

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MÉTODOS DE INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO
EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO
DIRETO**

ALEXANDRE STELLA BUZZATTI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, setembro de 2010

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MÉTODOS DE INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO
EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO
DIRETO**

ALEXANDRE STELLA BUZZATTI

Orientador: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, setembro de 2010.



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

"Métodos de incorporação de calcário em um latossolo vermelho sob plantio direto"


Elaborada por

Alexandre Stella Buzzatti

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Área de Produção Vegetal

Aprovada em: 21/09/2010
Pela Comissão Examinadora


Dr. Vilson Antonio Klein
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador


Dr. Vilson Antonio Klein
Coord. Prog. Pós-Graduação em Agronomia


Dr. Sirio Wiethölter
Embrapa Trigo


Dr. Hélio Carlos Rocha
Diretor FAMV


Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy
UPF

CIP – Catalogação na Publicação

B992m Buzzatti, Alexandre Stella

Métodos de incorporação de calcário em um latossolo
vermelho sob plantio direto / Alexandre Stella Buzzatti. –
2010.
73 f. : il. ; 25 cm.

Orientação: Prof. Dr. Vilson Antonio Klein.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de
Passo Fundo, 2010.

1. Calagem dos solos. 2. Latossolos. 3. Palha –
Utilização na agricultura. 4. Química do solo. 5. Física do solo. 6.
Calcário. I. Klein, Vilson Antonio, orientador. II. Título.

CDU: 631.543

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

DEDICO

Aos meus pais Eduardo e Maria Lucia, pelo apoio irrestrito e
incondicional;

Aos meus irmãos Anna Maria e Carlos Eduardo, pela pronta
disposição e sempre palavra de incentivo;

Em especial aos demais familiares e amigos, que de alguma forma
contribuíram para este esperado dia.

AGRADECIMENTOS

A conclusão dessas etapas desse trabalho foi uma obra em conjunta de vários homens e mulheres que colaboraram para a realização de tal feito. Gostaria de agradecer, nesse pequeno espaço do texto, algumas delas.

Agradecimento, primariamente a Deus, pelo dom da vida, força e saúde. E permitir-me escalar mais um degrau na escada do conhecimento.

A Universidade de Passo Fundo (UPF) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV), no programa de pós-graduação em Agronomia, pela estrutura disponibilizada e bolsa para custeio da mensalidade.

A CAPES, pela bolsa oferecida durante a realização do curso.

Ao meu pai Eduardo, exemplo exímio de compromisso, dedicação, humildade, honestidade, conduta exemplar e inquestionável.

A minha mãe Maria Lucia, ser admirável, pela dedicação, cuidado e proteção aos filhos e à família. Por ser o ponto de apoio nos momentos mais delicados e ter um sorriso pacificador nos momentos de discórdia.

A minha irmã Anna Maria e meu irmão Carlos Eduardo, pelo companheirismo, ajuda, incentivo e disposição.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wilson Antonio Klein, pela orientação, disponibilidade, capacidade de diálogo, ensinamento, paciência, compreensão e acima disso, amizade, nesses quase dois anos de orientação acadêmica.

Ao colega, e amigo em especial, Luciano Leite Navarini, pela amizade, companheirismo, apoio e parceria irrestrita.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, principalmente Marcel Rizzardi, Rita Carlini, Cristiano Lajús, Mario Miranda, Bernardo Tisot e Guilherme Parize.

Ao professor Elmar Luiz Floss, pelos oito meses de orientação acadêmica e ensinamentos.

Ao professor Pedro Alexandre Varella Escosteguy, pela disposição, colaboração na realização desse trabalho e pelos ensinamentos.

Aos colegas de Laboratório de Fisiologia Vegetal, Ana Silvia Camargo, Tiago Dalsasso, Naiana Mello, André Victor, Fabio Ceccon e Elizandro Kluge, pela amizade, companheirismo e ajuda na condução dos trabalhos.

Aos colegas de Laboratório de Física e Água do solo, Matheus Baseggio, Tiago Madalosso, Leandro Oliveira da Costa, Lucas Oliveira da Costa, Bruno Morlin, Elias Barboza, Vinicius Steffler, Claudia Klein e Maura de Oliveira pelo companheirismo, dedicação e doação na condução dos experimentos.

Aos amigos e familiares, geograficamente perto ou longes, sempre prontos para apoiar e a toda hora ao lado.

Aos funcionários da FAMV e do CEPAGRO pela camaradagem, amizade e ajuda na realização dos trabalhos.

As demais pessoas que, de alguma forma, ajudaram para a conclusão desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Solo agrícola	7
2.1.1 Solo agrícola sob plantio direto	7
2.2. Acidez do solo e alumínio tóxico	9
2.3. Acidez do solo e toxicidade de alumínio em plantio direto	11
2.4. Matéria orgânica no perfil do solo em plantio direto	13
2.5. Calagem do solo	14
2.5.1. Calagem do solo sob plantio direto	15
2.6. Preparo do solo e incorporação do calcário	17
2.6.1 Incorporação do calcário com aração ...	17
2.6.2 Escarificação do solo e incorporação de calcário	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Tratamentos	23
3.2 Delineamento Experimental	25
3.3 Culturas de inverno	26
3.4 Cultura da soja	27
3.5 Variáveis analisadas	29

3.5.1 Argila dispersa em água	29
3.5.2 Atributos químicos pelas análises químicas do solo	29
3.5.3 Análise foliar da folha bandeira das plantas	29
3.5.4 Produtividade de matéria seca e rendimento de grãos	30
3.6 Análises estatísticas	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Análise de argila dispersa em água	31
4.2 Resultado das análises dos atributos químicos do solo....	33
4.2.1 pH SMP	33
4.2.2 pH em água	34
4.2.3 Saturação por alumínio (m%)	37
4.2.4 Teores de cálcio e magnésio	39
4.2.5 Saturação por bases (SB%)	42
4.2.6 Teores de fósforo e potássio	45
4.2.7 Capacidade de troca catiônica potencial (CTC pH 7,0)	46
4.2.8 Matéria orgânica do solo (MOS)	48
4.3 Resultados das plantas de inverno	49
4.4 Resultados das análises de nutrientes na composição da folha bandeira da aveia e do trigo	51
4.4.1 Nitrogênio, magnésio e cálcio	51
4.4.2 Potássio e fósforo	54

4.5 Resultados da cultura da soja	55
5. CONCLUSÕES	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Teores de argila, silte e areia em profundidade	22
2	Atributos químicos do solo em profundidade antes da implantação do experimento.....	22
3	Argila dispersa em água em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	23
4	Tratamentos utilizados no experimento.....	31
5	Índice SMP em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	32
6	pH em água em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	33
7	Saturação por alumínio (%) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	36
8	Saturação por bases (%) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	39
9	Teores de potássio (mg.dm^{-3}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	42
10	Teores de potássio (mg.dm^{-3}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	43
11	Teores de potássio (mg.dm^{-3}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	44
12	Teores de potássio (mg.dm^{-3}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	45
13	Capacidade de troca catiônica (CTC) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	46

14	Teores de matéria orgânica (g.kg^{-1}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos	47
15	Massa seca de aveia preta	48
16	Rendimento de grãos das culturas de inverno	49
17	Percentual de nitrogênio (N) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo	50
18	Percentual de magnésio (Mg) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo	52
19	Percentual de cálcio (Ca) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo	52
20	Percentual de fósforo (P) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo	53
21	Percentual de potássio (K) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo	54
22	Estatura de plantas de soja	55
23	População final de plantas	55
24	Rendimento de grãos de soja (2009/10)	56
25	Rendimento de grãos perdido por vagens não completas	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Escarificador modelo Jumbo-Matic	24
2	Arado com discos de 28 polegadas de diâmetro	25
3	Precipitação ocorrida durante o período crítico de enchimento de grãos da soja	58

MÉTODOS DE INCORPORAÇÃO DE CALCÁRIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO

Alexandre Stella Buzzatti¹

RESUMO – Limitações químicas no solo, ao crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas, é um dos principais entraves a máxima produtividade e estabilidade da produção agrícola. O sistema plantio direto, manejo conservacionista por excelência, no qual não ocorre revolvimento do solo, corretivos da acidez são aplicados na superfície, acarretando gradiente químico no perfil do solo, e limitações ao crescimento do sistema radicular, pela presença de níveis tóxicos de alumínio. Com o objetivo de avaliar o efeito sobre as plantas de diferentes métodos de incorporação de calcário em um Latossolo Vermelho Distrófico húmico foi realizado este trabalho. Os tratamentos consistiram do plantio direto sem e com calagem na superfície $\frac{1}{2}$ SMP, escarificação e aração após aplicação de calcário 1 SMP para pH 5,5 e aplicação metade da dose de 1 SMP para pH 6,0 antes e após a aração. Após seis meses da implantação do experimento amostras de solo foram coletadas para análise de atributos físicos e químicos do solo. Avaliou-se também o efeito desses manejos no desempenho das culturas de trigo, cevada e aveia preta e no verão da soja. Das plantas de trigo e cevada coletaram-se folhas para realização da análise foliar. Das culturas avaliou-se os componentes de rendimento e o rendimento de grãos. Os resultados indicaram que a tanto a escarificação como a aração foram capazes de incorporar

¹ Eng.-Agr. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de concentração em Produção Vegetal, Passo Fundo – RS.

calcário até a profundidade de 15 cm, reduzindo gradiente químico e eliminando a presença de elementos tóxicos, melhorando a qualidade química do solo em profundidade, embora essas melhorias não tenham proporcionado melhor desenvolvimento e tampouco maior rendimento de grãos das culturas implantadas, aos 2 (aveia, trigo e cevada) e aos 8 meses (soja) após a implantação do experimento. Constatou-se ainda que os manejos não afetaram o teor de matéria orgânica do solo. Conclui-se que a escarificação por mobilizar menos o solo e mesmo assim incorporou de forma satisfatória o calcário e uma operação que pode ser recomendada quando limitações químicas e físicas são constatadas em solos sob plantio direto.

Palavras chave: Plantio direto, calagem, métodos de incorporação

LIME INCORPORATION METHODS IN OXISSOL UNDER NO TILLAGE

Alexandre Stella Buzzatti²

ABSTRACT – Chemical limitations in soil, to the root growth in cultivated plants, is one of the main problems for yield and stability of agricultural production. No tillage system, is a conservative management for excellence, without soil revolving, liming materials are applied on the surface, causing chemical gradient in the soil profile and root growth limitations due to the presence of aluminum levels within the toxic range. This study aimed to evaluate the lime incorporation methods effect on the plants in a Oxissol. Treatments consisted of no tillage with or without liming on the surface $\frac{1}{2}$ SMP, chiseling and plowing after lime application 1 SMP for pH 5.5 and half requirement of 1 SMP for pH 6.0 applied before and after plowing. Six months after implementation of experiment, soil samples were collected for the physic-chemical analisys. The effect of these soil managements on wheat, barley and black oat yield and the soybean in the summer were also evaluated. Wheat and barley leaves were collected for leaf-analysis. Grain yield and yield components were evaluated. Results indicated both plowing and chiseling were able to incorporate lime into the soil down to 15 cm, decreasing chemical gradient and eliminating presence of toxic elements, improving soil chemical quality in deeper layer. Although these improvements did not provide better development neither higher grain yield for the crops two months (oat, wheat and barley) and eight

months (soybean) after implementation of the experiment. Management did not affect organic matter content in soil. It was concluded that chiseling could be recommended when chemical or physical limitations, because this management mobilize less the soil and even so it incorporated the lime.

Key words: No tillage, liming, incorporation methods

1 INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas sob plantio direto possuem, de maneira geral, propriedades e atributos que requerem constantes estudos sobre as alterações ocorridas neste sistema. A prática do sistema plantio é uma prática eficaz na minimização da erosão hídrica, principalmente pela interceptação do impacto da gota da chuva sobre a superfície do solo. Esta ação não é entanto eficiente quando as condições físico-hídricas do solo não permitem um fluxo vertical adequado de água no perfil do solo.

O estudo da acidez do solo no sistema plantio direto é fundamental para a continuidade e sustentabilidade do sistema. No Rio Grande do Sul o plantio direto está concentrado, em grande parte nos latossolos com substrato basáltico e de arenito. Esses latossolos possuem uma grande CTC potencial, entretanto são de caráter ácido e com uma elevada saturação de alumínio. Para Bohnen (2000), essa propriedade é função da gênese desses solos, pois os processos e fatores sobre as rochas da região e lixiviação de bases, tendem a formar solos ácidos com o avanço do intemperismo.

Aliado a isso, no sistema plantio direto, onde a semeadura e as práticas de adubação e calagem são feitas sem revolvimento do solo, e a manutenção dos restos culturais bem como a ciclagem desses ocorre nos primeiros centímetros do perfil do solo. A repetição continua desse ciclo propicia uma tendência em aumentar os teores de matéria orgânica e a concentração de nutrientes na superfície do solo, predispondo as plantas a deficiência hídrica com maior frequência (MUZILLI, 1983).

Essa característica do sistema estimula à criação de um gradiente de concentração de nutrientes e atividades microbianas a partir dos primeiros centímetros e em direção a camadas mais profundas. Esse gradiente de nutrientes, inclui o alumínio (tóxico) e outros nutrientes que diminuem o pH do solo e elevam a acidez do mesmo (MUZILLI, 1983).

