

O manejo inadequado das pastagens causa a degradação das terras e diminui a eficiência econômica da atividade pecuária. A pesquisa teve por objetivos avaliar atributos físicos e químicos do solo e quantificar a produção de biomassa vegetal em quatro sistemas de manejo de campo nativo no Planalto Catarinense.

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Coorientador: Ildegardis Bertol

Coorientador: David José Miquelluti

Lages, 2014

ANO  
2014



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
CURSO DE CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ATRIBUTOS DO SOLO E  
PRODUÇÃO DE BIOMASSA  
VEGETAL EM SISTEMAS DE  
MANEJO DE CAMPO NATIVO NO  
PLANALTO CATARINENSE**

ROMEU DE SOUZA WERNER

LAGES, 2014

ROMEU DE SOUZA WERNER | ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA VEGETAL EM  
SISTEMAS DE MANEJO DE CAMPO NATIVO NO PLANALTO CATARINENSE



**ROMEU DE SOUZA WERNER**

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA  
VEGETAL EM SISTEMAS DE MANEJO DE CAMPO NATIVO  
NO PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Fabrício Tondello  
Barbosa

**LAGES, SC**

**2014**

W494a Werner, Romeu de Souza

Atributos do solo e produção de biomassa  
vegetal em sistemas de manejo de campo nativo no  
Planalto Catarinense / Romeu de Souza Werner. -  
Lages, 2014.

103 p.: il.; 21 cm

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Bibliografia: p. 84-103

Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Lages, 2014.

1. Melhoramento de pastagens nativas.
2. Campo queimado. 3. Atributos do solo. I.  
Werner, Romeu de  
Souza. II. Barbosa, Fabrício Tondello. III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa  
de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do  
CAV/ UDESC

**ROMEU DE SOUZA WERNER**

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA  
VEGETAL EM SISTEMAS DE MANEJO DE CAMPO NATIVO  
NO PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

**Banca Examinadora**

Orientador:

---

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
CAV – UDESC/Lages

Co-orientadores:

---

Prof. Dr. Ildegardis Bertol  
CAV – UDESC/Lages

Membros:

---

Prof. Dr. Tássio Dresch Rech  
EPAGRI/Lages

---

Prof. Dr. David José Miquelluti  
CAV – UDESC/Lages

---

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra  
CAV – UDESC/Lages

---

Prof. Dr. Ildegardis Bertol  
CAV – UDESC/Lages



Dedico este trabalho aos meus pais que me presentearam com a sabedoria não encontrada em livros e, sobretudo, por me ensinarem a ver o céu sempre com os pés no chão.



## AGRADECIMENTOS

À Deus, em quem deposito minha fé, buscando as forças necessárias para seguir e vencer as dificuldades.

À minha família, em especial aos meus pais, Sebastião e Vera, que me ensinaram os verdadeiros valores da vida.

Ao senhor Sebastião Romeu Arruda Werner, meu pai, por gentilmente ter disponibilizado a área experimental.

Ao meu orientador e professor, Dr. Fabrício Tondello Barbosa pela orientação, paciência, e transmissão de conhecimentos os quais irão comigo pelo resto da vida.

Ao professor Dr. Ildegardis Bertol pela co-orientação, apoio e pelas valiosas colaborações durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao professor Dr. David José Miquelluti pelo auxílio na análise estatística dos dados.

Aos professores do mestrado de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelas informações adquiridas e convívio durante o curso.

Aos meus colegas Júlio Ramos, Neuro Wolschick, Kristiana Fiorentin, Maria Aparecida, Danieli Schneiders, Luran Muzeka, Rodrigo Vieira, José Mecabô, que ajudaram na obtenção de dados para realização deste trabalho, o meu muito obrigado pelo auxílio, amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

A todos que auxiliaram nos trabalhos de campo, sem os quais a execução desta pesquisa não teria sido possível.

Aos professores membros da banca examinadora pelas contribuições e ensinamentos.

Aos funcionários do CAV/UDESC Lages.

À UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

A todos que contribuíram para a conquista de mais esta etapa em minha vida.

“Somente depois da última árvore derrubada, depois do último animal extinto, e quando perceberem o último rio poluído, sem peixe, o Homem irá ver que dinheiro não se come.”

Provérbio Indígena



## RESUMO

WERNER, Romeu de Souza. **Atributos do solo e produção de biomassa vegetal em sistemas de manejo de campo nativo no Planalto Catarinense.** 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2014.

O manejo inadequado das pastagens causa a degradação das terras e diminui a eficiência econômica da atividade pecuária. A pesquisa teve por objetivos avaliar atributos físicos e químicos do solo e quantificar a produção de biomassa vegetal em quatro sistemas de manejo de campo nativo no Planalto Catarinense. O experimento foi conduzido a campo, em Lages-SC, num Nitossolo Bruno. Foram testados os tratamentos de campo natural roçado (CN), campo natural queimado (CQ), campo natural melhorado com introdução de espécies após uma gradagem (MG) e campo natural melhorado com introdução de espécies após uma escarificação (ME). Nos tratamentos melhorados foram realizadas a correção da acidez do solo, adubação fosfatada e semeadura de azevém, capim lanudo e trevo branco, em consórcio. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com duas repetições por bloco, em parcelas com 10 x 22 m. As coletas de solo foram realizadas nos intervalos de 30, 120 e 330 dias após o manejo inicial da área nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; e 10-20 cm para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporos, estabilidade de agregados, grau de floculação da argila, resistência do solo à penetração, pH e

carbono orgânico. Além disso, avaliou-se a infiltração de água no solo pelo método dos anéis concêntricos, obtendo-se a velocidade básica de infiltração de água no solo e a lâmina total infiltrada. Para avaliação da produção de biomassa vegetal seca foram coletadas amostras aos 180, 330 e 420 dias após a implantação dos tratamentos, sendo quantificadas a produção de pastagem e inços e a proporção de gramíneas e leguminosas na pastagem. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste t a 5%. O MG e ME aumentaram os macroporos e reduziram os microporos nas camadas avaliadas; tal efeito decresceu no tempo e se igualou ao CN e CQ. A porosidade total teve comportamento semelhante, embora restrito na superfície do solo. O CQ reduziu a infiltração de água no solo, enquanto o ME teve maior infiltração e menores valores de resistência à penetração e densidade até 5 cm de profundidade. O grau de floculação da argila, a estabilidade dos agregados e o carbono orgânico do solo não foram influenciados pelos tratamentos. O calcário aplicado superficialmente elevou o pH do solo até os 10 cm no MG e ME. A queima do campo natural resultou em menor produção de pastagem e maior proporção de inços. Foram encontradas leguminosas na pastagem apenas no MG e ME.

**Palavras-chave:** Melhoramento de pastagens nativas. Campo queimado. Atributos do solo.

## ABSTRACT

WERNER, Romeu de Souza. **Soil properties and plant biomass production in native fields management systems in the Catarinense Plateau, Brazil.** 2014. 103 f. Thesis (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2014.

The improper management of pastures can cause land degradation and reduces the economic efficiency of livestock activity. The research aims to assess physical and chemical attributes of the soil and to quantify the production of plant biomass in four management native fields systems in the Santa Catarina plateau. The experiment was conducted in Lages-SC, on a Nitosol (Alfisol). The treatments tested were natural pasture (NP), natural pasture burned (NPB), improved pasture with introduction of species after disking (IPD) and improved pasture with introduction of species after chiseling (IPC). In the treatments with improved pastures were performed the correction of soil acidity, phosphorus application and seeding of ryegrass, white clover and woolly grass. The experimental design was a randomized block design with two replications in each block at plots with 10 x 22 m. Soil samples were taken at intervals of 30, 120 and 330 days after the initial management of the area at depths of 0-2.5; 2.5-5; 5-10; and 10-20 cm for determination of bulk density, total porosity, macro and micropores, aggregate stability, clay flocculation degree, soil resistance to penetration, pH and organic carbon. Moreover, was evaluated the infiltration of water into the soil by the

method of concentric rings, obtaining the basic rate of infiltration and total water infiltrated. To evaluate the production of dry plant biomass were collected samples at 180, 330 and 420 days after implantation of the treatments, being quantified the pasture production, weeds and the proportion of grasses and legumes in the pasture. The data were subjected to analysis of variance and means were compared by t test ( $P<0.05$ ). The IPD and IPC increased macropores and decreased micropores in layer of soil evaluated; this effect decreased over time and equaled the NP and NPB. The total porosity experienced similar behavior, although restricted to the soil surface. The NPB reduced water infiltration into the soil, while the IPC had higher infiltration and lower density and penetration resistance up to 5 cm deep. The clay flocculation degree, aggregate stability and soil organic carbon were not affected by treatments. The surface applied lime increased soil pH to 10 cm in IPD and IPC. The burning of natural pasture resulted in lower pasture production and higher proportion of weeds. Legumes were found in grassland only IPD and IPC.

**Key-words:** Improvement of native pasture. Natural burned field. Soil attributes.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Disposição dos tratamentos dentro da área experimental. ....	40
Figura 2– Vista dos tratamentos melhorados com introdução de espécies após as operações de preparo: gradagem no tratamento de Campo Natural Melhorado com Gradagem (a) e escarificação no tratamento de Campo Natural Melhorado Escarificado (b).....	41
Figura 3– Queima da fitomassa seca no tratamento de Campo Natural Queimado Anualmente (a); Vista do tratamento de Campo Natural Queimado Anualmente, à esquerda, e do tratamento de Campo Natural Melhorado com Gradagem, à direita (b)....	43
Figura 4 – Campo Natural Roçado (a); Detalhe da composição botânica dentro da unidade experimental no CN (b). .....	44
Figura 5 – Imagem dos anéis concêntricos de carga variável durante o primeiro teste de infiltração, realizado no tratamento de Campo Natural Roçado.....	46
Figura 6 – Penetrômetro estático de bancada utilizado para avaliação da resistência do solo à penetração.....	48
Figura 7 – Determinação da estabilidade de agregados em água .....	49
Figura 8 - Proporção de pastagem e inços da biomassa vegetal produzida em cada tratamento, no somatório das avaliações.....	77

Figura 9 - Proporção de gramíneas e leguminosas na composição da pastagem em cada tratamento, no somatório das avaliações. CN: campo natural roçado; CQ: campo natural queimado; MG: campo natural melhorado após gradagem; ME: campo natural melhorado após escarificação. .... 78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria e características químicas do solo da área de estudo, em quatro camadas e divididas em dois blocos.....	38
Tabela 2 - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	52
Tabela 3 – Porosidade total do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	54
Tabela 4 – Macroporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	56
Tabela 5 – Microporosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	58
Tabela 6 – Resistência mecânica à penetração do solo (MPa) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	60
Tabela 7 – Grau de floculação da argila (%) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	62
Tabela 8 – Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo – DMP (mm) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	64

Tabela 9 – Carbono orgânico total do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	66
Tabela 10 – pH do solo em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.....	68
Tabela 11 – Umidade volumétrica (0 – 20 cm) antecedente ao teste de infiltração – $\text{Uv}$ ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), velocidade de infiltração básica de água no solo – $\text{VIB}$ ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e lâmina total de água infiltrada - $\text{I}$ (mm), nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação durante teste com duração de 2 h .....	70
Tabela 12 - Produção de biomassa vegetal seca representada pela produção de pastagem, inços, leguminosas, gramíneas e matéria seca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação. ....	73
Tabela 13. Temperatura mínima média, máxima média, umidade relativa média e precipitação total registrada durante o período de avaliações.....	75

