31,06	11,71	9,38	5,75	14,85

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais e sem letras dentro de cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. \* e \*\* significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente, e ns - não significativo.

Apesar dos efeitos não significativos observados, as coberturas vegetais no SSD, podem exercer efeitos positivos e negativos (Santos et al., 1998), ou mesmo mostrarem-se indiferentes, sobre o desenvolvimento de plantas de soja em seqüência. Um aspecto de ordem química e biológica que deve ser observado na seleção das coberturas vegetais que antecedem ao cultivo de soja, é o efeito sobre a nodulação desta (Santos et al., 1998). Há de se considerar a existência de leguminosas, como o tremoço, utilizado para adubação verde em sistema de rotação e sucessão de culturas, capazes de acidificar a rizosfera, pela liberação de prótons durante o processo de fixação biológica do  $N_2$ , em virtude da dissociação de grupos carboxílicos de aminoácidos, para a manutenção da eletroneutralidade na célula (Bolan et al., 1991), sendo isto prejudicial a nodulação e ao desenvolvimento normal da soja.

Quanto à calagem, a pesquisa por muito tempo tem procurado estudar o efeito desta na cultura da soja, sendo a sua resposta bastante conhecida na literatura científica quando se trata de cultivo convencional (Quaggio et al., 1993; Rossetto et al., 1994), existindo dúvidas com relação à aplicação de calcário na superfície do solo em SSD (Caires et al., 1998), provavelmente em função da utilização de genótipos tolerantes ao Al.

No Quadro 18 é possível verificar-se pela análise de variância que o número de plantas de soja formadoras do estande final não foram influenciadas significativamente pelos fatores cobertura vegetal e calagem superficial. Entretanto, pelo teste de comparação de médias houve diferença estatística entre as coberturas vegetais, destacando-se o milheto responsável pelo maior estande final. Ressalta-se que mesmo neste caso, o valor alcançado (263.000 plantas  $ha^{-1}$ ), não foi a densidade populacional ótima recomendada para semeadura de verão, ou seja, de 300.000 a 400.000 plantas  $ha^{-1}$  (IAC, 1999). A condição

ambiental adversa do cultivo de outono-inverno (Figura 1), foi considerada como o principal motivo para a drástica redução de todos os estandes finais, independente do tratamento, onde provavelmente a maior produção de M.S. do milheto (Quadro 4), amenizou a deficiência hídrica na fase inicial do cultivo da soja, proporcionando o estabelecimento de um maior número de plantas em relação às outras coberturas que produziram menos fitomassa sobre o solo. Em trabalho realizado por Cordeiro & Souza (1999) ficou constatado que a utilização da vegetação espontânea não foi capaz de melhorar o estande final da soja, enquanto que a cobertura vegetal morta de milheto proporcionou resultado estatisticamente superior, devendo-se destacar que todo o ensaio foi conduzido sob irrigação por aspersão, mantendo-se a umidade adequada. Outro aspecto importante a ser ressaltado é o de que as condições físicas do solo (Quadro 2), apesar da moderada compactação superficial apresentada, não inibiu a emergência de plântulas e, portanto, não interferiu nos resultados dos estandes finais.

No que se refere à altura de inserção da primeira vagem de soja (Quadro 18), observa-se que não houve efeito significativo dos fatores aplicados. Delavale et al. (2000), estudando os efeitos de coberturas e manejo do calcário na implantação do SSD, verificaram que o milheto e a aveia preta, conduzidos no período de inverno-primavera sob irrigação suplementar, não influenciaram significativamente a altura de inserção da primeira vagem de soja e nem diferiram estatisticamente entre si. Neste mesmo experimento, foi constatado que o tratamento sem calcário superou significativamente os tratamentos onde o calcário foi utilizado apenas superficialmente, seja antes da semeadura das coberturas vegetais ou antes do manejo destas. Já Cordeiro & Souza (1999), avaliando as características agronômicas da cultura da soja semeada sobre diferentes coberturas vegetais, em SSD, verificaram que o tratamento com vegetação espontânea não foi eficiente na melhoria da altura

de inserção da primeira vagem de soja, que atingiu média de 7 cm, enquanto que o milho cv. BN<sub>2</sub> proporcionou resultado significativamente superior (12 cm). Fato interessante em relação ao trabalho anterior, foi o predomínio de espécies como tiririca, nabiça e picão-preto na vegetação espontânea, da mesma forma como o ocorrido no presente experimento, com exceção da aveia preta que teve participação expressiva.