A hipótese para a realização deste trabalho é de que formas de incorporação de calcário, com utilização de arado de discos e escarificador, são capazes de incorporar o calcário em profundidade, eliminando gradiente químico, corrigindo os atributos químicos, além de proporcionar melhores condições para o desenvolvimento e rendimento das culturas de grãos em comparação a aplicação superficial de calcário ou a não aplicação e nem revolvimento do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de formas de incorporação e da aplicação de diferentes doses de calcário em solo sob plantio direto em comparação a aplicação superficial de calcário e a não aplicação de calcário e nem revolvimento do solo, avaliando as propriedades químicas desse solo, a argila dispersa em água, além dos teores de nutrientes absorvidos pela folha bandeira de trigo e aveia e o rendimento agrônômico dessas práticas nas culturas de aveia, cevada, trigo e soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solo agrícola

Um solo é formado por 45% de matéria mineral, 50% de porosidade (ar e água) e 5% de matéria orgânica. O uso agrícola do solo de acordo com sua capacidade de uso e produção econômica, aliado aos cuidados para evitar desgaste e empobrecimento, é o primeiro passo rumo a uma agricultura sustentável (HUDSON, 1971).

Dentre as principais limitações de um solo agrícola pode-se citar: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água e suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 1999).

2.1.1. Solo agrícola sob plantio direto

O plantio direto é uma prática conservacionista do solo, especialmente adequada para as condições de ambiente de regiões tropicais e subtropicais, onde se mantém o solo protegido da chuva. Esse sistema caracteriza-se pela sua eficiência no controle de perdas de solo e água e na redução dos custos operacionais, principalmente pela eliminação de operações de preparo do solo, tais como a aração e a gradagem. A sua adoção tem viabilizado a implantação de sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental, tornando-se a base da sustentabilidade (ASSIS e LANÇAS, 2004).

De acordo com Rosolem (1995), os fatores do solo que afetam o desenvolvimento radicular das plantas podem ser divididos em fatores físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração, e fatores químicos, como pH do solo, disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas e altos níveis de elementos tóxicos.

Em plantio direto, comparado ao solo em preparo convencional, ocorreu acidificação na camada superficial do solo, evidenciada pelos menores valores de pH e maior concentração e saturação por Al, após 22 anos de cultivo comparando os sistemas. Entretanto, as maiores concentrações de Ca, Mg, K e de P na fase sólida e na solução, bem como os maiores teores de carbono orgânico total e solúvel, atuam na minimização do efeito negativo da acidificação do solo em plantio direto, contribuindo para a obtenção de maiores ou equivalentes rendimentos das culturas neste sistema conservacionista de manejo (CIOTTA, 2002).

De acordo com Martinazzo (2006), o sistema plantio direto apresenta algumas restrições físico-químicas à maximização da produtividade das culturas, como: (a) maioria dos solos amostrados com elevados teores de Al tóxico e baixa saturação de bases em profundidades maiores de 10 cm, indicando correção efetiva do calcário somente na camada superficial; (b) entre 0 – 10 cm, mais de 66% dos solos apresentam teores suficientes de P, entretanto, nas camadas subsuperficiais aproximadamente 75% dos solos apresentam baixa disponibilidade de P; e (c), todos locais amostrados apresentam tendência a compactação, a partir de 8 cm de profundidade.

2.2 Acidez do solo e toxicidade do alumínio

A expansão da agricultura no Brasil nos anos 60, a partir do Sul em direção ao resto do país, se deu em solos com, originalmente, pH em água inferior a 5,0 (MOHR, 1960; MIELNICZUK e ANGHINONI, 1976). Em um levantamento, Guimarães (2005) mostra que no Brasil 68% dos solos possuem elevada acidez, toxicidade de alumínio e baixa disponibilidade de fósforo. Assim como Kochian et al. (2004), que grande parte dos solos ácidos ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, estimando que nos trópicos estejam 60% dos solos ácidos. Por isso a importância da acidez (toxicidade do alumínio), já que esse metal compromete cerca de 50% dos solos agricultáveis no mundo.

Conceitualmente, a acidez do solo pode ser dividida entre acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa refere-se à concentração de H^+ na solução do solo e é expressa em valores de pH. A acidez potencial, por sua vez, é dividida entre acidez trocável e acidez não trocável. A acidez trocável refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas e são representados pelo H^+ trocável e Al^{3+} trocável. Sendo esta que irá causar dano imediato às culturas. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio. Essa acidez representa as quantidades de H^+ e Al^{3+} que se desprendem dos compostos a que estão ligados e seguem para a solução do solo à medida que a acidez trocável vai sendo corrigida. A acidez potencial corresponde à soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo (LOPES e GUILHERME, 1990).

Desde as primeiras décadas do século XX, o alumínio (Al^{3+}) foi apontado como o principal problema de solos com pH baixo ou muito baixo (WIETHOLTER, 2000). O alumínio de forma tóxica ocorre principalmente, quando este se encontra na forma solúvel. Nos solos ácidos ($\text{pH} < 5$), o alumínio torna-se solúvel e, assim, ao reagir com moléculas orgânicas, modifica-as e suprime suas funções (BULANOVA et al., 2001).

Na solução do solo, de maneira geral, a quantidade de alumínio aumenta com o aumento da acidez. Assim, a alta atividade do hidrogênio na solução diminui o pH, favorecendo a percolação por bases como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e, permanece o alumínio, especialmente o Al^{3+} como o cátion em maior quantidade na CTC. Assim, à medida que avança o intemperismo, ocorre à perda de bases, aumentando a capacidade de retenção de ânions, que liga os mesmos aos cátions remanescentes, ou seja, os íons de alumínio trocáveis. Tornando assim, o solo ácido (ANGHINONI e BISSANI, 2004).

A forma de absorção do alumínio varia muito, podendo ser chamado na forma livre ou como íon Al^{3+} , que causa primeiramente a redução do crescimento das raízes. Assim, essas ficam menores, mais grossas e sem as ramificações finas, o que diminui a capacidade de absorver a solução do solo (água e nutrientes), inibindo também a expansão, a alongação e a divisão celular (KOCHIAN et al., 2004).

A toxicidade de alumínio acarreta em redução no rendimento das culturas e maior sensibilidade a períodos de estiagens. Isso é causado pelo menor crescimento das raízes e na interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes pelas plantas SILVA et al., 1984; CAMARGO et al., 1998; GUIMARÃES, 2005).

A deficiência de fósforo nos órgãos aéreos é o sintoma mais similar da toxidez do alumínio nas plantas, consequência de menor quantidade de fósforo nas plantas, menor translocação e deficiência fisiológica de fósforo nas plantas (FOY, 1974 *apud* DINIZ e CALBO, 1990). Clarkson (1966) mostra resultados em trabalhos com cevada, apontando que a presença de alumínio interfere negativamente na absorção de fósforo e reação entre o fosfato e o alumínio interfere no transporte desse fósforo.

2.3 Acidez do solo e toxicidade do alumínio em plantio direto

Paiva et al. (1996) afirma que a cinética e a intensidade da acidificação varia conforme o manejo do solo. Independente do sistema de manejo, a acidificação do solo é um dos processos propiciados pelos solos cultivados e que dificultam o pleno desenvolvimento das plantas (BOHNEN et al., 2000). Prova disso, Vieira et al. (2009) mostraram a redução de um pH original ao redor de 5,8 para ao redor de 5,6 e 4,3 em 0 – 5 cm e 5 – 10 cm, respectivamente após 21 anos de plantio direto, com adição de nitrogênio no sistema. Aumentando assim com o passar do tempo os teores de Al trocável na solução do solo.

Pöttker e Ben (1998), comparando diferentes doses de calcário aplicadas na superfície de um Latossolo Vermelho Distrófico típico e de um Latossolo Vermelho Distroférico típico sob plantio direto, obtiveram, em ambos os solos, redução do Al trocável, principalmente na camada de 0-5 cm, e, em menor grau, na camada de 5-10 cm,

quando utilizaram as doses de 1 SMP e $\frac{1}{2}$ SMP (10,7 e 7,2 t ha⁻¹, respectivamente).

Salet et al.(1999) comparando o plantio convencional e plantio direto, constatou que no plantio direto havia na camada de 0 – 5 cm e 5 – 15 cm, 0,14 e 0,20 mmol_c.dm⁻³, respectivamente, ante 0,09 e 0,17 mmol.dm⁻³ de Al trocável. Segundo o autor quando avaliado a atividade do alumínio na camada de 0 – 5 cm, no plantio direto 70% do Al estava na forma “Al – Ligantes orgânicos”, ante 49% no plantio convencional. Já as formas tóxicas de Al (Al³⁺, AlOH²⁺ e Al(OH)⁺₂) no plantio direto somam em torno de 40%, ante 47,5% do plantio convencional. Assim, no plantio direto, a maior parte do alumínio solúvel está complexado na forma orgânica, obtendo menor percentual de espécies tóxicas de alumínio quando comparado ao sistema convencional.

Em plantio direto, a acidificação na superfície é mais intensa (AMARAL, 2002; CIOTTA et al., 2002). Quando comparados os sistemas de manejo (plantio direto e convencional) em um mesmo valor de pH e alumínio solúvel, foi estimada menor atividade química do alumínio. Os ligantes orgânicos do plantio direto são, provavelmente, os principais responsáveis pela menor atividade química do alumínio (SALET, et al., 1999).

O calcário ao reagir com o alumínio propicia a solubilização do fósforo. A disponibilidade desse nutriente será na faixa de pH com maior solubilização e reação com alumínio do solo. De acordo com Viviani et al. (2010) a disponibilidade de P no solo e a acumulação em plantas de soja aumentou com a calagem, em dois latossolos.

Sá (1999) concluiu que a incorporação de calcário até 20 cm não influenciou na produção de soja. Entretanto, alguns autores têm

ênfatisado que em plantio direto a aplicação de calcário com incorporação tem sido eficiente para a correção de acidez, principalmente na camada de 10 – 20 cm (KAMINSKI et al., 2005; ROSSATO, 2007).

2.4 Matéria orgânica no perfil do solo em plantio direto

No sistema plantio direto, que tem por um dos princípios, aumentar e promover a formação de matéria orgânica é citado que essa mesma matéria orgânica possui a capacidade de complexar o alumínio, determinando em menor fitotoxicidade e atividade do alumínio e mantendo os níveis de rendimento estáveis mesmo em menores valores de pH (SALET et al., 1999; KAMINSKI e RHEINHEIMER, 2000).

Bayer e Schneider (1999) estudando os solos de 4 propriedades rurais nas encostas basálticos em condições de mata, campo nativo, plantio convencional e plantio direto notaram que o plantio direto com 3-7 anos tinha ocasionado no aumento da matéria orgânica entre 25-108% em 0 – 2,5 cm do perfil e entre 18-52% na camada de 0-10 cm do perfil em relação ao plantio convencional.

O plantio direto comparado ao plantio convencional proporcionou maiores incrementos no estoque de carbono na camada de 0 – 5 cm do perfil do solo, aumentando também na camada de 5-10 cm. Entretanto nas camadas mais profundas (10-20 cm), a incorporação dos resíduos foi mais efetiva no aumento do estoque de carbono (COSTA, et al., 2004). Isso evidencia o acúmulo de carbono orgânico e matéria orgânica nos primeiros centímetros do perfil do solo e com conseqüente diminuição dos teores à medida que se aprofunda no perfil do solo.

Camara e Klein (2005b) testaram o uso eventual do escarificador em plantio direto e a incorporação de matéria orgânica na camada 5 – 20 cm foi estatisticamente maior com o uso do equipamento, não diferindo apenas na camada avaliada de 2,5 – 5,0 cm. Ainda, de acordo com os autores, os resultados indicam que a escarificação pelo pouco revolvimento mantém o solo coberto e ainda pode melhorar a estrutura e teores de matéria orgânica nos locais onde passam a haste do equipamento.

2.5 Calagem do solo

Comumente utilizada na agricultura brasileira, a calagem do solo possibilitou, ao longo dos anos, a utilização de terras antes não agricultáveis devido ao baixo pH. Isso se deve principalmente ao uso do calcário como corretivo da acidez. De acordo com Foy et al. (1978), o calcário auxilia duplamente na eliminação da toxidez do Al. Primeiramente, elevando o pH do solo, usando quantidades suficientes de corretivos para a neutralização do Al^{3+} (pH em torno de 5,5). Favorece posteriormente, suprindo o solo com bases, principalmente cálcio (Ca^{2+}), o que ameniza os efeitos da toxidez do alumínio, pois o cálcio é responsável pela manutenção da integridade da membrana.

Para a correção do solo, os corretivos mais comuns são os calcários agrícolas, rochas moídas a base de carbonatos, das calcitas ($CaCO_3$) e das dolomitas ($CaMg(CO_3)_2$). Assim, os carbonatos de cálcio e de magnésio ($CaCO_3$ e $MgCO_3$) dos calcários agrícolas; os óxidos de cálcio e de magnésio (CaO e MgO) na cal virgem; e os hidróxidos de cálcio e de magnésio ($Ca(OH)_2$ e $Mg(OH)_2$) na cal apagada são os principais compostos neutralizantes da acidez do solo,

sendo esses produtos de reação básica, utilizando por exemplo o CO_3^{2-} para complexar o alumínio liberando Ca^{2+} ou Mg^{2+} para a CTC do solo (ALCARDE, 1983; TEDESCO e GIANELLO, 2000).