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	OS CAMPOS DE ALTITUDE .....	22
2.1.1	Considerações iniciais .....	22
2.1.2	Diversidade e classificação .....	23
2.1.3	Importância ecológica, econômica e social.....	23
2.1.4	Situação atual .....	24
2.2	DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS.....	27
2.2.1	Reflexos nos atributos físicos e no carbono orgânico total do solo.....	27
2.2.2	Reflexos na produção de biomassa vegetal.....	34
3	HIPÓTESES.....	35
4	OBJETIVOS.....	36
5	MATERIAL E MÉTODOS .....	37
5.1	LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	37
5.2	SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL	37
5.3	UNIDADE EXPERIMENTAL E DELINEAMENTO .	38
5.4	TRATAMENTOS .....	39
5.5	MANEJO DA ÁREA.....	40
5.6	COLETAS E DETERMINAÇÕES.....	45
5.6.1	Atributos do solo .....	45

5.6.2	Produção de biomassa vegetal.....	50
5.7	ANÁLISE DOS DADOS .....	50
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
6.1	DENSIDADE DO SOLO.....	51
6.2	POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE DO SOLO.....	53
6.3	RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO .....	59
6.4	GRAU DE FLOCULAÇÃO DA ARGILA .....	61
6.6	CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO .....	65
6.7	pH DO SOLO.....	67
6.8	UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO ANTECEDENTE, VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DE ÁGUA NO SOLO E LÂMINA TOTAL DE ÁGUA INFILTRADA.....	69
6.9	PRODUÇÃO DE BIOMASSA VEGETAL DE PARTE AÉREA .....	72
7	CONCLUSÕES.....	80
8	ALTERNATIVAS DE MANEJO.....	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84

## INTRODUÇÃO

A degradação das terras pelo manejo inadequado do solo ao longo dos anos constituiu-se em um dos problemas mais sérios da humanidade, reduzindo a quantidade de terras aptas e diminuindo a eficiência econômica da atividade agropecuária.

No Brasil, a pecuária tem se destacado como uma das principais fontes de degradação das pastagens naturais, trazendo prejuízos de ordem econômica, pelo aumento dos custos de produção e pela redução ou perda da capacidade produtiva do solo. A necessidade de formação de novas pastagens tem aumentado a pressão de desmatamento, além dos problemas relacionados com a compactação e com a erosão hídrica nas áreas em uso, o que leva a problemas ambientais como a alteração na dinâmica da água nos ecossistemas, assoreamento de mananciais hídricos e riscos de contaminação das águas pelos elementos químicos perdidos na enxurrada.

No sul do Brasil, mais especificamente nos campos de altitude, a pecuária tradicional ou extensiva é praticada em grande escala desde a ocupação da região, tendo-se observado degradação das áreas, o que pode estar relacionado às práticas inadequadas de manejo das pastagens, como o sobrepastejo e o uso indiscriminado do fogo.

Portanto, entender o fenômeno de degradação das pastagens e as suas causas são essenciais para formular estratégias de recuperação da produtividade dessas áreas, reduzindo as pressões de desmatamento e os riscos ambientais e econômicos gerados por esta atividade tão importante na região sul do Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 OS CAMPOS DE ALTITUDE

#### 2.1.1 Considerações iniciais

Os campos de altitude ou campos de araucárias são formações naturais que ocorrem dentro do bioma Mata Atlântica, apresentam alta diversidade de espécies animais e vegetais e possuem características peculiares, dada a sua localização acima de 500 m de altitude. Estão situados na região do Planalto Sul-Brasileiro, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (BEHLING, 2009; BOLDRINI, 1997).

Os campos de altitude do sul do Brasil é a cobertura vegetal predominante desde a formação do relevo. Após o resfriamento dos derrames vulcânicos e intemperismo do material de origem, não houve condições para uma ocupação vegetal mais complexa, devido aos fatores restritivos climáticos e pedológicos, sendo as gramíneas as pioneiras nesta etapa. Desde então, a paisagem pouco mudou e mesmo com uma condição mais quente e úmida, a ocupação florestal se restringiu às regiões marginais de rios localizadas nas partes mais baixas do relevo. Somente durante a primeira parte do período Holoceno Superior<sup>1</sup> é que a formação florestal iniciou a sua expansão pela região de campos. No entanto, o fogo e/ou o pastejo são provavelmente os principais fatores que impedem a expansão florestal em áreas campestres, cujas condições climáticas são propícias ao seu desenvolvimento (BOND et al., 2003).

---

<sup>1</sup> Época do período Quaternário da era Cenozóica do éon Fanerozóico que se iniciou há cerca de 11,5 mil anos e se estende até o presente. O Holoceno inicia-se com o fim da última era glacial principal, ou Idade do Gelo.

No estado do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, os campos de altitude ocupam 1.374.000 hectares o que corresponde a aproximadamente 12,7 % de todos os campos destes estados (BOLDRINI, 2002; IBGE, 2006).

### **2.1.2 Diversidade e classificação**

A diversidade florística da região dos campos de altitude é extremamente alta. As gramíneas caracterizam estes campos pela formação de um estrato herbáceo contínuo. A influência da vegetação do Brasil Central e da região andina do sul da América do Sul propiciou a coexistência de gramíneas dos tipos C3 e C4 e resultou no aumento da diversidade e da qualidade forrageira dos campos naturais (BOLDRINI, 2009a).

A informação sobre a diversidade vegetal dos campos está longe de estar completa. Boldrini (1997) estimou um total de 3.000 espécies de plantas campestres, apenas para o estado do Rio Grande do Sul, enquanto Klein (1984) estimou aproximadamente 4.000 espécies. As famílias vegetais mais ricas nos campos são a Asteraceae (600 espécies), a Poaceae (400-500 espécies), a Leguminosae (250 espécies), e a Cyperaceae (200 espécies) (MIOTTO e WAECHTER, 2003).

### **2.1.3 Importância ecológica, econômica e social**

Os ecossistemas campestres cobrem aproximadamente 25% do globo terrestre (KUCERA, 1981) e são responsáveis por grande parte da produção primária (GRACE et al., 2006). Desta forma, os ecossistemas de campo, tanto tropicais como temperados, podem influenciar potencialmente as reservas globais de carbono, apesar da pouca importância dada a eles (SAN JOSÉ et al., 1998). Em realidade, os campos tropicais são responsáveis pela metade do carbono fixado atribuído às florestas tropicais (SCURLOCK e HALL, 1998).

Na região do Planalto Sul-Brasileiro é comum a utilização dos campos como suporte alimentar para a produção pecuária, devido à diversidade de plantas com alto valor forrageiro (NABINGER et al., 2000). A produção animal é uma das principais atividades econômicas, uma vez que as pastagens naturais cobrem aproximadamente 95% da região. Atualmente, os campos naturais no Planalto Catarinense continuam sendo a principal alternativa para esta atividade, apesar da expansão da bovinocultura em outras regiões do estado (CÓRDOVA, 2004). Os campos são capazes de produzir, com baixo custo, o que é impossível em outros ambientes, em grande parte pela atuação eficiente das bactérias nitrificadoras, capazes de disponibilizar para as plantas o nitrogênio captado do ar, e das bactérias do rúmen dos animais, que permitem a transformação de celulose em proteína (VALLS et al., 2006).

## **2.1.4 Situação atual**

Em um contexto amplo de conservação, os campos de altitude vêm sofrendo com ações antrópicas, em decorrência da contínua e rápida substituição, descaracterização e fragmentação dos diferentes ambientes que os compõem. A introdução de espécies exóticas e o avanço de extensas monoculturas, o corte seletivo em remanescentes florestais, a construção de hidrelétricas e a drenagem/reposamento de banhados, representam as principais ameaças para a conservação desse ecossistema (BOLDRINI, 2009b).

Apenas 453 km<sup>2</sup> dos campos de altitude estão protegidos em unidades de conservação (UC) de proteção integral, o que equivale a menos de 0,5% da área total desta formação vegetal (MMA, 2000). A maior parte deste percentual está nos mosaicos de campos e floresta com araucária, nos parques nacionais dos Aparados da Serra, da Serra Geral e de São Joaquim (norte dos estados do RS e SC).

Nos últimos anos, a pecuária extensiva sobre pastagens nativas tem sido amplamente reconhecida como uma forma de uso econômico compatível com a conservação dos campos (OVERBECK et al., 2007), ainda que o sobrepastejo, o pisoteio pelo gado e as queimadas anuais para renovação das pastagens estejam entre as causas de sua degradação (FONTANA et al., 2003). Como salientam Pillar et al. (2006), a pecuária pode manter a integridade dos ecossistemas campestres, mas o limiar entre o uso sustentável e a degradação parece ser tênue.

Diversos motivos justificam a preservação dos campos. Duas grandes bacias hidrográficas, a do rio Uruguai e a do rio Jacuí, têm sua origem em áreas de vegetação de campo e acrescenta-se o fato de que, abaixo de seus solos está o Aquífero Guarani, uma das maiores reservas de água doce potável subterrânea do mundo, dividida entre Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (BOLDRINI et al., 2006). Além disso, o ecossistema com pastagem nativa constitui o principal substrato forrageiro para a pecuária brasileira, sendo que a região dos campos de altitude têm como característica a enorme riqueza florística, peculiares à altitude, ao clima e ao solo de cada local (BOLDRINI, 1997).

Atualmente, vastas áreas de campo estão sendo substituídas por florestas de *Pinus*, *Eucalyptus*, *Acacia* e culturas anuais (BEHLING, 2009), além do desmatamento dos remanescentes florestais. A comunidade de plantas de uma pastagem protege o solo da erosão hídrica e eólica, fixa nitrogênio atmosférico e melhora as características físicas do solo. Tais melhorias são o resultado das interações entre o sistema radicular das plantas, os microrganismos e o solo (BARNES e TAYLOR, 1985). No entanto, todo o benefício conferido por estas interações podem ser comprometidas, basta que a cobertura vegetal seja removida com o preparo do solo, sobrepastejo ou pela ação do fogo. Atualmente a região de campos de altitude, com a pecuária extensiva, vem sendo alvo

do sobrepastejo e do uso do fogo, concomitantemente. Além disso, a baixa produtividade das pastagens reflete em um manejo insustentável (MARASCHIN, 2001).

A produção limitada de biomassa ao longo do inverno resulta no sobrepastejo durante esse período, o qual implica em consequências negativas para a cobertura, facilitando a degradação em regiões com condições de solo vulneráveis e provocando danos às propriedades físicas do solo (BERTOL et al., 2006). Por outro lado, o excesso de fitomassa vegetal acumulada durante as estações de primavera e verão, como consequência dos desajustes da demanda animal e da oferta de forragem, dificulta o rebrote da pastagem e em decorrência disso, produtores utilizam o fogo como ferramenta de limpeza e renovação (RHEINHEIMER et al., 2003; BOLDO et al., 2006).

Estudos revelam que existem dois tipos de queimadas, uma delas é a queima do material seco ainda preso à parte aérea da planta e a outra é a queima do resíduo vegetal ou material morto, já desprendido da planta e depositado sobre a superfície do solo (JACQUES, 2002). A queima exclusiva da parte aérea acarretaria menores prejuízos ao solo e à vegetação, entretanto, para que somente este tipo ocorra, as condições de umidade do solo necessitariam estar elevadas, obrigatoriamente. Além disso, as substâncias hidrofóbicas formadas durante a queima tornam-se fortemente cimentadas na camada superficial do solo (GIOVANNINI et al., 1987), podendo resultar na formação de camadas repelentes à água e no aumento do potencial de perdas por erosão hídrica pluvial (MACEDO, 1995).