A altura de inserção da primeira vagem de soja é uma característica agrônômica importante à operação de colheita mecânica dos grãos (Medina, 1994). Essa variável deve ser de no mínimo 13 cm, para que se reduza as perdas durante a colheita (Queiroz et al., 1981). Assim, com relação à média dos valores absolutos da altura de inserção da primeira vagem do presente experimento, independente dos tratamentos aplicados (Quadro 18), constata-se que não houve limitações à colheita mecânica da soja cultivada em safrinha.

A altura das plantas de soja não foi influenciada pelos efeitos isolados dos fatores cobertura vegetal e calagem superficial (Quadro 18). Assim, da mesma forma que o observado no presente trabalho, Barizon & Fernandes (2000) não verificaram efeitos significativos dos fatores cobertura vegetal e calagem superficial, assim como da interação, para a variável altura de planta de soja. Ao contrário, Delavale et al. (2000) constataram incremento positivo proporcionado pela cobertura vegetal de milho. Enquanto que Cordeiro & Souza (1999), para o tratamento de vegetação espontânea, observaram que não foi eficiente na melhoria da altura de plantas de soja (40 cm), sendo o milho estatisticamente superior ao proporcionar altura média de 75 cm.

Ressalta-se que os valores médios de altura de planta, para todos os tratamentos aplicados (Quadro 18), não atingiram médias entre 80 e 110 cm, conforme característica do cv. IAC-19 semeado de outubro a dezembro (IAC, 1999). Portanto, ficou

claro que o déficit hídrico ocorrido no período de safrinha (Figura 1), foi um dos responsáveis pela baixa estatura da soja, assim como, provavelmente, o efeito de fotoperíodo. Sabe-se que em semeadura realizada fora da época convencional, normalmente, há formação de plantas de soja de menor porte e a altura de inserção da primeira vagem também é menor (Gandolfi & Muller, 1981; Crusciol, 1992). Em trabalho realizado por Medina (1994), comparando-se a época de semeadura convencional com o período de safrinha em diferentes municípios do Estado de São Paulo, observou que a altura final das plantas de soja de todas as cultivares utilizadas diminuiu com a semeadura tardia, em consequência do florescimento precoce.

O número total de vagens por planta de soja não foi influenciado significativamente pela cobertura vegetal e nem pelos tratamentos com e sem calagem (Quadro 18). Fato semelhante foi descrito por Barizon & Fernandes (2000), onde não se observou efeito isolado para doses de calcário superficial e nem para os tratamentos com e sem "palhada", sobre o número de vagens por planta de soja. No entanto, em função das condições ambientais diferentes à que foram submetidos os dois trabalhos, no de Barizon & Fernandes (2000), verificou-se aproximadamente o dobro de vagens por planta em relação aos valores obtidos no presente experimento. A questão é que fatores como plantas de soja bem nutridas, fato este não constatado no atual trabalho (Quadros 6 e 7), boa disponibilidade hídrica, na fase de estabelecimento do cultivo e no estágio reprodutivo, o que não foi verificado para esta última condição (Figura 1), e fotoperíodo adequado, venham a produzir mais flores e, conseqüentemente, mais vagens fixadas por planta.

A variável número de vagens por planta é tida como o principal componente que controla a produção da cultura da soja, sendo que quanto mais tardia é a semeadura, menor é o número de nós formados na planta, e portanto, menor é o número de

vagens por planta (Vernetti, 1983). Assim, quando se compara diferentes épocas de semeadura para a soja, verifica-se que no verão são obtidos valores superiores do número de vagens por planta aos do inverno, fato esse atribuído, principalmente, ao maior desenvolvimento das plantas encontrado no cultivo de verão (Crusciol, 1992).

As vagens fixadas de leguminosas podem ficar chochas, em função de problemas na fertilização dos óvulos dentro do ovário ou devido à falta de carboidratos essenciais para o enchimento dos grãos, refletindo em menores produtividades. No entanto, dos componentes da produção, redução maior observou-se pelos baixos números totais de vagens (Quadro 18), cuja média geral foi de 11,3, sendo que 3,5% desse valor correspondeu a vagens chochas. Verificou-se, também, que o número de vagens chochas não foi influenciado pelos tratamentos aplicados (Quadro 18).