Como prática agrícola a calagem é fundamental para a produção vegetal em solos ácidos, entretanto sua eficiência depende de uma série de fatores como granulometria da partícula, reatividade, contato calcário-solo, tempo de aplicação, umidade do solo, textura do solo, matéria orgânica do solo, uniformidade de aplicação, modo de aplicação (KAMINSKI et al., 2007).

Para os solos do Sul do Brasil com grande poder tamponante, a tomada de decisão para a calagem do solo com calcário tiveram alguns critérios estabelecidos ao longo dos anos: (a) pH <5,5 (plantio direto consolidado), pH <6,0 (plantio convencional ou introdução do plantio direto); (b) saturação de bases <65% (plantio direto), <80% (plantio convencional); (c) m% (saturação de alumínio) > 10%; (d) fósforo não muito alto na análise de solo (CQFSRS/SC, 2004).

2.5.1 Calagem do solo em plantio direto

Segundo Caires et al. (2003), no sistema plantio direto se intensificou a procura de formas de correção de acidez sem o revolvimento do solo. Segundo o autor a aplicação do calcário em superfície resultou em correção da acidez e melhoria de atributos químicos ao longo do tempo. A aplicação superficial de calcário, ao promover a formação de uma frente de alcalinização descendente a partir da superfície, minimiza a acidificação onde esta é mais intensa (AMARAL, 1998).

A razão para tal explicação pode estar associadas a baixa velocidade de decomposição dos resíduos na superfície do solo. Esses

resíduos, que possuem ligantes orgânicos, quando em contato com a água e calor tem essas ligações rapidamente quebradas e com a água ocorre a solubilização e lixiviação das bases (CAIRES, 2000; MIYAZAWA et al., 2000). Além disso, a mineralização da matéria orgânica e a adubação nitrogenada em cobertura estimulam a reacidificação do solo nos primeiros centímetros do perfil (VITTI e LUZ, 2004).

Essa é uma prática que pode resultar em sucesso da condução do sistema do plantio direto, desde que observados algumas condições no início da condução do plantio direto. A incorporação do calcário em Latossolo Bruno aluminico antes da condução do sistema, com dose para elevação do pH a 6,0 ou a saturação por bases a 80%, conforme Azevedo et al. (1996) proporcionou após 23 anos a manutenção do pH a 5,5 e ausência de Al trocável.

A aplicação superficial de calcário no plantio direto, de acordo com a CQFSRS/SC (2004), é feita nos primeiros 10 cm do perfil do solo e não leva em consideração as condições da camada arável observadas no sistema convencional (0 – 20 cm) do perfil do solo, ou melhor, leva em consideração que essa camada do solo não apresenta problemas restritivos ao crescimento das raízes como presença de Al trocável ou deficiência de Ca e, ou, Mg. A dose indicada para essa camada é corresponde a metade do recomendado para a aplicação no perfil de 0 – 20 (1 SMP) ou seja, $\frac{1}{2}$ (SMP).

De acordo com Stumm e Morgan (1996) *apud* Kaminski et al. (2007), (a) a solubilidade do calcário em água é muito baixa, resultando em quantidades de íons de carbonato de cálcio infinitamente menor que a solução neutralizante (solo) e (b) como a hidrólise do CO_3^{2-} somente ocorrerá na presença de prótons para tal,

no primeiro centímetro do solo, o pH é tão elevado de forma a desfavorecer a solubilização do calcário.

2.6 Preparo do solo e incorporação do calcário

O impacto do preparo do solo no manejo depende de características como textura e mineralogia, as quais afetam a resistência e resiliência do solo a uma determinada prática (SEYBOLD et al., 1999). De acordo com Doran e Parkin (1994), as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem ser utilizadas para avaliar a relação entre manejo e qualidade do solo.

Segundo Carpenedo e Mielniczuk (1990), no preparo convencional ocorre a aceleração da decomposição da matéria orgânica pelo rompimento dos agregados na camada preparada. Entretanto, nesses sistemas com preparo do solo ocorre aumento de porosidade, permeabilidade e armazenamento de ar, que facilitam o crescimento das raízes nessa camada (BRAUNACK e DEXTER, 1989)

As propriedades do solo são modificadas no preparo de acordo com o equipamento utilizado para tal. O tempo, de uso do solo e das práticas de manejo, evidencia em maior ou menor grau a alteração dos parâmetros. Agregação, dinâmica de íons, matéria orgânica, CTC do solo são atributos químicos e físicos que sofrem influência com a intensidade de revolvimento e incorporação de restos culturais (TOGNON et al., 1997; DE MARIA et al., 1999).

2.6.1 Incorporação de calcário com arado

A introdução do plantio direto como dito anteriormente é um dos pontos chaves para o sucesso e sustentabilidade do sistema, por

isso que a incorporação do calcário até o nível da camada arável (em torno de 20 cm) é um dos processos mais simples para implantar o sistema com sucesso. Entretanto de acordo com a CQFSRS/SC (2004) a incorporação depende do estado inicial de acidez do solo, ou seja, em situações de pH com SMP < 5,5 o método de aplicação indicado para a calagem é a incorporação.

Segundo Kaminski et al. (2007), a calagem incorporada no preparo do solo com arado e grade, o calcário é naturalmente misturado com o solo numa camada onde se concentram as raízes das culturas. Os autores ainda relatam que em solos cultivados sob plantio direto que apresentam elevada acidez nas camadas mais profundas seria recomendada a correção da camada arável (0-20 cm), com incorporação e reinício do sistema plantio direto.

Marcolan e Anghinoni (2006) ressaltam que um solo conduzido sob plantio direto em quatro anos após o revolvimento teve o retorno dos atributos físicos do plantio direto, não diferindo de um sistema plantio direto com oito e 12 anos. Isso indicaria que o solo, após revolvimento e correção de acidez da camada arável para pH em água 6,0, em pouco tempo teria condições de reestruturar-se e readquirir as melhorias físico-biológicas típicas do sistema plantio direto. Nesse trabalho, a cada quatro anos o solo recebeu aplicação de calcário em superfície no plantio direto e houve a incorporação no sistema plantio direto, com aração e gradagem e no cultivo convencional. Nessas condições houve neutralização total do Al^{3+} , elevação da saturação por bases e melhor distribuição de nutrientes no perfil do solo com o revolvimento, comparativamente ao sistema plantio direto contínuo (AMARAL e ANGHINONI, 2001; AMARAL, 2002).

A incorporação do calcário com arado e grade foi mais eficaz para neutralizar a acidez do solo em maiores profundidade quando comparada a aplicação superficial de calcário. Além disso, as doses integrais de necessidade de calcário promoveram maior avanço de uma frente de alcalinização, proporcionando essa eficiência por períodos mais prolongados.

2.6.2 Escarificação do solo e incorporação de calcário

A pressão exercida, o efeito cumulativo do tráfego de máquinas e a acomodação natural de partículas provoca no perfil do solo uma camada compactada no perfil na profundidade em torno de 7,5 cm (CARVALHO JÚNIOR et al., 1998), aumentando a resistência à penetração nesses solos. Em plantio direto, muitos autores têm relatado uma camada compactada dos 7,5 cm aos 17,0 cm do perfil do solo tanto em solos arenosos quanto em solos argilosos, mostrando no sistema elevada resistência a penetração (SILVA et al., 2000; GENRO JUNIOR, 2002; STRECK, 2003; SECCO, 2003).

Além disso, de acordo com Rheinheimer et al. (2002), muitos produtores realizam o plantio direto sem adotarem rotação de culturas, há pouca ou não há continuidade da cobertura do solo através dos resíduos culturais, baixo teor de matéria orgânica, elevados teores de alumínio trocável em subsuperfície e, geralmente, possui baixa disponibilidade de fósforo, entre outros problemas. Os baixos tetos de produtividade são os reflexos dessa situação. Assim, uma escarificação resolveria o problema. Para isso, a dose usada deve ser suficiente para elevar o pH a 6.0, já que a dose para 5.5 não tem aumentado a produtividade e nem corrigido os problemas de acidez em subsuperfície.

O uso do escarificador no sistema plantio direto afeta positivamente alguns atributos físicos do solo, como: infiltração de água, resistência mecânica a penetração, densidade do solo, intervalo hídrico ótimo, porosidade total, entre outros sem prejuízo significativo de atributos biológicos para o sistema plantio direto (CAMARA e KLEIN, 2005a; VIEIRA, 2006). Os resultados atuais indicam que a eficácia do uso do escarificador é resultante da distância e profundidade de trabalho das hastes. Os efeitos benéficos da escarificação nas condições físicas do solo tendem a diminuir com o passar do tempo, mas os efeitos residuais no solo têm sido verificados mesmo após anos da escarificação (PIERCE et al., 1992).

De acordo com Camara (2004), pelo seu modo de ação, o implemento de hastes rompe o solo nos seus pontos de menor resistência, diminuindo o impacto sobre os agregados, fornecendo ao solo maior porosidade e estabilidade estrutural desse solo, reduzindo significativamente os problemas de erosão. Assim, a escarificação do solo sob plantio direto reduz a densidade, aumenta a rugosidade superficial, além de melhorar a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água no solo (CAMARA e KLEIN, 2005b).

Visando apresentar uma alternativa para incorporação de calcário em subsuperfície em solos sob plantio direto, Klein et al.(2007) desenvolveram um distribuidor de calcário acoplado a um escarificador que injetava de forma pneumática o calcário abaixo de 10 cm de profundidade. Obtiveram com esse equipamento melhoria nos atributos químicos e físicos do solo com aumento no rendimento de grãos da cultura da soja.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido na área experimental da Universidade de Passo Fundo, no município de Passo Fundo – Rio Grande do Sul, com coordenadas S - 28° 12' 36'' e W - 52° 23' 42'' com altitude média de 700 m acima do nível do mar, clima do tipo Cfa 1 (subtropical chuvoso) segundo a classificação de Koeppen.

O solo da área experimental pertence a unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico (STRECK et al. 2008), relevo ondulado e substrato basalto, conduzido sob sistema plantio direto por mais de dez anos.

Nos últimos anos, a área recebeu a seguinte sucessão de culturas: soja no verão 2004/2005, azevém no inverno 2005, milho no verão 2005/2006, aveia no inverno 2006, soja no verão 2006/2007, trigo no inverno 2007, soja no verão 2007/2008, aveia no inverno 2008, soja no verão 2008/2009.

Amostras de solo foram coletadas com pá-de-corte, de acordo com o que preconiza a CQFS – RS/SC (2004), antes da implantação do experimento, divididas em quatro camadas (0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm) para a realização da análise granulométrica. Resultados apresentados na Tabela 1.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física e Água do Solo da FAMV/UPF, baseada na metodologia descrita por Gee & Bauder (1986), utilizando como dispersante solução calgon (hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio), as leituras foram efetuadas com o densímetro de Boyoucos. A primeira leitura foi feita 40 s após 15 horas de agitação para determinação das

frações silte e argila e 2 horas após para determinação da argila, sendo a fração silte determinada por diferença.

Tabela 1 - Teores de argila, silte e areia em profundidade

Profundidade (cm)	Argila	Silte	Areia
		g kg ⁻¹	
0 – 5	500	120	380
5 – 10	500	110	390
10 – 15	520	110	370
15 – 20	500	110	390

Tabela 2- Atributos químicos do solo em profundidade antes da implantação do experimento

Atributo	Camadas			
	0 – 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
	(cm)			
Argila (%)	50	50	52	50
M O (g.kg ⁻¹) ⁽¹⁾	40	25	24	21
pH – H ₂ O ⁽¹⁾	5,4	4,9	4,7	4,6
Índice SMP ⁽¹⁾	5,5	5,2	5,0	4,8
Saturação com alumínio (%)	2	22	36	52
Saturação por bases (%)	53	33	23	16
CTC efetiva (cmol _c .dm ⁻³)	8,6	5,5	4,2	3,2
CTC pH 7,0 (cmol _c .dm ⁻³)	16,3	16,4	17,9	20,5
Al trocável (cmol _c .dm ⁻³) ⁽²⁾	0,2	1,5	2,3	3,4
Mg trocável (cmol _c .dm ⁻³) ⁽²⁾	2,6	1,7	1,3	1,1
Ca trocável (cmol _c .dm ⁻³) ⁽²⁾	5,2	3,3	2,5	2,5
P disponível (mg.dm ⁻³) ⁽³⁾	27,7	24,1	9,9	9,9
K trocável (mg.dm ⁻³) ⁽³⁾	306	163	115	72

⁽¹⁾ determinado segundo Tedesco et al. (1995);

⁽²⁾ extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (Tedesco et al., 1995);

⁽³⁾ extraído por Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995).

Para a análise dos atributos químicos do solo, amostras foram coletadas antes da implantação do experimento analisadas na rotina do Laboratório de Solos, Plantas, Adubos e Defensivos da FAMV/UPF. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

3.1 Tratamentos

Baseado nos resultados da análise dos atributos químicos definiu-se as doses de calcário a serem aplicados nos tratamentos, a partir da adoção do pH médio de 5,4.