A combustão da biomassa vegetal remove a cobertura do solo e expõe o mesmo à ação conjunta dos agentes erosivos. As cinzas provenientes da combustão se depositam sobre o solo e são responsáveis pela obstrução dos poros da superfície, influenciando assim, a infiltração de água no solo (BERTOL et al., 2011). Um dos principais impactos causados pelo

enriquecimento de elementos químicos aos corpos d'água é a eutrofização das águas de superfície, causada especialmente pelo fósforo (P) o qual é considerado elemento-chave. Portanto, com o acúmulo das cinzas e com a superfície do solo descoberta, os elementos provenientes destas áreas oriundas do escoamento superficial, terão como destino os mananciais e reservatórios hídricos (HERNANI et al., 1987), dando início ao processo de contaminação das águas.

## 2.2 DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS

### 2.2.1 Reflexos nos atributos físicos e no carbono orgânico total do solo

#### 2.2.1.1 Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo é definida como a sua massa por unidade de volume, no qual estão inclusos as partículas sólidas e o espaço poroso. A densidade e a porosidade são afetadas pelo tipo de cultura e pelo manejo do solo. Em sistemas pastoris, o tipo de preparo, assim como o pisoteio animal, influenciam a porosidade total, a distribuição e o diâmetro de poros, a porosidade de aeração, a capacidade de armazenamento de água e a sua disponibilidade para as plantas (KLEIN et al., 1995).

A cobertura vegetal, presente nos sistemas pastoris, é a grande responsável pela proteção do solo contra os agentes erosivos. Além disso, a interação entre o sistema radicular, os microrganismos e o solo, resulta em melhorias nas características químicas e físicas do mesmo. A remoção da cobertura vegetal, pela ação das queimadas e sobrepastejo, expõe o solo à ação dos agentes erosivos e compromete toda a interação planta-microrganismo-solo, afetando a densidade do solo e a sua qualidade estrutural (BARNES e TAYLOR, 1985).

Elevadas taxas de lotação animal proporcionam reduções na porosidade total do solo e consequente elevação da densidade, sendo este efeito intensificado à medida que se diminui a oferta de forragem aos animais (TREIN et al., 1991; BERTOL et al., 1998). Quando a carga animal é manejada adequadamente e respeitada às condições de umidade do solo, as alterações nos atributos físicos são pequenas, podendo ser temporárias e reversíveis e não causam maiores danos ao sistema (SILVA et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; CASSOL, 2003).

Avaliações feitas com os atributos de densidade e porosidade do solo permitem identificar condições mais adequadas ao desenvolvimento vegetal e a exploração das raízes, indicando se existem problemas relacionados à compactação (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008).

### **2.2.1.2 Compactação do solo e resistência à penetração das raízes**

A compactação do solo representa as alterações no volume de solo em resposta a uma pressão aplicada, com reduções significativas da macroporosidade (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996; REICHERT et al., 2009), a qual resulta em maior resistência mecânica ao crescimento radicular, menor aeração e disponibilidade de água e nutrientes, dificuldade na germinação de sementes e, em consequência, reduz o crescimento radicular e a produtividade agrícola (GOEDERT et al., 2002; MEGDA et al., 2008).

Nos sistemas pastoris existe a preocupação quanto aos possíveis impactos sobre a estrutura física do solo (CORREA e REICHARDT, 1995). Quando o solo está com umidade na faixa mais favorável à deformação plástica, o que ocorre imediatamente acima do seu limite de friabilidade, há necessidade de maior controle quanto ao acesso dos animais às áreas de pastejo. A compactação do solo por pisoteio animal,

em sua grande maioria, não atinge maiores profundidades de solo, ficando restrita às camadas mais superficiais, especialmente em áreas manejadas sem o revolvimento do solo (TANNER e MAMARIL, 1959; SPERA et al., 2010).

A magnitude da compactação do solo pelo pisoteio animal varia de acordo com a textura do solo, o teor de matéria orgânica (SMITH et al., 1997), o conteúdo de água (CORREA e REICHARDT, 1995), a quantidade de biomassa vegetal (SILVA et al., 2000), a intensidade e tempo de pastejo e a espécie e categoria animal utilizada (SALTON et al., 2002). Os sistemas pastoris, manejados com baixa altura residual de forragem (maior intensidade de pastejo), tornam maior a probabilidade de compactação do solo pela menor massa de forragem presente na área, menor cobertura do solo, além do aumento do tempo de pastejo e do deslocamento dos animais na busca pela forragem (CARVALHO et al., 2005).

As alterações nas propriedades físicas do solo, presentes nas primeiras camadas e ocasionadas pelo pisoteio animal, podem ser reconstituídas por operações de preparo, mudanças no manejo do solo e dos animais, ou até mesmo naturalmente, através da alternância de ciclos de umedecimento e secagem, o que está relacionado à resiliência dos solos (FLORES et al., 2007; LOPES et al., 2009).

Diversos trabalhos têm demonstrado que algumas operações de preparo tem viabilidade econômica, como a escarificação do solo, com a qual é possível recuperar as pastagens degradadas propiciando aumento na macroporosidade e porosidade total, bem como redução na resistência do solo à penetração, justificando a mobilização do solo para rompimento de camadas compactadas (YOKOYAMA et al., 1999; TORMENA et al., 2002).

### **2.2.1.3 Estrutura do solo e estabilidade de agregados**

A estrutura do solo diz respeito ao arranjo das partículas e sua organização em agregados, já a estabilidade de agregados, expressa a sua resistência, quando submetida a forças externas (ação de implementos agrícolas, pisoteio animal e impacto das gotas de chuva) ou internas (compressão de ar, expansão e contração) que tendem a romper os agregados. Solos que apresentam baixa estabilidade de agregados e maiores valores de argila dispersa em água terão reduções na porosidade, dificultando acentuadamente o movimento de água no perfil (KLEIN et al., 1998). Baixos índices de estabilidade de agregados estão diretamente relacionados ao encrostamento superficial, menores taxas de infiltração e maior escoamento superficial de água (LEVY et al., 1933).

Áreas de utilização com pastagens perenes, por apresentarem grande volume de sistema radicular, proporcionam melhorias na qualidade do solo no que diz respeito à flocação e a estabilidade de agregados (GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004). Áreas com pastagens implantadas tendem a aumentar a estabilidade de agregados por propiciar ao solo condições ideais para a flocação da argila (RAIJ, 1971; GOMBEER e D'HOORE, 1971).

O sistema radicular das plantas é fonte ativa de exsudatos orgânicos, os quais são agentes efetivos na estabilização de agregados (TISDALL e OADES, 1979). Portanto, quanto maiores os teores de matéria orgânica, maior a estabilidade de agregados, explicado pelo seu elevado poder cimentante (PINHEIRO et al., 2004; WENDLING et al., 2005).

Diferentes sistemas de manejo de pastagem resultarão em diferentes condições físicas do solo, que poderão ser favoráveis ou desfavoráveis à conservação do solo. Essas condições diferenciadas são resultantes dos efeitos que os

sistemas de manejo exercem sobre a formação e estabilização dos agregados do solo, os quais são influenciados pelo tráfego de máquinas, implementos agrícolas e pisoteio animal (CINTRA, 1980; SILVA, 1980). Nos sistemas pastoris, tanto as queimadas quanto o sobrepastejo, comprometem os benefícios conferidos pelas raízes das plantas, as quais estimulam a agregação do solo, tanto pela promoção de uma alta população microbiana na rizosfera como pelo suprimento de resíduos orgânicos (OADES, 1978).

Os sistemas pastoris, quando bem manejados, aumentam a estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica devido à combinação de ausência de preparo, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante, e maior atividade da macrofauna do solo (MARCHÃO, 2007), além da manutenção da cobertura do solo (BERTOL et al., 2011).

#### **2.2.1.4 Infiltração de água no solo**

A infiltração de água no solo é definida como a passagem da mesma através da interface atmosfera - solo, sendo importante para o crescimento da vegetação, abastecimento dos aquíferos (reservatórios de água subterrânea), manutenção do fluxo dos rios durante as estiagens e redução do escoamento superficial, das cheias e da erosão (REICHARDT et al., 1996). Considerando que a infiltração de água é influenciada por todos os demais atributos físicos do solo, é a que melhor reflete a qualidade física do mesmo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; REICHERT et al., 1992; SANTOS, 2014).

A infiltração de água no solo é fortemente influenciada pela formação ou presença do selamento superficial, o qual é produto da dispersão físico-química das partículas de solo pela energia do impacto das gotas de chuva (DULEY, 1939; MORIN e VAN WINKEL, 1996). Nos sistemas pastoris com

uso da queima da fitomassa vegetal, a cobertura do solo é eliminada, resultando em redução da infiltração e retenção de água, fato decorrente do entupimento dos poros pelas partículas de solo desagregadas e pelas próprias cinzas oriundas da combustão do material vegetal (HESTER et al., 1997; BERTOL et al., 2011). Isso explica o aumento das perdas de solo nas áreas queimadas, em relação às não queimadas (HESTER et al., 1997).

As queimadas podem alterar o teor de água no solo através de mudanças na taxa de infiltração, na taxa de transpiração, na porosidade e na repelência do solo à água (SHARROW e WRIGHT, 1977; HERNANI et al., 1987). Além disso, o problema decorrente da queima das pastagens tem como consequências a contaminação de águas em mananciais de superfície, entre outros ambientes, através do transporte de nutrientes e de carbono orgânico pela enxurrada (FERREIRA et al., 1997; FERREIRA, 2008).

Considerando os efeitos da utilização dos campos com o pastejo, tanto o manejo inadequado do solo e da pastagem quanto o pisoteio intenso de animais em condição de solo úmido causam compactação, ocasionando redução na macroporosidade, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água (TANNER e MAMARIL, 1959; BERTOL et al., 1998, 2000a). A manutenção de uma boa cobertura vegetal reflete em um aumento na infiltração diretamente proporcional ao incremento da altura de resíduo da pastagem, evidenciando a degradação da qualidade do solo quando se utiliza elevada pressão de pastejo (CASSOL, 2003).

### **2.2.1.5 Carbono orgânico do solo**

A degradação dos solos em pastagens inicia com a remoção da vegetação natural, pela ação do fogo e/ou do sobrepastejo, e reduz os teores de carbono orgânico que não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo (SOUZA

e MELO, 2003). Este déficit é mais evidente em situações onde o cultivo causa perturbações físicas no solo, que implicam rompimento dos agregados, mediante a redução da proteção física da matéria orgânica e expondo a processos de decomposição microbiana (ZINN et al., 2005).

A prática de queima dos campos induz a mineralização da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes na superfície do solo a curto prazo (COUTINHO, 1990), enquanto que a longo prazo esse efeito é contrário (BOLDO et al., 2006), devido às perdas do excesso de nutrientes, especialmente pela erosão hídrica (BERTOL et al., 2011).

A degradação física está diretamente relacionada à redução do carbono orgânico do solo, o qual influencia a maioria dos atributos do solo, embora o mesmo não seja uma propriedade física (CARDOSO et al., 1992).

