UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

"Culturas de Cobertura, Doses de Nitrogênio e Residual da Aplicação de Calcário: Características Químicas do Solo, Estado Nutricional e Características Agronômicas do Milho"

AGUINALDO JOSE FREITAS LEAL

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP
Março/2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

"Culturas de Cobertura, Doses de Nitrogênio e Residual da Aplicação de Calcário: Características Químicas do Solo, Estado Nutricional e Características Agronômicas do Milho"

AGUINALDO JOSE FREITAS LEAL

Orientador: Prof. Dr. Edson Lazarini
Co-Orientador: Prof. Dr. João Antônio da Costa Andrade

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP
Março/2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

Leal, Aguinaldo Jose Freitas.
L435c Culturas de cobertura, doses de nitrogênio e residual da aplicação de calcário: características químicas do solo, estado nutricional e características agronômicas do milho / Aguinaldo Jose Freitas Leal. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008.
91 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2008

Orientador: Edson Lazarini
Co-orientador: João Antônio da Costa Andrade
Bibliografia: p. 79-88

1. Cerrado. 2. Calcário. 3. Milheto. 4. Crotalária. 5. Nitrogênio.

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Culturas de cobertura, doses de nitrogênio e residual da aplicação de calcário: características químicas do solo, estado nutricional e características agronômicas do milho

AUTOR: AGUINALDO JOSE FREITAS LEAL
ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LAZARINI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LAZARINI
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ORIVALDO ARF
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. SALATIER BUZETTI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. DOMINGOS FORNASIERI FILHO
Departamento de Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agrarias e Veterinarias de Jaboticabal

Prof. Dr. ANTONIO NOLLA
Departamento de Agronomia / Universidade Estadual de Maringá

Data da realização: 25 de março de 2008.

Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. EDSON LAZARINI

DEDICO

Aos meus pais, Aguinaldo José Leal (*in memoriam*) e Romilda A. de Freitas Leal, pelos ensinamentos e exemplo de dedicação na criação dos filhos.

À minha namorada, grande companheira e conselheira durante os momentos mais difíceis da minha vida: Ulcilea Alves Severino.

OFEREÇO

À minha irmã Leila F. Leal Pereira, cunhado Luiz C. Pereira e em especial meus sobrinhos, Luis Henrique e Luiz Otávio.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades as quais me concebestes nestes 26 anos de vida;

À Universidade Estadual Paulista, em especial à Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, pela excelente qualidade de ensino e oportunidade de desenvolvimento de pesquisa;

A CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado que possibilitou a conclusão deste curso;

A Sementes Piraí Ltda pela concessão das sementes dos adubos verdes, nos três anos agrícolas;

Ao Prof. Dr. Edson Lazarini, pela orientação durante o Doutorado e Graduação, além do exemplo de companheirismo, amizade e profissionalismo;

A todos os professores do curso de Agronomia da UNESP – Ilha Solteira, pelo conhecimento transmitido e ótimo relacionamento;

Aos colegas Leandro Rebuá Rodrigues, Wanderberg Oliveira e Luiz Marcandalli que auxiliaram na condução das pesquisas;

A todos os funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE, pelo companheirismo, amizade, além do suporte para o desenvolvimento das pesquisas;

A todos os colegas do curso, pelo harmonioso convívio;

Aos amigos e companheiros da República WiskNão, pela paciência, amizade, agradável convívio, auxílios e bons momentos que compartilhamos;

Aos ex-colegas de trabalho da Universidade Estadual de Maringá – UEM, pela grande amizade e apoio na louvável experiência de docência.

Aos Funcionários, Diretor e Mantenedores da Fundação Chapadão, pela forma amigável a qual fui recebido, para este novo desafio. Em especial aos pesquisadores Jefferson Anselmo e Germison Tomquelski pela aposta e voto de confiança na minha capacidade.

CULTURAS DE COBERTURA, DOSES DE NITROGÊNIO E RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO: CARACTERISTICAS QUÍMICAS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E CARACTERISTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO

Autor: Aguinaldo José Freitas Leal

Orientador: Prof. Dr. Edson Lazarini

Co-Orientador: Prof. Dr. João Antônio da Costa Andrade

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) esta disseminado na região dos cerrados, mas alguns questionamentos persistem neste tipo de manejo, tais como a forma de realização da calagem, dose de nitrogênio a ser adotada e sua correlação com a cultura antecessora ao milho. Este estudo objetivou avaliar a influência de culturas de cobertura (milheto e crotalária), doses de nitrogênio (0; 90 e 180 kg ha^{-1}) e residual de diferentes formas de aplicação da necessidade de calagem sobre as os atributos químicos do solo, estado nutricional e características agronômicas da cultura do milho. O experimento foi desenvolvido na área experimental da UNESP – Campus de Ilha Solteira, localizada em Selvíria – MS (20º22'S, 51º22'W e 335 m de altitude, aproximadamente), nos anos agrícolas 2003/04, 2004/05 e 2005/06. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos em um esquema fatorial 5 x 2 (modos de aplicação de calcário x culturas de cobertura), com parcelas subdividas, referentes as doses de N (0, 90, 180 kg ha^{-1}). Foram avaliados 4 formas de aplicação da necessidade de calagem (NC), ou seja, incorporada a 0 – 0,2 m em out/2001, NC em superfície em out/2001, 1/2 da NC em out/2001 e 1/2 em ago/2002 em superfície e 1/3 NC em mar/2001 + 1/3 em out/2001 e 1/3 em ago/2002 em superfície, além de testemunha (sem calcário). O residual das formas de calagem não influenciou significativamente o rendimento de grãos. A cultura do milho após crotalária apresentou menor demanda de nitrogênio, alcançando teor de N na folha adequado com a dose estimada de 50,5 kg de N ha^{-1}, enquanto após milheto essa necessidade foi de 101,5 kg de N ha^{-1}. Apesar da interação entre doses e culturas de cobertura nos três anos agrícolas, a produção e as características agronômicas do milho avaliadas foram superiores quando em sucessão a crotalária. A aplicação de doses de N incorporadas promove acidificação do solo, nas camadas 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. A distribuição do calcário sem incorporação no sistema plantio direto constitui em uma opção para correção da acidez do solo ao longo dos cultivos sem a necessidade de quebra do sistema.

Palavras Chave: *Crotalaria juncea*, *Pennisetum americanum, Zea mays*, calagem, sistema plantio direto, cerrado.

COVER CROPS, NITROGEN RATES AND RESIDUAL EFFECT IN WAYS OF LIME APPLICATION: QUIMICAL CARACTERISTIC OF SOIL, NUTRITIONAL STATE AND AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF CORNE MAIZE

Author: Aguinaldo José Freitas Leal
Advisor: Prof. Dr. Edson Lazarini
Co-Advisor: Prof. Dr. João Antônio da Costa Andrade

SUMMARY

The no-tillage is a reality in the region of the savannah, but some questionings persist in this type of handling, such as the way of accomplishment of the liming, rates of nitrogen adopted and its correlation with the culture before to the maize. This trial's aimed to evaluate the residual effect of different ways of limestone application in the implantation of the no-tillage using maize cultivated in succession with two crops of cover (pearl millet and sunn hemp), having as nitrogen fertilization three rates, during three years agricultural. Also evaluating the changes promoted by treatments on the chemical soil characteristics. The experimental delineation used initially was a randomized complete block, in a factorial scheme 5 x 2 (ways x cultures of covering) and posterior division in 3 split-plot, referring the rates of N (0; 90 and 180 kg.ha^{-1}). There were evaluated 4 ways of limestone application, incorporated in the 0 – 0,2 m in oct/2001, application full rate in oct/2001 at surface, application of a half rate in oct/2001 and half in aug/2002 at surface and application of 1/3 of the rates recommended in mar/2001 + 1/3 in oct/2001 and 1/3 in aug/2002, beyond a control (without limestone) and two cultures of covering, sunn hemp and pearl millet. The residual effect in the liming ways had not influenced the income of grains. The maize after sunn hemp presented minor nitrogen demand, getting level of N in the leaf adjusting with rates of 50,5 kg of N.ha^{-1}, while after pearl millet this necessity was of 101,5 kg of N.ha^{-1}. Besides the interaction between rates and covering crops in the three agricultural years, the production and agronomic characteristics were better when maize was used in succession to sunn hemp. Application of N rates incorporated promote acidify in soil at 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m layers. The liming surface applied at in no-tillage system can correct the soil acidity the continuity of system no-tillage.

Key words: *Crotalaria juncea, Pennisetum americanum, Zea mays,* liming, no-tillage, Cerrado, Savanas

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Teores de cálcio e magnésio presente na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005. 31

Figura 2. Teores de nitrogênio na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005. 31

Figura 3. Matéria seca das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005/06. 32

Figura 4. Teor de nitrogênio nas folhas de milho em função de culturas de cobertura e doses de N, nos anos agrçiloas: A – 2003/04; B - 2004/05; C - 2005/06..... 36

Figura 5. Rendimento de grãos de milho em função de culturas de cobertura e doses de N, nos anos agrícolas: A – 2003/04; B - 2004/05; C- 2005/06 37

Figura 6. Teores de potassio nas folhas de milho em função de doses de nitrogênio e culturas de cobertura, ano agrícola 2004/05. 38

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1: Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental, anterior a instalação do experimento. Selvíria-MS, 2001. 23

Tabela 2. Cronograma de atividades e tratos culturais realizados nos três anos agrícolas. Selvíria MS, 2008. 25

Tabela 3. Valores de F, teores médios de Mg, Ca K, N, P na parte aérea e médias de matéria seca das culturas de cobertura, ano agrícola 2005. Selvíria-MS. 29

Tabela 4. Teores de fósforo (g kg^{-1}) na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N^{1}. Selvíria-MS, 2006. 31

Tabela 5. Valores de F e médias de teores de macronutrientes (g kg^{-1} de MS) nas folhas de milho em função do residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de N em três safras, selvíria-MS, 2008. 34

Tabela 6. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas, número de grãos por espiga, massa de 1000 sementes e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS. 2003/04. 41

Tabela 7. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS, 2004/05. 42

Tabela 8. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas, número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS, 2005/06. 43

Tabela 9. Equações e médias do desdobramento das interações entre culturas de cobertura e doses de nitrogênio na cultura do milho. Selvíria – MS. 45

Tabela 10 - Valores de F e médias do teor de matéria orgânica (mg dm^{-3}) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 47

Tabela 11 - Valores de F e teores médios de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho, Selvíria – MS, 2003. 48

Tabela 12 - Valores de F e médias do teor potássio ($mmol_c$ dm^{-3}) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 49

Tabela 13 - Valores de F e médias do teor de cálcio ($mmol_c$ dm^{-3}) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 50

Tabela 14 - Valores de F e médias do teor de magnésio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 51

Tabela 15 - Valores de F e médias de valores de pH no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 52

Tabela 16 - Valores de F e valores de H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 53

Tabela 17 - Valores de F e médias do teor de Al^{+3} ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 54

Tabela 18 - Valores de F e médias dos valores de soma de bases ($mmol_c\ dm^{-3}$)) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 55

Tabela 19 - Valores de F e médias dos valores CTC ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 56

Tabela 20 - Valores de F e médias da saturação por bases (%) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003. 57

Tabela 21 - Valores de F e médias dos teores de matéria orgânica ($g\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 59

Tabela 22 - Valores de F e médias do teor de fósforo no solo ($mg\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 61

Tabela 23- Valores de F e médias do teor de potássio no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 62

Tabela 24 - Valores de F e médias do teor de cálcio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 64

Tabela 25. Desdobramento da interação entre modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura significativa para teor de Ca na camada de 0,1 – 0,2 m de profundidade, Selvíria – MS, 2008. 65

Tabela 26 - Valores de F e médias do teor de magnésio no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 66

Tabela 27- Valores de F e médias dos valores de pH ($CaCl_2$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 67

Tabela 28- Valores de F e médias dos teores de alumínio trocável no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 69

Tabela 29 - Valores de F e médias de H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 71

Tabela 30 - Valores de F e médias da soma de bases no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 72

Tabela 31 - Valores de F e médias de capacidade de troca catiônica ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 73

Tabela 32- Valores de F e médias da saturação por bases no solo (%) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006. 75

Tabela 33. Desdobramento da interação entre modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura significativa para saturação por bases (%) na camada de 0,05–0,10 m de profundidade. Selvíria – MS, 2006. 76

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1: Precipitação quinzenal ocorrida na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/Unesp), durante os anos agrícolas 2003/04 e 2004/05, Selvíria-MS. 90

Apêndice 2: Precipitação quinzenal ocorrida na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/Unesp), durante o ano agrícola 2005/06, Selvíria-MS. 91

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO: **12**

2. REVISÃO DE LITERATURA **14**

2.1. Culturas de cobertura **14**

2.2. Calagem em sistema plantio direto **15**

2.3. Adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto **19**

3. MATERIAL E MÉTODOS **23**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO **28**

4.1. Teor de nutrientes e produção de matéria seca das culturas de cobertura **28**

4.2. Estado nutricional e características agronômicas da cultura do milho **32**

4. 3. Características químicas do solo **46**

4.3.1. Caracterização química do solo anterior ao estabelecimento do experimento, 2003 ..... **46**

4.3.2. Caracterização química do solo após três cultivos com milho, 2006 ..... **58**

5. CONCLUSÕES **78**

6. REFÊRENCIAS **79**

7. APÊNDICE **89**

1. INTRODUÇÃO:

Os anos noventa foram marcados pela preocupação mundial com os impactos ambientais, além da busca de alternativas viáveis para minimizá-los, sem, no entanto, acarretar alterações significativas nos níveis de vida da sociedade mundial. Na agricultura, os esforços se concentraram em almejar a recuperação do equilíbrio natural do solo, que passa, necessariamente, pelo uso de sistemas de produção sustentáveis, do ponto de vista ambiental e econômico. É neste contexto que se consolidou o sistema plantio direto (SPD), que segundo a FEBRAPDP (2008) teve acréscimos anuais sucessivos em área plantada, chegando a safra 2004/05 a 95,6 milhões de hectares mundiais, 26,7% (25,5 milhões) no Brasil. Este sistema é caracterizado pela mobilização de solo somente na linha de semeadura, sendo o cultivo efetuado sobre os restos culturais, influenciando assim na conservação da água e do solo, na fertilidade, no melhor aproveitamento de insumos, no controle de espécies espontâneas, na minimização dos custos de produção e a estabilidade de produção, assim como as condições de vida do produtor rural e também da sociedade urbana.

A instabilidade que passou o mercado agrícola, somada às adversidades ambientais promovidas, provavelmente pelo aumento das temperaturas globais, tornou a permanência na atividade agrícola condicionada a adoção de ferramentas que possibilitem um bom planejamento das lavouras. Portanto, verifica-se a necessidade de que sejam definidos alguns pontos como: a) melhor forma de aplicar o calcário em SPD, capaz de atingir seus objetivos e economizar em operações mecanizadas; b) período residual do calcário aplicado sob SPD; c) a cultura de entressafra a ser utilizada para manutenção da cobertura do solo; c) a dose de nitrogênio a ser adotada na cultura do milho em SPD, quando cultivada em sucessão as diferentes culturas de cobertura. Assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de

pesquisas que busquem compreender os mecanismos que interagem para a definição de tecnologias que possibilitem obter a sustentabilidade ambiental e econômica do sistema.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é cultivada em diversas regiões do mundo. Apesar de o Brasil ser o terceiro maior produtor mundial deste cereal, sua produtividade média é baixa, de modo que a área plantada não é suficiente para atender a demanda do mercado interno, gerando problemas de abastecimento para a indústria nacional. Somente cerca de 15% da produção brasileira se destina ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta na composição de outros produtos.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influencia da adubação verde, aplicação de nitrogênio e efeito residual da calagem nos atributos químicos do solo, características agronômicas e rendimento do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Culturas de cobertura

O Sistema Plantio Direto (SPD) pressupõe a existência de adequada quantidade de resíduos culturais sobre a superfície do solo. Para isso é necessário o cultivo de espécies capazes de produzir grande quantidade de matéria seca, crescimento rápido, resistência à seca e ao frio, não infestar áreas, ser de fácil manejo, ter sistema radicular vigoroso e profundo, elevada capacidade de reciclar nutrientes, fácil produção de sementes, elevada relação C/N, entre outras (EMBRAPA, 2001).

As opções de culturas de cobertura para serem incluídas em sistemas de rotação com culturas comerciais são amplas, devendo-se, conhecer as características agronômicas básicas da espécie a ser utilizada, o local de cultivo antes de sua implantação. Em anos de implantação do sistema, deve ser dada preferência ao cultivo de gramíneas como cultura de cobertura, pois a alta relação C/N acelera a formação da camada de proteção, com elevada estabilidade e na qualidade da matéria seca produzida.

Considerando que os solos tropicais são na maioria pobres, como os encontrados nas regiões de Cerrado com o clima favorecendo a rápida decomposição dos restos culturais, há a necessidade de se atentar para a quantidade e persistência dos resíduos vegetais produzidos pelas espécies antecessoras (ALVES et al., 1995). Nesse sentido na definição da escolha da gramínea a utilizar, a escolha deve recair sobre espécies com elevada produção de matéria seca e capacidade de formação de proteção mais estável na superfície do solo, destacando assim o milheto. No entanto, se o objetivo for à fertilidade do solo, a preferência deve ser dada a leguminosas, que além de proporcionarem produção de matéria seca, são capazes de fixar nitrogênio atmosférico.

Na região dos cerrados, segundo Pitol (1996), a cultura do milheto tem merecido grande destaque devido sua utilização na agricultura como cobertura do solo para plantio direto, caracterizando-se por respostas satisfatórias em solos corrigidos e adubados, apresentando elevada capacidade de produção de biomassa. Devido às suas raízes vigorosas e abundantes, a cultura do milheto permite a utilização de nutrientes que se encontram abaixo da camada arável (BONAMIGO, 2003), além de possibilitar nas condições de cerrado, e cultivo de primavera, alta capacidade de produção de matéria seca, superiores a 7,0 t ha^{-1}, como obtido por Guimarães (2000) em Selvíria-MS.

Vários trabalhos conduzidos na região sul do Brasil mostram os efeitos de diferentes espécies no sistema, mas poucos relatam sobre pesquisas desenvolvidas com a utilização de espécies mais adaptadas à região do cerrado. Na região do cerrado estudos de culturas de cobertura antecedendo a cultura do milho demonstram de maneira geral que as opções mais interessantes são milheto (DELAVALE, 2002; MURAISHI et al., 2005), e crotalária (CARVALHO, 2002).

Além dos benefícios já apontados, segundo Franchini et al. (2000), o manejo de solos tropicais com resíduos vegetais se constitui em estratégia para diminuir a acidez, pois compostos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular, liberados no período inicial da decomposição, colaboram para a neutralização da acidez ligando as bases, fato que contribui na promoção da ação em profundidade da calagem aplicada em superfície. Segundo estes mesmos autores os resíduos vegetais funcionam como um reservatório de nutrientes, sendo liberados lentamente pela ação de microrganismos, refletindo no comportamento e rendimento das culturas posteriores. Watt et al. (1991) e Noble et al. (1995) sugerem a formação de complexos organometálicos hidrossolúveis, para explicar as lixiviações de Ca^{2+} e Mg^{2+} após a aplicação de calcário e uso de resíduos vegetais.

2.2. Calagem em sistema plantio direto

A adição de calcário ao sistema de produção é de suma importância por corrigir atributos químicos do solo afetados pelo cultivo. Em condições de SPD, estas alterações são observadas principalmente na camada superficial, que apresenta uma tendência de maior acidificação, contribuindo para isso os resíduos de adubação e a decomposição de matéria orgânica, sobretudo de fertilizantes nitrogenados (CASTRO e MARIA, 1993). A calagem é uma prática usual para corrigir as camadas acidificadas, favorecendo, desta forma, o uso eficiente de fertilizantes pelas plantas (GOMES et al., 1997) e proporcionando melhorias no

crescimento das raízes é conseqüentemente na absorção de nutrientes e água pelas culturas (QUAGGIO et al., 1982).

Os materiais corretivos de acidez do solo mais usados na agricultura são rochas calcárias moídas, constituídas por misturas de minerais como a calcita e a dolomita, os quais possuem em sua composição carbonatos de cálcio e/ou magnésio, que são pouco solúveis em água. Para que a acidez do solo seja neutralizada, as partículas de solo devem entrar em contato com calcário ou com os produtos de sua transformação. Decorrendo daí, segundo Weirich Neto et al. (2000), a necessidade em se incorporar o calcário no solo da melhor forma possível. Entretanto, Moreira et al. (2001) mencionam que o efeito do calcário sobre a camada superficial do solo é maior quando o mesmo é aplicado em superfície, uma vez que a incorporação o dilui em uma camada mais espessa do solo.

No SPD, geralmente a prática da calagem apresenta uma dinâmica diferente dos preparos convencionais, sendo realizada superficialmente, esperando-se uma ação do calcário muito mais lenta e restrita às camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 1999). Resultados de pesquisas, realizadas em solos brasileiros, indicam pequeno ou nenhum deslocamento no perfil do calcário, além do local de aplicação (PAVAN et al., 1984), sendo assim, o pH e os teores de Ca e Mg trocáveis somente seriam aumentados na superfície do solo. A restrição do efeito alcalino do calcário ao seu local de aplicação pode ser atribuída, segundo Pavan et al. (1984), a sua baixa solubilidade, a geração de cargas dependentes de pH e a ausência de um ânion estável em sua reação no solo. Entretanto, Pavan (1997) e Caires et al. (1998), em outros trabalhos realizados no Brasil, verificaram aumentos de pH e Ca trocável, além de redução de Al trocável em camadas do subsolo onde houve a aplicação de calcário apenas em superfície.