Os tratamentos adotados foram os seguintes:

Tabela 3 – Tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Manejo do solo
T1	PD sem revolvimento e com calcário em superfície ($\frac{1}{2}$ SMP pH 5,5) – 2.500 kg ha ⁻¹
T2	PD com escarificação: aplicação de calcário em superfície seguido de escarificação ($\frac{1}{2}$ SMP pH 5,5)- 2.500 kg ha ⁻¹
T3	Sem revolvimento nem aplicação de calcário (testemunha)
T4	Incorporação de calcário pela aração (1 SMP pH 5,5) 6.300 kg ha ⁻¹
T5	Incorporação de calcário pela aração (1 SMP pH 6,0), metade da dose antes da aração e metade depois - 9.800 kg ha ⁻¹

O calcário utilizado na experimento possuía um poder de neutralização (PN) de 84,63%, poder relativo de neutralização total (PRNT) de 76%, teores de CaO e MgO, de 26,5% e 15%, respectivamente.

As doses de calcário, corrigidos em função do PRNT de 76%, nos tratamentos 1 e 2 foram de 3.400 kg ha⁻¹, no tratamento 4 foi

de 8.600 kg ha⁻¹ e no tratamento 5 foi de, 13.000 kg ha⁻¹ seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004).

Nos tratamentos 1 e 2 (PD com calcário em superfície e com calcário em superfície e escarificação), a dose foi calculada em função de 10 cm de profundidade (CQFS – RS/SC, 2004).

Nos tratamentos que envolviam a aração, as doses de calcário foram calculadas para a camada de 20 cm, visando reproduzir a reincorporação da dose de calcário recomendada para implantação do sistema plantio direto, entretanto sem a utilização de uma gradagem.

No T4, a aplicação do calcário foi feita em dose única após a aração, já no T5, a aplicação do calcário foi parcelada em antes e após a aração.

A aplicação do calcário foi feita manualmente e incorporado pela escarificação e aração nas respectivas unidades experimentais no dia 01 de maio de 2009.

O tratamento 2 (plantio direto escarificado) constou da aplicação do calcário na superfície e a escarificação do solo utilizando escarificador modelo Jumbo-Matic (Figura 1) Marca Jan, equipado com cinco hastes de formato parabólico, discos de corte e rolo destorroador nivelador que foi regulado para operar em profundidade média de 25 cm.

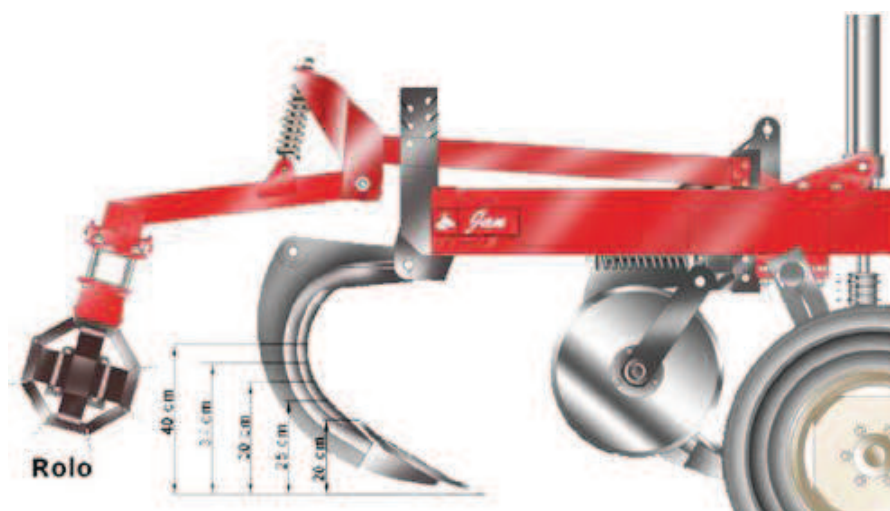


Figura 1: Escarificador modelo Jumbo-Matic.

A justificativa para utilização desse equipamento é o fato desse revolver pouco a superfície do solo, não invertendo camadas, proporcionando assim menores riscos de erosão hídrica, condição muito comum quando da realização de preparos intensivos de solo.

Para os tratamentos que envolviam a aração do solo (T4 e T5), utilizaram-se um arado com três discos com 28" de diâmetro reversíveis (figura 2), da marca Jan, regulado para operar em uma profundidade de 20cm.



Figura 2: Arado com discos de 28 polegadas de diâmetro.

Nenhum tipo de preparo secundário, como gradagens, foi realizado nas parcelas após a implantação do experimento, para evitar um preparo secundário e minimizar a perda de solo e água. O efeito “destorroador” de uma gradagem secundária foi atribuído à chuva, já que do momento da implantação do experimento até a semeadura das culturas passaram-se em torno de 59 dias.

3.2. Delineamento experimental

O trabalho consistiu de três experimentos independentes: avaliação dos atributos químicos do perfil do solo, rendimento de grãos de trigo, cevada, aveia preta e soja e teor de nutrientes absorvidos pelas culturas do trigo e aveia preta.

O delineamento experimental foi em faixas e blocos ao acaso, com 5 tratamentos e com 4 repetições, com cada unidade experimental possuindo 80 m².

Para as avaliações dos atributos químicos do solo adotou-se delineamento de blocos ao acaso (somente dois blocos) e como parcelas subdivididas as profundidades, totalizando 40 unidades experimentais.

Para os resultados das culturas de inverno adotou-se como parcelas as culturas do trigo (*Triticum aestivum* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), totalizando 60 unidades experimentais.

As análises foliares foram realizadas em dois blocos e duas culturas (aveia e trigo) totalizando 20 unidades experimentais.

3.3 . Culturas de inverno

As culturas foram semeadas no dia 28 de junho, utilizando-se uma semeadora adubadora marca Semeato modelo SHM15/17 Rot, com sulcador de discos duplos. O espaçamento entre linhas de 0,17m, densidade de 250 sementes.m⁻² na aveia preta comum, e 300 sementes.m⁻² viáveis de trigo e cevada. As variedades utilizadas no experimento foram trigo OR Safira, cevada MN 698, e aveia-preta comum, semeadas com profundidade média de 3 cm.

A adubação de semeadura utilizada foi a dose recomendada de N-P-K para o sistema, considerando a colheita de 3 t.ha⁻¹ para a cultura do trigo e de 3 t.ha⁻¹ para a cultura da soja, considerando os valores de manutenção e exportação do sistema. Com base nessa recomendação foram adubados, 91,5 kg ha⁻¹, 105,9 kg ha⁻¹ e 57,6 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. As quantidades foram 150 kg ha⁻¹ de difosfato de amônio (DAP) com formulação 18-45-00 na semeadura das culturas de inverno. No perfilhamento das culturas foram aplicados 240 kg ha⁻¹ de adubo N-P-K, na formulação de 08-16-

24 e no estágio de alongação das culturas, foi realizada uma adubação de cobertura de 100 kg ha⁻¹ de uréia (45-00-00).

As sementes foram previamente tratadas, com fungicida (Thiram, Carbendazim) e inseticida (Fipronil), nas doses recomendadas para cultura, para esta aplicação utilizou-se uma máquina própria para tratamento de sementes.

A dessecação da área foi realizada s dias antes da semeadura utilizando Glifosato, para controle de plantas invasoras foi realizado uma aplicação de Metsulfuron-Metil (Ally®) com 3 g do produto comercial por hectare com volume de calda de 100 L ha⁻¹. Para controle e prevenção de moléstias utilizou-se um fungicida composto de triazol (Epoconazol) e estrobirulina (Piraclastrobin) (Opera®), na dose de 500 mL ha⁻¹, a volume de calda na aplicação foi de 120 L ha⁻¹, foram realizadas 2 aplicações de fungicida. Para o controle de insetos utilizou-se um inseticida organofosforado (Metamidofós) na dose de 700 mL ha⁻¹.

3.4. Cultura da soja

Após a colheita das culturas de inverno, semeou-se a cultura da soja, no dia 09 de dezembro de 2009. Essa foi realizada na densidade de 330.000 sementes ha⁻¹. A cultivar utilizada foi a BMX Apolo (Grau de maturação 5.5).

A adubação, manejo e condução da cultura foi realizada de acordo com o preconizado pelas Indicações da Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul (2009).

3.5. Variáveis analisadas

3.5.1. Argila dispersa em água

As amostras de argila dispersa em água foram encaminhadas ao Laboratório de Física e Água do Solo da FAMV/UPF e para determinação da argila dispersa em água foi usado a metodologia proposta por Embrapa (1997). Das propriedades físicas do solo, essa foi a única avaliada no presente trabalho, com o intuito de rever questões que envolvem a agregação ou dispersão de argila em função do calcário e métodos de calagem.

3.5.2. Atributos químicos pela análise química do solo

As amostras foram coletadas com pá de corte, de acordo com a CQFS- RS/SC (2004) em dois blocos, e quatro camadas, totalizando 40 amostras que foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos, Adubos e Tecido Vegetal na FAMV/UPF para análise de rotina. Realizou-se a análise completa (macro e micronutrientes).

3.5.3. Análise foliar das plantas

Amostra de folhas bandeira do trigo e aveia (em torno de 350 folhas por unidade experimental) foram coletadas no momento da antese. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solos, Adubos e Tecido Vegetal na FAMV/UPF para análise de rotina.

3.5.4. Produtividade de matéria seca e rendimento de grãos

O rendimento de matéria seca da aveia preta foi realizado cortando um metro quadrado das plantas. Essas foram secadas em estufa a 65 °C até massa constante.

Das culturas de inverno (aveia, trigo e cevada) avaliaram-se os componentes de rendimento das culturas do trigo, cevada e aveia, as plantas foram colhidas utilizando colhedora de parcelas, a área colhida em cada unidade foi de aproximadamente 9,9 m². Para determinar o rendimento a massa de grãos colhida foi limpa e corrigida para umidade de 13%. A umidade dos grãos foi determinada secando-se amostra em estufa a 105°C até massa constante.

Da cultura da soja determinaram-se os componentes de rendimento: estatura das plantas (com régua), população final, o rendimento de grãos da cultura, além da massa de grãos perdidos por vagens com grãos não completas. A determinação de grãos perdidos por vagens não completas foi obtida de forma indireta, através do produto da multiplicação do PMS da cultura pela quantidade de grãos que não completaram o enchimento nas vagens durante o ciclo da cultura.

A colheita de soja foi realizada com colhedora de parcelas, os grãos limpos e a massa corrigida para 13% de umidade.

3.6. Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância quando esta significativa as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 0,05% de significância, utilizando Software ASSISTAT (2009).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises do solo realizadas seis meses após a implantação do experimento são apresentados a seguir:

4.1. Análise da argila dispersa em água

A determinação da argila do solo dispersa em água é importante, pois isto demonstra a frágil agregação propiciando assim uma maior mobilidade desta fração no solo, tanto no perfil (eluviação), como com perdas de solo por erosão hídrica.

A dispersão de argila depende do pH, CTC, espessura da argila, MO, óxidos, cátions, entre outras propriedades e atributos do solo, havendo um máximo para o total de argila dispersa, em solos agrícolas. Vários autores como Jucksch et al. (1986) e Spera et al. (2008) concluíram essas relações, indicando que a dispersão ocorre provavelmente apenas na primeira calagem, de forma relevante.

A calagem sabidamente aumenta essa dispersão, pois neutraliza o Al^{3+} (íon que estabiliza a estrutura do solo) e a eleva o pH (principalmente quando ao redor de 7,0). Essa situação faz com que ocorra a dispersão dos colóides do solo em partículas unitárias (JUCKSCH, 1987; PAVAN e ROTH, 1992).

No presente estudo, os teores de argila dispersa em água, na camada superficial do solo (0-5 cm) foram menores e diferiram estatisticamente das demais camadas (5-10, 10-15 e 15-20 cm), na média dos tratamentos. A não aplicação de calcário ou a aplicação de calcário no solo seja em superfície ou incorporado, não diferiram significativamente. Esses valores diferem do que foi observado por

Spera et al. (2008), quando o solo em questão, era um campo nativo, salientando as diferenças entre os sistemas, mostrando que a aplicação de calcário aumentou a dispersão argila em microagregados do solo de forma crescente até $3,8 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

Tabela 4 - Argila dispersa em água em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Camada (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
g.kg ⁻¹					
T1	138	163	194	188	170 ^{ns}
T2	125	175	206	194	175
T3	138	181	206	188	178
T4	144	163	231	200	184
T5	175	219	200	188	195
Média	143B	180A	207A	191A	
C.V.(%) tratamento = 25,5					
C.V.(%) profundidade = 13,5					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

ns: não significativo

A menor quantidade de argila dispersa em água na camada de 0-5 cm pode ser atribuída aos maiores teores de matéria orgânica (tabela 14). Isso se dá, já que a matéria orgânica tem ação estabilizadora dos agregados, como destacado por Ekwue (1990), que encontrou uma relação positiva entre matéria orgânica e estabilidade de agregados para solos cultivados com gramíneas. Entretanto, quando adicionado calcário, este provoca diminuição da matéria orgânica (SPERA et al., 2008) e conseqüentemente, há o aumento da quantidade de argila dispersa em água.

4.2 Resultados das análises dos atributos químicos do solo

4.2.1 – Índice SMP

De acordo com a CQFS – RS/SC (2004), a tomada de decisão para a prática da calagem depende de critérios primários ($\text{pH} \leq 5,5$ ou $\text{V}\% \leq 65\%$) ou secundários (saturação por Al maior que 10% ou fósforo no solo com classificação de muito baixo).