Para o número de grãos por vagem, observa-se no Quadro 18, que não houve resposta significativa aos fatores aplicados e nem ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos empregados. Igualmente, Barizon & Fernandes (2000) não constataram efeito isolado e significativo de calcário superficial e de cobertura vegetal, sendo que os valores absolutos encontrados estão muito próximos dos obtidos no presente trabalho. Nakagawa et al. (1983) não encontraram diferenças significativas para o número de grãos por vagem, em função de diferentes épocas de semeadura de soja.

Quanto à massa de 100 grãos, não houve efeito significativo para os fatores aplicados e nem diferença estatística entre tratamentos (Quadro 18). Barizon & Fernandes (2000), também não observaram efeito dos tratamentos sobre a massa de 100 grãos. Em contrapartida, Rosseto et al. (1994), ao estudarem o efeito do calcário aplicado convencionalmente na produção e qualidade fisiológica das sementes de soja, verificaram que

esta prática propiciou maior produção de grãos e de sementes, favorecendo a uniformização da produção de sementes de maior tamanho e massa, mas que no entanto apresentaram menor qualidade física e fisiológica.

Deve-se ressaltar o fato de que os valores de massa de 100 grãos obtidos no presente trabalho foram bastante próximos ao padrão da cv. IAC-19 que é de 15 g (IAC, 1998 e 1999). Portanto, independente de resposta ou não dos tratamentos aplicados sobre a cultura da soja, a massa de 100 grãos é, dos componentes da produção, aquele que apresenta a menor variação percentual em função das alterações ambientais no meio de cultivo. Assim, em condições adversas como restrição hídrica, a planta de soja preferencialmente formará poucos grãos nas vagens fixadas, ao invés de vários e mal formados, pois seu objetivo biológico principal é a perpetuação da espécie. Portanto, o estresse hídrico ocorrido durante o período de enchimento das vagens, provavelmente, não proporcionou diminuição substancial na produção de soja devido à redução na massa de grãos (Medina, 1994). Para Nakagawa et al. (1983), a redução na produção de soja devido ao atraso na época de semeadura está mais associada ao menor número de grãos produzidos do que ao decréscimo no tamanho e, conseqüentemente, na massa de grãos.

Os resultados obtidos para a produtividade de grãos não foram significativamente influenciados pelos tratamentos (Quadro 18). Ao contrário, Cordeiro & Souza (1999), utilizando a mesma cultivar de milheto (BN<sub>2</sub>), constataram influencia positiva da fitomassa morta desse material na produtividade de grãos de soja. Também, puderam perceber que a produção de 2.850 kg ha<sup>-1</sup> sobre a "palhada" de milheto diferiu estatisticamente da produção de 1.160 kg ha<sup>-1</sup> obtida no tratamento com vegetação espontânea, sendo que neste, as principais espécies de ocorrência foram as mesmas caracterizadas no presente

trabalho. Delavale et al. (2000), em SSD recém instalado, constataram que o milheto, conduzido durante o período de inverno-primavera, sob irrigação suplementar e manejado no estágio de florescimento, incrementou positivamente a produtividade de grãos de soja.

Entre tantos efeitos positivos já mencionados, cabe ressaltar alguns possíveis aspectos negativos das espécies de cobertura vegetal, como efeitos alelopáticos sobre o desenvolvimento e doenças que se multiplicam em tecidos mortos, causando a diminuição da produtividade de grãos das culturas em sucessão (Santos & Reis, 1991). Como exemplo tem-se o efeito negativo de restos vegetais de colza sobre a soja em semeadura direta, diminuindo a produtividade das plantas. Tal comportamento tem sido observado em períodos secos, com má distribuição de chuvas, durante o estabelecimento e desenvolvimento da soja.

Da mesma forma que não houve efeito significativo para a produtividade de soja em função da calagem superficial, observado neste trabalho (Quadro 18), Caires et al. (2000b), também obtiveram a mesma constatação em SSD recém implantado. Delavale et al. (2000), no ano de implantação da semeadura direta, notaram que não houve diferença significativa entre os diferentes manejos de calcário utilizados, para a produtividade.