Embora tenha havido grande crescimento de áreas sob plantio direto nos últimos anos, ainda há muitas controvérsias e indefinições sobre o manejo das culturas e fertilidade do solo neste sistema. Trabalhos recentes têm indicado que a necessidade de calcário no SPD talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo. Entretanto, segundo Caires et al. (2000), faltam informações a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo e de critérios de recomendação de calagem, com base na análise química do solo, em sistemas de plantio direto. Além disso a maioria dos estudos, já concluídos, se concentram na região sul do país. Portanto, há deficiência de informações quanto à reação do calcário aplicado na superfície em áreas de SPD localizadas em região de cerrado, que possuem condições edafoclimáticas distintas.

Com as dúvidas envolvendo a aplicação de calcário em plantio direto, Sousa (1997) recomenda, antes de se iniciar o SPD, aplicar o calcário a lanço na superfície do solo e posteriormente incorporá-lo com arado de discos, repetindo-se a análise de solo somente após três anos de cultivo, salientando que o calcário apresenta um efeito residual em torno de cinco anos nessa modalidade de cultivo. Rheinheimer et al. (2000), estudando as alterações químicas do solo em função da calagem superficial a partir de pastagem natural, concluíram que, antes de se iniciar o sistema plantio direto, há possibilidade de não se adotar o preparo convencional para correção da acidez superficial e subsuperfícial.

Procurando exemplificar os efeitos da calagem no plantio direto, Caires et al. (1996) desenvolveram um experimento em Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Grossa-PR, para as culturas de milho e soja, analisando o emprego de três doses de calcário para elevar a saturação por bases a 50%, 70% e 90%. Constataram que a calagem realizada na superfície exerceu efeito sobre o pH, Al, Ca e Mg na camada superficial (0-0,1 m) e também nas camadas mais profundas (0,2-0,4 m), ressaltando que em SPD existem canais formados por raízes mortas que são mantidos intactos devido a ausência de preparo do solo, propiciando condições para a movimentação física do calcário em profundidade, demonstrando assim existir maneiras de se evitar a interrupção do SPD, mantendo as características físicas, químicas e biológicas do solo, uma vez que são vitais para a obtenção de êxito neste sistema de cultivo, fato também constatado por Amaral et al. (2001), que observaram a contribuição do calcário aplicado em superfície no subsolo através da água infiltrada no solo.

Diante das evidências quanto a ação benéfica da calagem superficial atuando nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo, Sá (1996) salienta que o calcário colocado em superfície corrige a acidez, aumentando significativamente o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis até a profundidade de cinco centímetros e, em menor grau, nas camadas mais profundas. Esse comportamento do calcário, aplicado em superfície, pode ser explicado, segundo Rheinheimer et al. (2000), em função da mobilização do solo na linha de semeadura, possibilitando a incorporação do calcário nesta região, com os repetidos ciclos de cultivo, podendo auxiliar na movimentação descendente de suas partículas, mas não além da profundidade de semeadura. Outra hipótese apontada por Oliveira e Pavan (1996), em virtude de galerias abertas pela macro e meso fauna 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), além da possibilidade da movimentação de Ca e Mg trocáveis no solo e da redução de Al tóxico no subsolo estarem relacionados com o

mecanismo de lixiviação, através da formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos culturais.

As informações a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo, em SPD, bem como as conseqüentes alterações químicas do solo, sobre a nutrição mineral e a produtividade das culturas, são ainda bastante contraditórias (CAIRES et al., 1999). Caires et al. (2000) confirmam que há controvérsias quanto a eficiência da aplicação de calcário superficial em solos sob plantio direto, em relação à correção do subsolo e efeito sobre a cultura. Caires et al. (2006) não verificaram influência de doses de calcário aplicadas em superfície sobre o teor de macro e micronutrientes na cultura do milho ou rendimento de grãos desta após 12 meses da aplicação. No entanto, nos últimos anos, alguns resultados de pesquisa têm demonstrando a formação de uma frente alcalinizante que atua na neutralização da acidez no subsolo, avançando lentamente e proporcionando aumento de pH, Ca trocável e redução do Al tóxico (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998; REINHEIMER et al., 2000; CAIRES et al. 2000).

De acordo com Oliveira e Pavan (1996), a formação e migração de $Ca(HCO_3)_2$ e $Mg(CO_3)_2$ para as camadas mais profundas do solo é uma possível explicação, onde os resíduos vegetais desempenham papel fundamental, havendo a possibilidade de que os ânions, como nitratos, sulfatos, cloretos e silicatos presentes, originados da decomposição dos resíduos vegetais ou da adição de fertilizantes, contribuam para o caminhamento de Ca e Mg e, em menor grau, outros cátions também auxiliem (CAIRES et al., 1998).

Recentemente, a eficiência da calagem em superfície sobre a correção da acidez de subsolo, em SPD, tem sido associada a permanência dos resíduos vegetais na superfície e ausência de revolvimento do solo, que reduz a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microrganismos (LIMA, 2001), onde, com a disponibilidade de água, os complexos orgânicos são solubilizados e podem ser lixiviados (CAIRES, 2000).

Alguns experimentos demonstram que o efeito da calagem em superfície, em SPD, na correção da acidez do solo, assim como na produtividade das culturas, tem sido tão eficiente quanto a incorporação do corretivo (SÁ, 1998). Sá (1996), ao estudar modos de aplicação de calcário no plantio direto, encontrou resposta positiva no rendimento de grãos de dois cultivares de soja para calcário aplicado em superfície do solo, sendo, inclusive, as produtividades obtidas no SPD superiores às conseguidas no preparo convencional, além do que Caires et al. (2001) constataram que a aplicação de calcário na superfície em SPD melhorou a nutrição da soja, aumentando a produção de grãos, em decorrência de maior disponibilidade e absorção de Mg e da redução dos teores foliares de Zn e Mn.

Vale salientar que a calagem em superfície, em SPD, requer a adoção de critérios adequados para a estimativa da dose a ser aplicada, uma vez que pode ocasionar uma redução na absorção de Zn e Mn, em decorrência do aumento do pH na camada superficial, que poderia prejudicar o rendimento das culturas (CAIRES et al., 2000). Além disso, de acordo com Muzilli (2000), a calagem superficial poderá resultar em uma estratificação química ao longo do perfil podendo vir a interferir na produção das culturas, além de acarretar uma redução significativa nos teores de micronutrientes na camada superficial como o Zn e Mn superficialmente, surgindo assim a necessidade de buscar formas alternativas para viabilizar a mesma em áreas conduzidas por um longo tempo sob o sistema de plantio direto.

Portanto, embora as áreas sob SPD tenha tido um grande acréscimo nos últimos anos, ainda há dúvidas e indefinições sobre o manejo das culturas e fertilidade do solo neste sistema, principalmente no que se refere à adoção da calagem superficial em áreas de Cerrado, que apresentam clima e solo distintos dos encontrados na região centro sul, onde se concentra a maioria dos trabalhos e recomendações à adoção desta prática.

2.3. Adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto

O nitrogênio é um dos elementos mais abundantes na natureza, porém, a forma mais comum na atmosfera é a forma de gás (N_2), aproximadamente 72% em volume. Entretanto, essa forma não está prontamente disponível às plantas, isso ocorre devido a tripla ligação covalente excepcionalmente estável entre os dois átomos de nitrogênio, que o torna um gás inerte (EPSTEIN e BLOOM, 2004). Esses mesmos autores afirmam que a quebra dessa ligação demanda uma grande entrada de energia, energia esta que pode ser fornecida no processo industrial ou atmosférico. A fixação natural de nitrogênio se dá a uma taxa de 190 x 10^9 kg de N por ano, desse total 90% é resultado da fixação biológica de nitrogênio por microrganismos, 8 % pela ocorrência de relâmpagos e 2 % por reação fotoquímica.

Nos solos o maior reservatório de N está ligado a cadeias carbônicas da matéria orgânica, também em formas não diretamente disponíveis para as plantas. Geralmente menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como o íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-) (SÁ, 1996). O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento das plantas, pois é parte de cada célula viva, sendo constituinte de moléculas de proteína, enzimas, ácidos nucléicos e citocromos, além de sua importante função como integrante da molécula de clorofila (BÜLL, 1993).

Ao ser adicionada ao solo, a uréia, como fornecedora de N, é hidrolisada pela ação da enzima urease produzida por bactérias e actinomicetes, depois sofre amonificação, provocando uma forte elevação do pH próximo ao local onde ocorrem as reações, podendo haver perdas por volatilização de NH_3. No final deste processo, o N se transforma na forma amoniacal (MELLO, 1987).

De acordo com Vitti et al. (1999), em solos com resíduos vegetais na superfície ocorre maior imobilização do N na biomassa, devido ao maior consumo de nitrato pelos microrganismos, ocorrendo, portanto, menores teores de N nesta forma. Os mesmos autores ainda citam que a presença de N na forma amoniacal é uma vantagem, pois por ser um cátion, pode ser retida pelos minerais do solo, evitando perdas por lixiviação. Concordando com essa afirmação Sá (1993) afirmou que essa maior perda de N pode ser compensada pela liberação lenta e gradual desse elemento, ao longo dos anos, através da mineralização do material orgânico que parece equilibrar a oferta e a demanda pelas culturas.

O fluxo de liberação de N ao sistema será influenciado pela presença de resíduos com maior ou menor relação C/N. Do ponto de vista de utilização de N pelas plantas, a mineralização contínua dos resíduos culturais em taxas menores pode contribuir com quantidades expressivas de N para as plantas. A decomposição do material orgânico na superfície do solo e a relação C/N do mesmo assume um papel importante no cultivo do milho, pois a seqüência de espécies com elevada ou baixa relação C/N mostra resultados diferentes quanto a utilização de nitrogênio. Portanto, é importante compreender a dinâmica do nitrogênio do ponto de vista do sistema de produção, porque além das condições edafoclimáticas de cada região, os processos de transformação são diferenciados.

Segundo Goedert (1985), a principal meta dos trabalhos com nitrogênio é aumentar o aproveitamento dos adubos nitrogenados. Essa meta pode ser alcançada através do melhoramento genético, com o objetivo de aumentar a eficiência de absorção, utilização ou transformação de N pelas culturas; através de processos químicos, mediante a adição de produtos específicos, que inibem a atividade dos microorganismos responsáveis pela conversão de amônio ou uréia em nitrato; e pela adoção de práticas agronômicas, tais como fontes, doses e métodos de aplicação adequados.

Na região do cerrado, em alguns experimentos onde se avalia a resposta à adubação nitrogenada, não se tem observado diferenças na produtividade de grãos de culturas anuais entre o sistema de cultivo convencional e sistema plantio direto no tratamento sem nitrogênio. Isto pode estar associado à maior velocidade de decomposição dos restos de culturas que ficam na superfície do solo no sistema plantio direto (SOUZA, 2003).

O manejo da adubação nitrogenada sempre teve como características a falta de parâmetros analíticos, para subsidiar com sucesso a decisão do técnico sobre a quantidade a aplicar de N e as dúvidas quanto ao fracionamento, devido às incertezas sobre o comportamento do fertilizante aplicado e do N no solo. Portanto, o manejo da adubação nitrogenada no sistema plantio direto requer estudos a médio e longo prazo que envolvam os processos de transformação do N inseridos nos sistemas de rotação cultural em nível regional. (LARA CABEZAS, 1998).

A acidez dos solos influencia na molécula de nitrogênio que ficará disponível na solução do solo para absorção pelas plantas, essa molécula poderá ser amônio ou nitrato. A acidez inibe a produção de nitrato em solos que recebem aplicação de amônio, assim como a nitrificação é favorecida pela calagem. A taxa de nitrificação decresce abaixo de pH 6,0 e é insignificante abaixo de pH 4,5 em água (ADAMS e MARTIN, 1984). Assim, Rosolem et al. (2003) afirmam que a calagem aumenta a mineralização e a nitrificação, disponibilizando nitrogênio às plantas e aumentando a lixiviação de nitrato no perfil do solo, independente do modo e aplicação do corretivo. O íon nitrato é, normalmente, muito móvel no perfil do solo, especialmente em SPD, no qual a taxa de infiltração de água tende a ser maior. Pearson et al. (1962) observaram efeito da calagem em profundidade quando grandes quantidades de calcário e fertilizantes nitrogenados foram aplicadas na superfície de solos tropicais. No entanto, sem aplicação de N na forma nítrica, o movimento do calcário não foi expressivo. Segundo estes autores isso se deve à formação de sais solúveis, sujeitos à lixiviação pelo movimento descendente da água. No SPD este efeito de transporte de bases em profundidade é desejável, no entanto de difícil obtenção, pois neste sistema a calagem é realizada em superfície, para evitar a mobilização do solo.

Considerando estes aspectos Rosolem et al. (2003), ao estudarem o comportamento de nitrogênio aplicado em cobertura e da calagem em superfície, em condições de vaso, afirmam que ocorre uma supercalagem nos primeiros centímetros do perfil, região de maior densidade de raízes, onde se aplica o fertilizante. Assim, nesta região o pH é mais alto, favorecendo a nitrificação. No entanto o fertilizante nitrogenado atua acidificando a região. A planta, por sua vez, dependendo da forma de N absorvido, pode contribuir para a acidificação ou elevação do pH, havendo necessidade destes aspectos serem estudados em solos tropicais.

Muzilli e Oliveira (1982) citam que para obter altos rendimentos de grãos é necessário, dentre outros fatores, uma adequada disponibilidade de nutrientes às plantas. O nitrogênio é o elemento que mais freqüentemente limita o rendimento de grãos de milho e o que proporciona as maiores respostas de rendimento de grãos da cultura. Segundo Aratani (2003), para o

cultivo de milho no sistema plantio direto sobre palha de milheto na região de cerrado é essencial a realização da adubação nitrogenada. Em anos nos quais as condições climáticas são favoráveis à cultura do milho, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} (AMADO et al., 2002) e 160 kg ha^{-1} (SILVA et al., 2005a). Essa quantidade elevada dificilmente será suprida pelo solo, havendo necessidade de usar fontes suplementares deste nutriente. Para tal, é necessário a utilização isolada ou combinada de adubos minerais e adubos verdes. Além disso, é importante que a quantidade de N aplicada seja a mais exata possível, minimizando o excesso, que prejudica a qualidade ambiental e onera a produção, além de evitar o déficit, que compromete o rendimento projetado (AMADO et al., 2002). A magnitude de substituir a adubação nitrogenada mineral do milho pelas leguminosas de cobertura depende de diversos fatores, dentre os quais se destaca a quantidade de N acumulada pelas leguminosas, a velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos culturais, a disponibilidade de N do solo, o potencial de rendimento do milho e o nível tecnológico empregado na cultura (AITA et al., 2001).

Segundo Cantarella (1993), no Brasil, a magnitude das respostas a nitrogênio tem sido variável, mas a maioria dos ensaios indica respostas significativas a doses entre 30 e 90 kg ha^{-1} de N. O mesmo autor ainda cita que a absorção de nitrogênio pelo milho é mais intensa no período entre 40 e 60 dias após germinação. Assim, os métodos de adubação nitrogenada na cultura do milho utilizados atualmente preconizam a aplicação de parte da dose de N na semeadura e o restante quando a planta possuir de quatro a oito folhas expandidas (RAIJ, 1996). A alta demanda por nitrogênio e explicada por EPSTEIN (1999) por ser constituinte de moléculas importantes para seu desenvolvimento como proteínas, ácidos nucléicos, alguns hormônios e clorofila.

Portanto, há evidências de possíveis interações entre o modo de aplicação do calcário e doses de nitrogênio, culturas de cobertura e quantidade ideal de nitrogênio a ser utilizada, tanto no que se refere a acidificação do solo pelos cultivos, como para o desempenho da cultura do milho. No entanto há deficiência de estudos que demonstrem o efeito destes fatores, em condições de campo na região do cerrado sob plantio direto, no que se refere as características químicas do solo e também no desenvolvimento da cultura do milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS, (51°22'W e 20°22'S e altitude de 335 m), região esta caracterizada por clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura e precipitação média anual de 23,5°C e 1.350 mm, respectivamente. O solo foi reclassificado, segundo sistema brasileiro de classificação (EMBRAPA, 1999), como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, possuíndo 660 g kg^{-1} de argila, 120 g kg^{-1} de silte e 220 g kg^{-1} de areia na camada 0 - 0,2 m. Anteriormente, a área experimental vinha sendo cultivada com culturas anuais, em sistema convencional de preparo do solo (aração e/ou grade pesada + grade niveladora). Nesta área realizou-se uma amostragem de solo na camada de 0-0,2 m (Tabela 1), anterior a instalação do experimento (setembro/2000).

Tabela 1: Resultados da análise química da amostra de solo da área experimental, anterior a instalação do experimento[1]. Selvíria-MS, 2001.

Prof.	P resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
M	mg dm^3	g dm^3	$CaCl_2$	mmolc dm^3							%
0-0,2	37	26	4,7	2,1	19	11	34	2	31,7	65,7	48

[1]metodologia de Raij e Quaggio (1983).

O método utilizado para o cálculo da necessidade de calagem foi o da elevação da saturação por bases (RAIJ et al., 1996) objetivando-se obter valor de saturação por bases de 70%. Em função dos resultados obtidos na análise do solo, a dose de calcário determinada foi de 1,59 t ha^{-1} (PRNT 91%), utilizando-se calcário dolomítico, o qual apresentava 39% de CaO, 13% de MgO.

Os tratamentos avaliados foram:

A- residual de épocas e modos de aplicação da necessidade de calagem (NC) calculada objetivando uma saturação por bases de 70%, aplicada na implantação do sistema plantio direto: T1 - aplicação da NC em outubro de 2001, incorporada a 0 - 0,2 m; T2 - aplicação da NC em outubro de 2001, em superfície; T3 - aplicação de 1/2 da NC em outubro de 2001 e 1/2 em agosto de 2002, em superfície; T4 - aplicação de 1/3 da NC em março de 2001, 1/3 em outubro de 2001 e 1/3 em agosto 2002, em superfície; T5 - testemunha (sem aplicação de calcário);

B- culturas de cobertura: milheto (*Pennisetum americanum*) e crotálaria (*Crotalaria juncea*), semeados como cultura de primavera em 2003, 2004 e 2005;

C- Doses de nitrogênio na cultura do milho (Subparcelas): 0; 90 e 180 kg ha^{-1} de N em cobertura, mantidas nos três anos agrícolas;

Na área experimental, na safra 2000/01, foi iniciado um experimento com épocas e modos de aplicação de calcário, na implantação do sistema plantio direto, conforme descrito no item A e culturas de cobertura semeadas na entressafra. Nesta ocasião, o delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com 3 repetições. As culturas de cobertura utilizadas inicialmente foram: milho (somente para produção de palha), semeado em maio/2001 e capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*), semeado em setembro/02, nas parcelas que posteriormente receberam, por 3 anos agrícolas sucessivos, o milheto como cultura de cobertura. Nas demais parcelas, utilizou-se inicialmente o sorgo, também apenas para produção de palha, em 2001 e 2002, nas mesmas épocas de semeadura do milho e do capim pé-de-galinha, posteriormente estas parcelas receberam a crotalária como cultura de cobertura semeada na primavera (2003, 2004 e 2005). Nos anos agrícolas 2000/01, 2001/02 e 2002/03, a cultura de verão utilizada, foi a soja, substituída por milho nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06.

A semeadura das culturas de cobertura (milheto e cortalário) foram realizadas mecanicamente em todos os cultivos (2003, 2004 e 2005), utilizando uma semeadoura apropriada para sementes miúdas, em espaçamento de 0,34 m e 15 kg ha^{-1} de sementes. O manejo destas culturas antecedendo a semeadura do milho contou com dessecação utilizando 5 L ha^{-1} de glifosato e 1,5 L ha^{-1} de 2,4 D, 15 a 20 dias antes da realização da semeadura.

Inicialmente as parcelas apresentavam as dimensões de 15 x 12 m. Posteriormente, na safra 2003/04, estas parcelas foram divididas em 3 subparcelas (5 x 12 m), para aplicação das doses de N (0, 90 e 180 kg ha^{-1}) na cultura do milho, passando a ser considerado como área útil 2 linhas centrais com 6 m de comprimento.

O híbrido de milho utilizado nos dois primeiros cultivos (2003/04 e 2004/05) foi o Agromen 3050 (Simples, Super Precoce), substituído pelo Agromen 20A20 (Triplo, Precoce) no terceiro cultivo (2005/06). A adubação de semeadura, nos três anos agrícolas, foi a mistura de 150 kg de superfosfato triplo (41 % P_2O_5) e 100 kg de cloreto de potássio (60% K_2O), totalizando 250 kg ha^{-1} (61,5 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O). Para semeadura do milho em todas as safras utilizou-se a semeadora-adubadora Marchesan (Suprema-Pneumática), com sistema de distribuição de adubo tipo haste (facão), com espaçamento de 0,9 m entre linhas e densidade de 5,4 sementes m^{-1} linear (60000 semente ha^{-1}). Nas parcelas que posteriormente receberiam adubação nitrogenada, foi aplicado 20 kg de N ha^{-1}, tendo como fonte o Sulfato de Amônio, logo após a semeadura, compondo a adubação de base. A primeira adubação de cobertura, 70 kg N ha^{-1} utilizou uréia como fonte, foi realizada em todos os tratamentos que receberam nitrogênio e a segunda adubação nitrogenada realizou-se apenas nas parcelas com dose total de 180 kg de N ha^{-1} de N, sendo aplicado 90 kg de N ha^{-1}, tendo como fonte novamente a uréia. Em todas as aplicações de fertilizantes nitrogenados estes foram incorporados (0,05 a 0,1 m) mecanicamente utilizando adubador de discos desencontrados, apropriado para o sistema plantio direto. As adubações de cobertura foram realizadas quando as plantas de milho atingiram 4 a 5 e 6 a 7 folhas verdadeiras, respectivamente, para a primeira e segunda aplicações. O cronograma de execução destas atividades encontra-se descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Cronograma de atividades e tratos culturais realizados nos três anos agrícolas. Selvíria MS, 2008.