Tabela 5 – Índice SMP em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Camada (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
T1	5,8	5,3	5,9	5,3	5,6 ^{ns}
T2	6,1	5,5	6,0	5,7	5,9
T3	5,8	5,4	5,7	5,8	5,6
T4	6,0	5,9	6,2	5,7	6,2
T5	6,2	5,9	6,1	5,6	6,0
Média	6,0	5,6	6,0	5,6	
C.V.(%) tratamento = 4,18					
C.V.(%) profundidade = 5,83					

ns: não significativo

Dessa forma, após a colheita das culturas de inverno (6 meses após a calagem), todas as análises dos atributos químicos do solo mostraram variação em relação a amostragem anterior (tabela 2) a implementação do experimento. Essa variação inclui além dos tratamentos que receberam calcário, a testemunha que em momento algum recebeu alguma aplicação de corretivo agrícola, situação para a qual não encontramos justificativa.

Apesar de alguns casos não haver diferenças significativas estatisticamente, nas avaliações realizadas, de acordo com a amostragem, fica evidente uma relação entre os valores de pH,

saturação de Al, saturação de bases, capacidade de troca de cátions, teores de Ca, Mg e P em função da aplicação do calcário.

4.2.2 – pH em água

A aplicação de calcário na superfície (T1) não alterou o pH, após 6 meses, em relação ao solo que não recebeu aplicação de calcário (T3). Essa forma de aplicação não favorece a reação do calcário com o solo, pois concentra o corretivo apenas na camada superficial e em contato com os resíduos culturais.

Uma das razões para a aplicação superficial do calcário está de acordo com Ciotta et al. (2002), de que a acidificação em plantio direto é mais intensa na camada superficial do solo, entretanto os resultados obtidos no experimento não mostram resposta à calagem 6 meses após a aplicação superficial do corretivo.

Tabela 6 - pH em água em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
T1	6,0	5,4	5,1	5,0	5,4 ^{ns}
T2	6,0	6,0	5,5	5,1	5,6
T3	5,9	5,4	5,1	4,9	5,3
T4	6,4	6,2	5,9	5,6	6,0
T5	6,2	5,9	6,0	5,3	6,0
Média	6,0A	5,6AB	5,5B	5,3B	
C.V.(%) tratamento = 3,90					
C.V.(%) profundidade = 7,57					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

ns: não significativo

Rheinheimer et al. (2000) aplicando calcário superficialmente em plantio direto, na dose de 1,2 a 3,6 t.ha⁻¹, constataram que aos 18

meses após a aplicação, a elevação do pH e dos teores de cálcio e magnésio e diminuição da saturação de Al (%) nos primeiros 5 cm do perfil do solo. Essa limitada ação do calcário em profundidade pode estar associada mais ao pouco volume de corretivo em contato com as partículas de solo do que com a dose aplicada. De acordo com Haynes e Mokolobate (2001), a ação do calcário em profundidade, quando aplicado em superfície, depende principalmente da dose, tempo de avaliação, do regime hídrico, granulometria do calcário e das próprias características e condições do solo (colóides e porosidade).

A aplicação superficial de calcário, seguida de escarificação mostrou uma ação incorporadora de calcário da operação, com o escarificador. Na camada de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 15 cm, para T1 e T2 os valores de pH foram 6,0 e 5,9; 5,3 e 5,9; 5,0 e 5,4, respectivamente, para saturação de bases (%) foram 72,5 e 68,5; 43,5 e 69,5; 27,0 e 54,5, respectivamente, saturação por Al (%) foram 0,0 e 0,0; 6,5 e 0,0; 28,5 e 0,0, respectivamente.

Fica evidente a incorporação do calcário aplicado na superfície pela escarificação, uma vez que as mesmas quantidades de calcário foram aplicados para o T1 e T2 (3.400 kg ha^{-1}), sendo que T2 teve efeito até a camada de 15 cm do perfil do solo.

Na parcela de aplicação de calcário em superfície (T2) com conseqüente escarificação nas camadas de 0-5 e 5-10, os valores de pH ficaram próximos a 6,0 e na camada de 10-15, muito próximos de 5,5, valor no qual se baseou a recomendação. Esses dados discordam do que foi descrito por Neto et al. (2000) e Sá (1999), os quais atribuem os efeitos da calagem seguida de escarificação somente nos 10 primeiros centímetros do solo, analisados nos 3 meses e primeiro ano após a calagem, respectivamente. Essa diferença entre o T1 e o

T2, pode ser explicada pela reação de contato partícula de solo e corretivo, já que a escarificação realizada em T2 permitiu a incorporação do calcário e maior contato entre o solo e a partícula de calcário. Isso está de acordo com a revisão de Lopes et al. (1990), a qual cita a incorporação como uma forma de melhorar o contato entre partícula de calcário e de solo, aumentando a eficiência da calagem em profundidade.

No plantio direto com aplicação de calcário em superfície (T1) e em plantio direto sem aplicação de calcário (T3 – testemunha), somente na camada de 0-5 os valores de pH foram superiores a 5,5, enquanto nas camadas abaixo os valores foram decrescentes.

O processo de incorporação de calcário pela aração com dose de calcário para pH 5,5 (T4) e pH 6,0 (T5), com 8.600 kg ha⁻¹ e 13.000 kg ha⁻¹, respectivamente, foi efetivo para incorporação do calcário na profundidade trabalhada (0 – 20 cm). A maior ação das operações de incorporação de calcário com aração, em ambos os casos foi até os 20 cm. No T4 e T5, houve uma diferença de pH, principalmente na camada de 15 – 20 cm, em que T4 resultou em valores maiores de pH, mesmo com menores quantidades de calcário. Essa diferença pode ser atribuída a dois fatores: a) super ou subestimação dos teores de pH na camada de 15 – 20 cm; b) provável diferença de profundidade de trabalho do equipamento.

A incorporação de calcário com aração do solo em plantio direto, parece ser a maneira mais fácil de elevar o pH em profundidade. Essa eficácia do método também foi encontrada por Kaminski et al. (2005) e Rossato et al. (2009) testando diferentes métodos de correção de acidez, concluíram que a melhor forma de correção de acidez é através da incorporação de calcário com aração.

Neste trabalho, entretanto, na média dos 20 cm, o T4 e o T5 tiveram valores de 5,83 e 5,80, respectivamente. Assim, do ponto de vista químico da fertilidade do solo, em curto prazo (6 meses) é injustificável a incorporação do calcário até os 20 cm de profundidade visando elevar o pH para 6,0, pois em ambos os casos, o pH fica em valores ao redor de 5,8.

4.2.3 Saturação por alumínio (%)

Os valores de saturação de alumínio na CTC variaram inversamente proporcional aos valores de pH, ou seja, há uma correlação negativa entre os valores de Al^{3+} e pH H_2O . De acordo com a CQFS-RS/SC (2004), quando os valores de pH atingem 5,5, há a neutralização do alumínio trocável na solução do solo. De forma geral, isso fica evidente ao relacionar as médias de cada tratamento dos valores de pH com a média de saturação de Al%.

Tabela 7 - Saturação com alumínio (%) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
	Saturação de Al (%)				
T1	0,0	6,5	28,5	35,0	17,5a
T2	0,0	0,0	0,0	25,5	6,4b
T3 (testemunha)	0,0	15,5	22,5	19,0	14,2ab
T4	0,0	18,5	0,0	10,5	7,2ab
T5	0,0	0,0	0,0	15,5	3,9b
Média	0,0A	8,1AB	10,2AB	21,1B	
C.V.(%) tratamento = 47,7					
C.V.(%) profundidade = 133,3					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúsculas na vertical não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na camada de 5-10 cm do T4, os valores de saturação de Al% não condizem com o que é relatado na literatura. Esses valores podem ser atribuídos a erros experimentais, já que na mesma camada para os tratamentos onde ocorreu algum tipo de incorporação, como o T2 e T5, os valores de saturação por Al% ficaram iguais a 0%, concordando com autores como Kaminski (2007) e Rossato (2009).

Além de alterar o pH, a aplicação superficial de calcário teve efeito também na saturação de alumínio. Como nos resultados a testemunha também teve valor de 0% na saturação por Al% na camada de 0-5 cm, a camada 5-10 cm mostrou uma diferença de saturação mesmo não variando o pH da solução. A saturação por Al% na testemunha ficou em 15,5 enquanto nos tratamentos que receberam a aplicação superficial de calcário sem escarificação (T1) a saturação por Al% foi de 6,5%.

Em função do método de calagem há uma frente alcalinizante a qual eleva o pH e ao mesmo tempo diminui a saturação de alumínio no perfil do solo. A aplicação superficial de calcário teve efeito nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Na primeira, não houve resposta, já que tanto a testemunha quanto os tratamentos tiveram saturação de alumínio igual a 0%. Entretanto, na camada de 5-10 cm, houve a redução dos teores de saturação por Al de 15,5% para 6,5%. Esses valores se encontram abaixo dos 10%, dentro dos teores médios e não limitantes para o crescimento das culturas (CQFS-RS/SC 2004). A aplicação superficial devido a precipitação pluvial, quantidade de calcário em contato com o solo, acomodação nos restos culturais pode ter sido restritivo para a ação do calcário em maiores profundidades (HAYNES e MOKOLOBATE, 2001).

Na camada de 5-10 cm, comparando a eficiência da calagem superficial (T1) em relação à testemunha que não recebeu calagem (T3), nota-se a menor saturação de Al% na CTC com a aplicação do calcário superficial, mesmo não havendo diferença entre parâmetros relacionados com os teores de alumínio trocável como pH, matéria orgânica, CTC e saturação por bases.

A ação do corretivo quando incorporado, ora pela ação do escarificador, ora pela ação do arado de discos, se limitou até a camada de 10-15 cm, mais devido a questões relacionadas com a profundidade de trabalho do que ação do corretivo. Assim, a camada mais profunda analisada (15-20 cm) não teve ação do corretivo na camada em questão ou a quantidade de corretivo que se deslocou até a camada não foi significativa para elevar o pH até valores maiores que 5,5. Isso pôde ser visto, pois devido os teores de saturação de alumínio (m%) nessa camada forem elevados de tal forma, que não houve reação com partículas de calcário. Já que segundo CQFS-RS/SC (2004), valores de saturação de alumínio maiores que 10% estão relacionados a pH inferior a 5,5.

4.2.4. Teores de cálcio e magnésio

As diferenças entre o manejo do solo em função da incorporação de calcário não foram significativas estatisticamente para os teores de cálcio e magnésio. Segundo a CQFS-RS/SC (2004), o cálcio e o magnésio no solo são interpretados como baixo, (≤ 2 e $\leq 0,5$), médio (2,1 – 4,00 e 0,6 – 1,0) e alto ($> 4,0$ e $> 1,0$), respectivamente. A calagem seguida de escarificação (T2) proporcionou a elevação dos teores de cálcio nas camadas de 5-10 cm e 10-15, elevando de médio para alto e de baixo para médio

respectivamente. O magnésio apesar de já estar alto em todas as camadas, comparando esses tratamentos, seguiu a mesma tendência.

A incorporação de calcário através da aração, com dose para correção para pH 5,5 (T4) e 6,0 (T5), foram efetivos para incorporação de calcário até os 20 cm analisados no experimento, mostrando resultados de teores de cálcio considerados sempre acima do médio/alto (suficientes) para plantio direto de acordo com a CQFS – RS/SC (2004). A diferença de valores médios entre T4 e T5 de diferença de nutrientes disponíveis nos calcário para os 20 cm de profundidade foi 9,39% para o Mg e 2,05% para o Ca, não evidenciando uma justificativa para elevar a dose para pH 6,0 quando for necessário a aração

Independente do manejo, o comportamento dos teores de cálcio e magnésio foi semelhante na reação com o calcário e na variação em profundidade.

Tabela 8 - Teor de cálcio em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
Ca (cmolc.dm ⁻³)					
T1	5,1	2,9	1,8	1,6	2,8 ^{ns}
T2	4,9	5,1	3,3	1,9	2,8
T3 (testemunha)	4,6	2,9	2,0	3,5	3,2
T4	5,2	3,4	3,8	3,1	3,9
T5	5,3	3,7	4,3	2,5	3,9
Média	5,0A	3,6AB	3,0B	2,5B	

C.V. tratamento (%) = 17,67

C.V. profundidade (%) = 32,41

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A variação principal da análise de cálcio e magnésio foi os teores desses nutrientes na camada de 15-20 cm na testemunha (T3). O arranjo natural dos nutrientes em plantio direto, quando verificados outros trabalhos, mostra que o cálcio e o magnésio se concentram nos primeiros centímetros do perfil do solo principalmente na camada de 0-2,5 cm e 0-5 cm (RHEINHEIMER, 2000; KAMINSKI et al, 2005; ROSSATO, 2007; FREIRIA et al., 2008).