Em SSD estabilizados, resultados deste tipo já são bastante conhecidos e tem sido observados com certa frequência, quando se trata da aplicação de calcário na superfície. Caires et al. (1996, 1998, 1999 e 2000a), em todos os cultivos de soja verificaram ausência de resposta, em termos de produtividade de grãos, ao calcário aplicado na superfície. A menor resposta das culturas à calagem, no SSD, pode estar relacionada com o menor efeito tóxico do Al, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis presentes nos restos vegetais, conforme mecanismo proposto por Miyazawa et al. (1996). Outra hipótese seria a dos teores de Ca, Mg e K apresentarem disponibilidade suficiente no perfil do solo para

manter uma relação adequada com o Al (Caires et al., 1998). Em contrapartida, em outros trabalhos, são observadas respostas positivas da soja à aplicação de calcário na superfície em SSD, mas considerando-se a produção acumulada de vários anos (Oliveira & Pavan, 1994; Sá, 1996).

Outro fato interessante, que merece atenção especial no presente trabalho, é a diferença não significativa de produtividade para os tratamentos com e sem calagem, já que este último apresentou pH baixo (Quadro 8), alta concentração de H+Al (Quadro 9) e baixa V% (Quadro 13), em todas as profundidades avaliadas, quando comparado aos que receberam calcário na superfície.

A produtividade média obtida no experimento foi de aproximadamente 753 kg ha<sup>-1</sup>, não conseguindo-se atingir a produtividade esperada de 2,5 a 2,9 t ha<sup>-1</sup> em função da adubação realizada, segundo recomendação de Mascarenhas & Tanaka (1997). Entretanto, a produtividade esperada não é função apenas das doses aplicadas de fertilizantes, dependendo de diversos outros fatores, tal como a disponibilidade de água (Raij et al., 1997).

Provavelmente a deficiência hídrica verificada durante o cultivo da soja (Figura 1), com precipitação de apenas 221 mm de chuvas, provocou a redução na taxa de crescimento vegetativo, expressa pela menor altura de inserção da primeira vagem e de altura de planta, diminuindo o número total de vagens e, conseqüentemente a produtividade (Quadro 18). Também, o efeito do fotoperíodo contribuiu consideravelmente para proporcionar menor ciclo, porte e produtividade da soja safrinha.

Acredita-se na possibilidade de serem atingidos valores mais altos de produtividade, mesmo sem irrigação suplementar, pois pelo histórico de precipitação

pluvial (Figura 2), verifica-se que o período em questão foi o de menor volume de chuvas acumuladas nos últimos dez anos, caracterizando uma forte estiagem. Essa condição hídrica adversa, também diminuiu a disponibilidade e a absorção dos elementos minerais, juntamente com a redução da atividade fotossintética. Isso tudo se refletiu na baixa produtividade biológica, representada pela inexpressiva produção de M.S. da parte aérea e baixos teores de macronutrientes das folhas de soja no florescimento (Quadro 6), com conseqüente redução da produtividade de grãos (Quadro 18).

## 7 CONCLUSÕES

O milheto, no período de verão, é a espécie vegetal mais indicada para cobertura de solo em curto período de desenvolvimento, por apresentar grande produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes.

As coberturas vegetais do solo utilizadas e a calagem superficial não afetaram a produção de matéria seca, os teores de nutrientes nas folhas, as características agronômicas, os componentes da produção e a produtividade de grãos da soja safrinha.

O calcário aplicado na superfície apresenta eficiência na correção da acidez de camadas superficiais do solo e em subsuperfície, tanto na presença quanto na ausência de cobertura vegetal.

É possível implantar o sistema de semeadura direta, em solos anteriormente cultivados no sistema convencional de preparo mediante aplicação de calcário na superfície, sem prévia incorporação.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS\*

ADAMS, F., WHITE, A.W., DAWSON, R.N. Influence of lime sources and rates on coastal bermudagrass production, soil profile reaction, exchangeable Ca and Mg. *Agron.J.*, v.59, p.147-9, 1967.

ALVES, A.G.C., COGO, N.P., LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.19, p.127-32, 1995.

ALVES, A.G.C., COGO, N.P., LEVIEN, R. Comparação entre os métodos da transeção linear e fotográfico na avaliação de cobertura vegetal morta, sob dois métodos de preparo, após a colheita da soja. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.22, p.491-6, 1998.

---

\* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.//Faculdade de Ciências  
Agrônômicas.//Normas para a elaboração de dissertações e teses.//Botucatu,  
1997.// 35p.