A manutenção de densa vegetação em sistemas pastoris, desencadeia inúmeros processos físicos, químicos e biológicos inter-relacionados, como é o caso do aumento na estabilidade dos agregados e do estoque de matéria orgânica no solo (SIX et al., 1999), o qual aumenta a capacidade de troca catiônica e proporciona melhorias na estrutura, pela diminuição da densidade do solo, aumento da porosidade e da infiltração de água, além de aumentar a capacidade do solo em armazenar água (KIEHL, 1985).

O sobrepastejo, o pisoteio pelo gado e as queimadas anuais para renovação das pastagens foram as principais causas da degradação destas áreas (BERTOL et al., 2006). A degradação das pastagens pode ser caracterizada pela intensa diminuição da biomassa vegetal da área, provocada pela degradação do solo, sendo esta de natureza química - perda dos nutrientes e acidificação; física - erosão e compactação; e biológica - perda da matéria orgânica (DIAS-FILHO, 2003).

## 2.2.2 Reflexos na produção de biomassa vegetal

As pastagens naturais da região do Planalto Catarinense caracterizam-se por uma estacionalidade muito marcante quanto à produção de forragem. Esta situação deve-se ao fato de serem formadas basicamente por espécies de estação quente, que com o avanço da estação fria cessam seu crescimento e, de maneira geral, acabam sendo “crestadas” pela ocorrência de geadas (BARRETO et al., 1978). Além disso, a redução na produção de forragem mesmo em épocas de desenvolvimento normal ocorre também pela degradação das pastagens e pelo uso e manejo indevidos.

Os efeitos do fogo sobre a produtividade da vegetação variam em função da intensidade e frequência do distúrbio. A produção de forragem pode aumentar após o uso do fogo diretamente em função da incorporação de cinzas. No entanto, a condição temporária de déficit hídrico, a falta de vigor e a perda de nutrientes e carbono orgânico em locais sujeitos à erosão podem culminar em decréscimo na produção de forragem em áreas queimadas (DAUBENMIRE, 1968; GIOVANNINI et al., 1990; HESTER et al., 1997).

Outros aspectos que merecem atenção são o grau de infestação de espécies indesejáveis em áreas queimadas e não queimadas e também a velocidade da rebrota das espécies forrageiras após a queima. Alguns estudos revelam que espécies indesejáveis têm sua frequência aumentada nas áreas queimadas em detrimento das forrageiras de interesse (FONTANELI e JACQUES, 1988).

Em áreas de pastagem, o sobrepastejo pode influir de forma prejudicial na produção de forragem, e isto ocorre quando os atributos físicos do solo impedem a planta de manifestar o seu potencial produtivo. A presença de camadas superficiais compactadas reduzem o desenvolvimento e a emergência das plantas além de contribuir para o aumento do escoamento superficial (SECCO, 2003).

### **3 HIPÓTESES**

1. O uso do fogo no manejo do campo natural degrada as propriedades físicas e diminui o teor de carbono orgânico total do solo, refletindo em menor infiltração de água no solo e menor produção de pastagem.
2. O melhoramento do campo natural resulta em melhoria às propriedades físicas e químicas do solo, refletindo em maior infiltração de água no solo e maior produção de pastagem, em comparação ao campo natural e ao campo natural queimado.
3. O uso de escarificador no melhoramento do campo nativo aumenta a infiltração de água no solo, refletindo em maior produção de pastagem.

## 4 OBJETIVOS

### Gerais:

- Avaliar atributos do solo e a produção de biomassa vegetal em diferentes sistemas de manejo do campo nativo no Planalto Sul Catarinense, com o intuito de aumentar a eficiência do uso do solo para produção de forragem e reduzir os riscos de degradação das terras.

### Específicos:

- Determinar a densidade, porosidade, resistência à penetração das raízes, estabilidade de agregados, grau de floculação, infiltração de água, carbono orgânico e pH do solo em quatro sistemas de manejo de campo natural no Planalto Sul Catarinense.

- Determinar a produção de biomassa vegetal de pastagem e inços em quatro sistemas de manejo de campo natural no Planalto Sul Catarinense.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido entre março de 2012 e novembro de 2013, com parcelas a campo, em Lages, Santa Catarina. As coordenadas do local são de 27° 54' 34" S e de 50° 20' 42" W, com 900 m de altitude média. O clima da região é subtropical úmido mesotérmico, com verões amenos e ocorrência de geadas frequentes e severas no inverno, do tipo Cfb segundo classificação de Köppen, com temperatura máxima média anual de 21,7°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.533 mm (SCHICK, 2014).

### 5.2 SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O solo do local é um Nitossolo Bruno conforme classificação da EMBRAPA 2004, desenvolvido a partir de rochas basálticas, de classe textural argilosa, com a seguinte distribuição granulométrica média da camada superficial (0-0,05 m): 160 g kg<sup>-1</sup> de areia, 333 g kg<sup>-1</sup> de silte e 507 g kg<sup>-1</sup> de argila, com teor de carbono orgânico total de 34 g kg<sup>-1</sup>. Uma caracterização mais detalhada da área experimental é apresentada na tabela 1.

Antes da implantação do experimento, a área encontrava-se sob exploração com pecuária extensiva e manejada com uso do fogo há mais de oitenta anos desta forma. O local do estudo faz parte de um tipo fisionômico conhecido como Campo Palha Grossa (GOMES et al., 1989), com a presença, em destaque, das famílias botânicas das gramíneas, leguminosas, ciperáceas, melastomatáceas, verbenáceas e solanáceas.

Tabela 1 – Granulometria e características químicas do solo da área de estudo, em quatro camadas e divididas em dois blocos.

Bloco	Camada	Areia	Silte	Argila (H <sub>2</sub> O)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	C.O.
					cm	.....g kg <sup>-1</sup> .....	(1:1)	mg kg <sup>-1</sup>	.....cmol kg <sup>-1</sup> .....	g kg <sup>-1</sup>	
I	0-2,5	160	350	490	4,7	0,8	102	3,25	2,50	0,66	37,7
	2,5-5	150	330	520	4,7	0,8	52	3,61	2,36	2,13	30,7
	5-10	150	280	570	4,8	1,1	49	3,59	2,42	3,21	21,5
	10-20	140	290	570	4,8	1,3	68	3,96	2,37	3,52	23,2
II	0-2,5	170	340	490	4,8	0,8	139	3,25	2,79	1,25	36,7
	2,5-5	160	310	530	4,8	0,8	103	3,17	2,82	3,38	30,7
	5-10	160	280	560	4,9	0,8	122	3,16	2,85	2,15	27,0
	10-20	150	270	580	4,9	0,8	53	3,36	2,37	2,69	23,5

Fonte: Produção do próprio autor.

## 5.3 UNIDADE EXPERIMENTAL E DELINEAMENTO

A unidade experimental tinha dimensões de 10 m de largura e 22 m de comprimento, orientada no sentido do declive, com área total de 220 m<sup>2</sup>, delimitada nas laterais e extremidades por cercas. A área foi dividida em dois blocos, com quatro tratamentos e duas repetições por bloco, totalizando dezesseis parcelas experimentais.

Para a instalação das parcelas a campo, utilizou-se um nível de precisão na demarcação de linhas de mesma cota, com o objetivo de alocar todos os tratamentos de um mesmo bloco numa mesma porção do declive. A declividade média das unidades experimentais era de 0,20 m m<sup>-1</sup>.

## 5.4 TRATAMENTOS

Os tratamentos testados foram quatro formas de manejo de pastagem, implantados sobre o campo natural, sendo eles:

Tratamento 1 – Campo Natural Queimado Anualmente (CQ). Solo mantido com ausência de preparo e biomassa vegetal seca acumulada submetida a uma única queima no período experimental para rebrote da vegetação.

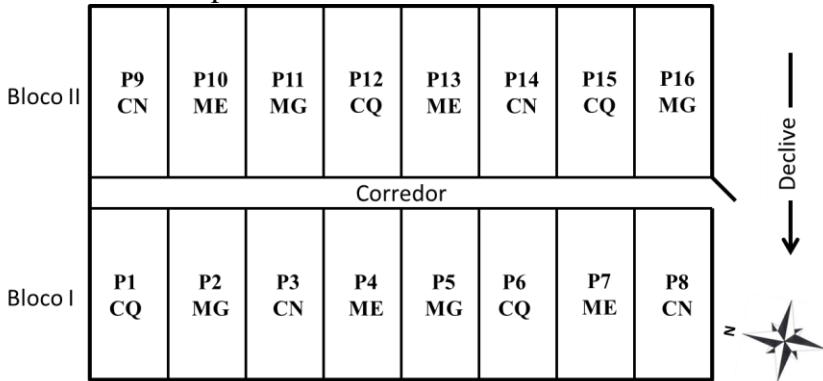
Tratamento 2 – Campo Natural Roçado (CN). Solo mantido com ausência de preparo e biomassa vegetal seca acumulada submetida a uma única roçada no período experimental para rebrote da vegetação.

Tratamento 3 – Campo Natural Melhorado com Gradagem (MG). Campo natural corrigido com aplicação de calcário e submetido à operação de gradagem com o objetivo de implantar espécies vegetais de estação fria.

Tratamento 4 – Campo Natural Melhorado Escarificado (ME). Campo natural corrigido com aplicação de calcário e submetido à operação de escarificação com o objetivo de implantar espécies vegetais de estação fria.

A disposição dos tratamentos dentro da área experimental pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Disposição dos tratamentos dentro da área experimental.



Fonte: produção do próprio autor

## 5.5 MANEJO DA ÁREA

O local do experimento foi mantido sob campo natural até maio de 2012, quando, para a implantação dos tratamentos de campo melhorado com introdução de espécies (MG e ME), foi feita a correção da acidez do solo com aplicação de calcário dolomítico (PRNT= 85%), na dose de 5 t ha<sup>-1</sup>, por meio de um distribuidor de calcário acoplado a um trator.

A semeadura das espécies foi realizada no dia 24 de julho de 2012, imediatamente após as operações de preparo (gradagem leve no MG e escarificação no ME) (Figura 2). As espécies utilizadas em consórcio foram o *Trifolium repens* (trevo-branco); o *Holcus lanatus* cv. La Magnolia (capim-lanudo); e o *Lolium multiflorum* cv. Barzumbo (azevém), com densidade de semeadura de 6, 16 e 40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Figura 2– Vista dos tratamentos melhorados com introdução de espécies após as operações de preparo: gradagem no tratamento de Campo Natural Melhorado com Gradagem (a) e escarificação no tratamento de Campo Natural Melhorado Escarificado (b).



Fonte: produção do próprio autor.

Logo após aplicou-se o fertilizante fosfatado (superfosfato triplo – 44% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, conforme CQFS RS/SC (2004). A dispersão das sementes, assim como a aplicação do fertilizante, foi feita com uso de um distribuidor centrífugo de uso manual. Em seguida utilizou-se um rolo compactador de uso agrícola para melhorar o contato solo/semente. As sementes de *Trifolium repens* foram inoculadas com rhizobium específico.

No tratamento de Campo Natural Queimado Anualmente (CQ), a eliminação da fitomassa vegetal, através do uso do fogo (Figura 3), que em função da estiagem encontrava-se com uma condição de umidade muito baixa, foi realizada em 27/09/2012, objetivando eliminar a cobertura vegetal senescente, limpar a área e favorecer o rebrote das espécies nativas.