Tabela 9 – Teores de magnésio em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
Mg (cmolc.dm ⁻³)					
T1	3,5	1,7	1,0	0,9	1,8 ^{ns}
T2	3,2	3,2	2,2	1,1	2,4
T3 (testemunha)	2,6	1,8	1,1	2,4	1,9
T4	3,8	2,3	2,5	2,0	2,6
T5	3,8	2,8	3,2	1,8	2,9
Média	3,4A	2,3AB	2,0B	1,6B	
C.V. tratamento (%) = 23,26					
C.V. profundidade (%) = 40,11					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na comparação da variação das quantidades desses cátions e vista no mesmo manejo, quando houve variação nos teores de cálcio também ocorreu variação nos teores de magnésio em relação à testemunha (T3). Essas variações de cálcio e magnésio causam também a variação da saturação por bases na CTC (%) e as alterações concordam com dados de outros autores, que tanto em incorporação quanto na aplicação em superfície de calcário encontram relação entre

a variação dos teores de Ca e Mg com a saturação de bases (RHEINEHEIMER, 2000; KAMINSKI et al., 2005; FREIRIA et al., 2008). Dessa forma, o comportamento encontrado para a saturação de bases está de acordo com o comportamento da variação dos teores de cálcio e magnésio na solução do solo.

4.2.5. Saturação por bases (%)

A saturação de bases é um dos quesitos primários para a tomada de decisão quanto a aplicação ou não de calcário (CQFS – RS/SC, 2004). Em alguns estados como PR, SP, entre outros, o principal indicador para a tomada de decisão quanto à aplicação de calcário é em função da saturação de bases (EMBRAPA SOJA, 2003).

Os valores de saturação por bases para os métodos de incorporação de calcário não diferiram estatisticamente e nem atingiram os valores preconizados pela CQFS-RS/SC (2004). Em latossolos sob plantio direto há uma nítida concentração de bases na camada de 0-5 cm, diminuindo a medida de aumenta a profundidade. No T5, a dose incorporada foi de 1 SMP para pH 6,0 ou saturação por bases de 80%, sendo que em nenhuma camada foi possível atingir esse valor. Enquanto nos outros tratamentos que receberam calcário, as doses foram para elevar o pH a 5,5 ou a saturação por bases para 65%, valores estes atingidos apenas na camada de 0-5 cm.

Tabela 10 - Saturação por bases (%) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
	Saturação por bases (%)				
T1	72,5	43,5	27,0	23,0	41,5 ^{ns}
T2	68,5	69,5	54,5	28,5	55,2
T3 (testemunha)	63,5	43,0	30,0	49,0	46,3
T4	75,5	48,5	60,5	51,0	58,8
T5	76,5	60,5	66,0	36,5	59,8
Média	71,3 ^a	53,0 ^{AB}	47,6 ^B	37,6 ^B	
C.V. tratamento (%) = 17,07					
C.V. profundidade (%) = 31,87					

As variáveis que interferem na eficiência da calagem podem aqui também não ter dado tempo suficiente para a completa reação do calcário (STUMM e MORGAN *apud* KAMINSKI et al., 2007). Entretanto, Freiria et al. (2008), ressaltam que a aplicação superficial de calcário resultou em aumento de saturação até a profundidade de 10 cm aos 9 meses após a calagem.

Como já mencionado, a aplicação superficial de calcário seguida de escarificação foi eficiente para incorporar calcário até os 10 cm de profundidade (SÁ, 1999; NETO, 2000). No presente trabalho, a aplicação superficial seguida de escarificação também foi eficaz para a elevar a saturação de bases acima dos 65%, como recomendado pela CQFS-RS/SC (2004). Enquanto isso, o manejo com aplicação superficial sem incorporação do calcário (T1) concentrou o produto na camada de 0-5 cm, aumentando os teores nos primeiros 5 centímetros, sem efetiva correção abaixo dessa camada. Nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm, a ação do calcário não foi efetiva nos tratamentos T1 e T2, já que a dose aplicada, foi a recomendada para a

aplicação em plantio direto consolidado de acordo com a CQFS-RS/SC (2004).

A incorporação de calcário pela aração no T4 e T5 recebeu dose suficiente para elevar o pH para 5,5 e 6,0 ou a saturação por bases (%) para 65% e 80%, respectivamente, de acordo com a correlação e a saturação por bases descrita por RAIJ (1968), CQFS – RS/SC (2004). No trabalho, observou-se que a saturação por bases tanto no T4 quanto no T5 variou principalmente na camada de 0 – 5 cm. De acordo com Eltz et al. (1989), a aração permite maior uniformidade de distribuição de nutrientes no perfil. Mas no presente trabalho, com a saturação por bases (%) os maiores teores de cátions que compõem a CTC se concentraram na camada 0 – 5 cm, devido a maior concentração de calcário após a prática da calagem mesmo com a aração.

Os resultados de calagem incorporada com arado no T4 e T5 aponta resultados muito semelhantes entre os dois tratamentos, sendo que as doses no T4 foram para elevar o a saturação para 65% e no T5 a saturação por bases para 80%. Essa pouca diferença pode ser explicada pela baixa solubilidade do calcário em 6 meses após a instalação do experimento. Já que além do pouco tempo, o PRNT do calcário usado era de 76%, pode estar envolvido com essa pouca diferença, de acordo com a eficiência do calcário descrito por Anghinoni e Bissani (2004).

Como preconizado pela CQFS – RS/SC (2004), em plantio direto, a saturação por bases em 65% é suficiente para o desenvolvimento das plantas no sistema plantio direto. Esses valores só foram atingidos em profundidade (até a camada de 15 cm), quando

utilizado de aração e incorporação de calcário com dose de calcário para 80% de saturação por bases ou pH 6,0 (T5).

4.2.6. Teores de fósforo e de potássio

Na média dos tratamentos de manejo do solo, não houve diferenças estatísticas significativas tanto para fósforo quanto para potássio.

Assim como ocorreu para o cálcio e o magnésio, há uma tendência de concentração de potássio na camada de 0-5 cm, diferindo estatisticamente das outras camadas analisadas (5-10, 10-15 e 15-20 cm). Essa razão pode ser dada pela aplicação de potássio visando a adubação do sistema de produção no inverno-verão e pela decomposição dos resíduos culturais nos primeiros centímetros do perfil do solo.

Tabela 11 – Teores de fósforo em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
	P (mg.dm ⁻³)				
T1	39,0	47,5	40,5	14,0	35,2 ^{ns}
T2	41,5	29,0	30,5	20,5	30,3
T3 (testemunha)	49,0	32,5	25,5	26,0	33,2
T4	36,0	23,0	29,5	14,0	25,6
T5	29,5	26,5	29,0	12,0	24,2
Média	39,0A	31,7A	31,0A	17,3B	

C.V. tratamento (%) = 19,72

C.V. profundidade (%) = 26,95

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O fósforo mostrou uma tendência de distribuição do nutriente nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm, diferindo estatisticamente apenas da camada dos 15-20 cm. Os teores de argila em todas as camadas analisadas enquadram o solo em textura 2, entre 41 e 60% de argila (CQFS-RS/SC, 2004), com isso o fósforo se enquadra como muito alto em todas as camadas analisadas da testemunha (T3). A razão para tal fato, pode estar associado à adubação do solo pré-plantio. Sendo que essa foi feita visando o sistema de produção inverno-verão.

Tabela 12 – Teores de potássio em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
K (mg.dm ⁻³)					
T1	366	252	202	178	249 ^{ns}
T2	294	218	194	154	215
T3 (testemunha)	354	218	154	206	233
T4	262	140	176	172	187
T5	302	174	200	138	203
Média	315A	200B	185B	169B	
C.V. tratamento (%) = 21,02					
C.V. profundidade (%) = 18,93					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.7 Capacidade de troca catiônica potencial (CTC pH 7,0)

A capacidade de troca de cátions foi medida em pH 7,0 para avaliar a magnitude do manejo do solo e método incorporação do calcário na capacidade potencial de troca catiônica. De maneira geral, a incorporação do calcário e calagem seguida de escarificação não

foram suficientemente agressivas, a ponto de diminuir a CTC potencial, já que a ação do calcário aumentou a CTC e o revolvimento não foi suficiente para diminuir os teores de matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 14), como na diferença entre sistema plantio direto e convencional encontrado por Ciotta et al. (2003) na relação CTC e MOS.

A camada 0-5 cm de profundidade no solo apresentou maiores teores de CTC potencial e MOS. Entretanto nas camadas de 5-10 cm e 15-20 cm, o efeito de correlação entre MOS e CTC potencial em profundidade apontado por Rheinheimer et al. (1998) não se verificou nesse experimento, já que os valores nessas camadas não diferiram estatisticamente da camada 0-5. Entretanto, na camada 10-15, ocorreu justamente o que foi verificado por Rheinheimer et al. (1998), o decréscimo de CTC potencial em profundidade quando comparada a camada de 0-5 cm, com maiores teores de MOS.

Tabela 13– Capacidade de troca catiônica (CTC) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
	CTC (cmolc.dm ⁻³)				
T1	13,25	12,30	12,55	12,70	12,70
T2	13,10	12,75	11,50	12,20	12,38
T3 (testemunha)	12,70	12,25	11,70	12,85	12,37
T4	12,85	12,45	11,05	11,25	11,90
T5	13,05	11,30	12,20	13,30	12,46
Média	12,99A	12,21AB	11,80B	12,46AB	
C.V. tratamento (%) = 6,54					
C.V. profundidade (%) = 6,76					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.8 Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica (tabela 14) concentrou-se na camada de 0-5 cm do perfil do solo. Assim os teores de matéria orgânica nessa camada em relação as camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm foram maiores em 27,8%; 41,2%; 51,4% respectivamente, diferindo estatisticamente entre profundidades.

Tabela 14– Teores de matéria orgânica (g.kg^{-1}) em função do manejo do solo e profundidade seis meses após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)				Média
	0-5	5-10	10-15	15-20	
MO (g.kg^{-1})					
T1	44,0	32,50	26,50	26,50	32,37 ^{ns}
T2	41,5	36,00	28,50	25,00	32,75
T3 (testemunha)	46,50	32,50	26,50	26,50	34,12
T4	38,50	32,50	31,50	31,50	32,87
T5	38,50	30,00	35,00	35,00	32,50
Média	41,80A	32,70B	29,60B	27,60B	
C.V. tratamento (%) = 14,75					
C.V. profundidade (%) = 13,00					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O manejo do solo não diferiu estatisticamente nos teores de matéria orgânica. Isso, por que tanto a calagem quanto as operações mecânicas não induziram a mineralização dos resíduos culturais. Os teores matéria orgânica do solo (MOS) em todas as médias do experimento, estão semelhantes com o que foi citado por Martinazzo (2006), em que a maioria dos latossolos argilosos sob plantio direto, analisados em 5 municípios, encontram-se em teores semelhantes aos que foram encontrados nos experimentos, independente do manejo.

Isso prova que em plantio direto, uma eventual operação de revolvimento do solo, por si só não é capaz de reduzir os teores de MOS.

4.3. Resultados das plantas de inverno

A análise dos resultados indicaram que não houve diferença significativa estatística tanto para produção de massa seca de aveia preta, quanto para o rendimento de grãos de trigo, cevada e aveia preta entre os manejos do solo.

Tabela 15- Massa seca de aveia preta

Tratamento	kg/ha
PD com calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	7.007 ^{ns}
Escarificação e calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	7.547
PD sem aplicação de calcário (testemunha)	5.613
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 5,5)	7.232
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 6,0)	6.252
Média	6.730
C.V. (%) = 14,15	
ns: não significativo	

Tabela 16 - Rendimento de grãos das culturas de inverno

Tratamento	Trigo	Cevada	Aveia
	kg ha ⁻¹		
1	2.426 ^{ns}	2.124 ^{ns}	1.234 ^{ns}
2	2.833	2.473	1.278
3	2.446	2.450	1.324
4	2.787	2.682	1.317
5	2.440	2.106	1.067
Média	2.587	2.367	1.244
C.V. cultura (%) = 11,70			
C.V. tratamento (%) = 15,97			

ns: não significativo

As culturas passaram pelo período de floração, exatamente no mês de outubro do ano de 2009. Neste ano, neste mês choveu em condições acima da média histórica e a produtividade das culturas foi seriamente afetada pela incidência de doença na inflorescência de todas as culturas, como a giberela, causada pelo fungo *Fusarium graminearum*. De acordo com Casa e Reis (2010), não há cultivares tolerantes ou resistentes ao fungo e a melhor estratégia, é o escape das épocas de floração e espigamento dos cereais com a ocorrência de chuvas frequentes.

O manejo do solo com a incorporação dos resíduos, tanto no T2, T4 ou T5 não interferiram na produtividade das culturas. A prática da calagem não diferiu estatisticamente da testemunha, o que evidencia a necessidade de calagem em situações em que o pH e a saturação por Al% forem limitantes ao desenvolvimento das culturas e coloca em xeque a resposta de rendimento das culturas à calagem após os níveis de pH e saturação por Al% estiverem dentro do

recomendado pela CQFS-RS/SC (2004) e outros trabalhos da área (CAIRES et al., 2002; CAIRES et al., 2006).

4.4 Resultados da análise de nutrientes da folha bandeira da aveia preta e do trigo

4.4.1 Nitrogênio, magnésio e cálcio

A calagem superficial (T1) reduziu os teores de nitrogênio na folha bandeira das culturas em relação ao tratamento com aração e incorporação de calcário na dose de 1SMP (pH = 5,5 - T4). O T1 não diferiu estatisticamente do T2, T3 e T5, da mesma forma como o T4.