- AMARAL, A.S. *Reaplicação de calcário no plantio direto consolidado*. Porto Alegre, 1998. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AMBROSANO, E.J., WUTKE, E.B. Leguminosas adubos verdes: crotalária, chícharo ou ervilhaca, feijão-de-porco, feijão-guandu, lablabe, mucuna, tremoço. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.100, p.200, 1997.
- ARRUDA, F.B., MASCARENHAS, H.A.A., VIEIRA, S.R. Análise do efeito hídrico na produção da soja. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.38, p.1-24, 1976.
- ATHAYDE, M.L.F., RODRIGUES, R., ARF, O. Comportamento de cultivares de soja em semeadura tardia na região de Jaboticabal (SP). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3, 1984, Campinas. *Anais...* Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA, 1984. p.441-8.
- BAIRRÃO, J.F.M. Estudo do comportamento de espécies vegetais no verão para as condições edafoclimáticas do oeste do Paraná. In: RESULTADOS DE PESQUISA VERÃO 1987/88, 3, 1989, Cascavel. *Resumos...* Cascavel: Organização das Cooperativas do Estado do Paraná, 1989. p.219-20.
- BALARIN, R., JIMENEZ, C., FURTADO, B. A pressão que vem do céu. *Época*, n.81, p.156-8, 1999.
- BANZATO, D.A., KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247p.

- BARIZON, R.R.M., FERNANDES, D.M. Nutrição e produção da soja, em sistema de plantio direto, em função de calagem superficial e palhada de brizantão (*Brachiaria brizantha*). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. *Resumos Expandidos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 200. 1 CD.
- BARTZ, H.R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: FRIES, M.R. (Coord.). *Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Pallotti, 1998. p.52-81.
- BOLAN, N.S., HEDLEY, M.J., WHITE, R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R.J., BALIGAR, V.C., MURRNAN, R.P. (Ed.). *Plant-soil interactions at low pH*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p.169-79.
- BRANDALIZZE, V. O que plantar na safrinha: a força no milho. *Cultivar*, n.25, p.8-9, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Regras para análise de sementes*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Vegetal, Divisão de Sementes e Mudanças, 1992. 365p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. *Agrofit 98: uso adequado de agrotóxicos*. São Paulo: Federação das Associações de Engenheiros Agrônomos do Brasil, 1998. 1 CD.

BULISANI, E.A., ROSTON, A.J. Leguminosas: adubação verde e rotação de cultura. In: WUTKE, E.B., BULISANI, E.A., MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). *Curso sobre adubação verde*, 1, 1993, Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p.13-16. (Documento IAC, 35).

CAIRES, E.F. *Resposta diferencial de genótipos de amendoin (Arachis hypogaeae) à calagem*. Botucatu, 1990. 114p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CAIRES, E.F, CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F. Redução da acidez e movimentação de bases do solo pelo uso de calcário e gesso na superfície e resposta da soja e do milho cultivados em plantio direto. *Rev.P.D.*, ed. especial, p.30-1, 1996.

CAIRES, E.F, CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F., FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F, FONSECA, A.F., MENDES, J., CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.23, p.315-27, 1999.

- CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD.
- CAIRES, E.F., FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no de sistema plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, v.59, n.2, p.213-20, 2000.
- CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A., FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.24, p.161-9, 2000a.
- CAIRES, E.F., BLUM, J., FELDHAUS, I.C. Resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. *Resumos Expandidos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000b. 1 CD.
- CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici". *Bol. Cient. Fac. Ciênc. Agron. UNESP (Botucatu)*, n.1, p.1-95, 1983.

- CORDEIRO, L.A.M., SOUZA, C.M. Características agronômicas da cultura da soja (cv. 'CAC-1') semeada sobre palhada de diferentes espécies de cobertura morta em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Resumos Expandidos...* Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/EMBRAPA, 1999. 1 CD.
- COSTA, A.V. Retardamento da colheita após e seu efeito sobre a qualidade da semente e emergência de plântulas em 18 cultivares e linhagens de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, 1978, Londrina. *Anais...* Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA, 1979. p.293-308.
- COSTA, A. *Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja/trigo em sistema plantio direto.* Botucatu, 2000. 146p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- CRUSCIOL, C.A.C. *Avaliação dos caracteres produtivos, produção e qualidade fisiológica de sementes de soja, semeada no período de inverno e de verão, na região de Selvíria (MS).* Ilha Solteira, 1992. 46p. (Relatório final apresentado a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, para conclusão de Bolsa de Iniciação Científica/PIBIC-CNPq).