O manejo do tratamento de Campo Natural Roçado (CN) restringiu-se apenas em uma roçada feita em 20/06/2012, sendo mantido na ausência de preparo do solo e de queimadas ao longo de todo o período de condução do experimento (Figura 4). Neste tratamento, o objetivo da roçada era apenas eliminar a ocorrência de inços e facilitar o rebrote natural das espécies nativas.

Para que as espécies hibernais pudessem se estabelecer e proporcionar uma boa ressemeadura natural, todos os tratamentos permaneceram na ausência de pastejo com animais durante o período de avaliações.

Figura 3– Queima da fitomassa seca no tratamento de Campo Natural Queimado Anualmente (a); Vista do tratamento de Campo Natural Queimado Anualmente, à esquerda, e do tratamento de Campo Natural Melhorado com Gradagem, à direita (b).



Fonte: produção do próprio autor.

Figura 4 – Campo Natural Roçado (a); Detalhe da composição botânica dentro da unidade experimental no CN (b).



Fonte: produção do próprio autor.

## 5.6 COLETAS E DETERMINAÇÕES

### 5.6.1 Atributos do solo

As determinações em campo, assim como as coletas de solo para as determinações físicas e químicas em laboratório, foram realizadas aos 30, 120 e 330 dias após a implantação dos tratamentos (após a implantação dos tratamentos melhorados; após a queima no tratamento de campo natural queimado e depois da roçada no tratamento de campo natural roçado). Os tratamentos de campo natural queimado e roçado foram submetidos novamente à queima e a roçada após a última coleta (330 dias), não intervindo nos resultados das referidas determinações apresentadas.

#### 5.6.1.1 Testes de infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo foi determinada pelo método dos anéis concêntricos (Figura 5), descrito em Forsythe (1975). Cada teste teve duração de 2 horas e foram obtidas a lâmina total de água infiltrada (mm) e a taxa final de infiltração de água no solo, esta última representada pela velocidade básica de infiltração de água ( $\text{mm h}^{-1}$ ), obtida em condição de solo saturado. Imediatamente antes dos testes de infiltração foram coletadas amostras de solo na camada de 0 – 20 cm, com o auxílio de um trado holandês, para posterior determinação da umidade volumétrica do solo, conforme EMBRAPA (1997).

Figura 5 – Imagem dos anéis concêntricos de carga variável durante o primeiro teste de infiltração, realizado no tratamento de Campo Natural Roçado.



Fonte: produção do próprio autor.

#### **5.6.1.2 Amostras de solo para análise física**

Amostras de solo indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos metálicos com bordas cortantes em quatro camadas (0-2,5; 2,5-5; 5-10; e 10-20 cm), para determinação da densidade do solo (Ds) (Equação 1), volume de poros totais (Pt) (Equação 2), microporos (Mi) (Equação 3) e macroporos (Ma) (Equação 4), conforme metodologia da EMBRAPA (1997). No tratamento de campo natural melhorado escarificado (ME), as coletas indeformadas foram feitas no sulco e no entre sulco do escarificador. Posteriormente, os anéis foram pesados, saturados, acondicionados em mesa de coluna de areia, submetido às tensões de 6 e 10 kPa e posteriormente secos em estufa a 105 °C.

$$\text{Equação 1. } Ds \text{ (kg dm}^{-3}\text{)} = \frac{mS \text{ seco}}{V}$$

$$\text{Equação 2. } PT \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = 1 - \left( \frac{Ds}{Dp} \right)$$

$$\text{Equação 3. } Micro \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = \frac{(mS6 \text{ kPa} - mSS)}{V}$$

$$\text{Equação 4. } Macro \text{ (m}^3\text{m}^{-3}\text{)} = PT - Micro$$

Onde:

- $Ds$  = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ );
- $mS \text{ seco}$  = massa de solo seco à  $105^\circ\text{C}$  (kg);
- $V$  = volume interno do anel volumétrico ( $\text{dm}^3$ );
- $PT$  = porosidade total ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ );
- $Dp$  = densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ );
- $Micro$  = microporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ );
- $mS6 \text{ kPa}$  = massa do solo a 6 kPa de succão (kg);
- $mSS$  = massa do solo seco a  $105^\circ\text{C}$  (kg);
- $Macro$  = macroporosidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ).

A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório, utilizando um penetrômetro estático de bancada (modelo Marconi MA 933) (Figura 6), o qual apresentava uma haste de 4 mm de diâmetro que era introduzida no solo com velocidade de  $30 \text{ mm min}^{-1}$ , procedimento este realizado após submissão dos anéis em mesa de coluna de areia a tensão de 10 kPa (umidade na capacidade de campo).

Nas mesmas camadas foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação da estabilidade de agregados em água (Figura 7), determinada pelo método da Via Úmida Padrão (KEMPER E CHEPIL, 1965). Para isso, as amostras foram processadas no ponto de friabilidade do solo com a separação dos agregados maiores em agregados menores, realizada com as mãos nos planos naturais de fraqueza do solo. Posteriormente, as amostras foram peneiradas

em um conjunto de peneiras de 8 e 4,76 mm. Os agregados retidos na peneira de 4,76 mm ficaram submersos em água por 10 minutos em repouso. Após o umedecimento, os agregados foram submetidos às oscilações verticais do aparelho por 10 minutos com 42 rotações por minuto em um conjunto de peneiras com a seguinte ordem decrescente de tamanhos: 4,76; 2,00; 1,00 e 0,250 mm. O material retido em cada peneira foi transferido, seco e pesado separadamente e calculou-se a porcentagem de agregados por classe de tamanho, expresso pelo índice DMP (diâmetro médio ponderado dos agregados).

Figura 6 – Penetrômetro estático de bancada utilizado para avaliação da resistência do solo à penetração.



Fonte: produção do próprio autor.

A determinação do grau de flocação da argila seguiu o Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997). As amostras de solo secas ao ar foram pesadas (50 g) em frascos snap-cap de 150 mL. Adicionaram-se 70 mL de água destilada e duas bolinhas de acrílico e agitaram-se as amostras com agitador horizontal a 200 rpm por um período de 4 horas. O material foi transferido

para uma proveta de 1000 mL, passando por peneira de malha 0,053 mm para separar a fração areia.

Figura 7 – Determinação da estabilidade de agregados em água



Fonte: produção do próprio autor.

Nas provetas, mediu-se a temperatura e agitou-se cada amostra que ficou em repouso por tempo pré-determinado. Após o repouso, foram pipetados 50 mL do volume contido na proveta a uma profundidade de 5 cm. Colocou-se o volume pipetado em becker para sua pesagem após secagem em estufa à 105°C. Com isso, determinou-se o grau de floculação da argila conforme a expressão:

$$\text{Equação 5. } GF(\%) = \frac{(\text{Argila total} - \text{Argila natural})}{(\text{Argila total})} * 100$$

Onde:

-  $GF$  = grau de floculação da argila (%).

### **5.6.1.3 Amostras de solo para análise química**

Com as amostras deformadas também foram feitas as determinações químicas do teor de carbono orgânico total do solo, por meio de digestão sulfocrômica, e o pH em água do solo por potenciômetria. Os métodos estão descritos em Tedesco et al. (1995).

### **5.6.2 Produção de biomassa vegetal**

Para determinação do rendimento de matéria seca de biomassa vegetal foram feitos cortes com uso de roçadeira manual a 7,0 cm de altura da superfície do solo, em uma área amostral de 3 m<sup>2</sup> com o objetivo de simular uma altura residual de pastejo. A forragem colhida, em cada data de corte, realizada aos 180, 330 e 420 dias após a implantação dos tratamentos, foi pesada e submetida à separação botânica entre material consumido pelos animais (pastagem) e material rejeitado (inços). Para isso cada componente foi devidamente embalado em sacos de papel, mantido em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até atingir peso constante, sendo pesado posteriormente (GARDNER, 1986).

## **5.7 ANÁLISE DOS DADOS**

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5%. Quando encontrada significância estatística, as médias dos tratamentos foram comparadas dentro de cada profundidade e época através do teste “t” (LSD), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo foi influenciada pelos sistemas de manejo de campo nativo nas camadas superficiais do solo (Tabela 2). O campo natural queimado (CQ) e o campo melhorado escarificado (ME) apresentaram as menores densidades na primeira avaliação, para a profundidade de 2,5 – 5,0 cm. Nas demais profundidades, os valores foram semelhantes entre os tratamentos.

Na segunda avaliação, a densidade do solo apresentou diferença entre tratamentos nas duas primeiras camadas, nas quais, o ME apresentou os menores valores, fato este, que pode ser explicado pela mobilização proporcionada pela ação mecânica das hastes do escarificador. O tratamento MG apresentou um comportamento semelhante ao CN e ao CQ, demonstrando que a operação mecânica de gradagem não alterou a densidade. Na terceira avaliação, os tratamentos não diferiram entre si em nenhuma das camadas estudadas.

Na terceira avaliação os valores de densidade do solo foram semelhantes entre os tratamentos com solo mobilizado e não mobilizado, concordando com resultados obtidos por Abreu et al. (2004) e Bordin et al. (2005) que pode ser explicado pela reconsolidação do solo ocorrida no período compreendido entre a operação mecânica e a determinação da densidade após 330 dias.

Segundo Secco et al. (2005), o valor crítico de densidade para solos argilosos é de 1,55 kg dm<sup>-3</sup>; portanto, nas camadas amostradas, a densidade do solo se manteve sempre abaixo dos limites críticos estabelecidos. No geral, maiores valores de densidade de solo foram registradas nas camadas mais profundas, explicado, em grande parte, pelo menor teor de matéria orgânica presente nestas camadas.

Tabela 2 - Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
0 – 2,5 cm			
CQ	0,95 <sup>ns</sup>	1,00 a	0,90 <sup>ns</sup>
CN	1,03 <sup>ns</sup>	0,93 ab	0,87 <sup>ns</sup>
MG	0,99 <sup>ns</sup>	0,99 a	0,84 <sup>ns</sup>
ME	0,95 <sup>ns</sup>	0,87 b	0,87 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,78	7,99	6,69
2,5 – 5 cm			
CQ	1,07 b	1,07 ab	1,04 <sup>ns</sup>
CN	1,15 a	1,10 ab	1,06 <sup>ns</sup>
MG	1,14 a	1,14 a	1,03 <sup>ns</sup>
ME	1,10ab	1,01 b	1,02 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,19	6,70	6,24
5 – 10 cm			
CQ	1,09 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CN	1,14 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
MG	1,15 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
ME	1,14 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>
CV (%)	2,72	2,76	4,36
10 – 20 cm			
CQ	1,14 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>
CN	1,20 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
MG	1,18 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>
ME	1,16 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,69	3,57	4,91

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. <sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.2 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE DO SOLO

A porosidade total do solo apresentou diferenças significativas somente na camada amostrada de 0 – 2,5 cm na primeira e segunda avaliação (Tabela 3). O tratamento ME apresentou os maiores valores em ambas as avaliações. Já o tratamento CQ, mantido sem preparo do solo, teve os menores valores de porosidade total. Os efeitos do revolvimento foram mais importantes na superfície do solo, visto o decréscimo no volume de poros e ausência de diferenças entre os tratamentos em profundidade.

O preparo do solo com grade e escarificador, utilizados nos tratamentos de campo natural melhorado com grade e escarificador, respectivamente, promoveram aumentos na porosidade total do solo, quando comparados aos sistemas de manejo sem revolvimento, concordando com os resultados obtidos por Corsini e Ferraudo (1999). A mobilização do solo resultou na ruptura dos agregados e no desenvolvimento de poros, embora restrito na camada superficial do solo e com efeito efêmero, já que na 3<sup>a</sup> avaliação não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Nas demais camadas, a porosidade total não diferiu entre os sistemas de manejo de pastagem em todos os períodos avaliados.