Atividade/ Ano Agrícola	**2003/04**	**2004/05**	**2005/06**
Semeadura das culturas de cobertura	11/10/03	21/10/04	06/09/05
Semeadura do milho	19/12/03	16/12/04	15/12/05
1º cobertura nitrogenada (4-5 folhas)	07/01/04	14/01/05	06/01/06
2° cobertura nitrogenada (6-7 folhas)	22/01/04	31/01/05	18/01/06
Coleta de folhas milho (pendoamento)	20/02/04	14/02/05	27/02/06
Colheita milho	16/04/04	12/04/05	27/04/06
Amostragem de solo	18/04/03		29/05/06

Os tratos culturais relacionados ao manejo de plantas daninhas e pragas (lagarta do cartucho), foram realizados conforme recomendações para a cultura e necessidade baseada no monitoramento de incidência e nível de controle.

As avaliações constaram de:

A - Culturas de cobertura

- **Produção de matéria seca e teor de nutrientes nas culturas de cobertura no ano agrícola 2005/06:** anterior a dessecação (12/11/2005) foram coletadas, em todas as parcelas, amostras das plantas de crotálaria e milheto contidas em 1 m em 2 linhas por parcela. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65ºC, até a obtenção de peso em equilíbrio, e posteriormente foram pesadas e transformadas em kg ha^{-1} de matéria seca. Parte deste material foi moído em moinho tipo Wiley, acondicionado em sacos plásticos e posteriormente determinou-se os teores de N, P, K, Ca e Mg, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

B - Cultura do milho

- **Avaliação do estado nutricional das plantas:** No momento do florescimento da parte feminina foram coletadas, em cada parcela, amostras do terço médio de 10 folhas da base da espiga superior, conforme metodologia descrita por Raij et al. (1996). O material foi moído em moinho tipo Wiley e posteriormente armazenamento em saquinhos plásticos, devidamente identificados. Nesse material foram determinados os teores de N, P, K, Ca e Mg, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

- **População final de plantas:** foi estimada contando-se as plantas contidas em 2 linhas com 2 m de comprimento, na área útil de cada parcela, na época da colheita e os valores foram transformados em população de plantas por hectare.

- Altura de plantas e da espiga: antes da colheita de cada parcela avaliou-se a distância entre o solo e a base da espiga e do solo a inserção da última folha, em 10 plantas seguidas em uma das linhas da área útil da parcela.

- **Número de grãos por espiga:** foi avaliado através da contagem do número de fileiras de grãos e do número de grãos por fileira em 5 espigas provenientes da área útil de cada parcela, separadas aleatoriamente antes da trilha mecânica.

- **Massa de 1000 grãos:** foi estimada através da contagem de três repetições de 100 grãos, proveniente da colheita da área útil de cada parcela, com posterior pesagem em balança de precisão e estimativa da massa de 1000 grãos.

- **Produção de grãos:** foram coletadas todas as espigas das plantas contidas em 2 linhas com 4 m de comprimento na área útil da parcela, que foram trilhadas mecanicamente, sendo os grãos pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} e corrigidos para umidade de 13% (base úmida). A umidade foi determinada por aparelho digital, momento antes da pesagem dos grãos.

C – Análise Química do Solo

A primeira amostragem de solo foi realizada em abril de 2003, com a coleta de duas subamostras por parcela e posterior homogeneização para cada camada de profundidade. A coleta foi realizada através da abertura de pequena trincheira transversal nas linhas de plantio da soja, possuindo 0,45 m de largura (espaçamento de semeadura da soja) e 0,40 m de profundidade. A segunda amostragem foi realizada em maio de 2006 na área útil de cada subparcela, em quatro camadas de profundidade através da abertura de pequena trincheira transversal nas linhas de semeadura do milho, possuindo 0,9 m de largura (espaçamento de semeadura do milho) e 0,40m de profundidade. Em ambas coletas após a abertura da mini trincheira, realizou-se a limpeza de uma das faces e posteriormente retirou-se em quatro intervalos de profundidade (0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m) uma porção de aproximadamente 0,03 m de espessura e abrangendo toda extensão da trincheira aberta, com auxílio de uma pá de corte, de acordo com recomendações de Cantarutti et al. (1999). As amostras foram homogeneizadas, secas ao ar, peneiradas e analisadas em laboratório, determinando-se os teores de P, MO, K, Ca, Mg, H+Al, Al e valores de pH, além dos valores calculados CTC a pH -7,0, soma de bases e saturação por bases de acordo com metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983).

Os dados obtidos nas avaliações foram analisados estatisticamente pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, enquanto para as dose de N realizou-se análise de regressão polinomial. Para tanto, utilizou-se o programa estatístico Sisvar 5.0 (FERREIRA, 2003).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Teor de nutrientes e produção de matéria seca das culturas de cobertura

Os resultados obtidos na avaliação das culturas de cobertura cultivadas antecedendo o cultivo de milho em SPD, no ano agrícola (2005/06), são apresentados na Tabela 3. Observa-se, que para todos os macronutrientes determinados na parte aérea destas (N, P, K, Ca, Mg), a crotalária apresentou teores superiores, estatisticamente significativos, em relação ao milheto, concordando com dados obtidos por Silva et al. (2006) em condições semelhantes de cultivo destas coberturas. No entanto, para o residual da aplicação de calcário, os teores dos nutrientes analisados se comportaram de maneira indiferente. Enquanto em relação ao residual das doses de N, aplicadas nos anos agrícolas 2003/04 e 2004/05 na cultura do milho, verificaram-se efeitos significativos Ca e Mg (Figura 1) e interação em relação ao teor de N (Figura 2) e P (Tabela 4). Ao observar o resultado dos teores de cálcio e magnésio presentes na parte aérea das culturas de cobertura (Figura 1), nota-se que estes nutrientes se comportaram de maneira semelhante, ou seja, para os dois nutrientes houve acréscimo linear crescente em relação às doses de N aplicadas ao sistema. Quanto ao teor de fósforo (Tabela 4) verifica-se acúmulo linear na matéria seca da crotalária, com o residual de nitrogênio, enquanto na cultura do milheto houve ajuste quadrático, mas independente da dose de nitrogênio utilizada na cultura do milho a crotalária apresentou os maiores teores médios de fósforo.

Na Figura 2, encontra-se a regressão para os teores de N determinados na parte aérea das culturas de cobertura. De acordo com estes resultados, pode-se afirmar que independente da dose de N adotada nos dois cultivos anteriores com milho, a crotalária apresentou teores praticamente duas vezes maiores aos encontrados no milheto. A crotalária teve um incremento significativo no teor de N na parte aérea entre as doses de 90 e 180 kg ha^{-1}. Os teores de N obtidos no milheto encontram-se todos abaixo dos 18,5 g kg^{-1}, encontrados por Carvalho

(2002), mas concordam com os teores obtidos por Aratani (2003) sem o uso de adubação nitrogenada em seu cultivo.

Tabela 3. Valores de F, teores médios de Mg, Ca K, N, P na parte aérea e médias de matéria seca das culturas de cobertura, ano agrícola 2005. Selvíria-MS[1].

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Matéria seca
	g kg^{-1}					kg ha^{-1}
Milheto	12,1 b	2,3 b	11,8 b	5,4 b	3,6 b	4173
Crotalária	25,6 a	2,9 a	17,3 a	10,8 a	4,0 a	4186
NC Incorporada	19,0	2,5	13,7	8,3	4,0	4229
NC Superfície	18,6	2,5	15,1	7,9	3,6	4087
½ NC + ½ NC super.	19,1	2,6	14,7	8,3	3,9	3666
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	19,2	2,8	12,9	8,1	4,0	4308
Sem calcário	18,4	2,6	16,4	7,8	3,7	4606
0	18,31	2,57	14,57	7,82	3,37	3256
90	17,72	2,73	14,62	7,82	3,73	4320
180	10,66	2,62	14,60	8,73	4,50	4963
Teste F						
Cobertura(C)	243,97**	50,46**	32,16**	327,02**	9,19**	0,00^{ns}
Modos (M)	0,13^{ns}	1,22^{ns}	1,53^{ns}	0,37^{ns}	1,22^{ns}	0,96^{ns}
Doses N (N)	5,04*	2,47ns	0,05^{ns}	8,82**	26,02**	14,95**
C x M	0,73^{ns}	0,42ns	0,24^{ns}	0,61^{ns}	1,33^{ns}	1,92^{ns}
C x N	3,51*	4,92*	2,53^{ns}	2,88^{ns}	1,33^{ns}	13,06**
M x N	0,75^{ns}	1,69ns	2,86*	1,52^{ns}	0,35^{ns}	1,78^{ns}
M x C x N	1,20^{ns}	1,53^{ns}	0,34^{ns}	1,14^{ns}	1,51^{ns}	1,72^{ns}
RL	6,42	0,24^{ns}	0,01^{ns}	10,88**	51,98**	29,32
RQ	4,87	2,66^{ns}	0,01^{ns}	1,68^{ns}	2,44^{ns}	0,591^{ns}
CV1 (%)	22,20	15,56	29,51	16,87	19,25	35,50
CV2 (%)	19,00	14,25	24,54	13,11	15,72	29,22

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

As culturas de cobertura não diferiram entre si quanto ao rendimento de matéria seca, Tabela 3, também não houve influência dos modos e épocas de aplicação de calcário para rendimento de matéria seca das culturas de cobertura, porém houve uma interação significativa entre culturas cobertura e residual das doses de N. Apesar destas doses de N serem aplicadas após o cultivo das culturas de cobertura, no cultivo do milho verão, nota-se o efeito residual da adição de fertilizantes nitrogenados no sistema. Esse residual deve-se provavelmente a aplicação por dois cultivos consecutivos das doses de N, além da baixa produção de grãos de milho no cultivo 2004/05, conseqüentemente baixa exportação de N. Portanto, fica evidente o aproveitamento do nitrogênio adicionado ao sistema no verão pelo cultivo de entressafra, promovendo grande acréscimo na produção de matéria seca do milheto (Figura 3). A resposta do milheto em relação às doses de N foi linear, analisando a equação (Figura 3), verifica-se que a mesma revela que cada kg de N aplicado no milho, seu residual incrementou 18 kg ha^{-1} de rendimento de matéria seca no milheto, superando a crotalária no rendimento de matéria seca na dose de 180 kg ha^{-1}. O rendimento de matéria seca da crotalária manteve praticamente inalterado independente da dose, fato explicado por ser a crotalária uma leguminosa com alto potencial de fixação biológica de N, não tendo seu rendimento limitado pela ausência de adição deste elemento ao sistema. O rendimento médio de matéria seca do milheto nas parcelas que receberam 180 kg de N ha^{-1} como adubação nitrogenada no cultivo de milho (Figura 3) é semelhante ao observado por Aratani (2003), 5330 kg ha^{-1} e inferior aos obtidos por Muraishi et al. (2005), 6779 kg ha^{-1} e Guimarães (2000), acima de 7000 kg ha^{-1}. Entretanto, as médias de matéria seca obtidas nas demais doses ficaram muito abaixo dos valores observados na dose de 180 kg de N ha^{-1} (Figura 3), demonstrando a influência negativa da exploração da área apenas por gramínea, sem rotação, nos dois anos agrícolas anteriores.

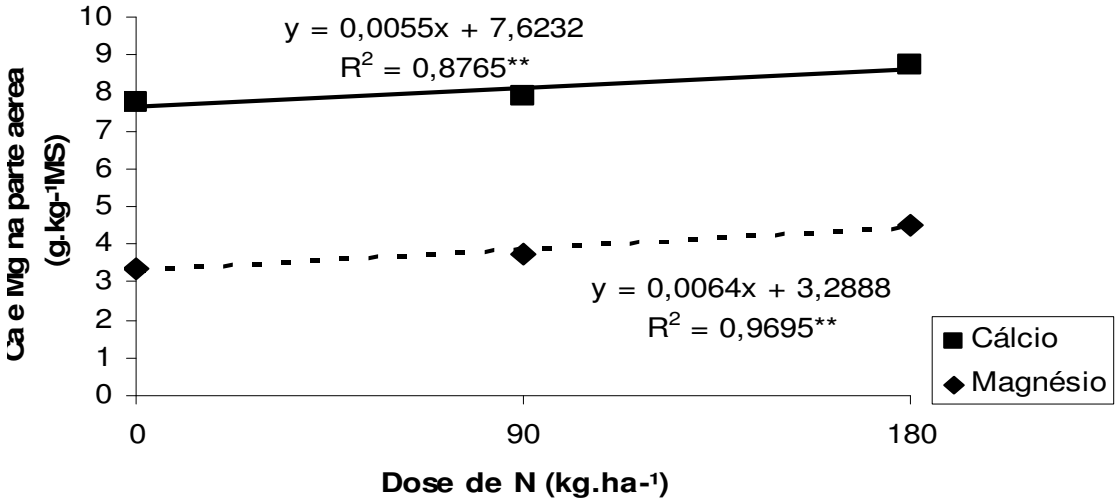


Figura 1. Teores de cálcio e magnésio presente na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005.

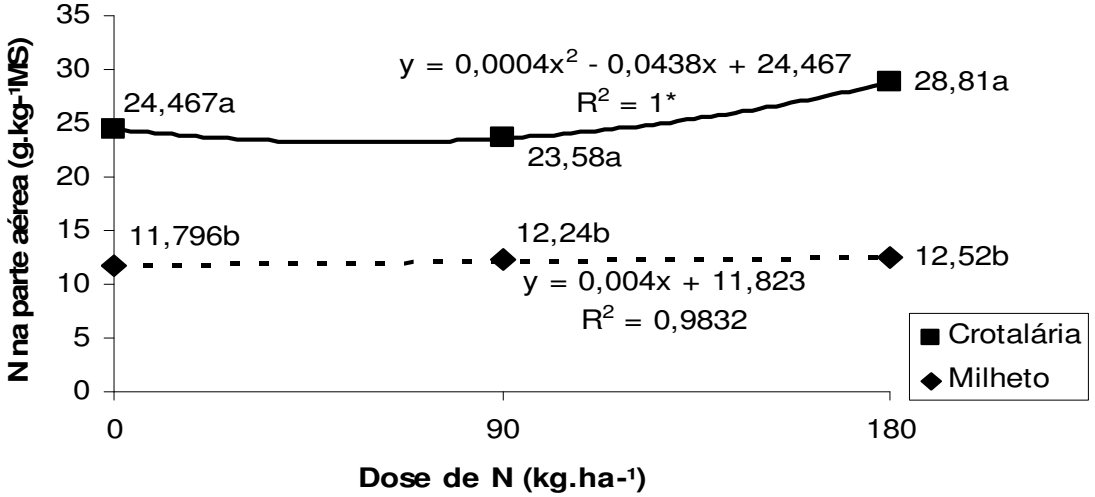


Figura 2. Teores de nitrogênio na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005.

Tabela 4. Teores de fósforo (g kg^{-1}) na parte aérea das culturas de cobertura em função das doses de N[1]. Selvíria-MS, 2006.

Cult./Doses	0	90	180	Equações	R^2
Milheto	2,32 b	2,56 b	2,14 b	$y=-0,000042x^2 + 0,006541x + 2,315$	100**
Crotalária	2,82 a	2,90 a	3,10 a	$y=0,001533x + 2,807$	93,31**

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

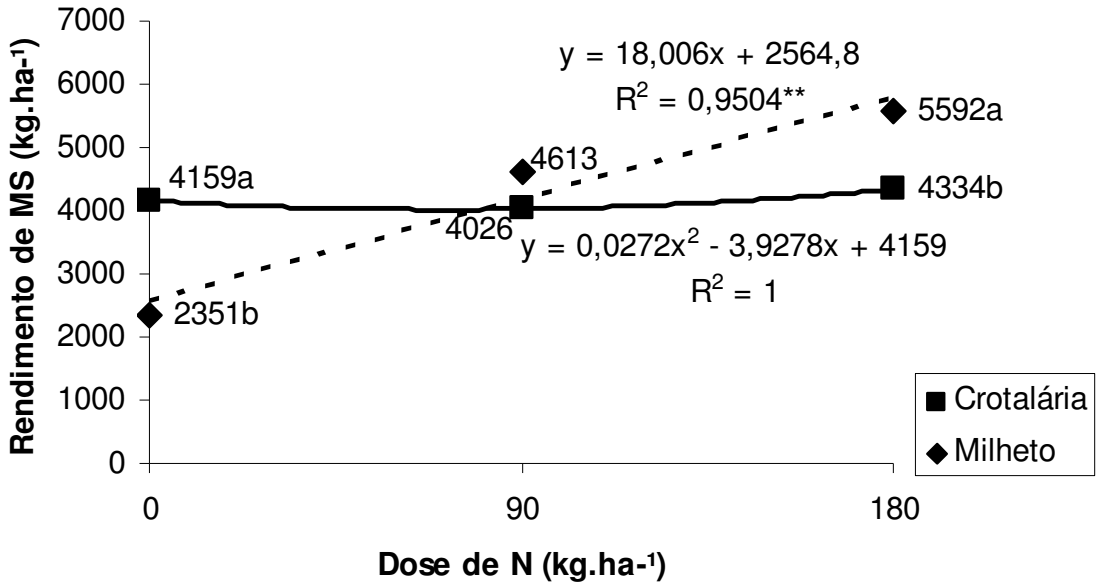


Figura 3. Matéria seca das culturas de cobertura em função das doses de N. Selvíria-MS, 2005/06.

4.2. Estado nutricional e características agronômicas da cultura do milho

Os teores de N nas folhas de milho apresentaram interação significativa entre doses de nitrogênio e culturas de cobertura nos anos agrícolas 2003/04 e 2005/06 (Tabela 5 e Figura 4), onde, no ano agrícola 2003/04, quando o milho foi cultivado em área anteriormente com crotalária o teor de N teve comportamento linear crescente em função das doses de N, no entanto, a equação apresentou baixa inclinação, demonstrando pouca resposta do milho às doses de N sobre esta cultura de cobertura. Quando o milho não recebeu adubação nitrogenada, a média do teor de nitrogênio foi significativamente superior, no cultivo sobre crotalária, já nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, não se diferiram ($P < 0,05$) das médias obtidas sobre milheto (Figura 04 - A). No terceiro ano de cultivo (2005/06), os teores foliares de N na cultura do milho apresentaram comportamento semelhante ao primeiro cultivo, apresentando interação entre doses de nitrogênio e culturas de cobertura, com a crotalária possibilitando teores superiores significativamente, nas parcelas sem nitrogênio e 90 kg N de ha^{-1}, sem diferir estatisticamente na dose de 180 kg de N ha^{-1} (Figura 04 - C).

No terceiro cultivo, nas duas coberturas, o incremento no teor de nitrogênio foi representado por equações quadráticas (Figura 4 - C), entretanto, sobre milheto a necessidade de nitrogênio aplicado ao milho para obtenção de teores acima de 27 g kg^{-1} de MS, preconizados por Raij et al. (1996) como mínimo adequado para o bom desenvolvimento desta cultura, foi segundo o modelo ajustado 101,5 kg de N ha^{-1}, superior a dose recomendada

por estes autores para a situação de média resposta (90 kg de N ha^{-1}) e inferior a recomendada para alta resposta 120 kg de N ha^{-1}. Quando a cultura de cobertura antecessora ao milho foi a crotalária, a dose necessária para atingir este teor mínimo foi de apenas 50,5 kg de N ha^{-1}.

Com os dados apresentados na Tabela 3 (teor de N kg^{-1} de MS e rendimento de MS ha^{-1}) é possível obter o teor de N total ha^{-1} acumulado na parte aérea das culturas de cobertura. A crotalária apresentou um acúmulo médio de 107,2 kg de N ha^{-1}, enquanto o milheto acumulou 50,8 kg de N ha^{-1}, somando estes valores às respectivas necessidades de N-fertilizante para obtenção de teor foliar no milho considerado normal, nas respectivas coberturas obtêm valores similares, ou seja, 157,7 kg de N ha^{-1} quando se utiliza crotalária e 152,3 kg de N ha^{-1} para o uso do milheto. Portanto, aparentemente a cultura do milho necessita da adição total de aproximadamente 155 kg de N ha^{-1} (N-fertilizante + N-material orgânico) por ciclo de cultivo para obtenção de teores foliares de N igual a 27 g kg^{-1} de MS.

No primeiro cultivo como a área possuía histórico de três cultivos anteriores com soja, a necessidade de nitrogênio adicionado para obtenção de teor adequado foi de 76,3 kg de N ha^{-1} sobre milheto, enquanto sobre crotalária, esse valor foi obtido, sem a necessidade de adubação. Portanto, após três cultivos sucessivos de milho, caso a opção seja utilizar crotalária como adubo verde, verifica-se baixa necessidade de N-fertilizante, para elevação do teor de N na folha a valores considerados normais.