- DELAVALE, F.G., LAZARINI, E., BUZETTI, S. Efeitos de coberturas e manejo do calcário na implantação do sistema de plantio direto em solo característico de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. *Resumos Expandidos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD.
- DERPSCH, R., SIDIRAS, N., HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com cobertura verdes de inverno. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.20, p.761-73, 1985.
- DERPSCH, R., CALERGARI, A. *Plantas para adubação verde de inverno*. Londrina: IAPAR, 1992. 78p.
- DOGGETT, H. Sorghum. In: SIMMONDS, N.W. (Ed.). *Evolution of crop plants*. New York: London, 1976. p.112-7.
- DUARTE, A.P. Como fazer uma boa segunda safra. *Cultivar*, n.25, p.10-8, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412p.

- FAHL, J.I., CAMARGO, M.B.P., PIZZINATTO, M.A., BETTI, J.A., MELO, A.M.T., DeMARIA, I.C., FURLANI, A.M.C. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.200, 1998. 396p.
- FEHR, W.R., CAVINES, C.E., BURMOOD, D.T., PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci*, v.11, p.929-31, 1971.
- FRANCHINI, J.C., MALAVOLTA, E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.23, p.533-42, 1999.
- FRANCHINI, J.C., BORKERT, C.M., FERREIRA, M.M., GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.24, p.459-67, 2000.
- FRANCO, A.A., SOUTO, S.M. Contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> na adubação verde. In: *Adubação verde no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.199-215.
- FURUHASHI, S. *Efeito de doses e de época de aplicação de nitrogênio na cultura do painço em sucessão à mucuna preta*. Jaboticabal, 1995. 31p. (Monografia apresentada a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia).
- GANDOLFI, V.H., MULLER, L. Fotoperiodismo. In: MIYASAKA, S., MEDINA, J.C. (Coord.). *A soja no Brasil*. Campinas: ITAL, 1981. p.129-45.
- GOMES, J. Estudo de risco para o milho na "safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3, 1995, Campinas. *Anais...* Campinas: IAC, 1995. p.99-104.

- HAAG, H.P. A nutrição mineral e o ecossistema. CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (Ed.) *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.49-69.
- HARLAN, J.R., WET, J.M.J. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci.*, v.12, p.172-6, 1972.
- HERNANI, L.C., SALTON, J.C. Manejo do solo. In: *Recomendações técnicas para mato grosso do sul e mato grosso*. Dourados: EMBRAPA, 1996. p.34-53.
- HOLTZ, G.P., SÁ, J.C.M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. *Anais...* Castro: Fundação ABC, 1995. p.14-30.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: *Adubação verde no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-67.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. *Novos cultivares de soja do IAC*. Campinas, 1998. (Folheto).
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. *Melhoramento genético de soja*. Campinas, 1999. (Folheto).
- JORGE, J.A. Compactação do solo: causas, conseqüências e maneiras de evitar sua ocorrência. *Circ. Inst. Agron. Campinas*, n.117, p.1-22, 1983.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KISSMANN, K.G. *Plantas infestantes e nocivas*. São Paulo: BASF, 1991. v.2, p.551-3.

- KRETZSCHMAR, R.M., HAFNER, H., BATIONO, A., MARSCHNER, H. Long and short-term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. *Plant Soil*, v.136, p.215-23, 1991.
- LANCE, J.C., PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.33, n.1, p.95-8, 1969.
- LANDERS, J.N. *Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado*. Goiânia: APDC, 1995. 261p.
- LIMA, E.V., CRUSCIOL, C.A.C., LIMA, P.L., ROSOLEM, C.A. Produção de matéria seca, teores e acúmulo de macronutrientes em plantas de sorgo, milheto e painço na implantação do sistema de plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, 2000, Uberlândia. *Resumos Expandidos...* Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo/EMBRAPA, 2000. 1 CD.
- LIMA, E.V., CAVARIANI, C., LIMA, P.L., CRUSCIOL, C.A.C., NAKAGAWA, J., VILLAS BOAS, R.L. Qualidade fisiológica de sementes de painço (*Panicum dichotomiflorum* Mix.) em função do tempo de mistura com o superfosfato triplo. *Cultura Agronômica*, 2001. (No prelo).
- LIU, J., HUE, N.V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. *Biol.Fertil.Soils*, v.21, p.264-70, 1996.