Considerando os extremos, na camada de 0 – 2,5 cm, o tratamento ME apresentou incremento de 9,8% na porosidade total em relação ao CQ, para a primeira avaliação. Após esta, o incremento na porosidade total foi de 7,4% e 1,2% na segunda e terceira avaliação, respectivamente. Provavelmente com o passar do tempo, a ação das raízes e a atividade da fauna, somada aos ciclos de umedecimento e secagem do solo, reduziram o efeito dos tratamentos.

Tabela 3 – Porosidade total do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	0,62 c	0,62 b	0,66 ns
CN	0,64 bc	0,65 ab	0,69 ns
MG	0,66 ab	0,62 b	0,68 ns
ME	0,68 a	0,66 a	0,67 ns
CV (%)	3,21	3,73	3,00
2,5 – 5 cm			
CQ	0,60 ns	0,59 ns	0,61 ns
CN	0,60 ns	0,58 ns	0,59 ns
MG	0,60 ns	0,57 ns	0,61 ns
ME	0,61 ns	0,60 ns	0,63 ns
CV (%)	2,30	3,84	3,87
5 – 10 cm			
CQ	0,57 ns	0,55 ns	0,57 ns
CN	0,57 ns	0,55 ns	0,58 ns
MG	0,56 ns	0,55 ns	0,56 ns
ME	0,56 ns	0,56 ns	0,57 ns
CV (%)	2,16	5,06	2,70
10 – 20 cm			
CQ	0,58 ns	0,54 ns	0,57 ns
CN	0,56 ns	0,55 ns	0,57 ns
MG	0,56 ns	0,54 ns	0,57 ns
ME	0,58 ns	0,58 ns	0,57 ns
CV (%)	4,07	4,14	3,11

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. ns Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

Em relação à macroporosidade do solo, considerando a primeira avaliação, houve diferença estatística entre os tratamentos em todas as profundidades amostradas (Tabela 4). A mobilização de solo, através da ação dos implementos agrícolas, nos tratamentos melhorados (MG e ME), aumentou o volume de macroporos com relação aos tratamentos de campo natural queimado (CQ) e campo natural roçado (CN).

Os resultados encontrados estão em conformidade com aqueles obtidos por Hill e Cruse (1985), os quais constataram aumento na macroporosidade com o revolvimento do solo.

Assim, como os resultados obtidos por Araujo et al. (2004), a escarificação e a gradagem do solo promoveram efeitos benéficos na primeira camada amostrada (0 – 2,5 cm) principalmente em relação ao volume de macroporos. A quantidade de macroporos do ME na primeira avaliação foi 2,5 vezes superior ao CQ, um aumento conferido pelo revolvimento do solo pela operação de escarificação. O tratamento MG através da operação mecânica de gradagem conferiu ao mesmo um aumento de 2,1 vezes em relação ao CQ, demonstrando que a escarificação mobilizou o solo com mais intensidade que a gradagem.

Considerando os limites críticos de macroporosidade (< 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), abaixo do qual a infiltração de água e o suprimento de oxigênio às raízes se tornam limitantes (SILVA et al., 1994), observou-se que, durante a primeira avaliação para as duas primeiras camadas (0 – 5 cm), os tratamentos de campo natural melhorado com gradagem e com escarificação (MG e ME) apresentaram valores acima deste, além de diferença estatística em comparação aos tratamentos com ausência de preparo (CQ e CN), os quais apresentaram macroporosidade inferior ao limite crítico.

Tabela 4 – Macroporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	0,090 b	0,116 b	0,123 b
CN	0,092 b	0,144 ab	0,145 b
MG	0,187 a	0,130 ab	0,162 ab
ME	0,228 a	0,191 a	0,193 a
CV (%)	21,71	30,82	16,84
2,5 – 5 cm			
CQ	0,085 bc	0,083 ns	0,088 ns
CN	0,068 c	0,067 ns	0,062 ns
MG	0,106 ab	0,065 ns	0,084 ns
ME	0,131 a	0,101 ns	0,107 ns
CV (%)	17,21	39,69	30,31
5 – 10 cm			
CQ	0,060 ab	0,050 ns	0,068 ns
CN	0,050 b	0,050 ns	0,083 ns
MG	0,070 ab	0,049 ns	0,068 ns
ME	0,078 a	0,066 ns	0,057 ns
CV (%)	27,64	36,19	19,16
10 – 20 cm			
CQ	0,056 bc	0,051 ns	0,066 ns
CN	0,035 c	0,049 ns	0,076 ns
MG	0,073 ab	0,045 ns	0,061 ns
ME	0,089 a	0,078 ns	0,065 ns
CV (%)	33,34	34,56	12,77

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. ns Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

Na segunda e na terceira avaliação, houve diferença entre os tratamentos apenas na camada de 0 – 2,5 cm de solo. O ME apresentou o maior volume de macroporos, diferindo do tratamento CQ na 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> avaliação e do CN na 3<sup>a</sup> avaliação, os quais apresentaram os menores valores de macroporosidade. Nestas mesmas avaliações, os tratamentos não diferiram entre si para as demais camadas, provavelmente devido à reconsolidação do solo, conforme já discutido anteriormente.

Analizando os dados de macroporosidade, nos tratamentos CQ e CN, e observando o seu comportamento ao longo das avaliações, observou-se aumento nos valores de ambos tratamentos, os quais ficaram acima do limite crítico de porosidade (2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> avaliações), possivelmente pela ação benéfica da presença de plantas e à cobertura do solo, que após a implantação (queima no CQ e roçada no MG) se fizeram presentes.

Avaliando a microporosidade, na primeira avaliação, os valores nos tratamentos sem revolvimento do solo (CQ e CN) foram superiores em todas as camadas (Tabela 5). Na segunda avaliação os mesmos tratamentos permaneceram com maior volume de microporos, embora não diferindo estatisticamente quando comparados aos tratamentos com preparo mecânico do solo (MG e ME).

Durante a terceira avaliação, todos os tratamentos apresentaram valores próximos, à exceção da primeira camada, a qual apontou o tratamento ME como o detentor da menor microporosidade.

Analizando os atributos físicos de porosidade por camadas individuais, observou-se que as maiores alterações na porosidade total, macroporosidade e microporosidade, dos tratamentos com mobilização de solo (MG e ME) em relação aos tratamentos sem mobilização (CQ e CN), ocorreram na camada de 0 – 2,5 cm, sugerindo que a ação mecânica das operações de preparo são mais eficientes superficialmente.

Tabela 5 – Microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	0,53 a	0,50 <sup>ns</sup>	0,54 a
CN	0,55 a	0,50 <sup>ns</sup>	0,55 a
MG	0,48 b	0,49 <sup>ns</sup>	0,51 ab
ME	0,45 b	0,47 <sup>ns</sup>	0,48 b
CV (%)	4,68	6,43	5,15
2,5 – 5 cm			
CQ	0,52 a	0,51 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
CN	0,54 a	0,51 <sup>ns</sup>	0,532 <sup>ns</sup>
MG	0,49 b	0,50 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
ME	0,48 b	0,50 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
CV (%)	2,60	2,81	3,27
5 – 10 cm			
CQ	0,51 a	0,50 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
CN	0,52 a	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
MG	0,49 b	0,50 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>
ME	0,48 b	0,49 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
CV (%)	2,81	3,72	2,79
10 – 20 cm			
CQ	0,53 a	0,49 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
CN	0,52 a	0,50 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>
MG	0,49 b	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
ME	0,49 b	0,50 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,58	3,30	2,64

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. <sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

Além disso, foi possível constatar que o preparo do solo resultou em alterações mais acentuadas na macroporosidade e na microporosidade do que na porosidade total. Isto leva a crer que parte dos microporos foram convertidos em macroporos pela ação dos implementos, conforme também observado por Camara e Klein (2005) os quais encontraram aumento da macroporosidade em detrimento da microporosidade.

Apesar dos efeitos positivos da escarificação, existe uma variabilidade muito grande a respeito da sua longevidade no solo (EVANS et al., 1996; TWONLOW et al., 1994). E assim como o observado no decorrer das avaliações e corroborando com os dados de Busscher et al. (1995; 2002), constatou-se que o efeito da escarificação apresentou uma tendência em reduzir seus efeitos no solo ao longo do tempo, uma vez que a reconsolidação se eleva com o volume cumulativo de precipitações e ciclos de umedecimento e secagem do solo.

### 6.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Os valores de resistência à penetração mecânica do solo, obtidos com o teor de umidade do solo na capacidade de campo, variaram entre os tratamentos na primeira camada amostrada da primeira avaliação e nas duas primeiras camadas da segunda avaliação (Tabela 6). Considerando o solo das camadas superficiais amostradas, (0 – 2,5 e 2,5 – 5 cm), observou-se no tratamento ME os menores valores de resistência à penetração. No mesmo tratamento, verificou-se que nas demais camadas não houve efeito das hastes do escarificador, sendo a resistência à penetração similar aos tratamentos não escarificados. Resultados semelhantes foram observados por Weirich Neto et al. (2006), em um estudo de análise multivariada, sob plantio direto.

Tabela 6 – Resistência mecânica à penetração do solo (MPa) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	1,43 a	1,27 a	0,77 ns
CN	1,48 a	1,16 a	0,57 ns
MG	1,18 ab	1,11 a	0,76 ns
ME	0,89 b	0,84 b	0,47 ns
CV (%)	25,38	10,63	30,21
2,5 – 5 cm			
CQ	1,43 ns	1,32 a	1,05 ns
CN	1,45 ns	1,20 a	1,04 ns
MG	1,38 ns	1,23 a	0,97 ns
ME	1,28 ns	0,99 b	0,76 ns
CV (%)	11,69	8,19	29,88
5 – 10 cm			
CQ	1,53 ns	1,41 ns	1,26 ns
CN	1,67 ns	1,46 ns	1,37 ns
MG	1,49 ns	1,44 ns	1,41 ns
ME	1,53 ns	1,47 ns	1,28 ns
CV (%)	6,58	5,45	12,47
10 – 20 cm			
CQ	1,68 ns	1,59 ns	1,21 ns
CN	1,69 ns	1,56 ns	1,26 ns
MG	1,69 ns	1,51 ns	1,37 ns
ME	1,58 ns	1,54 ns	1,22 ns
CV (%)	6,93	3,91	12,75

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. ns Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

Em todas as camadas, os tratamentos obtiveram valores abaixo do considerado como limitação severa ao crescimento do sistema radicular (2,0 MPa), conforme Lal (1999) e Merotto e Mundstock (1999). Além disso, evidenciou-se o efeito benéfico da escarificação, pois, reduziu consideravelmente os valores de resistência à penetração em relação aos demais tratamentos.

#### 6.4 GRAU DE FLOCULAÇÃO DA ARGILA

De maneira geral, observou-se que o grau de floculação da argila, em todos os tratamentos e avaliações, não diferiu estatisticamente (Tabela 7). Segundo Morelli e Ferreira (1987), o aumento na dispersão da argila está relacionado a mudanças no teor de matéria orgânica e na atividade do hidrogênio e alumínio trocáveis do solo, além do seu revolvimento.