Tabela 17 – teor de nitrogênio (N) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo

Tratamento	Aveia	Trigo	Média
	(%)		
1	3,08	2,84	2,96b
2	3,18	3,01	3,10ab
3	3,12	2,84	2,98ab
4	3,47	3,27	3,37 ^a
5	3,38	3,32	3,35ab
	3,24A	3,05B	

C.V. cultura (%) = 4,10

C.V. tratamento (%) = 4,67

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e por letras minúsculas na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A incorporação de calcário com arado em valores para elevar o pH 5,5 foi estatisticamente superior à aplicação superficial de calcário. A adubação nitrogenada das culturas e os teores de matéria

orgânica, principalmente na camada de 0-5 cm do perfil do solo, colaboraram para o suprimento da cultura e a não diferença entre os outros tratamentos.

Assim como ocorreu com o nitrogênio, no caso do magnésio o T4, onde houve aração e incorporação de calcário com dose de 1 SMP para pH 5,5 foi o tratamento onde ocorreu maior absorção de magnésio na folha bandeira da cultura. A absorção de magnésio no T4 foi superior que no T2, T3 e T5, mesmo não sendo superior ao T1. Entretanto, diferentemente do nitrogênio, o T1 não diferiu do T4 nem dos outros tratamentos. Sabe-se que 15 – 20% do magnésio, no interior das células, é utilizado como elemento central da molécula de clorofila (NETO, 2006). Em números absolutos, onde houve a incorporação de calcário, no T4, ocorreu também maiores absorções de magnésio e nitrogênio. Esses valores também podem ser atribuídos pela função de ativador de enzimas que catalizam o primeiro passo da síntese protéica, as “ativadoras de aminoácidos” (NAIFF, 2007). Essa maior absorção de magnésio, em virtude das funções do magnésio nas plantas pode ser também ser responsável pela maior demanda de nitrogênio na folha bandeira.

Houve interação entre as culturas de trigo e aveia para a absorção de cálcio, diferindo estatisticamente de uma cultura para outra. Na média dos tratamentos, a aveia absorveu 2,84 vezes mais cálcio que o trigo. Na cultura do trigo, a absorção de cálcio independe do manejo, enquanto que para a aveia o tratamento T4 foi que obteve a maior absorção, não diferindo de T1 e T2. O T5, com maior aplicação de calcário, estranhamente foi o que apresentou a menor absorção do elemento, já que foi o tratamento que recebeu maiores quantidades de calcário.

Em relação a Ca e Mg não foram observados as mesmas interações encontradas por Soratto e Crusciol (2008) em que o aumento no teor de Ca no solo, provocado pela aplicação de calcário e gesso, diminuiu o teor de Mg na folha bandeira da aveia-preta.

Tabela 18 – Teor de magnésio (Mg) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo

Tratamento	Aveia		Trigo	Média
	(%)			
1	0,34		0,21	0,27ab
2	0,35		0,20	0,27b
3	0,33		0,21	0,27b
4	0,36		0,26	0,31a
5	0,26		0,24	0,25b
	0,33A		0,22B	

C.V. cultura (%) = 3,94
C.V. tratamento (%) = 8,56

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e por letras minúsculas na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 19 – Teor de cálcio (Ca) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo

Tratamento	Aveia			Trigo		
	(%)					
1	A	0,79	Ab	B	0,25	a
2	A	0,85	Ab	B	0,24	a
3	A	0,75	B	B	0,25	a
4	A	0,91	A	B	0,32	a
5	A	0,58	C	B	0,30	a
Média	A	0,78		B	0,27	

C.V. (%) tratamento = 6,34
C.V. (%) culturas = 8,8

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e por letras minúsculas na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4.2 Potássio e fósforo.

O suprimento de calcário e manejo de solo não foi significativo para diferenciar os teores de fósforo e potássio na folha bandeira, tanto para trigo quanto para aveia.

As bases catiônicas absorvidas em maiores quantidades são: cálcio, magnésio e potássio. De maneira diferente como ocorreu com o magnésio e principalmente com o cálcio, os teores de potássio na folha bandeira foram muito semelhantes tanto para trigo como para aveia-preta, não diferindo estatisticamente, independente da adição de cálcio e magnésio na CTC ou não.

Tabela 20 – Teor de fósforo (P) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo

Tratamento	Aveia	Trigo	Média
	(%)		
1	0,295	0,285	0,290 ^{ns}
2	0,290	0,280	0,285
3	0,285	0,250	0,267
4	0,285	0,285	0,285
5	0,285	0,300	0,292
	0,288	0,280	

C.V. cultura (%) = 5,75

C.V. tratamento (%) = 8,55

ns: não significativo

Tabela 21 – Teor de potássio (K) absorvido pela folha bandeira de aveia e trigo em função do manejo do solo

Tratamento	Aveia	Trigo	Média
	(%)		
1	2,21	2,34	2,27 ^{ns}
2	2,01	2,38	2,19
3	2,21	2,23	2,22
4	1,92	2,25	2,09
5	2,42	2,30	2,36
	2,15	2,30	
C.V. cultura (%) = 5,35			
C.V. tratamento (%) = 7,03			

ns: não significativo

4.5 Resultados da cultura da soja

Para a cultura da soja, a única diferença estatisticamente significativa, nas análises realizadas, foi para estatura de planta. Os demais parâmetros analisados, como densidade final de plantas de soja, rendimento de grãos e rendimento de grãos perdidos por vagens não completas, as diferenças não foram significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A estatura está envolvida com alguns parâmetros que interferem no rendimento da cultura como: número de nós, distância de entrenós, altura de inserção da primeira vagem, entre outros.

De acordo com os resultados, a calagem seguida de escarificação (T2) influenciou de maneira negativa na estatura de plantas. Apesar da parcela que recebeu aplicação superficial de calcário também não diferir estatisticamente da aplicação superficial

de calcário (T1), ambas foram menores que a aplicação de calcário incorporado com arado de discos para pH 6,0.

Tabela 22 - Estatura de plantas de soja

Tratamento	cm
PD com calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	61,8 bc
Escarificação e calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	56,7c
PD sem aplicação de calcário (testemunha)	64,8ab
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 5,5)	66,9ab
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 6,0)	69,0a
Média	63,87
C.V. (%) = 4,82	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem significativamente pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 23 - População final de plantas

Tratamento	Plantas/ha
PD com calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	294.444 ^{ns}
Escarificação e calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	277.777
PD sem aplicação de calcário (testemunha)	283.333
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 5,5)	294.444
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 6,0)	266.666
Média	283.333
C.V. (%) = 16,4%	

A população de plantas de soja foi outro parâmetro que não apresentou diferenças estatisticamente significativas, independente da aplicação ou não de calcário e método de calagem.

A destacar que nenhum preparo secundário do solo (gradagem) foi realizado após a aplicação dos tratamentos. Isto demonstra que

para uma eficaz germinação e emergência estabelecimento das plantas da soja, não é necessário este preparo secundário, o que em muito ajuda na conservação do solo e da água.

Tabela 24 - Rendimento de grãos de soja (2009/10)

Tratamento	kg/ha
PD com calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	3.065 ^{ns}
Escarificação e calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	3.134
PD sem aplicação de calcário (testemunha)	3.001
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 5,5)	3.095
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 6,0)	2.979
Média	3.055
C.V. = 5,57%	

A escarificação como forma de incorporação de calcário ou simplesmente como ferramenta de manejo do solo, é atualmente um dos temas de maior discussão no que se refere às práticas de manejo de solo. Não houve diferença estatisticamente significativa no presente trabalho. Entretanto autores como Camara e Klein (2005a), analisando manejos de solo, e Rossato (2007), analisando métodos de correção de acidez em subsuperfície em Latossolo franco arenoso, verificaram melhorias de atributos químicos e físicos do solo e tendência de resposta de soja, respectivamente, em situações de manejo de solo com o escarificador.

No estabelecimento da cultura e desenvolvimento vegetativo, principalmente no mês de dezembro de 2009 (figura 3), as precipitações na região foram favoráveis e bem próximas das normais para a região (88% da precipitação normal para o período). Caracterizando um cenário com possibilidade de crescimento para a

cultura sem estresse. Esse ambiente propício ao desenvolvimento da soja possibilitou o crescimento da cultura em condições de suficientes disponibilidades hídricas, não implicando em ambiente indutor ao crescimento radicular, como descrito por Costa (2001).

Tabela 25 – Expectativa de rendimento de grãos adicional por vagens não completas

Tratamento	kg/ha
PD com calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	388 ^{ns}
Escarificação e calcário em superfície (1/2 SMP pH 5,5)	416
PD sem aplicação de calcário (testemunha)	392
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 5,5)	390
Aração com calcário incorporado (1 SMP pH 6,0)	436
Média	404
C.V. = 16,8%	

Verificando a precipitação ocorrida durante os meses de janeiro e fevereiro de 2010 (figura 3), observa-se um sério déficit hídrico período que coincidiu com a fase de enchimento de grãos. Nesses meses, as precipitações atingiram 88% e 69%, respectivamente, em relação as normais para os meses. Esses dados mostram que a cultura, justamente no período de enchimento de grãos ficou exposto à, praticamente, 30 dias sem uma chuva significativamente maior que 10 mm. Assim, não houve diferenças estatísticas significativas para o rendimento de grãos de soja e, também, não diminuindo às perdas de rendimento por vagens não completas, em função da estiagem.

Não houve diferenças estatísticas no rendimento de grãos perdidos por vagens não completas entre os tratamentos. Este parâmetro obtido a partir da contagem do número de grãos ausentes

em vagens formadas, indicando stress sofrido pela planta durante a fase de enchimento de grãos.

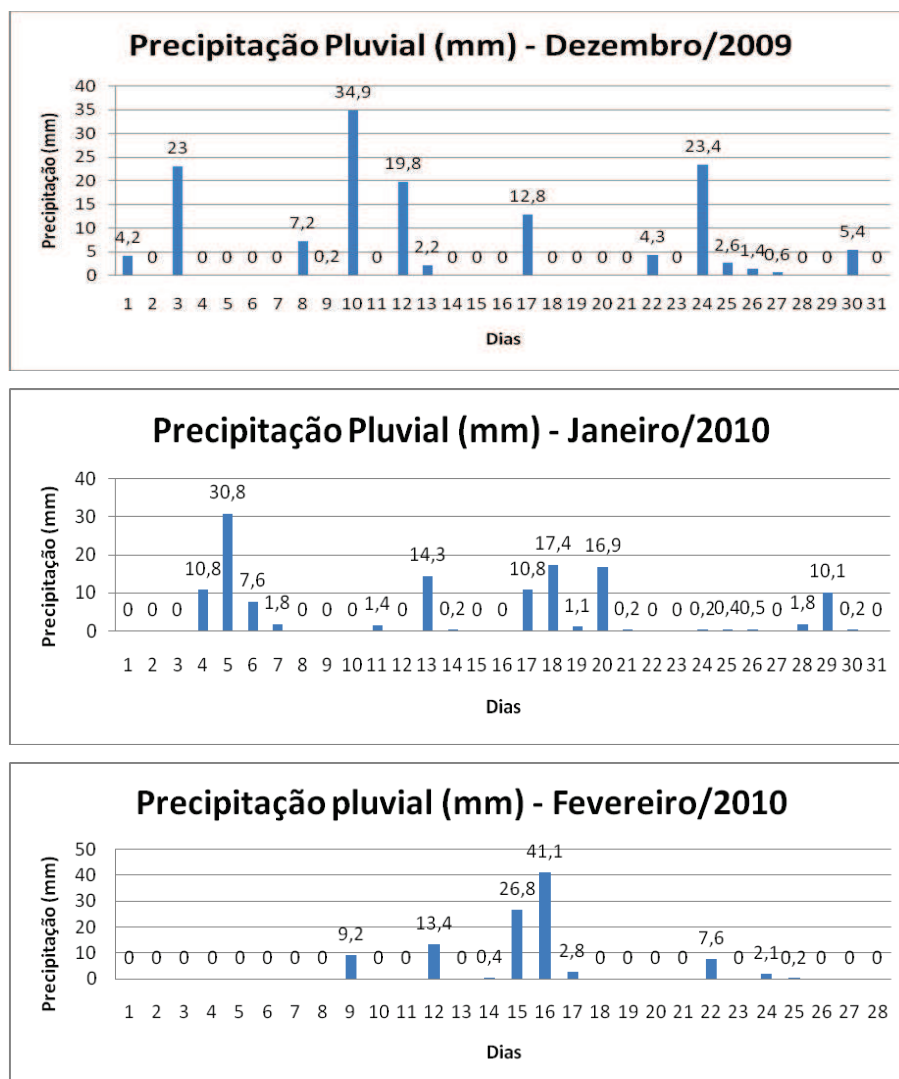


Figura 3 – Precipitação ocorrida durante o período crítico de enchimento de grãos da soja.

5.0 CONCLUSÕES

A hipótese levantada para a realização deste trabalho foi parcialmente comprovada, uma vez que, tanto a escarificação como a aração seguida de calagem para elevar o pH do solo à 6,0 foram capazes de incorporar calcário e corrigir alguns atributos químicos até a profundidade de 15 cm.