Perin et al. (2006) relataram que a crotalária em cultivo solteiro, apresenta em sua parte área 173 kg de N ha^{-1}, sendo a metade deste N liberado em 15 dias após o manejo para a cultura subseqüente, explicado os resultados obtidos neste trabalho. Silva et al. (2006), em região de cerrado, obteve acumulo de 169 kg ha^{-1} de N pela crotalária contra 68,50 kg ha^{-1} acumulados pelo milheto, superando os valores obtidos no cultivo destas culturas em 2005.

Tabela 5. Valores de F e médias de teores de macronutrientes (g kg^{-1} de MS) nas folhas de milho em função do residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de N em três safras, selvíria-MS, 2008[1].

Macronutrientes	N			Mg		Ca		K		P	
Trat./Anos	2003/04	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06
Milheto	-	20,01	24,48 b	2,48	3,72	1,97	7,78	10,16	10,97	1,9	3,97 b
Crotalária	-	21,67	27,69 a	2,13	3,91	2,00	7,94	9,75	11,08	1,94	4,13 a
NC Incorp.	28,21	20,66	25,33	2,19	3,88	2,16 a	8,04	9,87	10,77	1,9	3,98
NC Sup.	27,57	21,59	26,66	2,24	3,84	2,02 ab	7,79	10,5	10,35	1,95	4,18
½ NC+½NC super.	28,21	20,23	26,60	2,26	3,88	2,03 ab	7,94	10,4	10,79	1,97	3,99
⅓NC+⅓NC+⅓NC	28,56	21,54	25,97	2,26	3,85	1,95 ab	7,98	9,17	11,25	1,95	4,13
Sem calcário	27,64	20,19	26,66	2,57	3,81	1,78 b	7,57	9,87	11,95	1,84	3,97
0	26,11	15,86	23,90	2,24	3,89	1,84	7,91	9,7	11,42	1,53	3,84
90	28,59	22,76	26,50	2,44	3,98	2,11	7,98	10,02	10,44	2,02	4,06
180	29,42	23,90	27,86	2,24	3,64	2,01	7,70	10,14	11,20	2,23	4,26
Teste F											
Culturas (C)	9,03**	$4,37^{ns}$	21,62**	$3,73^{ns}$	$1,68^{ns}$	$0,11^{ns}$	$0,87^{ns}$	$1,35^{ns}$	$0,054^{ns}$	$0,54^{ns}$	4,71*
Modos (M)	$0,69^{ns}$	0,60ns	$0,51^{ns}$	$0,57^{ns}$	$0,38^{ns}$	3,81*	$1,17^{ns}$	$1,79^{ns}$	$1,702^{ns}$	$0,54^{ns}$	$1,31^{ns}$
Doses N (N)	34,53**	62,78**	5,89**	$0,32^{ns}$	$2,56^{ns}$	$2,39^{ns}$	$1,16^{ns}$	$0,42^{ns}$	$1,320^{ns}$	65,66**	9,72**
C x M	$0,56^{ns}$	$0,26^{ns}$	$0,29^{ns}$	$2,22^{ns}$	$0,52^{ns}$	$0,67^{ns}$	$0,47^{ns}$	$0,96^{ns}$	$2,064^{ns}$	$0,65^{ns}$	$0,84^{ns}$
C x N	7,02**	$0,01^{ns}$	18,22**	$0,71^{ns}$	$1,36^{ns}$	$0,07^{ns}$	3,45*	4,08*	$0,199^{ns}$	$0,38^{ns}$	$2,39^{ns}$
M x N	$0,64^{ns}$	$0,83^{ns}$	$1,16^{ns}$	$0,43^{ns}$	$0,40^{ns}$	$0,44^{ns}$	$0,84^{ns}$	$1,07^{ns}$	$0,953^{ns}$	$0,94^{ns}$	$0,85^{ns}$
CxMxN	$0,86^{ns}$	$0,47^{ns}$	$1,38^{ns}$	$0,58^{ns}$	$0,618^{ns}$	$0,34^{ns}$	$1,08^{ns}$	$1,33^{ns}$	$0,753^{ns}$	$1,08^{ns}$	$0,90^{ns}$
RL	63,82**	107,25**	11,43**	$0,01^{ns}$	$2,65^{ns}$	$2,01^{ns}$	$1,17^{ns}$	$0,71^{ns}$	$0,13^{ns}$	124,68**	19,42**
RQ	5,25*	18,32**	0,35	$0,64^{ns}$	$2,47^{ns}$	$2,76^{ns}$	$1,14^{ns}$	$0,05^{ns}$	$2,51^{ns}$	6,64*	$0,02^{ns}$
CV_1 (%)-Parcela	7,68	18,07	12,58	36,85	14,00	17,69	9,36	16,98	17,95	15,37	8,87
CV_2 (%)–Sub-parcela	5,77	14,42	17,38	50,26	15,40	24,58	9,63	19,26	22,25	12,62	9,03
Média Geral	28,04	20,84	26,09	2,30	3,84	1,99	7,86	9,95	11,02	1,92	4,05

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

No segundo ano (2004/05), não houve influência significativa das culturas de cobertura sobre o teor de N foliar no milho, apesar do teor médio sobre crotalária ser superior (Tabela 5). Houve efeito significativo apenas das doses de nitrogênio sobre o teor deste nutriente nas folhas, apresentando comportamento quadrático (Figura 4 – B). Entretanto, neste ano agrícola os teores de nitrogênio, independente da cultura de cobertura utilizada ou dose ficaram abaixo do preconizado para a cultura. Valores semelhantes, abaixo do teor normal também foram verificados por Rodrigues et al. (2006) ao avaliarem os efeitos de doses e épocas de aplicação de N no ano agrícola 2004/05. Este comportamento diferenciado do segundo cultivo, em relação aos dois demais, ocorreu provavelmente, em função das baixas precipitações apresentadas durante a fase de desenvolvimento da cultura (Apêndice 1), demonstrando assim, a importância da umidade do solo para o aproveitamento do nitrogênio pelo milho, tanto o nitrogênio adicionado ao sistema via fertilizante, como o disponibilizado pela decomposição dos resíduos vegetais de culturas antecessoras, concordando com afirmação de Sousa e Lobato (2004), que a chuva é um fator que influencia a resposta das culturas a adubação nitrogenada no cerrado.

Os teores de fósforo nas folhas do milho foi estatisticamente influenciado pelas doses de N, com as médias ajustando-se ao modelo linear nos anos agrícolas 2004/05 ($y = 0{,}003887x + 1{,}572$; $R^2 = 94{,}95^{**}$) e 2005/06 ($y = 0{,}002313x + 3{,}8434$; $R^2 = 99{,}89^{**}$). O fósforo se ajustou a equações lineares crescentes, provavelmente por ter se beneficiado pelas melhores respostas da planta às doses nitrogenadas, pois segundo Maizlish et al. (1980) as doses crescentes de nitrogênio aplicadas ao milho determinaram maior acúmulo de matéria seca de raízes, que conseqüentemente, promoveram aumentos significativos de integridade dos tecidos foliares em função da maior síntese de fotoassimilados e/ou da maior capacidade de absorção deste nutriente pelo maior volume de raízes. Casagrande e Fornasieri Filho (2002) também obtiveram maior teor de P nas folhas de dois híbridos de milho cultivados em safrinha quando estes receberam adubação nitrogenada.

.

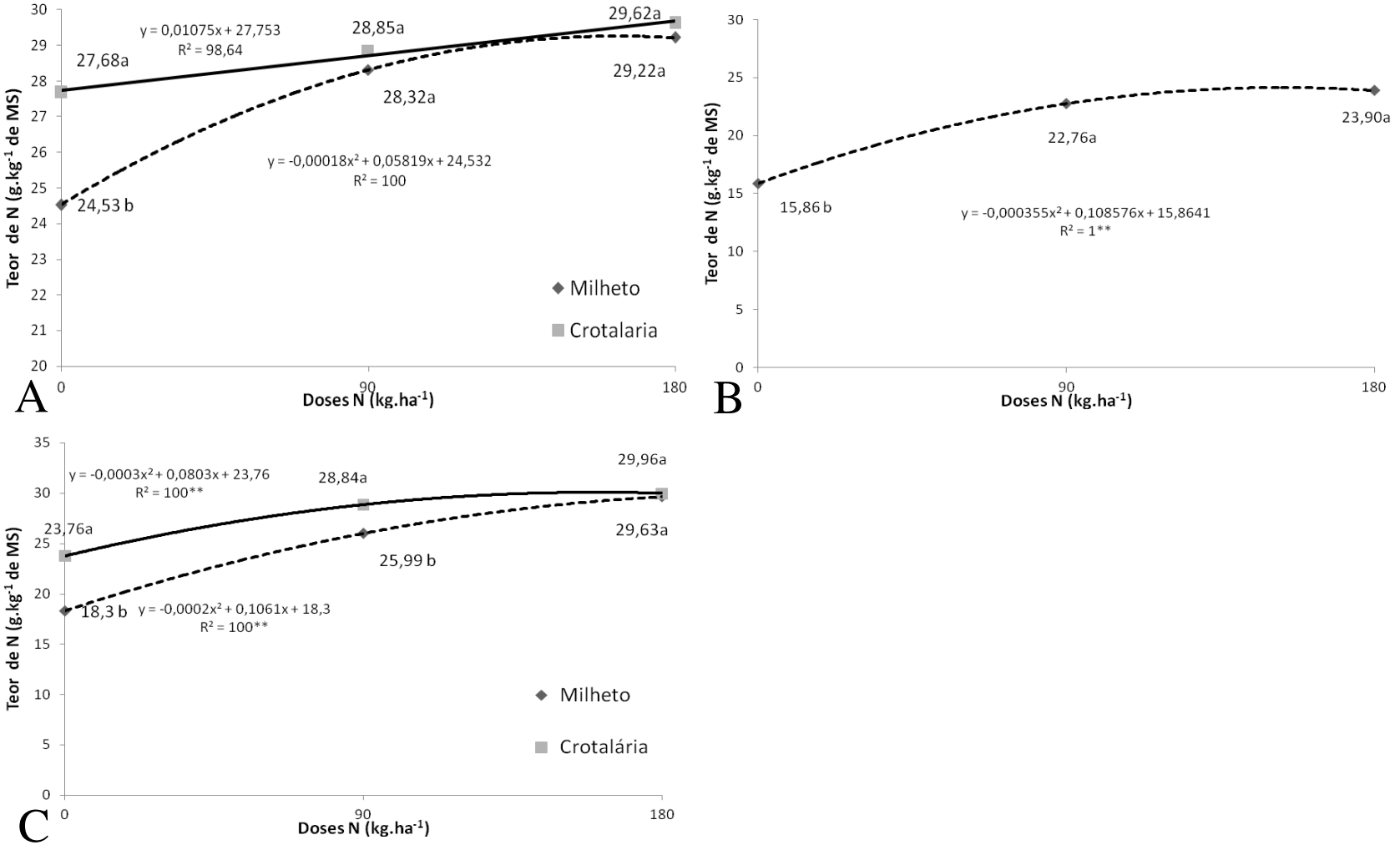


Figura 4. Teor de nitrogênio nas folhas de milho em função de culturas de cobertura e doses de N, nos anos agrolas: A – 2003/04; B - 2004/05; C - 2005/06

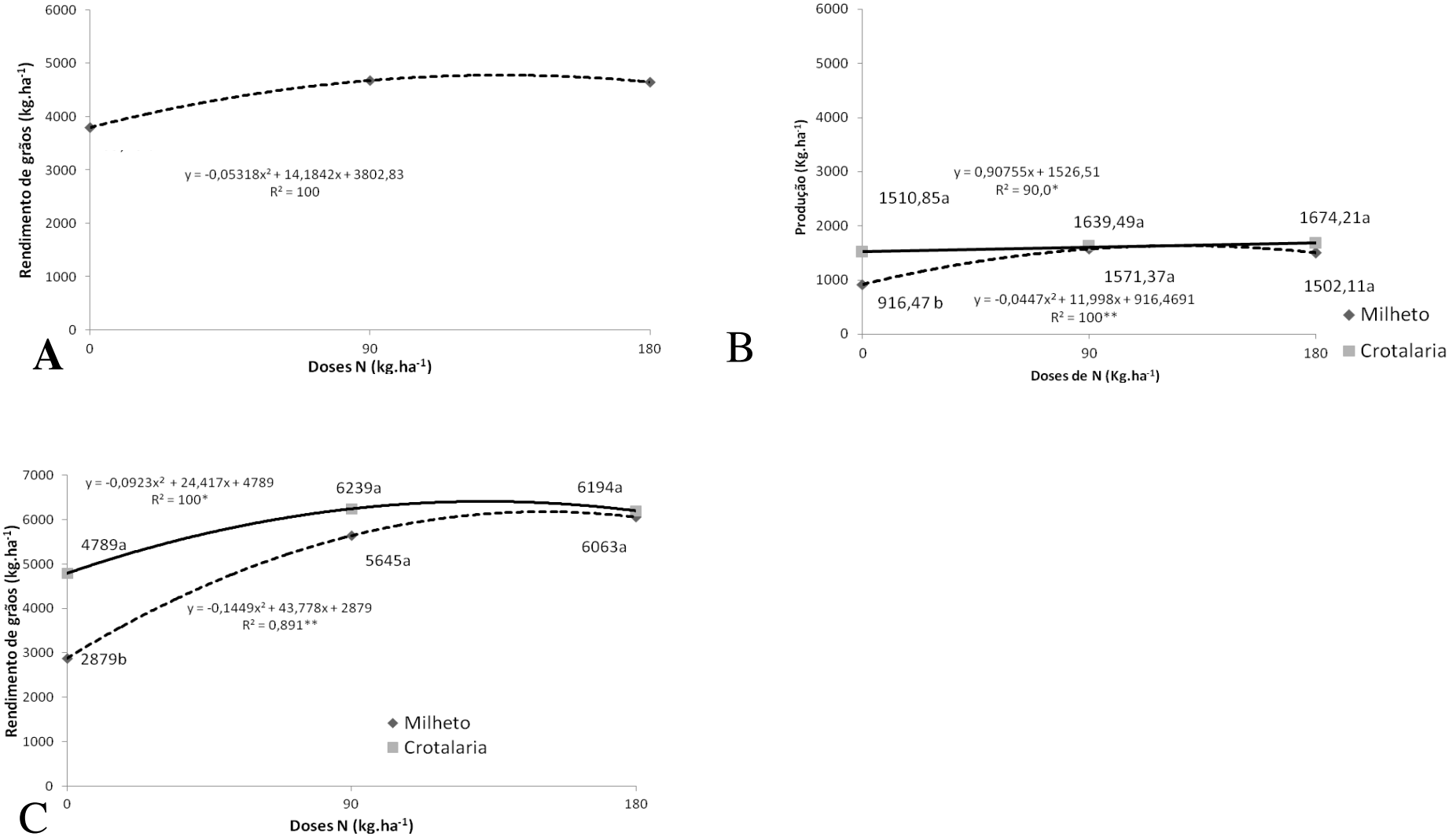


Figura 5. Rendimento de grãos de milho em função de culturas de cobertura e doses de N, nos anos agrícolas: A – 2003/04; B - 2004/05; C- 2005/06.

Os teores de potassio na folha do milho apresentaram interação com as culturas de cobertura e doses de nitrogênio. O teor de K foi superior quando o milho foi cultivado em sucessão a crotalária sem adubação nitrogenada comparado com o teor obtido com o uso de milheto. Nas demais doses (90 e 180 kg ha^{-1}) essa diferença não apresentou-se significativa (Figura 6).

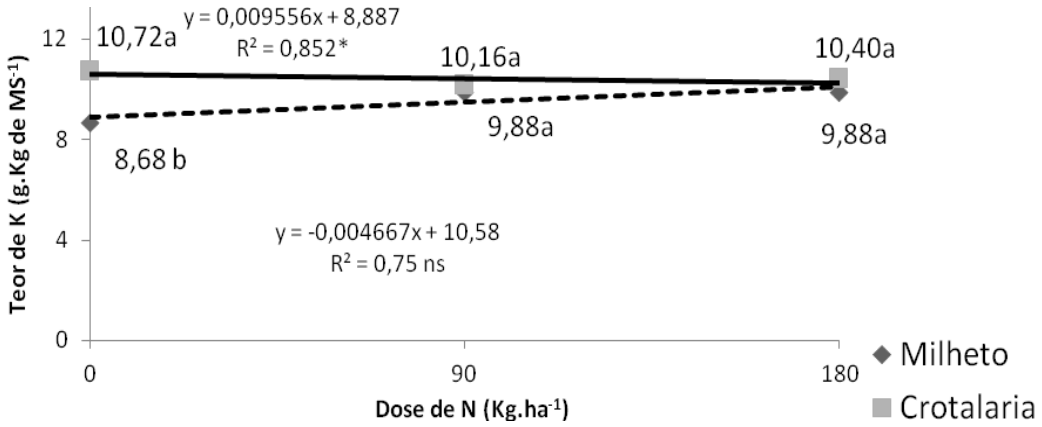


Figura 6. Teores de potássio nas folhas de milho em função de doses de nitrogênio e culturas de cobertura, ano agrícola 2004/05.

Os modos de calagem, independente do ano agrícola avaliado, não influenciaram estatisticamente os teores de nutrientes na folha, o rendimento de grãos e demais características agronômicas avaliadas (Tabelas 6, 7 e 8), exceção ao teor de Ca no ano agrícola 2004/05, onde a incorporação do calcário proporcionou teores superiores a testemunha (sem calcário) e a aplicação em superfície, independente do modo, não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 5). Estes dados concordam com os obtidos por Caires et al. (2006) que não verificaram influência do calcário aplicado em superfície, independente da dose, sobre o rendimento de grãos, teores foliares de macro e micronutrientes no milho em Latossolo Vermelho distrófico areno-argiloso. A pouca influência dos modos de calagem sobre os teores de Ca e Mg pode estar relacionada ao tempo decorrido entre as aplicações e o plantio de milho ou uma possível, menor exigência ou menor sensibilidade do milho cultivado em sistema plantio direto à correção do solo. Concordando com estes dados, Ferreira et al. (2006) ao avaliar doses de diferentes calcários aplicados em SPD, não observaram resposta da cultura do milho, cultivada 45 meses após a aplicação do corretivo. Terashima et al. (2004), também avaliando doses de calcário

em SPD e resposta do milho cultivado sob irrigação em Selvíria, observaram produtividade média de 9147 kg ha^{-1} na testemunha sem calcário.

As doses de nitrogênio em cobertura influenciaram significativamente o rendimento de grãos nos três anos agrícolas (Tabelas 6, 7 e 8), sendo que no primeiro cultivo estas proporcionaram um comportamento quadrático, independente da cultura de cobertura adotada (Figura 5 - A). No segundo e terceiro cultivos houve interação entre doses e culturas de cobertura (Tabelas 6 e 7), sendo que no segundo cultivo, em sucessão a crotalária, o rendimento de grãos de milho sofreu pouca influência das doses de nitrogênio, enquanto que após milheto o comportamento foi quadrático e com rendimento significativamente inferior ao obtido sobre crotalária na ausência da adubação nitrogenada (Figura 5 - B). No terceiro cultivo o comportamento do rendimento de grãos foi semelhante ao observado no segundo cultivo, entretanto, a produtividade foi muito superior, visto que neste ano agrícola houve melhor distribuição pluviométrica (Apêndice 3). Nesse ano agrícola o rendimento de grãos sobre crotalária, sem a adubação nitrogenada superou em 1910 kg ha^{-1} o obtido sobre milheto, indicando a viabilidade da utilização deste adubo verde antecedendo o cultivo do milho, na região de cerrado, concordando com os dados obtidos por Leal et al. (2005), ao avaliar a viabilidade econômica de vários adubos verdes implantados na primavera, antecedendo milho.

No terceiro ano agrícola (2005/06) com as equações obtêm-se que a máxima eficiência técnica (ponto de máximo) foi obtida com a dose de 132 kg de N ha-¹, produzindo 6403 kg ha-¹ de grãos quando em sucessão à crotalária, já após milheto a dose para produtividade máxima foi 151 kg de N ha^{-1} de N, com produção estimada em 6185 kg ha^{-1} de grãos. Inferior a resposta obtida por Silva et al. (2005b) (166 kg de N ha^{-1}), em condições de Cerrado sob irrigação, e superior ao obtido por Fernandes et al. (2005), 110 kg de N ha^{-1}, também em condições de cerrado. Dados semelhantes também foram obtidos por Amado et al. (2002), com resposta do milho até 150 kg de N ha^{-1}.

Através das equações de regressão obtidas no ano agrícola 2005/06, apresentadas na Figura 5 – C, e possível determinar a dose de N-uréia de máximo retorno econômico, seguindo metodologia descrita por Raij (1991). Para tanto, considerou-se os preços médios da uréia (R$ 1165,50 t^{-1}) e do milho (R$ 16,79 sc^{-1}), pagos e recebidos pelo produtor, respectivamente, em novembro de 2005 e março de 2006, levantados pelo IEA (2008) no Estado de São Paulo. Os valores de máximo retorno econômico foram obtidos com a adubação de 82,17 kg de N-uréia ha^{-1}

quando o milho foi cultivado sobre crotalária e 119,13 kg de N-uréia ha^{-1} quando cultivado em sucessão ao milheto, valor idêntico (120 kg de N-uréia ha^{-1}) ao obtido por Silva et al. (2005b), também sobre milheto. Com a utilização destas doses de N os rendimentos de grãos seriam iguais a 6172 e 6038 kg ha^{-1}, respectivamente para crotalária e milheto. Portanto, a utilização de crotalária proporciona uma redução de 36,96 kg de N-uréia ha^{-1} na demanda de adubação, resultando em economia de R$ 95,69 ha^{-1}, só com nitrogênio. A produção de milho em sucessão a crotalária foi 134,3 kg de grãos ha^{-1} superior em relação a área com milheto. Essa diferença proporcionaria ao agricultor R$ 37,57 ha^{-1}, a mais de receita bruta do milho, que somados a economia com fertilizante nitrogenado (R$ 95,69 ha^{-1}), totalizando receita de R$ 133,26 ha^{-1}, com a escolha correta da cultura de cobertura.