A redução na atividade do H e Al provocadas pelo uso de corretivos de acidez, pode influenciar na dispersão das argilas por serem os principais agentes floculantes em solos ácidos (MORELLI e FERREIRA, 1987). A dispersão dos colóides pode diminuir o diâmetro e o volume dos poros (ROTH e PAVAN, 1991). Por outro lado, a matéria orgânica do solo e as argilas não expansivas atuam como agentes agregantes. Na presente pesquisa, os efeitos da queima, da calagem e adubação, do preparo e da introdução de espécies, não tiveram reflexos no grau de floculação da argila, em parte explicados pelos altos teores de carbono orgânico no solo e elevados teores de argila, especialmente os óxidos.

Tabela 7 – Grau de floculação da argila (%) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	46,8 <sup>ns</sup>	54,6 <sup>ns</sup>	54,1 <sup>ns</sup>
CN	46,6 <sup>ns</sup>	51,1 <sup>ns</sup>	49,2 <sup>ns</sup>
MG	46,1 <sup>ns</sup>	50,1 <sup>ns</sup>	59,8 <sup>ns</sup>
ME	51,0 <sup>ns</sup>	54,2 <sup>ns</sup>	68,1 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,4	7,1	21,2
2,5 – 5 cm			
CQ	46,4 <sup>ns</sup>	50,9 <sup>ns</sup>	47,5 <sup>ns</sup>
CN	45,0 <sup>ns</sup>	52,7 <sup>ns</sup>	44,5 <sup>ns</sup>
MG	50,2 <sup>ns</sup>	51,3 <sup>ns</sup>	44,1 <sup>ns</sup>
ME	50,1 <sup>ns</sup>	49,4 <sup>ns</sup>	56,3 <sup>ns</sup>
CV (%)	10,2	6,1	19,8
5 – 10 cm			
CQ	44,8 <sup>ns</sup>	52,9 <sup>ns</sup>	39,4 <sup>ns</sup>
CN	45,8 <sup>ns</sup>	51,4 <sup>ns</sup>	37,8 <sup>ns</sup>
MG	46,3 <sup>ns</sup>	51,6 <sup>ns</sup>	39,8 <sup>ns</sup>
ME	47,0 <sup>ns</sup>	52,8 <sup>ns</sup>	41,3 <sup>ns</sup>
CV (%)	11,0	6,7	12,0
10 – 20 cm			
CQ	56,3 <sup>ns</sup>	56,7 <sup>ns</sup>	50,1 <sup>ns</sup>
CN	54,2 <sup>ns</sup>	60,8 <sup>ns</sup>	48,7 <sup>ns</sup>
MG	57,4 <sup>ns</sup>	60,5 <sup>ns</sup>	47,9 <sup>ns</sup>
ME	55,0 <sup>ns</sup>	61,8 <sup>ns</sup>	50,6 <sup>ns</sup>
CV (%)	10,8	7,5	7,7

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. <sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.5 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DOS AGREGADOS DO SOLO

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), o qual é um indicativo da estabilidade da estrutura do solo, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 8). Solos com agregados estáveis, tais como o Nitossolo Bruno, são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, uma vez que a agregação facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, além de garantir a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados (DEXTER, 1988).

Segundo Oliveira et al. (2004) e Castro Filho et al. (1998), há correlação altamente significativa entre o teor de carbono orgânico total do solo e a estabilidade de agregados. No entanto, no presente trabalho, mesmo com a redução dos teores de carbono em profundidade, não foram observadas diferenças no comportamento do DMP, o que pode ser explicado pelo alto teor de argila e óxidos, os quais apresentam elevada reatividade formando ligações entre partículas minerais e/ou partículas minerais e orgânicas (IMHOFF et al., 2002).

Santos (2014), analisando diferentes tipos de uso da terra em um Nitossolo Bruno no Planalto Catarinense, não observou diferenças no índice de estabilidade de agregados, atribuindo este comportamento às condições naturais do solo, como altos teores de argila, matéria orgânica e óxidos.

Tabela 8 – Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo – DMP (mm) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	5,66 ns	5,31 ns	5,45 ns
CN	5,96 ns	5,49 ns	5,22 ns
MG	5,86 ns	5,34 ns	5,34 ns
ME	5,66 ns	5,51 ns	5,02 ns
CV (%)	3,51	8,75	11,83
2,5 – 5 cm			
CQ	5,83 ns	5,17 ns	5,02 ns
CN	5,98 ns	5,41 ns	5,06 ns
MG	5,68 ns	5,19 ns	5,06 ns
ME	5,75 ns	5,25 ns	5,36 ns
CV (%)	5,63	8,16	4,82
5 – 10 cm			
CQ	5,62 ns	4,55 ns	4,51 ns
CN	5,74 ns	4,78 ns	4,82 ns
MG	5,75 ns	4,59 ns	4,42 ns
ME	5,76 ns	4,78 ns	4,78 ns
CV (%)	3,19	11,07	6,18
10 – 20 cm			
CQ	5,47 ns	3,96 ns	4,02 ns
CN	5,63 ns	4,39 ns	4,49 ns
MG	5,72 ns	4,38 ns	3,99 ns
ME	5,67 ns	4,58 ns	4,65 ns
CV (%)	4,23	13,84	9,01

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. ns Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.6 CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO

Os teores de carbono orgânico total do solo, nas camadas estudadas, pouco variaram entre os tratamentos (Tabela 9). O teor de carbono diferiu estatisticamente na terceira avaliação, referente à segunda camada (2,5 – 5 cm), na qual, o tratamento de campo natural queimado (CQ) apresentou o menor valor. Observou-se também um decréscimo dos teores à medida que a determinação se aprofundou no perfil do solo, comportamento este já esperado conforme Willians (1980).

Os resultados semelhantes obtidos, com relação ao carbono orgânico total, também foram encontrados por Bavoso et al. (2010), os quais concluíram que sistemas de produção sem pisoteio de animais e revolvimento intenso do solo apresentaram maior qualidade estrutural, em um Latossolo Bruno argilososo da região Centro-Sul do Paraná. Os mesmos autores não constataram diferenças significativas no teor de carbono entre os sistemas de uso e manejo, e assim como o obtido neste experimento, provavelmente sejam explicadas por se tratarem de experimentos com implantações recentes.

Tabela 9 – Carbono orgânico total do solo (g kg<sup>-1</sup>) em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	0 – 2,5 cm		
CQ	37,4 <sup>ns</sup>	44,2 <sup>ns</sup>	41,0 <sup>ns</sup>
CN	35,8 <sup>ns</sup>	44,7 <sup>ns</sup>	43,2 <sup>ns</sup>
MG	36,9 <sup>ns</sup>	39,8 <sup>ns</sup>	40,6 <sup>ns</sup>
ME	37,7 <sup>ns</sup>	41,6 <sup>ns</sup>	42,3 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,5	7,9	4,7
2,5 – 5 cm			
CQ	31,7 <sup>ns</sup>	32,5 <sup>ns</sup>	33,3 b
CN	29,5 <sup>ns</sup>	34,2 <sup>ns</sup>	36,8 a
MG	29,9 <sup>ns</sup>	32,9 <sup>ns</sup>	35,5 a
ME	29,9 <sup>ns</sup>	36,7 <sup>ns</sup>	35,7 a
CV (%)	6,2	9,8	3,8
5 – 10 cm			
CQ	27,7 <sup>ns</sup>	30,4 <sup>ns</sup>	30,9 <sup>ns</sup>
CN	26,8 <sup>ns</sup>	28,3 <sup>ns</sup>	28,8 <sup>ns</sup>
MG	26,4 <sup>ns</sup>	28,5 <sup>ns</sup>	30,8 <sup>ns</sup>
ME	27,4 <sup>ns</sup>	28,9 <sup>ns</sup>	30,5 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,0	5,7	3,8
10 – 20 cm			
CQ	24,2 <sup>ns</sup>	27,0 <sup>ns</sup>	27,6 <sup>ns</sup>
CN	23,4 <sup>ns</sup>	27,1 <sup>ns</sup>	25,9 <sup>ns</sup>
MG	23,8 <sup>ns</sup>	26,5 <sup>ns</sup>	26,1 <sup>ns</sup>
ME	24,9 <sup>ns</sup>	26,7 <sup>ns</sup>	26,6 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,2	3,9	10,4

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. <sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.7 pH DO SOLO

Os efeitos do calcário aplicado superficialmente, nos tratamentos melhorados (MG e ME), foram detectados no perfil do solo até a profundidade de 10 cm (Tabela 10). Os maiores valores de pH foram identificados nos tratamentos melhorados (MG e ME) na primeira camada de solo (0 – 2,5 cm) de todas as avaliações, uma vez que a adição do corretivo foi feita superficialmente e somente nestes tratamentos.

A mobilização do solo, através da ação das hastes do escarificador no tratamento ME, permitiu ao corretivo se deslocar ao longo do perfil do solo e diferenciar-se dos demais na camada de 2,5 – 5 cm da terceira avaliação. Isto provavelmente ocorreu devido às características físicas proporcionadas pela ação mecânica das hastes, permitindo o arraste mecânico das partículas finas de calcário, pelo movimento descendente de água no perfil e também pelo produto das reações do calcário, assim como o obtido por Cahn et al. (1993).

Nas demais camadas, com exceção da camada de 5 – 10 cm, na segunda avaliação, o pH do solo não diferiu entre os tratamentos. Isto provavelmente ocorreu devido à limitação da profundidade de ação dos implementos agrícolas, e também pelo tempo insuficiente de reação do corretivo.

Tabela 10 – pH do solo em quatro camadas, nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
0 – 2,5 cm			
CQ	4,8 b	5,0 bc	4,8 b
CN	4,9 b	4,9 c	4,8 b
MG	5,9 a	5,4 ab	5,6 a
ME	5,9 a	5,7 a	5,5 a
CV (%)	7,0	4,9	2,9
2,5 – 5 cm			
CQ	5,1 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup>	4,8 b
CN	5,3 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup>	4,8 b
MG	5,1 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	4,8 b
ME	5,3 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>ns</sup>	5,2 a
CV (%)	4,5	3,9	4,1
5 – 10 cm			
CQ	5,1 <sup>ns</sup>	4,6 b	4,8 <sup>ns</sup>
CN	4,9 <sup>ns</sup>	4,6 b	4,8 <sup>ns</sup>
MG	5,1 <sup>ns</sup>	5,0 a	4,7 <sup>ns</sup>
ME	5,1 <sup>ns</sup>	4,9 ab	4,7 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,9	3,6	2,2
10 – 20 cm			
CQ	4,9 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>
CN	4,8 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>
MG	4,9 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup>
ME	5,1 <sup>ns</sup>	4,7 <sup>ns</sup>	4,8 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,6	4,4	1,3

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. <sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

## 6.8 UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO ANTECEDENTE, VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DE ÁGUA NO SOLO E LÂMINA TOTAL DE ÁGUA INFILTRADA

A umidade volumétrica (Uv), a velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB) e a lâmina total de água infiltrada (I) são apresentadas na Tabela 11. A umidade volumétrica não variou entre os tratamentos em todas as avaliações, possibilitando que os dados de infiltração fossem comparados entre si, pois são dependentes do teor de água presente no solo, conforme Bertrand (1965) e Burwell et al. (1968).