Dessa forma, foi possível reduzir o gradiente químico e eliminar a presença de elementos tóxicos, como o Al^{3+} . No tratamento T4, na camada de 5-10 cm, a saturação por alumínio se elevou, os teores de saturação por bases e de cálcio diminuíram não podendo, assim, afirmar que a aração com calagem visando pH 5,5 em latossolo sob plantio direto corrigiu em profundidade o pH e elementos tóxicos.

Assim a calagem seguida de escarificação e a incorporação de calcário com dose visando pH 6,0 melhoraram alguns atributos químicos do solo em profundidade, embora essas melhorias não tenham proporcionado melhor desenvolvimento e também não acarretando em diferenças significativas no rendimento de grãos das culturas implantadas, aos 6 e aos 11 meses após a aplicação dos tratamentos na área experimental.

Os resultados obtidos permitem concluir que:

A aplicação na superfície e incorporação do calcário não afetou o rendimento de grãos das culturas da aveia, cevada e trigo no inverno, e da soja no verão.

No plantio direto, os teores de cálcio, magnésio, potássio e por conseguinte, a saturação por bases na CTC(%) foram maiores na camada de 0-5 cm.

A saturação por alumínio (>10%) comprometedor para o desenvolvimento das plantas no sistema plantio direto se concentrou abaixo dos 0-5 cm. A calagem superficial seguida de escarificação e a incorporação de calcário visando pH 6,0 foram eficientes para zerar essa saturação até os 15 cm.

Os maiores valores de pH em água nos primeiros centímetros ocorreram independentemente da forma de calagem aplicada. Entretanto no manejo de calagem superficial seguido de escarificação foi possível elevar o pH do solo acima de 5,5 até os 15 cm de profundidade.

Os métodos de incorporação e aplicação do calcário não interferiram na CTC potencial (pH 7,0) do solo. Além disso, a quantidade de matéria orgânica do solo em profundidade também não diferiu significativamente, sendo que esta 6 meses após a implantação dos experimentos continuou se concentrando na camada de 0-5 cm de profundidade.

Pelo teor de nutrientes absorvidos pela folha bandeira de aveia preta e trigo, é possível afirmar que cada cultura possui necessidades de nutrientes distintas.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 15. Campinas. 1983. *Anais...* Campinas. 1983. p.11-22.

AMARAL, A.S. *Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 102p. (Dissertação de Mestrado)

AMARAL, A. S. *Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície*. 2002. 107 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

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

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Correção da acidez do solo. In: Bissani C. A. et al. (ed.). *Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas*. Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 153-166.

ASSIS, R.L. de; LANÇAS, K.P. Efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um Nitossolo Vermelho distroférico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ASSISTAT - Assistência Estatística Por Prof.Dr.Francisco de Assis Santos e Silva. DEAG - CTRN - Universidade Federal de Campina Grande Campus de Campina Grande-PB, 2009.

- AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, 1996.
- BAYER, C.; SCHNEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.29, n.1, p.155-166, 1999.
- BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e correção. In: KAMINSKI, J. org. *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2000. v.4. p.9-19.
- BRAUNACK. M.V. & DEXTER. A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. *Soil Tillage Research*. 14:259-279. 1989.
- BULANOVA. N.V.; SYNZYNYNS. B.I.; KOZ'MIN. G.V. Aluminum induces chromosome aberrations in cells of wheat root meristem. *Russian Journal of Genetics*. Vol. 37. No. 12. 2001. pp. 1455–1458.
- CAIRES. E.F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: Experiências no Estado do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 25.. Santa Maria. 2000. *Anais*. Santa Maria. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. 28p.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia agricolae*, Piracicaba, v.59, n.2, p.357-364, 2002.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates soil acidity and improves root growth and yield of wheat in acid soil under no-till system. *Scientia agricola*, Piracicaba, v.63, n.5, p.502-509, 2006.

CAMARA, R.C. *Influência da escarificação do solo sob sistema plantio direto nas propriedades do solo e na cultura da soja*. Passo Fundo. 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado) - UPF. 2004.

CAMARA, R.C.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento de soja. *Ciência Rural*, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005a.

CAMARA, R.C.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 789-796, 2005b.

CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. Avaliação de genótipos de centeio, triticale, trigo comum e trigo duro quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55, n.2, 1998.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos. submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 14:99-105. 1990.

CARVALHO JÚNIOR, I.A., FONTES, L.E.F., COSTA, L.M. Modificações causadas pelo uso e formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p.505-514, 1998.

CASA, R. T. e REIS, E.M.; *Doenças de cereais de inverno: guia de campo para identificação e controle*. Lages, p. 56-61, 2010.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.1055-1064, 2002.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de baixa atividade sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.6, p.1161-1164, 2003.

CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*, v.41, p.165-172, 1966.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 10 ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400p.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, 2004.

COSTA. A. R. Texto acadêmico: As Relações hídricas das Plantas Vasculares. Portugal. Editora da Universidade de Évora. 2001. 75p.

DE MARIA. I. C.; CASTRO. O. M.; SOUZA DIAS. H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 23. p. 703-709. 1999.

DORAN. J.W. & PARKIN. T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN. J.W.. COLEMAN. D.C.. BEZDICEK. D.F. &

- STEWART. B.A.. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison. *Soil Science Society of America*. 1994. p.3-21.
- EKWUE, E.I. Organica matter effects on soil strength properties. *Soil & Tillage Research*. Elsevier, v.16, n.33, p.289-297, 1990.
- ELTZ. F.L.P.; PEIXOTO. R.T.G.; JASTER. F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas. v.13. p. 257-259. 1989.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 1999. 412p.
- EMBRAPA SOJA. Tecnologias de Produção de Soja, Região Central do Brasil. Sistemas de produção 1. versão eletrônica, 2003. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/index.htm>. acessado em: 26 de julho de 2010.
- FOY. C.D.; CHANEY. R.L.; WHITE. M.C. The physiology of metal toxicity [Plant Stress Lab. and Biological Waste Management and Soil Nitrogen Lab.. USDA. ARS. Beltsville. MDAttnu. Review Plant Physiology.. 29:511-66. 1978.
- FREIRIA. A.C.; MANTOVANI. J.R.; FERREIRA. M.E.; DA CRUZ. M.C.P.; YAGI. R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá. v.30. n.2. p.285-291. 2008.

- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis: physical, chemical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.
- GENRO JUNIOR. S.A. *Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto*. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. 2002. 90p. (Tese de Mestrado)
- GUIMARÃES, C.T. *Caracterização da variabilidade genética e alélica da tolerância ao alumínio em gramíneas para sua utilização em programas de melhoramento*. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, p.41, 2005.
- HAYNES. R.J.; MOKOLOBATE. M.S.; Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutr. Cycl. in Agroecosys.* Dordrecht. v.59. p.47-63. 2001.
- HUDSON. N. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press. 1971. 320p.
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; RIBEIRO, A.C.; SOPRANO, E. Efeito da calagem na dispersão de argila em um latossolo vermelho escuro. *Revista Ceres*, v.33, p.456-460, 1986.
- JUCKSCH, I. *Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1987. 37p. (Dissertação de Mestrado)
- KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas : SBCS/NRS, 2000. Cap.2, p.21-39.
- KAMINSKI. J.; SILVA. L.S.; CERETTA. C.A. e RHEINHEIMER. D.; Acidez e calagem em solos do sul do Brasil: aspectos históricos e

perspectivas futuras. In: CERETTA. C.A.; SILVA. L.S.; REICHERT. J.M. *Tópicos em ciência do solo*. – Vol. 1. Viçosa. MG: SBCS. 2007. p. 307-332.

KAMINSKI. J.; RHEINHEIMER. D.; GATIBONI. L.C.; BRUNETO. G.; SILVA. L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.29. nº4. p.573-580. 2005.

KLEIN. V.A.; DALLMEYER. A.U.; ESCOSTEGUY. P.A.V.; BOLLER. W.; FIOREZE. I.; VIEIRA. M.L. DURIGON. F.F.; FAVERO. F. Adaptação de um equipamento para incorporação de calcário em solos sob plantio direto. *Ciências Agroveterinárias*. 6:95-107. 2007.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annual Review Plant Biology*., v.55, p.459-493,2004.

LOPES, A.S.; SILVA, M de C.; GUILHERME, L.R.G. *Acidez do solo e calagem (Boletim Técnico, 1)*. São Paulo, ANDA, 1990. 22p.

MARCOLAN, A.L. ; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, p. 163-170, 2006.

MARTINAZZO, R. *Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob sistema plantio direto consolidado*. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MIELNICZUK, J. & ANGHINONI, I. *Avaliação da utilização das recomendações de adubo e calcário dos laboratórios oficiais de análise de solos*. B. Técnico Fecotrigo, 15:36, 1976.

MIYAZAWA. M.; PAVAN. M.A. & FRANCHINI. J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron.* 92:8. 2000. (Encarte Técnico)

MOHR, W. Influência da acidez sobre a fertilidade dos solos. Campinas, 1960. 25p. (Trabalho apresentado no I Congresso Nacional de Conservação dos Solos, Campinas, 1960).

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 7, p. 75-102, 1983.

NAIFF, A.P.M. *Crescimento, composição e sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em plantas de Alpinia Purpurata cv. Jungle King*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, p.77, 2007.

NETO, D.C. *Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do Capim – Tanzânia*. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz. Piracicaba. p.82, 2006.

NETO. P. H. W. 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.

PAIVA, P. J. R. et al. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p. 71-75, 1996.

PAVAN, M.A. & ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. *Ciência e Cultura*, 44:391-394, 1992.

PIERCE. F. J.. FORTIN. M. C.. STATON. M. J. Immediate and residual effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. *Soil & Tillage Research*. Amsterdam. v. 30. p. 149 - 165. 1992.

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

RAIJ. B. VAN; SACCHETTO. M. T. D.; TOSHIO. I. Correlação entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. *Bragantia*. Campinas. v. 27. p. 193-200. 1968.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL. 37.. 2009. Porto Alegre. *Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2009/2010*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. 144p.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Modificações em atributos químicos de solos arenosos sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.4, p.713-722, 1998.

RHEINHEIMER. D.S.; SANTOS. E.J.S.; KAMINSKI. J.; XAVIER. F.M.; Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.

RHEINHEIMER. D.S.; KAMINSKI. J.; BARTZ. H.R.; GATIBONI. L.C.; HORN. D.; FLORES. J.P.C.; SAGGIN. A.; LUIS. E.; GRIPA. M.; CASALI. C.A.; *Recomendações de Calagem no RS e SC: é*

possível melhorar a proposta atual de modificação. In: FERTBIO 2002.

ROSOLEM, C. A. *Relações solo-planta na cultura do milho.* Jaboticabal: Funep, 1995. 53 p.

ROSSATO. O.B.; CERETTA. C.A.; SILVA. L.S.; BRUNETTO. G.; ADORNA. J.C.; GIROTTO. E.; LORENZI. C.R. Correction of soil acidity in the subsurface of na oxisol with Sandy loam texture under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* vol.33. nº3. p.659-667. 2009.

ROSSATO. O.B.; *Correção da acidez em subsuperfície em um Latossolo de textura franco-arenosa sob plantio direto.* Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. 2007. 90p. (Dissertação de Mestrado)

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.* Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.

SALET. R.L.; ANGHINONI. I.; KOCHHANN. R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz.* Cruz Alta. v.1. nº 01. p. 9-13. 1999.

SECCO. D. *Estados de compactação de dois latossolos e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas.* Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. 2003. 110p. (Tese de Doutorado)

SEYBOLD. C.A.; HERRICK. J.E. & BREJDA. J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science.* 164:224-234. 1999.

SILVA, J.B.C. da; NOVAIS, R.F. de; SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.3, p.287-298, 1984.

SILVA. V.R.; REINERT. D.J. & REICHERT. J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*. 30:795-801. 2000.

SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C.; Nutrição e produtividade de grãos de aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.715-725. 2008.

SPERA, S.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em micoragregados de solo incubado com calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.2613-2620. 2008.

STRECK. C.A. *Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro e da soja*. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. 2003. 105p. (Tese de Mestrado).

STRECK. E.V. et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. 2008. 222p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros minerais*. Departamento de solos – Faculdade de Agronomia. UFRGS. Porto Alegre. 1995. 174 p.

TEDESCO. M. J.; GIANELLO. C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI. J. *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul. 2000. p. 95-113.

TOGNON. A. A.; DEMATTÊ. J. A. M.; MAZZA. J. A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 21. p. 271-278. 1997.

VIEIRA. Frederico Costa Beber ; BAYER. Cimélio ; ZANATTA. Josiléia Accordi ; ERNANI. Paulo Roberto . Organic matter kept Al toxicity low in a subtropical no-tillage soil under long-term (21-yr) legume-based crop systems and N fertilization. *Australian Journal of Soil Research*. v. 47. p. 707-714. 2009.

VIEIRA, M.L., *Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo*. Passo Fundo, 2006, 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UPF – 2006.

VITTI. G.C. & LUZ. P.H.C. *Utilização agrônômica de corretivos agrícolas*. Piracicaba. FEALQ. 2004. 120p.

VIVIANI. C.A.; MARCHETTI. M.E.; VITORINO. A.C.T.; NOVELINO. J.C.; GONÇALVES. M.C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja. em função do aumento do pH. *Ciência e Agrotecnologia*. Lavras. vol. 34. n. 01. 2010. p. 61-67.

WIETHOLTER, S. *Calagem no Brasil*. Passo Fundo, Embrapa/CNPT, 2000. 101p.