Esta menor produtividade do milho cultivado sobre milheto em relação à crotalária, está diretamente relacionado a maior relação C/N deste proporcionando uma maior imobilização de N pelos microrganismos ao efetuar sua decomposição e conseqüentemente menor disponibilidade de N no sistema. Apesar de apresentar desempenho inferior, o cultivo de milheto como cobertura do solo antecedendo o milho em SPD se mostrou viável, proporcionando boas produtividades a cultura, concordando com os dados obtidos por Carvalho et al. (2004), Muraishi et al. (2005) e Silva et al. (2005a). Entretanto, fica nítida a maior necessidade de adição nitrogênio quando a opção é a utilização de milheto no sistema, em comparação à crotalária.

Tabela 6. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas, número de grãos por espiga, massa de 1000 sementes e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS. 2003/04.

Tratamentos	Altura de planta	Altura de espiga	População	Grãos/ espiga	Massa de 1000 grãos	Produtividade
	cm		plantas ha^{-1}		g	kg ha^{-1}
Milheto	142,6	74,4	53222	422,9	242,3	4374
Crotalária	144,0	77,6	52074	434,0	238,7	4348
NC Incorporada	146,1	79,7	52444	429,7	246,0	4450
NC Superfície	141,8	74,2	54111	435,5	243,1	4208
½ NC + ½ NC super.	137,3	69,9	50814	437,1	240,4	4316
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	145,1	76,0	51037	427,4	235,6	4378
Sem calcário	145,9	80,1	54185	412,7	237,3	5554
0	140,4	74,9	51730	416,5	237,1	3803
90	143,9	76,8	54322	431,5	242,2	4649
180	145,5	76,3	51974	437,6	242,3	4633
Teste F						
Cobertura(C)	$0,17^{ns}$	$1,24^{ns}$	$1,10^{ns}$	$0,78^{ns}$	$0,48^{ns}$	$0,01^{ns}$
Modos (M)	$0,99^{ns}$	$1,73^{ns}$	$2,22^{ns}$	$0,47^{ns}$	$0,52^{ns}$	$0,17^{ns}$
Doses N (N)	$1,83^{ns}$	$0,39^{ns}$	$1,73^{ns}$	$2,19^{ns}$	1,11**	8,86**
C x M	$0,10^{ns}$	$0,27^{ns}$	$0,68^{ns}$	$0,73^{ns}$	$1,48^{ns}$	$0,05^{ns}$
C x N	$1,13^{ns}$	$1,57^{ns}$	$1,29^{ns}$	$1,56^{ns}$	5,06*	$0,85^{ns}$
M x N	$1,43^{ns}$	$1,05^{ns}$	$0,95^{ns}$	$1,65^{ns}$	3,18**	$0,60^{ns}$
CxMxN	$0,49^{ns}$	$0,96^{ns}$	$1,17^{ns}$	$0,99^{ns}$	$1,88^{ns}$	$0,47^{ns}$
RL	$3,48^{ns}$	$0,39^{ns}$	$0,03^{ns}$	4,15*	$1,69^{ns}$	13,04**
RQ	$0,19^{ns}$	$0,39^{ns}$	3,43*	0,24	$0,54^{ns}$	4,69*
CV_1 (%)-Parcela	11,15	17,8	9,87	4,150	10,26	24,02
CV_2 (%)–Sub-parcela	7,38	11,6	11,31	0,238	6,45	20,41
Média Geral	143,2	76,0	52648	428,54	240,5	4361

Tabela 7. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS, 2004/05[1].

Tratamentos	Altura de planta	Altura de espiga	População	Produtividade
	cm		plantas ha^{-1}	kg ha^{-1}
Milheto	148,9 b	80,39	52518	1329 b
Crotalária	175,2 a	101,52	54222	1608 a
NC Incorporada	161,3	90,02	50481	1494
NC Superfície	163,2	92,11	53296	1522
½ NC + ½ NC super.	162,9	92,40	54111	1469
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	165,2	92,82	54111	1492
Sem calcário	157,7	87,43	54111	1367
0	151,3	84,2	53560	1213
90	167,4	93,3	53030	1605
180	167,5	95,3	53520	1588
Teste F				
Cobertura(C)	154,99**	160,47**	$3,09^{ns}$	66,38**
Modos (M)	$1,402^{ns}$	$1,45^{ns}$	$1,29^{ns}$	$2,46^{ns}$
Doses N (N)	35,92**	39,51**	$0,48^{ns}$	13,70**
C x M	$1,59^{ns}$	$0,69^{ns}$	$0,32^{ns}$	$1,98^{ns}$
C x N	11,81**	17,46**	$2,02^{ns}$	5,43**
M x N	$1,31^{ns}$	$1,33^{ns}$	$1,00^{ns}$	$1,71^{ns}$
CxMxN	$1,17^{ns}$	$1,50^{ns}$	$1,68^{ns}$	$0,69^{ns}$
RL	53,96**	69,72**	$0,88^{ns}$	19,61**
RQ	17,89**	9,31**	$0,09^{ns}$	7,80**
CV_1 (%)-Parcela	6,18	8,70	8,73	11,02
CV_2 (%)–Sub-parcela	5,25	5,61	8,59	22,29
Média Geral	162,1	90,9	53370	1469

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 8. Valores de F e médias das características agronômicas: altura de planta e espiga, população de plantas, número de grãos por espiga, massa de 1000 grãos e rendimento de grãos de milho. Selvíria-MS, 2005/06[1].

Tratamentos	Altura de planta	Altura de espiga	População	Grãos/ espiga	Massa de 1000 grãos	Produtividade
	cm		plantas ha^{-1}		g	kg ha^{-1}
Milheto	180,8	91,1 b	52018	356 b	300,9	4863 b
Crotalária	184,6	100,4 a	51658	402 a	310,8	5741 a
NC Incorporada	179,7	90,0	50000	388	310,7	4740
NC Superfície	184,3	97,7	52163	382	320,1	5500
½ NC + ½ NC super.	182,5	98,5	52714	376	300,6	5039
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	178,9	99,6	51996	388	310,6	5645
Sem calcário	181,1	93,0	52419	360	300,8	5585
0	180,2	93,4	51476	365	293,2	3834
90	183,1	96,3	51492	395	321,5	5924
180	184,7	97,7	51998	378	328,1	6129
Teste F						
Cobertura(C)	0,13^{ns}	21,02**	0,09^{ns}	9,41**	3,31^{ns}	9,44**
Modos (M)	0,17^{ns}	3,25*	0,74^{ns}	0,47^{ns}	1,43^{ns}	1,52^{ns}
Doses N (N)	0,45^{ns}	8,25**	0,12^{ns}	19,96**	18,01**	45,98**
C x M	0,72^{ns}	0,76^{ns}	0,29^{ns}	0,31^{ns}	0,53^{ns}	0,14^{ns}
C x N	0,33^{ns}	12,37**	1,11^{ns}	1,31^{ns}	3,32*	6,02**
M x N	0,09^{ns}	2,21*	1,11^{ns}	1,34^{ns}	1,06^{ns}	1,87^{ns}
C x M x N	0,09^{ns}	1,21^{ns}	1,18^{ns}	0,34^{ns}	0,06^{ns}	0,87^{ns}
RL	0,84^{ns}	0,78^{ns}	0,56^{ns}	0,37	0,01	7,48**
RQ	0,72^{ns}	0,97^{ns}	0,79^{ns}	5,62**	3,34*	3,78*
CV_1 (%)-Parcela	6,45	11,67	13,30	17,98	7,56	20,67
CV_2 (%)–Sub-parcela	7,58	12,17	13,28	21,70	9,15	29,33
Média Geral	182,7	95,8	51838	379,2	31,4	5302

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

As características agronômicas avaliadas não apresentaram influência significativa quanto aos modos de aplicação do calcário (Tabelas 6, 7, 8). Quanto às características agronômicas, observa-se que no ano agrícola 2003/04, apenas a massa de 1000 grãos foi influenciada pelos tratamentos, havendo efeito de doses de N e interação culturas de cobertura x doses de N (Tabela 9). No entanto, no agrícola 2004/05 tanto altura de planta e espiga foram influenciados pelos tratamentos culturas de cobertura e doses de N, havendo interação entre estes, desdobrada na Tabela 9. No ano agrícola 2005/06 esse efeito repetiu-se para altura de espiga. Também neste ano agrícola a crotalária proporcionou maior número médio de grãos nas espigas (Tabela 8), este também foi influenciado pelas doses de nitrogênio, apresentando comportamento explicado por modelo polinomial quadrático, de acordo com a equação $y = -0,0052x^2 + 1,46x + 318,1$, que apresenta ponto de máximo igual a 140,38 kg N ha^{-1}. O número médio de grãos foi 379, superior a média verificada por Lucena et al. (2000) ao avaliarem diferentes doses de N e fósforo, provavelmente em decorrência dos baixos rendimentos obtidos por estes autores, abaixo de 2500 kg N ha^{-1}.

Os desdobramentos das interações e as respectivas equações das características agronômicas são apresentados na Tabela 9. Na ausência de adubação nitrogenada, independente do ano agrícola, as plantas de milho em sucessão a crotalária, apresentaram, altura superior estatisticamente as cultivadas sobre milheto, no ano agrícola 2004/05 e também altura de espiga superiores nos anos agrícolas 2004/05 e 2005/06. No segundo cultivo (2004/05) essa diferença também foi estatisticamente superior nas demais doses de nitrogênio para as características altura de plantas e espiga (Tabela 9). Quando cultivado sobre crotalária a altura de plantas de milho apresentou comportamento linear com o acréscimo de doses de N, enquanto sobre milheto a altura de plantas se enquadrou no modelo polinomial quadrático com ponto de máximo inferior a altura média obtida sem aplicação de nitrogênio. A massa de 1000 grãos foi influenciada pelas doses de N, nas duas culturas de cobertura e nos anos agrícolas 2003/04 e 2005/06. Silva et al. (2005a), avaliando doses e épocas de aplicação de N na cultura do milho sobre milheto nesta região, também verificaram efeito de doses de N sobre a massa de 1000 grãos, proporcionando incremento linear neste fator.

Tabela 9. Equações e médias do desdobramento das interações entre culturas de cobertura e doses de nitrogênio na cultura do milho. Selvíria – MS.

Cult./Doses	0	90	180	Equações	R^2
Altura de plantas (m) - 2004/05					
Milheto	132,1 b	157,9 b	156,8 b	$y= -0,001667x^2 + 0,4374x + 132,1$	100**
Crotalária	170,5 a	176,9 a	178,3 a	$y=0,04333x + 171,32$	87,38*
Altura da primeira espiga (m) - 2004/05					
Milheto	69,1 b	85,5 b	86,4 b	$y= 0,0949x + 71,84$	78,75**
Crotalária	99,3 a	101,0 a	104,2 a	$y= 0,02733x + 99,06$	97,10*
Altura da primeira espiga (m) - 2005/06					
Milheto	79,9 b	97,1 a	96,5	$y= - 0,0011x^2 - 0,2897x + 79,92$	100**
Crotalária	101,5 a	98,3 a	101,5	$y= 0,0004x^2 - 0,0731x + 101,54$	100**
Massa de 1000 grãos (g) - 2003/04					
Milheto	233,9 a	251,3 a	241,9	$y= -0,001638x^2 + 0,33926x + 233,87$	100,00*
Crotalária	240,3 a	233,2 b	242,7	$y = 0,001025x^2 - 0,1707x + 240,27$	$100,00^{ns}$
Massa de 1000 grãos (g) - 2005/06					
Milheto	280,9 b	323,4 a	325,7 a	$y = -0,0025x^2 + 0,707x + 280,9$	100**
Crotalária	306,3 a	318,1 a	330,4 a	$y = 0,1339x + 306,38$	99,90**

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

As culturas de cobertura (milheto e crotalária) utilizadas para complementar a produção de palha no sistema, assim como os modos de aplicação de calcário e doses de nitrogênio não influenciaram a população de plantas nos três cultivos (Tabelas 6, 7 e 8) e os valores obtidos encontram-se dentro da recomendação para os híbridos utilizados, além da uniformidade deste item na área experimental.

No primeiro cultivo, as médias de altura de plantas e espiga não foram influenciadas pelos tratamentos (Tabela 6), já no segundo e terceiro cultivos (Tabelas 7 e 8) a altura de espiga foi influenciada pelas culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Comportamento semelhante verificou-se para o rendimento de grãos, que sofreu influência das culturas de cobertura no segundo e terceiro cultivo. A não resposta do milho ao uso de uma leguminosa antecedendo seu cultivo no primeiro ano deve-se, provavelmente, ao histórico anterior de três cultivos com a

cultura da soja, fato que possibilitou bom desenvolvimento do milheto, gramínea com alto poder de ciclagem de nutrientes, disponibilizando este nutriente e os demais com a sua decomposição durante o desenvolvimento do milho, possibilitando um bom desenvolvimento desta cultura. Observa-se que a utilização de milheto antecedendo o cultivo de milho apresenta-se viabilidade apenas no primeiro cultivo, sendo que no segundo e principalmente no terceiro a utilização de crotalária apresentou resultado bem superior, concordando com resultados obtidos por Leal et al. (2005), ao avaliarem a viabilidade econômica do uso de crotalária antecedendo o cultivo de milho em sistema plantio direto no cerrado.

4. 3. Características químicas do solo

4.3.1. Caracterização química do solo anterior ao estabelecimento do experimento, 2003

Os teores de matéria orgânica foram influenciados pelas culturas de cobertura (Tabela 10). Na camada de 0 - 0,05 m foram obtidas as maiores médias dos teores de matéria orgânica (16,77 g dm^{-3}) e na camada mais profunda 0,2 – 0,4 m os menores, como era esperado devido ao acúmulo de palha sobre o solo graças ao não revolvimento deste, após a instalação do SPD.

As parcelas sob palha de capim-pé-de-galinha, cultura usada como cobertura antes da adoção do milheto, foram obtidos os maiores teores de matéria orgânica, independente da profundidade da camada avaliada. No entanto, apenas nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 esse se diferenciou dos teores obtidos nas parcelas sob palha de sorgo, posteriormente seria substituído pela crotalária (Tabela 10). Independente da cultura de cobertura utilizada os teores de matéria orgânica, se encontraram abaixo do observado anteriormente a instalação do experimento (Tabela 1).

Na análise inicial do experimento, 18 meses da aplicação da necessidade total de calcário e 8 meses da aplicação do fracionamento da dose, não houve influência significativa dos modos de aplicação do calcário na implantação do SPD sobre os teores de P trocável no solo, independente da camada de profundidade analisada (Tabela 11). No entanto, foram encontrados os maiores teores de fósforo na camada 0,1 – 0,2 m e os menores na camada de 0,2 – 0,4 m (Tabela 11), isto se deve provavelmente, a deposição das adubações de base, dos cultivos anteriores à instalação do experimento com soja, na profundidade 0,1 – 0,2 m, sabendo-se que o fósforo possui baixa mobilidade no solo. Além disso, Tisdale et al. (1993) afirmaram que, assim

como a matéria orgânica, os teores de fósforo do solo diminuem com a profundidade, pois o fósforo orgânico representa cerca de 50% do fósforo total disponível no solo.

Tabela 10 - Valores de F e médias do teor de matéria orgânica (mg dm^{-3}) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
NC Incorporada	16,1	14,5	14,1	9,0
NC Superfície	16,3	13,3	14,5	10,3
½ NC + ½ NC super.	16,3	13,0	13,1	10,0
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	17,1	14,5	14,4	8,1
Sem calcário	17,8	13,6	14,8	10,3
pé-de-galinha/milheto	16,3	12,7 b	12,4 b	8,8
sorgo/crotalária	17,2	14,8 a	16,0 a	10,3
Teste F				
Modos (M)	0,97 ns	1,00 ns	0,31 ns	1,28 ns
Cobertura (C)	1,79 ns	12,30**	12,83**	4,15 ns
M x C	0,38 ns	0,73 ns	0,68 ns	0,62 ns
CV %	10,58	12,07	19,65	21,54
Médias	16,7	13,8	14,2	9,5

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Nas parcelas anteriormente cultivado com sorgo, que seriam cultivadas com crotalária posteriormente, como culturas produtoras de palha, verificou-se um teor médio de fósforo superior nas camadas superficiais, se diferenciando significativamente na profundidade de 0,05 - 0,1 m da média dos tratamentos cultivados com o capim-pé-de-galinha/crotalária. Provavelmente este fato está relacionado com a profundidade de deposição da adubação de semeadura, visto que o sorgo apresenta maior resistência da palha, provavelmente a adubação fico com profundidade inferior a 0,1 m.

Tabela 11 - Valores de F e teores médios de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho, Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
NC Incorporada	16,1	15,8	20,0	6,8
NC Superfície	17,8	16,1	20,6	5,1
½ NC + ½ NC super.	15,8	22,0	18,5	6,6
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	14,3	19,3	20,1	6,6
Sem calcário	13,5	18,1	18,8	5,5
pé-de-galinha/milheto	15,0	23,8 a	17,6 b	6,3
sorgo/crotalária	16,0	12,8 b	21,6 a	6,0
Teste F				
Modos (M)	1,83 ns	1,94 ns	0,30 ns	0,76 ns
Cobertura (C)	0,70 ns	46,19**	6,83*	0,17 ns
M x C	0,13 ns	2,13 ns	3,51 ns	1,40 ns
CV %	19,59	24,22	20,99	35,11
Médias	15,5	18,3	19,6	6,1

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Na Tabela 12, observa-se a influência significativa pelo teste F dos modos de aplicação de calcário sobre o teor de potássio no solo nas duas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05-0,1 m). Entretanto, apenas na camada de 0,05-0,1m verificou-se diferença pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Nesta camada o teor de potássio na testemunha, sem aplicação de calcário, foi superior ao obtido nos tratamentos com adição da necessidade de calagem dividida e portanto, aplicação recente de calcário, 8 meses antes da amostragem. O teor médio de potássio foi muito superior nas camadas superficiais, principalmente na camada 0-0,05 m, apesar de sua deposição pelo sistema de deposição de adubo da semeadora ser abaixo desta camada (0,08 - 0,12 m), demonstrando a grande capacidade de ciclagem deste nutrientes pelas culturas de cobertura anteriormente utilizadas e a cultura da soja. Este nutriente é extraído das camadas mais profundas do solo pelas culturas e posteriormente depositado na superfície, junto aos restos culturais e rapidamente

liberado novamente ao solo visto que não forma compostos orgânicos. Assim, há uma ciclagem deste nutriente, muito importante, minimizando as possíveis perdas por lixiviação.

Em relação às culturas de cobertura utilizadas na produção de palha, as parcelas cultivadas com sorgo apresentaram teor médio de potássio no solo superior, provavelmente pela maior capacidade desta cultura em ciclar este nutriente, minimizando suas perdas por lixiviação.

Tabela 12 - Valores de F e médias do teor potássio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
NC Incorporada	4,2	1,6 ab	0,8	0,5
NC Superfície	3,4	1,4 ab	0,9	0,5
½ NC + ½ NC super.	3,0	1,3 b	0,8	0,7
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	2,9	1,3 b	0,8	0,5
Sem calcário	4,1	2,0 a	0,9	0,6
pé-de-galinha/milheto	3,8	1,8 a	1,0 a	0,7 a
sorgo/crotalária	3,2	1,3 b	0,6 b	0,4 b
Teste F				
Modos (M)	3,03*	3,96*	0,09 ns	1,21 ns
Cobertura (C)	2,97 ns	14,83**	12,50**	38,31**
M x C	0,19 ns	1,62 ns	1,05 ns	0,17 ns
CV %	23,51	22,55	35,47	26,55
Médias	3,5	1,5	0,8	0,6

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

As culturas de cobertura utilizadas antes da implantação do milho não influenciaram estatisticamente os teores médios de cálcio no solo. A aplicação da calagem superficial, dose dividia ou não, elevou os teores de Ca trocável do solo na camada de 0-0,05 m, apresentando valores superiores ao obtido com a incorporação do calcário, sem, entretanto se diferir estatisticamente deste tratamento que por sua vez não se diferenciou da testemunha (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores de F e médias do teor de cálcio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
NC Incorporada	20,3 bc	20,6	21,5	14,1
NC Superfície	31,5 ab	16,1	18,1	15,8
½ NC + ½ NC super.	34,3 a	18,8	20,0	15,6
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	31,8 ab	16,6	22,0	18,0
Sem calcário	14,5 c	11,9	16,9	15,3
pé-de-galinha/milheto	28,3	18,7	19,7	16,8
sorgo/crotalária	24,6	14,9	19,6	14,8
Teste F				
Modos (M)	6,93**	2,44 ns	0,99 ns	0,86 ns
Cobertura (C)	1,57 ns	4,13 ns	0,07 ns	2,24 ns
M x C	0,87 ns	0,79 ns	2,18 ns	2,60 ns
CV %	30,23	30,6	26,97	23,16
Médias	26,5	16,8	19,7	15,8

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Nas camadas de 0,05 – 0,1 m e 0,1-0,2 m não se detectaram diferenças estatísticas entre os modos de aplicação de calcário, no entanto, as médias dos teores de Ca foram superiores nos tratamentos que receberam calagem em relação à testemunha (Tabela 13). No tratamento no qual a NC foi incorporada nota-se uma uniformidade dos teores médios de Ca nas diferentes camadas avaliadas entre 0-0,2 m de profundidade, demonstrando a eficiente incorporação deste corretivo, no estabelecimento dos tratamentos em outubro de 2001.