- LOMBARDI NETO, F., DRUGOWICH, M.I. *Manual técnico de manejo e conservação de solo e água*. Campinas: CATI, 1994. v.2, 168p.
- MAJOR, D.J., JOHNSON, D.R., TANNER, J.W., ANDERSON, I.C. Effects of daylength and temperature on soybean development. *Crop Sci.*, v.15, p.174-9, 1975.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional de plantas : princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.
- MARCOS FILHO, J. *Produção de sementes de soja*. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 86p.
- MASCARENHAS, H.A.A., TANAKA, R.T. Leguminosas e oleaginosas: soja. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.100, p.202-3, 1997.
- MEDINA, P.F. *Produção de sementes de cultivares precoces de soja, em diferentes épocas e locais do Estado de São Paulo*. Piracicaba, 1994. 173p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MENOSSO, O.G., COSTA, J.A., ANGHINONI, I., BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.35, p.375-83, 2000.
- MIYASAKA, S.G.G., KIIHL, R.A.S., LOYADINI, L.A.C., DEMATTE, J.D. Variedades de soja indiferentes ao fotoperíodismo e tolerantes a baixas temperaturas. *Bragantia*, v.29, p.169-73, 1970.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.17, p.411-6, 1993.

- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, 1996, Belo Horizonte. *Abstracts...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CPAC/EMBRAPA, 1996. p.8.
- MUNNS, D.N. Soil acidity and growth of legume. II. Reactions of aluminum and phosphate in solution and effects of aluminum, phosphate, calcium and pH on *Medicago sativa* L. and *Trifolium subterraneum* L. in solution culture. *Aust. J. Agric. Res.*, v.16, p.743-55, 1965.
- NAKAGAWA, J., ROSOLEM, C.A., MACHADO, J.R. Épocas de semeadura da soja. I. Efeitos na produção. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.18, p.1187-98, 1983.
- OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. *Anais...* Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, CPATSA/EMBRAPA, 1994. p.178.
- OLIVEIRA, E.L., PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil & Tillage Res.*, v.38, p.47-57, 1996.
- ORTOLANI, A.A., CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. (Ed.) *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.71-81

- PACE, L., FOLONI, J.S.S., TIRITAN, C.S., ROSOLEM, C.A. Desenvolvimento radicular e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão submetidos à compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Resumos Expandidos...* Brasília: CPAC/EMBRAPA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD.
- PAULETTI, V. Disponibilidade e resposta de culturas a micronutrientes em solos arenosos. In: FRIES, M.R. (Coord.). *Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária*. Santa Maria: UFSM/Ed. Pallotti, 1998. p.82-103.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisol and Oxisols amended with CaCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>. *Soil.Sci.Soc.Am.J.*, v.46, p.1201-7, 1982.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil.Sci.Soc.Am.J.*, v.48, p.33-8, 1984.
- PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura em pomares de macieira. *Rev.Bras.Frútic.*, v.16, p.86-91, 1994.
- PEARSON, R.W., ABRUNA, F., VICE-CHANCES, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movements of calcium and magnesium in two humid soils of Puerto Rico. *Soil Sci.*, v.93, p.77-82, 1962.
- PEREIRA, J.A.R. *Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (Glycine max (L.) Merrill) no cerrado*. Botucatu, 1990. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

- PINTO, L.F.G., CRESTANA, S. Viabilidade do uso da adubação verde nos agroecossistemas da região de São Carlos, SP. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.22, p.329-36, 1998.
- POTAFOS. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. *Manual internacional de fertilidade do solo*. 2.ed. Piracicaba, 1998. 177p.
- PÖTTKER, D., BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.22, p.675-684, 1998.
- QUAGGIO, J.A., RAIJ, B., GALLO, P.B., MASCARENHAS, H.AA Resposta da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.28, p.375-83, 1993.
- QUEIROZ, E.F., NEUMAIER, N., TORRES, E., PEREIRA, L.A.G., BIANCHETTI, A., TERAZAWA, F., PALHANO, J.B., YAMASHITA, J. Recomendações técnicas para a colheita mecânica. In: MIYASAKA, S., MEDINA, J.C. (Ed.). *A soja no Brasil*. Campinas: ITAL, 1981. p.701-10.
- RAIJ, B., QUAGGIO, A.J. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.81, 1983. 31p.
- RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. *Bol.Téc.Inst.Agron.Campinas*, n.100, 1997. 285p.
- RASSINI, J.B., LIN, S.S. Efeito de períodos de estiagens artificiais durante estádios de desenvolvimento da planta no rendimento e qualidade da semente de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). *Agron. Sulriograndense*, v.17, p.225-37, 1981.

- RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J., LUPATINI, G.C., SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.22, p.713-21, 1998.
- RHEINHEIMER, D.S., SANTOS, E.J.S., KAMINSKI, J., BORTOLUZZI, E.C., GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.24, p.797-805, 2000.
- RITCHEY, K.D., SILVA, J.E., COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. *Soil.Sci.*, v.133, p.378-82, 1982.
- ROSSETO, C.A.V., FERNANDEZ, E.M., NAKAGAWA, J., ROSOLEM, C.A. Efeito do calcário na produtividade e qualidade fisiológica das sementes de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). *Rev.Bras.Sementes*, v.16, p.208-15, 1994.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos campos gerais, centro-sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. *Anais...* Castro: Fundação ABC, 1995. p.73-107.
- SÁ, J.C.M. Efeito de métodos de calagem em um Lea argiloso sob longo período em plantio direto com elevada acidez. *Rev.P.D.*, edição especial, p.32-3, 1996.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S., LOPES, A.S., GUILHERME, L.R.G., FAQUIN, V., FURTINI NETO, A.E., CARVALHO, J.G. (Ed.). *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.267-319.
- SALTON, J.C., KICHEL, A.N. *Milheto: alternativa para cobertura do solo e alimentação animal*. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).

- SANS, L.M.A. Riscos climáticos no Brasil central: o milho em perspectiva. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, Uberlândia. *Anais...* Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo/EMBRAPA, 2000. 1 CD.
- SANTOS, H.P., REIS, E.M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.26, p.729-35, 1991.
- SANTOS, H.P., LHAMBY, J.C.B., WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.33, p.289-95, 1998.
- SANTOS, J.C.F., CASSIOLATO, M.E., MYIAZAWA, M., PAVAN, M.A. Avaliação biológica do potencial de compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais de mobilizar cálcio em solos ácidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Resumos Expandidos...* Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/EMBRAPA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD.
- SIDIRAS, N., PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Rev.Bras.Cienc.Solo.*, v.9, p.249-54, 1985.
- SILVA, R.H. *Crescimento radicular e nutrição da soja (Glycine max (L).Merrill) em função da cultura anterior e da compactação em latossolo vermelho escuro.* Botucatu, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- SILVA, R.H., ROSOLEM, C.A., CRUSCIOL, C.A.C. Movimentação de Ca no solo em função da adubação nitrogenada e de resíduos vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3, 2000, Santa Maria. *Resumos Expandidos...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD.
- SNOWDEN, J.D. *The cultivated races of sorghum*. London: Adlard, 1936. 274p.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S., STEWART, B.A. (Ed.). *Subsoil management techniques*. Athens: Lewis, 1995. p.147-85.
- TANAKA, R.T., MASCARENHAS, H.A.A., DIAS, O.S., CAMPIDELLI, C., BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. *Pesqui.Agropecu.Bras.*, v.27, p.1477-83, 1992.
- TANAKA, R.T., MASCARENHAS, H.A.A., BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N.E., SOUZA, P.I.M. (Ed.). *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.105-35.
- TSAI, S.M., ROSSETTO, R. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. (Coord.). *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.231-42.
- TSUNECHIRO, A., MIELE, C. Análise de risco de produção e do mercado de milho safrinha. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 5, 1999, Campinas. *Anais...* Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. p.127-32.

- TUBELIS, A. *A chuva e a produção agrícola*. São Paulo: Nobel, 1988. 85p.
- VERNETTI, F.J. Genética da soja: caracteres qualitativos. In: VERNETTI, F.J. (Ed.). *Soja: genética e melhoramento*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p.93-124.
- VILELA, L., SPEHAR, C.R., SOUZA, P.I.M., VIEIRA, R.D. Comportamento de cultivares de soja em época seca (inverno) no cerrado do Distrito Federal. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, 1978, Londrina. *Anais...* Londrina: Centro Nacional de Pesquisa de Soja/EMBRAPA, 1979. p.425-40.
- WEIR, C.C. Effect of lime and nitrogen application on citrus yields and on the downward movement of calcium and magnesium in a soil. *Trop.Agric.*, v.51, p.230-4, 1975.
- WESTGATE, M.E., GRANT, T. Effect of water deficits on seed development in soybean. *Plant Physiol.*, v.91, p.975-9, 1989.
- WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B., BULISANI, E.A., MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). *Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico*, 1, 1993, Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. p.17-29. (Documento IAC, 35).