Os tratamentos com aplicação da NC em superfície não se diferiram entre si em relação ao teor médio de magnésio no solo (Tabela 14), todos apresentaram médias superiores deste elemento na camada de 0-0,05 m e quando comparados a NC incorporada e a testemunha sem calcário, apenas a aplicação total da NC em superfície não se diferenciou estatisticamente destes dois tratamentos, apesar de apresentar valor médio bem superior. Nas demais camadas de solo avaliadas não houve influência significativa dos diferentes modos de aplicação do calcário na

implantação do SPD sobre os teores de magnésio. Porém, todos os tratamentos que receberam aplicação de calcário apresentaram teores de Mg superiores aos verificados na testemunha sem calcário até a camada de 0,1 – 0,2 m.

Tabela 14 - Valores de F e médias do teor de magnésio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	12,0 b	9,3	8,3	6,8
NC Superfície	16,8 ab	8,5	7,8	7,8
½ NC + ½ NC super.	21,1 a	9,1	7,6	7,6
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	21,6 a	9,5	9,5	8,5
Sem calcário	11,0 b	7,3	6,8	7,0
pé-de-galinha/milheto	16,9	9,2	8,0	7,6
sorgo/crotalária	16,1	8,3	8,0	7,5
Teste F				
Modos (M)	5,92**	0,67 ns	1,45 ns	0,61 ns
Cobertura (C)	0,19 ns	0,80 ns	0,00 ns	0,00 ns
M x C	1,11 ns	0,69 ns	2,24 ns	1,61 ns
CV %	30,29	30,19	24,85	27,78
Médias	16,5	8,7	8,0	7,5

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

As plantas de cobertura utilizadas anteriormente não apresentaram influência sobre o teor de magnésio no solo, nas diferentes camadas de profundidades analisadas (Tabela 14). A análise de variância do índice de acidez pH (Tabela 15) e acidez potencial (H+Al), Tabela 16, não demonstrou influência significativo das culturas de cobertura sobre estas variáveis, no entanto estes foram influenciados por modos de aplicação da NC na implantação do SPD. Na Tabela 15 verifica-se que os tratamentos com NC aplicada em superfície, promoveram as maiores médias de pH do solo na camada de 0-0,05 m e na Tabela 16, verifica-se que estes tratamentos também ocasionaram os menores valores de acidez potencial, nesta mesma profundidade, diferindo

estatisticamente da testemunha. Nas demais profundidades não se verificou diferença significativa entre os modos de aplicação da calagem e a testemunha, apesar da média do valor de pH ser superior nos tratamentos que receberam calcário, até a camada 0,1 a 0,2 m de profundidade.

Tabela 15 - Valores de F e médias de valores de pH no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	5,2 bc	5,1	4,9	4,7
NC Superfície	5,9 a	4,8	4,6	4,2
½ NC + ½ NC super.	5,9 a	4,7	4,4	4,6
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	5,8 ab	4,9	4,7	4,6
Sem calcário	5,0 c	4,6	4,5	4,5
pé-de-galinha/milheto	5,6	4,9	4,7	4,6
sorgo/crotalária	5,5	4,7	4,6	4,6
Teste F				
Modos (M)	8,43**	1,90 ns	1,38 ns	0,47 ns
Cobertura (C)	1,48 ns	2,97 ns	0,28 ns	0,00 ns
M x C	0,08 ns	0,38 ns	0,29 ns	0,71 ns
CV %	6,14	6,95	8,10	6,32
Médias	5,6	4,8	4,5	4,6

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Os valores de pH do solo nas camadas 0,05-0,1 m e 0,1-0,2 m, nas parcelas que receberam calcário, encontram-se acima do valor observado antes da instalação do experimento (Tabela 1). Demonstrando que apesar da aplicação em superfície não se diferenciar estatisticamente da testemunha, esta alterou os valores de pH do solo nestas profundidades.

Na Tabela 16, observam-se os valores de acidez potencial (H + Al). O comportamento da acidez potencial foi inverso ao observado para teor de pH, havendo uma tendência de aumento em profundidade, independente do modo de aplicação da NC. Na camada superficial (0-0,05 m)

foram observados os menores valores de acidez potencial. Nesta profundidade a aplicação da NC em superfície promoveu os menores valores de acidez potencial se diferindo estatisticamente, da testemunha, sem, no entanto, se diferir da aplicação da NC incorporada. Na camada de solo subseqüente (0,05 – 0,1 m) apesar de valor de F significativo (P < 0,05) não houve diferença estatística detectada pelo teste de Tukey (P < 0,05) entre os métodos de aplicação da NC, no entanto, todos apresentaram valor abaixo do apresentado na testemunha, fato não observado nas demais camadas de solo.

Tabela 16 - Valores de F e valores de H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	21,8 ab	22,1	33,5	31,6
NC Superfície	18,3 b	25,8	40,0	31,8
½ NC + ½ NC super.	18,0 b	18,0	41,8	34,6
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	17,8 b	17,8	40,6	31,6
Sem calcário	26,0 a	26,0	39,8	32,8
pé-de-galinha/milheto	19,6	22,8	37,4	31,4
sorgo/crotalária	21,1	21,1	40,9	33,6
Teste F				
Modos (M)	3,63*	3,97*	0,90 ns	0,41 ns
Cobertura (C)	0,78 ns	0,86 ns	1,23 ns	1,41 ns
M x C	0,39 ns	2,97 ns	0,43 ns	0,56 ns
CV %	22,28	22,38	21,46	15,1
Médias	20,4	21,9	39,1	32,5

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

O teor de Al^{+3} aumentou em profundidade, sendo as maiores médias observadas na camada 0,2 – 0,4 m. Não foi observado efeito estatisticamente significativo das culturas de cobertura e modos de aplicação da calagem sobre o teor de alumínio trocável independente da

profundidade, Tabela 17 apesar dos tratamentos que receberam calcário apresentarem valores absolutos menores em todas as camadas de profundidades.

Os valores de soma de base (Tabela 18) na camada superficial foram superiores nos tratamentos em que o calcário não foi incorporado, principalmente quando a NC foi dividida, que diferiram estatisticamente da testemunha. Na camada subseqüente (0,05 - 0,1 m) os teores de soma de bases apresentaram grande redução nos tratamentos com a NC aplicada em superfície, praticamente a metade do observado na camada superficial, mas mantiveram teor médio acima do observado na testemunha, fato também observado na camada de 0,1 – 0,2 m.

Tabela 17 - Valores de F e médias do teor de Al^{+3} ($mmol_c$ dm^{-3}) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	1,0	1,6	2,6	3,0
NC Superfície	1,0	2,8	4,0	3,6
½ NC + ½ NC super.	1,0	2,3	4,0	3,5
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	1,0	2,1	3,1	2,8
Sem calcário	1,6	3,8	4,5	4,0
pé-de-galinha/milheto	1,2	2,7	4,2	3,8
sorgo/crotalária	1,0	2,4	3,1	2,9
Teste F				
Modos (M)	1,33 ns	1,08 ns	0,33 ns	0,21 ns
Cobertura (C)	1,57 ns	0,00 ns	0,26 ns	0,25 ns
M x C	0,64 ns	0,45 ns	0,19 ns	0,41 ns
CV %	16,34	29,86	37,07	27,05
Médias	1,1	2,5	3,6	3,4

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 18 - Valores de F e médias dos valores de soma de bases ($mmol_c\ dm^{-3}$)) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	36,5 ab	31,6	30,6	21,5
NC Superfície	51,7 ab	26,1	26,9	24,2
½ NC + ½ NC super.	58,5 a	29,3	28,5	24,0
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	56,4 a	27,5	32,3	27,0
Sem calcário	29,6 b	21,3	24,6	22,9
pé-de-galinha/milheto	49,0	29,7	28,4	25,1
sorgo/crotalária	44,0	24,5	28,8	22,7
Teste F				
Modos (M)	5,97**	1,51 ns	1,05 ns	0,76 ns
Cobertura (C)	1,13 ns	3,41 ns	0,02 ns	1,34 ns
M x C	0,97 ns	0,69 ns	2,20 ns	2,25 ns
CV %	27,54	28,35	25,24	23,89
Médias	46,5	27,1	28,6	23,9

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

A capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 na camada superficial, foi influenciada pela aplicação de calcário (Tabela 19), apresentando valores acima de 70 $mmol_c\ dm^{-3}$ quando o calcário foi aplicado em superfície, diferindo da testemunha. A NC dividida em duas aplicações proporcionou valores de CTC superior a incorporação, na camada superficial.

Tabela 19 - Valores de F e médias dos valores CTC ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
NC Incorporada	58,3 bc	53,7	64,1	53,2
NC Superfície	70,1 abc	51,9	66,9	56,0
½ NC + ½ NC super.	76,5 a	47,3	70,3	58,7
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	74,2 ab	45,3	73,0	58,7
Sem calcário	55,6 c	47,3	64,4	55,7
pé-de-galinha/milheto	68,7	52,6 a	66,2	56,6
sorgo/crotalária	65,2	45,7 b	69,3	56,3
Teste F				
Modos (M)	5,45**	2,12 ns	3,06 ns	3,01*
Cobertura (C)	0,95 ns	10,03**	2,51*	0,06 ns
M x C	1,40 ns	1,88 ns	3,39*	6,55**
CV %	14,80	12,07	7,90	5,78
Médias	66,9	49,1	67,7	56,5

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

A camada de 0-0,05 m apresentou valores médios de saturação de base superiores ao desejado (70%) quando o calcário não foi incorporado e valores de pH ($CaCl_2$) acima de 5,8, demonstrando o maior efeito calagem na superfície quando o calcário e aplicado sem incorporação, fato que provavelmente diminuiu os teores disponíveis de alguns micronutrientes (Mn, Zn, Fe, Mo) nesta camada.

As maiores médias de saturação de bases do solo, na camada superficial foi proporcionada pelos aumentos nos teores de Ca, Mg e K, nessa camada. Resultado semelhante foi obtido por Moreira et al. (2001). Estes autores atribuíram este aumento aos maiores teores de Ca e Mg nesta camada. Esta concentração da reação do calcário quando aplicado em superfície nos primeiros anos pode ser preocupante por influenciar os teores de micronutrientes, no entanto, não podemos descartar ama provável compensação com a absorção destes micronutrientes em profundidade, fato que possivelmente ocorreu neste trabalho, pois não se observou influencia no

desenvolvimento da cultura. Alleoni et al. (2005) obtiveram reduções significativas dos teores de Mn e Fe na camada superficial (até 0,1 m) com a calagem em superfície, em Latossolo Vermelho distrófico argiloso de cerrado.

Tabela 20 - Valores de F e médias da saturação por bases (%) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura, período anterior ao cultivo do milho. Selvíria – MS, 2003[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
NC Incorporada	62,3 ab	57,3 ab	46,9	39,4
NC Superfície	72,4 a	61,0 a	40,6	43,1
½ NC + ½ NC super.	75,1 a	61,5 a	40,7	41,1
⅓NC+⅓NC+⅓NC sup.	74,7 a	60,3 a	44,5	45,5
Sem calcário	53,1 b	45,5 b	37,8	41,5
pé-de-galinha/milheto	68,7	58,4	43,5	44,2
sorgo/crotalária	66,3	55,8	40,7	40,0
Teste F				
Modos (M)	6,36**	2,34	0,64	0,34
Cobertura (C)	0,50	0,45	0,47	1,50
M x C	0,47	2,02	0,89	1,12
CV %	13,78	19,59	25,91	22,54
Médias	67,5	57,1	42,1	42,1

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Através dos resultados obtidos para teores de Ca, Mg, pH, H + Al, SB, V(%) fica evidente que, transcorridos 18 meses da aplicação da NC incorporada e toda em superfície e 8 meses da aplicação da ultima parte da NC dividida em três ou duas aplicações há concentração da atuação do calcário aplicado em superfície na camada 0-0,05 m. Entretanto, é possível observar um efeito em profundidade, sem diferença estatística, da aplicação superficial de calcário na camada de 0,05 - 0,1 m, alterando os teores de Ca, Mg, SB, pH e H + Al, sem diferença estatística. Este efeito corretivo possui menor intensidade na camada subseqüente 0,1 – 0,2 m, mas promove valores superiores ao encontrado na testemunha, sem diferença estatística, para os teores de Ca, Mg, SB e V(%). Entretanto, a intensidade de alteração do perfil do solo com a aplicação de

calcário em superfície e inferior ao observado quando a NC foi incorporada a 0,2 m. A incorporação do calcário promoveu uma maior uniformidade dos teores de Ca, Mg, pH e H + Al, nas primeiras camadas de solo avaliadas, ate a profundidade de 0,2 m. Segundo Moreira et al. (2001) isto ocorre porque quando o calcário é incorporado seu efeito se dilui em uma camada mais espessa de solo.

Mello et al. (2003) ao avaliar os efeitos de doses de calcário no sistema de plantio direto, em fase de implantação, e convencional com calcário incorporado, obtiveram resultados semelhantes a estes, em amostragem realizada 12 meses após a aplicação do calcário, estes autores observaram valores de pH na profundidade de 0-0,05 m no plantio direto, superiores aos encontrados no sistema convencional e valores semelhantes nos dois sistemas nas demais profundidades. Resultados semelhantes foram relatados por Santos et al. (2003) ao avaliarem os efeitos de doses e formas de aplicação da calagem em SPD, em um ARGISSOLO VERMELHO em Santa Maria-RS, estes autores relataram maiores indices de pH na camada superior (0-0,05 m) com a aplicação de calcário em superfície, nas demais profundidades a aplicação incorporada proporcionou maiores valores de pH.

4.3.2. Caracterização química do solo após três cultivos com milho, 2006

O teor de matéria orgânica do solo foi influenciado pelos modos de aplicação de calagem na camada superficial (0 - 0,05m), apresentado valor de F significativo, Tabela 21. A aplicação do calcário em superfície dividida em três etapas proporcionou maior teor de matéria orgânica nessa camada, se diferenciando pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) do tratamento sem calcário. Os demais métodos de aplicação do calcário apesar de apresentarem valores superiores de MO na camada superficial, não diferiram estatística em relação a não adoção desta prática.

As doses de nitrogênio apresentou regressão quadrática significativa para teor de matéria orgânica superficial, tendo como equação $y_{(0\text{-}0,05m)} = -0,0002x^2 + 0,0372x + 26$. Na camada mais profunda o comportamento foi linear crescente em relação as doses de N ($y_{0,2\text{-}0,4m} = 0,0065x + 14,04$, $R^2 = 95,6$ %), possivelmente em função de um maior crescimento radicular em profundidade das culturas de cobertura (milho e coberturas) com a maior disponibilidade de nitrogênio no sistema. Essa promoção no crescimento radicular em função de adubação nitrogenada foi destacado por Maizlish et al. (1980) na cultura do milho.

Tabela 21 - Valores de F e médias dos teores de matéria orgânica (g dm^{-3}) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

	Profundidade da camada amostrada (m)			
Tratamento	**0 – 0,05**	**0,05 – 0,10**	**0,10 – 0,20**	**0,20 – 0,40**
Incorporado	26,3 ab	20,7	18,1	14,3
Superfície	27,7 ab	21,3	17,4	14,6
½ + ½ super.	26,1 ab	20,6	19,0	14,3
⅓+⅓+⅓ sup.	29,4 a	20,2	17,7	15,1
Sem calcário	25,6 b	20,4	18,5	14,6
Milheto	27,5	20,8	18,1	14,8
Crotalária	26,6	20,4	18,2	14,3
0 kg N ha^{-1}	26,4	20,0	17,8	13,9
90 kg N ha^{-1}	28,1	21,2	18,3	14,7
180 kg N ha^{-1}	26,6	20,8	18,3	15,1
Teste F				
Modos (M)	3,52*	0,58 ns	2,04 ns	0,34 ns
Cobertura (C)	1,79 ns	0,60 ns	0,03 ns	1,29 ns
Doses (D)	2,33 ns	1,43 ns	0,30 ns	2,75 ns
M x C	2,84 ns	1,39 ns	0,33 ns	0,51 ns
M x D	2,13 ns	1,09 ns	0,14 ns	1,52 ns
C x D	1,55 ns	1,79 ns	2,85 ns	0,07 ns
M x C x D	0,71 ns	1,40 ns	0,34 ns	0,44 ns
R.L.	0,07 ns	1,16 ns	0,50 ns	5,27*
R.Q.	4,59*	1,70 ns	0,69 ns	0,24 ns
CV_1 (%)	12,78	11,80	9,93	15,18
CV_2 (%)	12,45	12,70	15,78	13,46
Médias	27,0	20,6	18,1	14,6

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Após 54 meses da adoção do sistema plantio direto, não observa-se acréscimos no teor de matéria orgânica do solo, comparado com o valor obtido anterior ao estabelecimento do sistema, mesmo com a adoção de culturas de cobertura pra suprir a maior decomposição de matéria orgânica ocorrida em regiões de cerrado. Estes dados apresentam-se distintos dos observados por Bayer e Scheneider (1999) no Rio Grande do Sul, onde este autor observou após 3-7 anos da implantação do SPD um aumento de 18-52% no teor de matéria orgânica, comparado ao solo sob preparo convencional.

Os teores de fósforo no solo foram influenciados pelas doses de nitrogênio na camada de 0-0,05 m, os valores de F e as médias estão apresentados na Tabela 22, os teores apresentaram comportamento quadrático explicado pela equação $y = {}_{(0\text{-}0,05)}\ -0,0007x^2 + 0,1419x + 12,87$. Nas demais camadas avaliadas não se observaram diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos.

Após três anos cultivados com milho e culturas de cobertura em primavera, tendo como adubação fosfatada 61,5 kg de P_2O_5 adicionados anualmente na adubação de base do milho, os teores de fósforo no solo apresentaram pequenas variações em relação ao obtido na avaliação anterior ao cultivo do milho.

Os teores de potássio no solo não foram influenciados significativamente, nas diferentes camadas avaliadas, Tabela 23, pelo residual da calagem, culturas de cobertura e/ou doses de nitrogênio no milho. No entanto, e nítido o acumulo de potássio na camada superficial do solo (0-0,05 m) e sua redução em profundidade, independente dos tratamentos avaliados. Outro fato passível de observação e o maior teor médio, independente da profundidade, quando a cultura de cobertura adotada foi a crotalária, apesar de o milheto ser apontado como cultura com grande capacidade de ciclagem de potássio os teores desse nutriente na matéria seca total foi inferior ao obtido sobre crotalária em plantio de primavera (Tabela 3). Concordando com estes dados Silva et al. (2006) aponta valores de acumulo de potássio superiores na cultura da *Crotalaria juncea* (240,34 kg ha^{-1}) em relação ao milheto (193,83 kg ha^{-1}) cultivados em região de cerrado em época idêntica de semeadura a adotada nos três anos agrícolas deste experimento.

Outro ponto a se destacar é a possível contribuição do sorgo como cultura de cobertura na ciclagem de potássio, no período anterior ao estabelecimento da crotalária, anos agrícolas 2001 e 2002, visto que médias superiores de teor de potássio foram identificadas também em analise de solo antes do estabelecimento das doses de nitrogênio (Tabela 12). Ao compararmos os teores de

potássio obtidos em análise após três cultivos com milho (Tabela 23) com os valores obtidos anterior a implantação desta cultura (Tabela 12) detectamos que os mesmos sofreram redução nas camadas superficiais (0-0,05 e 0,05 -0,1 m) e sofreram acréscimos em profundidade, 0,1 – 0,2 e mesmo 0,2 – 0,4 m.

Tabela 22 - Valores de F e médias do teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
Incorporado	18,1	13,2	13,6	11,7
Superfície	13,7	17,3	12,8	10,3
½ + ½ super.	19,1	17,2	14,8	11,6
⅓+⅓+⅓ sup.	12,0	13,2	14,9	07,9
Sem calcário	13,1	13,6	14,8	12,0
Milheto	14,8	14,7	15,1	10,1
Crotalária	15,6	15,3	13,3	11,3
0 kg N ha^{-1}	12,8	14,5	17,0	11,5
90 kg N ha^{-1}	19,4	14,8	13,9	11.1
180 kg N ha^{-1}	13,4	12,8	11,7	09,6
Teste F				
Modos (M)	1,27	0,49	0,10	1,30
Cobertura (C)	0,12	0,05	0,45	0,38
Doses (D)	4,04*	3,16	2,23	0,58
M x C	0,25	1,55	0,74	1,51
M x D	1,18	0,81	0,52	0,89
C x D	1,94	0,42	0,15	0,08
M x C x D	0,75	0,79	0,86	1,23
R.L.	0,05	1,72	1,44	1,02
R.Q.	8,03**	1,60	0,03	0,14
CV_1 (%)	78,41	83,20	85,61	58,81
CV_2 (%)	64,52	79,64	68,39	66,45
Médias	15,2	14,0	14,2	10,7

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 %.

Tabela 23- Valores de F e médias do teor de potássio no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	1,8	1,1	0,8	0,9
Superfície	2,0	1,0	0,7	1,0
½ + ½ super.	1,9	1,2	1,3	0,8
⅓+⅓+⅓ sup.	1,5	0,9	1,1	0,9
Sem calcário	2,1	0,9	0,9	0,9
Milheto	1,6	0,9	0,9	0,8
Crotalária	2,1	1,1	1,0	1,0
0 kg N ha^{-1}	1,8	1,1	0,9	1,0
90 kg N ha^{-1}	2,0	0,8	1,1	0,8
180 kg N ha^{-1}	1,8	1,1	0,8	0,8
Teste F				
Modos (M)	0,4	0,4	1,4	0,1
Cobertura (C)	2,6	0,4	0,0	1,2
Doses (D)	0,4	0,7	0,3	0,6
M x C	2,1	2,0	1,0	0,7
M x D	0,8	0,9	0,4	0,5
C x D	0,0	0,2	1,9	1,2
M x C x D	0,9	1,4	0,9	0,7
R.L.	0,0	0,0	0,1	1,1
R.Q.	0,9	1,3	0,6	0,1
CV_1 (%)	74,17	79,87	77,18	87,24
CV_2 (%)	66,81	91,27	120,81	85,45
Médias	1,9	1,0	1,0	0,9

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

O teor de cálcio no solo foi influenciado significativamente pelos tratamentos apenas na profundidade de 0,1 – 0,2 m, Tabela 24. Apresentando interação entre culturas de cobertura e

doses de nitrogênio, desdobrada na Tabela 25. O solo sob cobertura de milheto apresentou os maiores teores de cálcio nesta camada, diferindo estatisticamente do manejado com crotalária, quando a dose de N adotada foi 90 kg ha^{-1}. Nas demais doses de N não houve diferença entre as coberturas do solo, os modelos polinomiais testados não apresentaram significância, independente da cultura de cobertura. Os teores médios de Ca encontrados nos tratamentos que receberam calcário em superfície, independente da camada de profundidade avaliada, apresentaram valores próximos ao teor obtido em análise anterior a aplicação de calcário (Tabela 1), demonstrando que após 54 meses da aplicação de calcário, independente do modo ou época, os teores de Ca voltaram aos valores inicias (19 $mmol_c$ dm^{-3}). No entanto, nas parcelas que não receberam calcário (testemunha) os teores de Ca são inferiores aos obtidos nos demais tratamentos, principalmente nas camadas superficiais 0 - 0,05 e 0,05 - 0,1 m.

Ao comparando os valores obtidos na análise anterior ao cultivo do milho (Tabela 13) com os valores da Tabela 24, observa-se uma grande redução nos teores de Ca na camada superficial (0 – 0,05 m), demonstrando uma distribuição desta base nas demais camadas de solo, após 54 e 44 (quando a NC foi dividida) meses após a aplicação de calcário em superfície, diluindo seus teores.

Os teores de Ca na camada de 0,1 – 0,2 m foram influenciados pela interação entre doses de N e culturas de cobertura, desdobrada na Tabela 25. Na dose de 90 kg de N ha^{-1} a áreas sobre milheto apresentaram valor superior de Ca, diferindo estatisticamente das parcelas cultivadas com crotalária. Em ambas as culturas de cobertura os teores de cálcio variaram com as doses de N, mas não apresentaram ajuste aos modelos polinomiais de primeiro e segundo grau testados.

Tabela 24 - Valores de F e médias do teor de cálcio ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	17,8	17,0	18,7	18,4
Superfície	18,2	17,3	18,8	19,6
½ + ½ super.	21,5	17,2	20,9	17,2
⅓+⅓+⅓ sup.	20,4	17,2	20,6	16,8
Sem calcário	17,2	15,5	18,1	20,5
Milheto	18,0	16,8	21,1 a	18,2
Crotalária	20,0	16,8	17,8 b	18,8
0 kg.N.ha^{-1}	19,0	16,3	20,4	17,8
90 kg.N.ha^{-1}	20,1	17,8	19,5	18,8
180 kg.N.ha^{-1}	17,9	16,4	18,4	19,0
Teste F				
Modos (M)	0,80	0,33	0,48	1,36
Cobertura (C)	1,31	0,00	4,42*	0,21
Doses (D)	0,59	0,37	0,62	0,26
M x C	0,85	1,80	0,61	1,02
M x D	0,55	0,58	1,60	0,66
C x D	0,65	0,06	3,46*	1,02
M x C x D	0,60	0,56	1,15	0,76
R.L.	0,59	0,00	1,24	0,46
R.Q.	0,34	0,74	0,00	0,06
CV_1 (%)	45,46	33,97	38,55	30,42
CV_2 (%)	41,70	44,61	36,26	38,98
Médias	19,0	16,8	19,4	18,5

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 25. Desdobramento da interação entre modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura significativa para teor de Ca na camada de 0,1 – 0,2 m de profundidade, Selvíria – MS, 2008.

Cobert./Doses	0	90	180	R.Q.	R.L.
Milheto	20,07 a	23,87 a	19,53 a	NS	NS
Crotalária	20,87 a	15,27 b	17,33 a	NS	NS

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Os teores de magnésio no solo nas diferentes camadas analisadas não foram influenciados estatisticamente pelos tratamentos analisados (Tabela 26). Os teores de magnésio na camada superficial apesar de superiores aos valores encontrados na camada de 0,05 - -0,1 m (Tabela 26) apresentam abaixo dos valores observados em 2003 (Tabela 14), demonstrando redução no Mg^{2+} após três anos de cultivo com milho, assim como verificado com os teores de Ca^{2+} (Tabela 24). Entretanto, os teores obtidos na Tabela 26 encontram dentro da faixa considerada ideal, Sousa e Lobato (2004), para cultivo do milho no cerrado (5 – 10 $mmol_c$ dm^{-3}), explicando as produtividades obtidas com milho (Tabela 7). Segundo Foloni e Rosolem (2006), nas camadas superficiais do solo 0-0,05 e 0,05-0,1 m independente das condições de calagem (superficial ou incorporado) houve redução nos teores dos cátions trocáveis Ca e Mg com incremento da dose de sulfato de amônio aplicado na superfície do solo, demonstrando o poder da adubação nitrogenada na movimentação de bases. Apesar destes autores usarem sulfato de amônia e neste trabalho a opção ser uréia como fonte de nitrogênio, os resultados obtidos demonstram que possivelmente o ânion NO_3^-, disponibilizado ao sistema após a nitrificação da uréia também possibilita movimentação de bases no solo. Evidências da promoção de deslocamento de bases no solo pelo íon nitrato são apontadas por Foloni e Rosolem (2006), que verificaram correlação entre o teor de Ca^{2+} no solo e o teor de NO^{-3} na profundidade de 0,3 – 0,5 m, quando a calagem foi realizada em superfície. Ainda segundo estes autores o Mg^{2+} em todas as condições de calagem apresentou lixiviação expressiva no perfil do solo, superior a Ca^{2+}, tanto nas condições de calagem superficial e incorporada, como na ausência de correção da acidez do solo, fato que explica os menores teores médios de Mg^{+2} obtidos em analise após três cultivos sucessivos com a cultura do milho.

Tabela 26 - Valores de F e médias do teor de magnésio no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	6,3	5,6	6,4	5,6
Superfície	7,0	5,6	6,0	7,3
½ + ½ super.	7,8	5,3	7,4	5,1
⅓+⅓+⅓ sup.	7,7	5,0	6.9	5,6
Sem calcário	5,6	4,7	6,0	7,8
Milheto	6,9	5,4	7,2	6,4
Crotalária	6,8	5,0	5,9	6,1
0 kg N ha^{-1}	6,7	5,0	6,8	6,1
90 kg N ha^{-1}	7,7	5,5	6,8	6,1
180 kg N ha^{-1}	6,3	5,5	6,0	6,6
Teste F				
Modos (M)	0,72	0,26	0,46	2,97
Cobertura (C)	0,01	0,39	2,55	0,24
Doses (D)	1,24	0,11	0,32	0,15
M x C	0,79	2,60	1,24	0,81
M x D	0,36	0,60	1,06	0,55
C x D	0,03	0,04	2,21	1,87
M x C x D	2,01	0,32	0,29	1,14
R.L.	0,18	0,09	0,49	0,23
R.Q.	2,30	0,13	0,16	0,07
CV_1 (%)	66,49	56,92	59,24	47,59
CV_2 (%)	52,63	73,17	67,31	67,91
Médias	6,9	5,2	6,5	6,3

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Os valores de pH do solo foram influenciados na camada superficial pelas culturas de cobertura, apresentando valor inferior quando o milheto foi utilizado (Tabela 27), discordando da afirmação de Caires et al. (2006) que leguminosas podem acidificar o solo com tempo.

Tabela 27- Valores de F e médias dos valores de pH ($CaCl_2$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário, culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	**0 – 0,05 m**	**0,05 – 0,10 m**	**0,10 – 0,20 m**	**0,20 – 0,40 m**
Incorporado	5,1	4,9	4,7	4,6
Superfície	4,9	4,7	4,9	4,9
½ + ½ super.	4,8	5,0	4,4	4,9
⅓+⅓+⅓ sup.	5,2	4,7	4,7	4,7
Sem calcário	4,8	4,5	4,5	4,5
Milheto	4,8 b	4,7	4,6	4,6
Crotalária	5,1a	4,8	4,8	4,8
0 kg N ha^{-1}	5,1	4,9	4,7	4,7
90 kg N ha^{-1}	5,2	4,7	4,5	4,6
180 kg N ha^{-1}	5,0	4,6	4,4	4,8
Teste F				
Modos (M)	3,55	1,80	1,21	1,37
Cobertura (C)	12,03**	0,17	1,59	1,75
Doses (D)	1,36	2,84	0,66	0,60
M x C	2,10	0,25	0,36	0,66
M x D	1,54	1,18	1,06	0,76
C x D	0,01	2,54	0,44	1,35
M x C x D	0,82	1,09	0,62	0,71
R.L.	0,26	5,38*	1,19	0,38
R.Q.	1,16	0,31	0,02	0,82
CV_1 (%)	8,10	10,89	15,93	10,89
CV_2 (%)	8,54	11,14	13,47	11,36
Médias	5,0	4,7	4,7	4,7

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Na camada de 0,05 -0,1 m as doses de nitrogênio promoveram redução linear nos valores de pH (y = -0,001778x + 4,95444, R^2 = 94,53 %), demonstrando o efeito de acidificação da adubação nitrogenada nesta camada de profundidade. Na camada de 0,1-0,2 m observou-se redução nos valores de pH com o acréscimo de doses de N-uréia, no entanto, sem diferença estatística.

Reduções de pH também foram verificadas por Silva e Vale (2000) com acréscimos na dose de nitrogênio, independente da fonte (uréia ou sulfato) em diferentes solos avaliados após quinze dias de incubação. Alterações de pH com adubação nitrogenada também foram verificadas por Strong et al. (1997) até níveis que inibem a nitrificação. Rosolem et al. (2003) relata que o valor de pH que limita a nitrificação aparentemente é 4,0 (pH $CaCl_2$) para um Latossolo Vermelho distróferrico, valor não obtido em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 27) no presente trabalho.

As parcelas cultivadas com milheto apresentaram menores teores de alumínio trocável (Al^{+3}) no solo, quando comparado a crotalária em todas as camadas de solo avaliadas, mas apenas na camada superficial verificou-se diferença estatística. O uso de calcário independente do modo reduziu os teores de Al^{+3}, acarretando valores médios menores que os encontrados na testemunha, em todas as profundidades avaliadas, entretanto, sem diferença estatística (Tabela 28).

Nas camadas de 0,05–0,1m; 0,1 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m as doses de nitrogênio promoveram aumentos lineares nos teores de alumínio trocável no solo, ajustados pelas equações:

i) $y_{(0,05–0,1\ m)} = 0,00963x + 1,43333$, $R^2 = 96,16$ %;

ii) $y_{(0,1–0,2\ m)} = 0,01258x + 1,71111$, $R^2 = 98,61$ %;

iii) $y_{(0,2–0,4\ m)} = 0,00593x + 1,62222$, $R^2 = 96,85$ %.

Interpretando essas equações obtemos que a adição de fertilizantes nitrogenados amoniacais acarreta aumentos superiores de Al trocável na camada de 0,1-0,2, quando comparado as demais.

Na camada superficial o teor de H + Al foi significativamente menor quando a cultura de cobertura utilizada foi a crotalária (Tabela 29). Nas camadas de 0,05–0,1 e 0,1 – 0,2 m, verifica-se um aumento linear na acidez potencial com o acréscimo de N-uréia ao sistema, explicado pelas equações:

i) $y_{(0,05–0,1m)} = 0,013889x + 22,9833$

ii) $y_{(0,1\ –0,2m)} = 0,026852x + 22,1278$

Tabela 28- Valores de F e médias dos teores de alumínio trocável no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m[(2)]	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m[(2)]	0,20 – 0,40 m[(2)]
Incorporado	0,5	2,0	2,0	1,9
Superfície	1,1	1,9	3,0	2,2
½ + ½ super.	1,3	1,6	2,8	2,1
⅓+⅓+⅓ sup.	0,2	1,9	2,7	2,0
Sem calcário	2,0	4,0	3,5	2,4
Milheto	0,4 b	2,0	2,3	1,7
Crotalária	1,2a	2,5	3,3	2,6
0 kg N ha^{-1}	0,8	1,3	1,6	1,5
90 kg N ha^{-1}	0,6	2,5	3,0	2,2
180 kg N ha^{-1}	1,0	3,0	3,9	2,6
Teste F				
Modos (M)	1,85	1,99	0,42	0,11
Cobertura (C)	9,72**	0,47	0,89	1,27
Doses (D)	0,22	7,41**	6,04**	2,39*
M x C	1,70	0,41	0,55	0,67
M x D	0,86	1,77	1,09	0,80
C x D	0,50	0,25	1,75	1,93
M x C x D	0,90	1,56	0,65	1,10
R.L.	0,05	14,25**	11,94**	4,27*
R.Q.	0,39	0,56	0,14	0,50
CV_1 (%)	35,25[(2)]	28,42[(2)]	50,69 [(2)]	43,45 [(2)]
CV_2 (%)	51,82	19,94	38,87	29,16
Médias	0,8	2,3	2,8	2,1

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.
[(2)] Dados transformados ($x^{1/2}$ + 0,5).

Avaliando essas equações temos que o acréscimo de 1 kg de N-Uréia ao sistema, promove praticamente o dobro de acréscimo na acidez potencial na camada de 0,1-0,2 m em relação à camada de 0,05 – 0,1 m.

Estes aumentos nos teores de Al^{+3} e H+Al deve-se, provavelmente as alterações nos valores de pH do solo, promovidas pela reação do fertilizante nitrogenado no solo. Os efeitos da acidificação da uréia localizado nas profundidades de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m deve-se a incorporação da adubação nitrogenada em profundidade igual ou superior a 0,05 m pelo adubador de discos desencontrados, além do maior poder tampão da camada superficial, visto que a mesma possui maior teor de matéria orgânica (Tabela 21). Segundo Camargo e Sá (2004) a uréia e os adubos nitrogenados amoniacais possuem reação ácida, devido ao processo de nitrificação que ocorre no solo. Ainda segundo este autores este processo pode promover sensíveis alterações no pH, principalmente se o solo possuir baixo poder tampão.

Não houve diferença estatística, entre os tratamentos para soma de bases no solo (Tabela 30), no entanto, na ausência de aplicação de calcário apresentou os menores valores nas camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,1 m e 0,1 – 0,2 m, demonstrando o efeito da adição de calcário no aumento das bases no solo (Ca, Mg), mesmo após 54 meses da utilização do corretivo.

A capacidade de troca catiônica (CTC a pH 7,0) foi pouco influenciada pelos tratamentos (Tabela 31), apresentando apenas influência das culturas de cobertura na camada de 0,1 - 0,2 m de profundidade, onde a cultura do milheto promoveu os maiores valores de CTC, quando comparado a crotalária.

A saturação por bases apresentou valores superiores aos obtidos na analise inicial, anterior ao uso de calcário (Tabela 1), em todas as camadas e tratamentos que se utilizou este corretivo (Tabela 24). As médias de saturação por bases foram inferiores nas camadas de 0,05 – 0,1 m provavelmente em função da adição das adubações nitrogenadas, nesta profundidade durante os três anos agrícolas de cultivo do milho.

Tabela 29 - Valores de F e médias de H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	20,6	22,7	22,2	21,0
Superfície	23,8	23,2	23,5	22,2
½ + ½ super.	24,7	22,2	25,3	19,7
⅓+⅓+⅓ sup.	20,7	25,0	27,2	19,8
Sem calcário	22,0	27,8	24,3	21,0
Milheto	24,1a	24,7	24,8	20,8
Crotalária	20,5 b	23,6	24,2	20,7
0 kg N ha^{-1}	21,9	22,6	21,5	20,6
90 kg N ha^{-1}	21,7	24,9	25,6	20,2
180 kg N $há^{-1}$	23,3	25,1	26,4	21,5
Teste F				
Modos (M)	1,55	1,99	1,67	0,70
Cobertura (C)	9,00**	0,56	0,28	0,00
Doses (D)	0,98	4,48*	12,37**	0,97
M x C	1,59	0,90	0,50	0,17
M x D	1,15	0,39	1,78	0,64
C x D	0,69	1,62	1,48	1,28
M x C x D	1,35	0,54	1,07	0,92
R.L.	1,33	4,01*	21,30**	0,96
R.Q.	0,62	0,94	3,44	0,99
CV_1 (%)	25,79	28,42	25,11	25,27
CV_2 (%)	21,49	19,94	16,52	18,36
Médias	22,3	24,2	24,5	20,8

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 30 - Valores de F e médias da soma de bases no solo ($mmol_c\ dm^{-3}$) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	26,0	23,7	26,0	25,0
Superfície	27,1	24,0	25,7	27,9
½ + ½ super.	31,1	24,0	29,6	23,1
⅓+⅓+⅓ sup.	29,7	23,2	28,7	23,0
Sem calcário	24,9	21,0	25,2	29,2
Milheto	26,5	23,3	29,3	25,5
Crotalária	29,0	23,0	24,8	26,0
0 kg N ha^{-1}	27,5	22,5	28,2	27,7
90 kg N ha^{-1}	29,9	24,2	27,6	24,8
180 kg N $há^{-1}$	25,9	22,8	25,4	25,4
Teste F				
Modos (M)	0,67	0,42	0,58	1,90
Cobertura (C)	0,84	0,03	3,73	0,07
Doses (D)	0,89	0,18	0,44	0,15
M x C	0,94	2,49	0,96	0,78
M x D	0,61	0,63	1,35	0,50
C x D	0,24	0,03	3,01	1,09
M x C x D	1,16	0,35	0,71	0,72
R.L.	0,26	0,01	0,80	0,27
R.Q.	1,52	0,36	0,09	0,23
CV_1 (%)	47,88	34,85	40,30	32,33
CV_2 (%)	41,69	48,50	44,16	45,72
Médias	27,8	23,2	27,0	25,7

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 31 - Valores de F e médias de capacidade de troca catiônica ($mmol_c\ dm^{-3}$) no solo em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	46,6	46,5	48,2	45,9
Superfície	51,0	47,3	49,1	50,1
½ + ½ super.	55.2	46,1	54,8	42,8
⅓+⅓+⅓ sup.	50,6	48,2	56,0	43,3
Sem calcário	46,9	49,0	49,5	50,2
Milheto	50,7	46,7	54,2 a	46,2
Crotalária	49,4	48,1	48,9 b	46,7
0 kg N ha^{-1}	49,3	45,1	49,7	45,5
90 kg N ha^{-1}	51,6	49,1	53,2	45,9
180 kg N $há^{-1}$	49,3	48,0	51,8	48,0
Teste F				
Modos (M)	1,20	0,18	2,38	1,86
Cobertura (C)	0,19	0,33	6,49*	0,05
Doses (D)	0,38	1,28	0,70	0,38
M x C	0,30	1,40	0,90	0,26
M x D	0,73	0,73	1,64	0,72
C x D	0,23	1,40	2,29	0,37
M x C x D	1,24	0,50	0,98	0,73
R.L.	0,00	1,28	0,49	0,67
R.Q.	0,77	1,28	0,91	0,09
CV_1 (%)	27,18	24,47	19,25	23,34
CV_2 (%)	23,82	21,11	22,51	26,09
Médias	50,1	47,4	51,5	46,5

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Os valores médios de saturação de bases obtidos apesar de abaixo do recomendado para a cultura do milho por Raij et al. (1996) 70%, não afetaram o rendimento de grãos (Tabela 7), provavelmente por estarem dentro da faixa recomendada por Sousa e Lobato (2004) para esta cultura em condições de sequeiro no cerrado. Estes menores valores apontados por Sousa e Lobato (2004) como ideais ao cultivo do milho, são explicados por estes autores considerarem em suas recomendações o uso do sistema plantio direto, sistema que aponta por menores necessidades de calagem. Trabalhos realizados na região sul buscando indicadores de tomada de decisão para calagem em sistema plantio direto (NOLLA et al., 2005 e NOLLA et al., 2006) apontaram como melhores indicadores o pH e saturação por bases no solo na camada de 0-0,1m ou 0-0,15 m, independente do cultivo com trigo ou soja, entretanto, os valores de saturação recomendados (70 % para trigo e 62% para soja) são superiores aos obtidos na Tabela 32, demonstrando a necessidade de se estabelecer parâmetros regionais para a tomada de decisão referente a calagem em sistema plantio direto e estes devem ser baseados nas principais culturas a ser exploradas nas diferentes regiões e nas condições edafoclimáticas de cada localidade.

Analisado a interação entre os modos adotados para aplicação de calcário em sistema plantio direto e as culturas de cobertura para valores de saturação de bases na camada de 0,05-0,1 m (Tabela 33), verificamos que a utilização do milheto como cultura de cobertura proporcionou diferença significativa, teste de Tukey ($P < 0,05$), entre a aplicação da dose total em superfície e a testemunha sem calcário, quando utilizou-se a crotalária como cultura de cobertura não se identificou diferença significativa entre os modos. Entretanto, quando analisamos as médias de saturação de bases dos modos de calagem observamos que os valores são bem superiores a testemunha, principalmente nos tratamentos em que o calcário foi aplicado todo incorporado ou em superfície e dividido em duas aplicações.

Tabela 32- Valores de F e médias da saturação por bases no solo (%) em função do efeito residual de modos de aplicação de calcário culturas de cobertura e doses de nitrogênio. Selvíria – MS, 2006[1].

Tratamentos	0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
Incorporado	54,7	49,8	51,3	54,0
Superfície	51,4	49,7	51,5	53,1
½ + ½ super.	54,5	49,8	51,0	53,1
⅓+⅓+⅓ sup.	56,7	46,7	49,7	53,7
Sem calcário	51,7	42,2	49,4	55,8
Milheto	50,8	47,0	52,3	53,7
Crotalária	56,5	48,3	48,8	54,2
0 kg N ha^{-1}	54,0	48,1	55,6	53,9
90 kg N ha^{-1}	55,8	48,3	49,1	54,9
180 kg N ha^{-1}	51,2	46,6	47,0	53,0
Teste F				
Modos (M)	0,32	2,32	0,10	0,34
Cobertura (C)	3,37	0,48	1,71	0,06
Doses (D)	1,06	0,12	3,93*	0,21
M x C	1,69	2,98*	0,64	1,20
M x D	0,41	0,55	1,10	0,31
C x D	0,39	0,75	2,30	2,33
M x C x D	0,95	0,39	0,90	0,49
R.L.	0,79	0,15	7,23**	0,08
R.Q.	1,33	0,09	0,62	0,34
CV_1 (%)	27,18	19,34	24,77	15,27
CV_2 (%)	22,62	30,03	24,37	20,92
Médias	53,7	47,7	50,6	53,9

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 33. Desdobramento da interação entre modos de aplicação de calcário e culturas de cobertura significativa para saturação por bases (%) na camada de 0,05–0,10 m de profundidade. Selvíria – MS, 2006[1].

Modos/Coberturas	Milheto	Crotalária
Incorporado	46,0 ab A	53,7 a A
Superfície	53,8 a A	45,5 a A
½ + ½ super.	52,2 ab A	47,5 a A
⅓+⅓+⅓ sup.	42,5 ab A	50,8 a A
Sem calcário	40,4 b A	44,1 a A

[1]Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Os valores médio de saturação de bases nas parcelas que receberam 180 kg ha^{-1} independente da profundidade foram inferiores as demais doses de N (Tabela 32). As doses de nitrogênio após três anos agrícolas promoveram uma redução da saturação de bases, efeito significativo na camada de solo entre as profundidade de 0,1 – 0,2 m, ajustando ao modelo linear, $y = -0,047593x + 0,017696$ ($R^2 = 92,03$ %). Esse efeito pode estar relacionado a dois fatores, o primeiro refere-se a maior exportação de bases, com os maiores rendimentos de grãos obtidos nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada; e o segundo referente a movimentação de bases em profundidade pela ligação do NO_3^- com as bases, visto que a concentração deste íon segundo Silva e Vale (2000) é promovida com o acréscimo das doses de uréia aplicado ao sistema e há indícios da promoção da lixiviação de bases pelo NO_3^-, apontados por Folini e Rosolem (2006).

Comparando os resultados obtidos para as médias de saturação de bases no solo na avaliação realizada anterior ao cultivo do milho (Tabela 20) com os obtidos após 3 anos agrícolas com milho, verificamos uma maior distribuição das bases no perfil do solo é uma tendência de menores valores nas camadas de 0,05 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m, provavelmente pela promoção do deslocamento de bases com aumento das doses de N-Uréia, pois este era aplicado incorporado a aproximadamente 0,05 m.

Os resultados do presente trabalho evidenciam uma interação entre concentração de bases no solo e doses de nitrogênio aplicado na forma de uréia, apontando indícios de promoção de deslocamento de bases em profundidade com acréscimo da disponibilidade de NO_3^- com adubação nitrogenada na forma de uréia, fato que beneficia o aumento de saturação de bases em

profundidade, promovendo o efeito corretivo do calcário aplicado em superfície em sistema plantio direto, reforçando assim, a hipótese apontada por Folini et al. (2006). Ainda segundo estes autores as interações entre as formas de aplicação de calcário e a adubação nitrogenada das culturas, pode proporcionar novas estratégias de manejo da fertilidade do solo, com enfoque no sistema de semeadura direta. Dessa forma, os ânions gerados no solo via adubação nitrogenada apresentaram potencial para incrementar a oferta de cátions de caráter básico na solução da camada arável, podendo favorecer a correção do solo em profundidade e a nutrição das culturas. A preocupação em promover a correção do solo com o calcário aplicado em superfície decorre principalmente da dificuldade em estabelecer novamente a estrutura do solo após preparo, segundo Cargnelutti Filho et al. (1996) são necessários três anos de SPD para a recuperação de 59 a 90% dos agregados destruídos pela mobilização do solo.

5. CONCLUSÕES

1. As diferentes formas de aplicação do calcário pouco alteraram os teores foliares e características agronômicas do milho e não influenciou a produção de grãos;
2. A resposta a adubação nitrogenada pela cultura do milho é menor quando este é cultivado em sucessão a crotalária, possibilitando a sua redução. Portanto, a crotalária como cultura de cobertura antecedendo o milho e mais eficiente que o milheto, principalmente a partir do segundo ano de cultivo;
3. Há interação entre movimentação de bases no perfil do solo e doses de nitrogênio adicionadas ao sistema no cultivo do milho;
4. A aplicação de fertilizantes nitrogenados, incorporados, promove à acidificação do solo próximo a profundidade de deposição;
5. O calcário distribuído sem incorporação, em aplicação única ou parcelada, possibilita pequena correção do solo em profundidade ao longo dos cultivos.

6. REFÊRENCIAS

ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 417-426.

AITA, C.;BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. ; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, 157-165, 2001.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F.; Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.29, n.6, p. 923-934, 2005.

ALVARENGA, R.C.; LARA CABEZAS, W.A.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo a persistência da cobertura morta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n.1, p.127-132, 1995.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, 241-248, 2002.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.36, n. 4, p. 695-702, 2001.

ARATANI, R.G. **Culturas de cobertura e épocas de aplicação de nitrogênio para as culturas de milho e soja em plantio direto na região de cerrado**. 2003. 48 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N.G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. **Ciência Rural**, v.29, n.1, p.165-166, 1999.

BONAMIGO, L.A. Milheto como cobertura no sistema de plantio direto, benefícios do melhoramento da cultura. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7, 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2003. p.37-48.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In:___. **A cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Redução da açidez e movimentação de bases no solo pelo uso de calcário e gesso na superfície e resposta da soja e do milho cultivados em plantio direto. In: CONGRSSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO, 1, 1996, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1996. p.78-79.

CAIRES, E.F.; BANZATO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, 2000.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.22, n.1, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição de soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n. 1**,** p. 87-98, 2006.

CAMARGO, F.A.O.; SÁ, E.L.S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Genesis, 2004. p.93-116.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T. **A cultura do milho:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.147-185.

CANTARUTTI, R.B.; ALVARES, V.H.; RIBEIRO, A.C. Amostragem de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação.** Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais,1999. p.13-20.

CARGNELUTTI FILHO, A.; REINERT, D.J.; BORGES, D.F. Recuperação da estabilidade estrutural induzida pelo plantio direto, de solo que recebeu preparo convencional por dois anos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Trabalhos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM).

CARVALHO, M..A.C. **Sucessão de culturas a quatro adubos verdes em dois sistemas de semeadura**. 2002. 185 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O.; SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p. 47-53, 2004.

CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p. 33-40, 2002.

CASTRO, O.M.; MARIA, I.C. Plantio direto e manejo do solo. In: WUTKE, E.B.; BULIZANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico.** Campinas: IAC, 1993. p.87-103. (Documentos IAC, 35).

DELAVALE, F.G. **Culturas de cobertura do solo e calagem na implantação de plantio direto para as culturas de milho e soja**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja:** Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, safra 2001/2002. Dourados: EMBRAPA/CPAO, 2001. p.28. (Sistemas de Produção, 1).

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants.** Sunderland: Sinauer Associates, 2004. 402p.

EPSTEIN, E. Plants and inorganic nutrients. In: HOPKINS, W.G. **Introdution to plant physiology**. 2 ed. New York: John Wiley, 1999. p.61-67.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. **Evolução da área de plantio direto no Brasil.** Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html> acesso em: 10 jan. 2008.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo,** Sete Lagoas, v.4, n.2, p.195-204, 2005.

FERREIRA, D. F. **Sisvar versão 5.0 (Biud 66):** sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

FERREIRA, F.M.; CORÁ, J.E.; MARCELO, A.V.; MARTINS, M.R. Atributos químicos do solo e resposta do milho à calagem em sistema de semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6, 2006, Bonito. **Resumos Expandidos...** Bonito: Embrapa/CNPAO: SBCS: SBM, 2006. CD-ROM.

FOLINI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A. Efeito da calagem e sulfato de amônia no algodão. I – Transporte de cátions e ânions no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.30, p.425-432, 2006.

FOLINI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A. Efeito da calagem e sulfato de amônia no algodão. II – Concentração de cátions e ânios na solução do solo e absorção de nutrientes pelas plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.30, p.433-442, 2006.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M.; CAUDÊNCIO, C.A. Alterações a fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459-467, 2000.

GOEDERT, W.J. **Solos dos cerrados:** tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel, 1985. 422p.

GOMES, A.S.; VERNETTI JUNIOR, F.J.; SILVEIRA, L.D.N. Manejo da calagem no sistema plantio direto, solo de várzea, sob condições naturais.In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1997. p.213-216.

GUIMARÃES, G.L. **Efeitos de culturas de inverno e do pousio na rotação das culturas de soja e milho em sistema de plantio direto.** 2000. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. Manejo do solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Recomendações técnicas para mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados: EMBRAPA, 1996. p.34-53.

INTITUTO DE ECONOMIA AGRICOLA - IEA - **Banco de Dados:** Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>. Acesso em: 05 Fev. 2008.

LARA CABEZAS, W.A.R. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de cerrado. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.45, p.52-60, 1998.

LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M.A.A.; SÁ, M.E.; GOMES JUNIOR, F.G. Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo do milho em sistema de pantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.298-307, 2005.

LIMA, E. V. **Calagem superfícial em diferentes coberturas vegetais do solo na implantação do sistema de semeadura direta e resposta da soja cultivada em safrinha.** 2001. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

LUCENA, L.F.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v.4, n.3, p.334-337, 2000.

MAIZLISH, N. A.; FRITTON, D. D.; KENDALL, W. A. Root morphology and early development of maize at varying levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.1, p.25-31, 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MELLO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192p.

MELLO, J.C.A.; VILLAS BÔAS, R.L.V.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C.A.C. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistema plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.27, n.3, p.553-561, 2003.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 25, n.1, p.71-81, 2001.

MURAISHI, C.T.; LEAL, A.J.F; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; GOMES JUNIOR, F.G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum: Agronomy,** Maringá, v.27, n.2, p.199-207, 2005.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. Nutrição e adubação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. **O milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1982. p.88-104.(Circular,29).

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema de plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, 1, 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: AEACG, 2000. p. 137-145.

NOBLE, A.D.; RANDALL, P.J. ; JAMES, T.R. Evaluation of two coal-derived organic products in ameliorating surface and subsurface soil acidity. **European Journal Soil Science,** Oxford, v. 46, p. 65-75, 1995.

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J.A.; AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Indicadores para a tomada de decisão de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.4, p. 471-476, 2005.

NOLLA, A.; ANGHINOMI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira Ciência do Solo,** Viçosa, v.30, p.475-483, 2006.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean productions. **Soil and Tillage Research,** Amsterdam, v.38, p.47-57, 1996.

PAULA, M.B. et al. Efeitos do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **Informe Agropecuário,** Belo Horizonte, v.19, n.191, p.66-70, 1998.

PAVAN, M. A.; BINGHAN, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or grypsum applications to Brazilian Oxisol. **Soil Science Society América Journal**, Madison, v.48, p.33-38, 1984.

PAVAN, M. A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto,** Passo Fundo, v.41, p. 8-12, 1997.

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogenapplication on downward movements of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v. 93, n. 1, p. 77-82, 1962.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; CECON, P.R.; GUERRA, J.G.M.; FREITAS, G.B. Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v.63, n.5, p.453-459, 2006.

PITOL, C. O milheto na integração agricultura-pecuária. **Informações Agronômicas,** Piracicaba, v.76, p.8-9, 1996.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.675-684, 1998.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B.van. Efeito da aplicação do calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A. et al. Resposta da soja a aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1983.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.24, n.4, p.797-805, 2000.

RODRIGUES, L.R.; LAZARINI, E.; FERNANDES, E.M.L.; MURAISHI, C.T.; LEAL, A.J.F. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura de milho em plantio direto na região de Cerrado (Safra 2004/05). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6, 2006, Bonito. **Resumos Expandidos...** Bonito: Embrapa/CNPAO: SBCS: SBM, 2006. CD-ROM.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p. 301-309, 2003.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto.** Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto.** Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto: In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p. 32.

SANTOS, M.V.C.; ELTZ, F.L.F.; HICKMANN, C.; STEFANELO, C. Avaliação de doses e formas de calagem em sistema plantio direto após sete anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos Expandido...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. CD ROM.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.35, n.12, p.2461-2471, 2000.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.29, n.3, p.353-362, 2005.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.286-297, 2005.

SILVA, C.S.; MURAOKA, T.; GUIMARÃES, G.L.; BUZETTI, S. Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.5, n.2, p.202-217, 2006.

SOUZA, D.M.G. Correção do solo e adubação sob sistema plantio direto no cerrado. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7, 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2003. p.147-154.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: ___. **Cerrado:** Correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: S.n., 2004, p. 129-145.

STRONG, D.T.; SALE, P.W.G.; HELYAR, K.R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. **Australian Journal of Soil Research,** Melbourne, v.35, n.3, p.565-570, 1997.

TERASHIMA, A.H.; MELLO, L.M.M.; BINOTTI, F.F.S.; ROSA FILHO, G. Efeito do manejo do solo e doses de calcário no cultivo do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5, 2004, Lages. **Resumos Expandidos...** Lages: UESC: SBCS: SBM, 2004. CD-ROM.

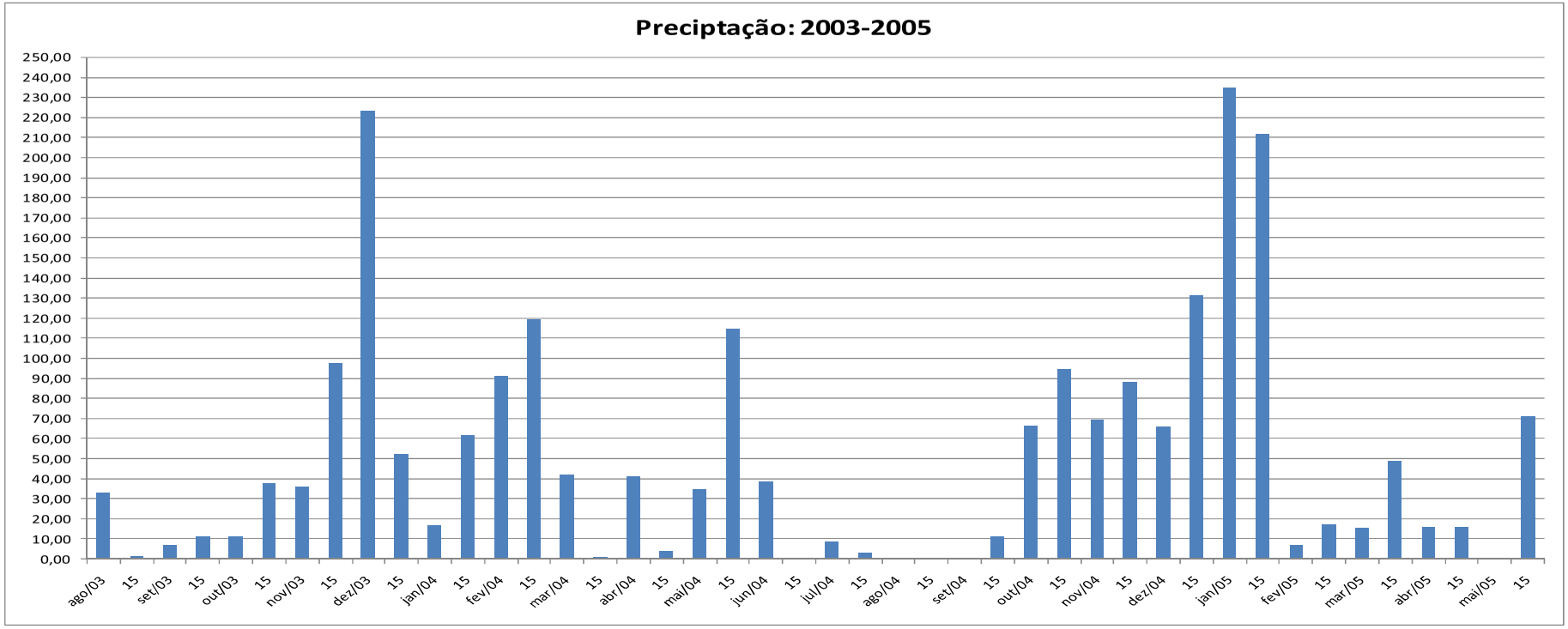
TISDALE, S.L. et al. **Soil fertility and fertilizers.** New York: McMILLAN, 1993.

VITTI, G.C. et al. **Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção.** Piracicaba: SERRANA, 1999. 36p.

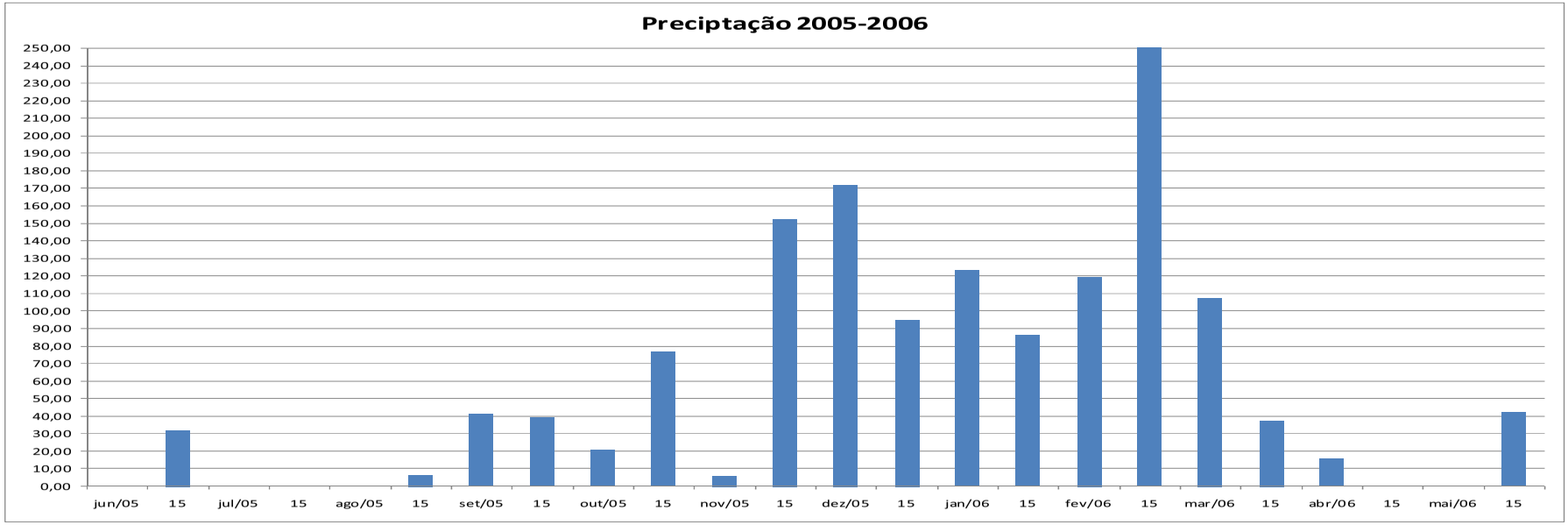
WATT, H.V.H. Van der; BARNARD, R.O.; CRONJE, I.J.; DEKKER, J.; CROFT, G.J.B.; Van der WALT, MARIA M. Amelioration of subsoil acidity by application of a coal-derived calcium fulvate to the soil surface. **Nature,** London, v.350, p.146-148, 1991.

WEIRICH NETO, P. H. et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.30, n.2, p. 257-261, 2000.

7. APÊNDICE



Apêndice 1: Precipitação quinzenal ocorrida na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/Unesp), durante os anos agrícolas 2003/04 e 2004/05, Selvíria-MS.



Apêndice 2: Precipitação quinzenal ocorrida na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/Unesp), durante o ano agrícola 2005/06, Selvíria-MS.