Na primeira avaliação, a maior velocidade de infiltração básica (VIB) foi obtida nos tratamentos CN, MG e ME, os quais diferiram do CQ. Estes resultados evidenciam a interferência de alguns atributos físicos do solo sobre a taxa de infiltração básica, especialmente a porosidade. A diferença encontrada no CQ se deve, em grande parte, pela obstrução dos poros da superfície do solo por partículas finas de cinzas provenientes da ação do fogo sobre a massa vegetal seca (BERTOL et al. 2011), a qual reduziu a infiltração de água no solo ao ponto que, após o tempo de 2 horas de duração do teste, a velocidade de infiltração de água atingiu um valor próximo de zero, ou seja, houve a interrupção da passagem de água da superfície para o interior do solo.

Nos tratamentos CN, ME e MG a velocidade básica de infiltração (VIB) da primeira avaliação ficou classificada como média, enquanto que no CQ foi muito baixa, segundo Reichardt (1987). A maior exposição do solo a ação desagregante no tratamento MG, devido ao uso do implemento de grade, não proporcionou efeito positivo na infiltração, sendo os valores semelhantes aos encontrados no tratamento CN.

Tabela 11 – Umidade volumétrica (0 – 20 cm) antecedente ao teste de infiltração –  $U_v$  ( $m^3 m^{-3}$ ), velocidade de infiltração básica de água no solo –  $VIB$  ( $mm h^{-1}$ ) e lâmina total de água infiltrada -  $I$  (mm), nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação durante teste com duração de 2 h.

Tratamentos	30 dias	120 dias	330 dias
	$U_v$ ( $m^3 m^{-3}$ )		
CQ	0,37 ns	0,32 ns	0,36 ns
CN	0,34 ns	0,31 ns	0,34 ns
MG	0,35 ns	0,30 ns	0,34 ns
ME	0,34 ns	0,30 ns	0,34 ns
CV (%)	5,30	5,66	5,24
	$VIB$ ( $mm h^{-1}$ )		
CQ	0,1 b	6,0 b	5,5 b
CN	5,5 a	21,0 ab	6,0 b
MG	5,5 a	21,0 ab	7,0 b
ME	7,5 a	34,0 a	17,0 a
CV (%)	67,0	68,7	41,6
	$I$ (mm)		
CQ	8,5 b	34,5 b	25,0 b
CN	22,5 a	74,0 ab	27,8 b
MG	18,9 ab	81,5 ab	27,8 b
ME	29,0 a	110,5 a	64,0 a
CV (%)	42,6	53,7	48,0

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%. ns Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

Ainda na primeira avaliação, quando comparados ao tratamento CQ, a lâmina total de água infiltrada (I) observada após 2 horas de teste foi 344%, 255% e 211% superior nos tratamentos ME, CN e MG, respectivamente. Segundo Gilles et al. (2009), uma forma de descompactar camadas adensadas de solo pode se dar através da operação de escarificação do solo, a qual poderá aumentar a infiltração de água. Neste caso, o histórico de uso do solo no local antes do experimento, com pecuária extensiva por mais de 80 anos, pode ter contribuído para redução da porosidade da camada superficial do solo, a qual pode ter sido aumentada pela escarificação.

Analizando as demais avaliações, com respeito à VIB e à I, observou-se a superioridade do tratamento ME com relação às demais, principalmente quando se comparou ao tratamento CQ, o qual diferiu estatisticamente em ambos os parâmetros de todas as avaliações. Na segunda e terceira avaliação, o tratamento de CQ não diferiu do CN e do MG, indicando que a cobertura vegetal presente na superfície, ao invés de cinzas (1<sup>a</sup> avaliação), além do desenvolvimento de plantas, superou os efeitos de obstrução de poros superficiais impostos pelas mesmas quanto ao movimento de água no solo.

Considerando os limites de velocidade de infiltração básica estabelecidos por Reichardt (1987), obteve-se na segunda avaliação, uma infiltração muito alta para o ME, alta para CN e MG e média para o CQ. Na terceira avaliação os valores, em geral decresceram ficando o ME com classificação alta, enquanto os demais tratamentos apresentaram classificação média.

O conhecimento das características físicas, quanto ao movimento da água no perfil do solo, é de grande importância prática, pois a velocidade de sua ocorrência determina o volume de água que irá escoar sobre a superfície do solo, influenciando diretamente no processo erosivo (HILLEL, 1970). A metodologia empregada nas determinações, conhecido como método dos anéis concêntricos, apresentou um

alto coeficiente de variação devido à grande dispersão dos pontos amostrados. No entanto, apesar da alta variação na comparação dos tratamentos em estudo, foi possível identificar diferenças de infiltração entre os sistemas de manejo de campo nativo.

## 6.9 PRODUÇÃO DE BIOMASSA VEGETAL DE PARTE AÉREA

A produção de biomassa vegetal de pastagem nos sistemas de manejo estudados variou entre os tratamentos em todas as avaliações (Tabela 12). Analisando a primeira avaliação, os tratamentos MG e CN apresentaram as maiores produções, diferindo significativamente do CQ. O ME obteve produção intermediária, não diferindo de nenhum tratamento. À exceção do CQ, todos os demais apresentaram produção de pastagem semelhante, fato que pode ser explicado pelo baixo índice pluviométrico ocorrido desde a implantação do experimento até o estabelecimento das espécies.

Em trabalho realizado com melhoramento de campo nativo no Planalto Catarinense, Córdova et al. (2011) encontraram valores de produção de forragem superiores a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> durante período de avaliação de 1 ano, diferindo dos resultados encontrados neste experimento, o qual apresentou valores de produção, no campo nativo (CN), semelhantes aos tratamentos com melhoramento (MG e ME), provavelmente devido a melhor adaptação das espécies nativas aos fatores climáticos adversos.

O período inicial de desenvolvimento das espécies implantadas em sistemas de melhoramento de pastagens é considerado crucial para a viabilidade de todo o sistema. A necessidade da adequação química e física do solo, além de teores de água suficiente ao desenvolvimento das plantas são pontos importantes e que determinam o sucesso da implantação das espécies (PRESTES & CÓRDOVA, 2004).

Tabela 12 - Produção de biomassa vegetal seca representada pela produção de pastagem, inços, leguminosas, gramíneas e matéria seca total (kg ha<sup>-1</sup>) nos diferentes tratamentos e períodos de avaliação.

Trat.	Biomassa vegetal			Composição da pastagem	
	Pastagem	Inços	Total	Leguminosas	Gramíneas
				kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
180 dias					
CQ	358,2 b	553,2 a	911,4 b	0,0 b	358,2 b
CN	2424,2 a	319,2 ab	2743,4 a	0,0 b	2424,2 a
MG	2572,0 a	192,3 b	2764,3 a	105,1 a	2466,9 a
ME	1208,5 ab	181,5 b	1390,0 b	7,2 b	1201,3 ab
CV (%)	54,9	68,9	42,1	61,0	59,0
330 dias					
CQ	25,9 c	26,3 a	52,3 b	0,0 b	25,9 b
CN	69,3 b	5,7 b	74,9 b	0,0 b	69,3 a
MG	67,9 b	5,7 b	73,7 b	7,1 b	60,9 ab
ME	126,8 a	5,1 b	131,9 a	39,3 a	87,5 a
CV (%)	40,0	54,6	41,6	76,4	40,9
420 dias					
CQ	81,3 c	22,2 a	103,5 b	0,0 b	81,3 b
CN	171,4 bc	5,7 b	177,0 b	0,0 b	171,4 a
MG	180,5 b	6,9 b	187,4 b	17,4 b	163,1 a
ME	304,7 a	12,2 ab	316,9 a	86,3 a	218,4 a
CV (%)	33,5	69,7	31,2	71,7	33,1
Somatório das avaliações					
CQ	465,5 b	601,7 a	1067,2 b	0,0 b	465,5 b
CN	2664,9 a	330,5 ab	2995,3 a	0,0 b	2664,9 a
MG	2820,5 a	204,9 b	3025,4 a	129,6 a	2690,9 a
ME	1640,0 ab	198,8 b	1838,8 ab	132,8 a	1507,2 ab
CV (%)	50,5	66,8	37,1	62,0	50,2

Fonte: produção do próprio autor. CQ: campo natural queimado; CN: campo natural roçado; MG: campo natural melhorado com gradagem; ME: campo natural melhorado escarificado. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%.<sup>ns</sup> Efeito de tratamentos não significativo por análise de variância a 5%.

De acordo com os registros de chuva da região (Tabela 13), o período compreendido entre a implantação do experimento e a primeira avaliação da produção de forragem (180 dias) foi alvo de algumas estiagens que marcaram a época, o que pode ter contribuído para que o tratamento ME apresentasse valores de produção de forragem inferiores ao CN e ao MG. Este comportamento pode ser explicado através do maior revolvimento do solo com sua respectiva exposição, o qual proporciona uma maior variação da temperatura do solo e consequente evaporação da água (BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990), quando comparado com os sistemas de menor ou nenhum revolvimento (MG e CN).

Nas demais avaliações, a produção de massa seca de pastagem no tratamento de CQ foi sempre inferior aos demais, sendo 79,6 e 73,3% menor que a produtividade do tratamento ME, para a segunda e terceira avaliação respectivamente. Nestas mesmas avaliações, o tratamento ME teve produção de pastagem superior ao CN e MG, o que mostra o efeito positivo da escarificação a partir da segunda avaliação. Considerando a produção total de pastagem, os tratamentos CN, MG e ME obtiveram os maiores valores, e apesar do tratamento CQ ter produzido uma quantidade 71,6% menor que o tratamento ME, ambos não diferiram estatisticamente.

Os sinais de degradação das pastagens incluem declínio da produtividade, crescente aumento da presença de plantas invasoras, que gradualmente diminuem a capacidade de suporte das pastagens e inicialmente ocupam os espaços de solo deixados descobertos pelas forrageiras, e depois dominam as áreas ainda ocupadas pelas mesmas. Além disso, ocorrem reduções no número de plantas novas originadas por ressemeadura natural (DIAS FILHO, 1998).

Com relação à porcentagem de inços, o CQ apresentou os maiores valores em todas as avaliações, com proporções de 61%, 50% e 21,5% da biomassa vegetal total produzida para a primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente. Em

contraste ao percentual de inços apresentado pelo CQ, o ME apresentou 13%, 3,9% e 3,8%, o MG apresentou 7%, 7,7% e 3,7% e o CN 11,6%, 7,6% e 3,2% de plantas indesejáveis para as três avaliações consecutivas.

Tabela 13. Temperatura mínima média, máxima média, umidade relativa média e precipitação total registrada durante o período de avaliações.

Mês/Ano	Temperatura Mínima Média (°C)	Temperatura Máxima Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Precipitação Total (mm)
05/2012	14,2	27,2	75,1	56,1
06/2012	12,1	23,0	80,4	84,9
07/2012	9,2	19,2	85,1	28,9
08/2012	7,6	17,0	88,8	148,9
09/2012	6,2	15,7	87,1	154,4
10/2012	10,7	20,3	84,6	12,5
11/2012	9,2	20,6	79,4	129,3
12/2012	12,5	21,7	84,9	161,5
01/2013	13,3	25,2	78,0	19,1
02/2013	16,7	27,4	82,6	203,5
03/2013	14,0	25,0	79,6	195,4
04/2013	15,5	24,7	85,9	214,7
05/2013	13,4	22,7	86,4	179,2
06/2013	10,5	21,5	85,7	62,3
07/2013	8,3	18,9	86,2	86,3
08/2013	7,9	17,3	89,7	199,3
09/2013	5,2	16,9	85,1	77,0
10/2013	6,0	17,6	83,8	318,2
11/2013	9,0	19,4	82,6	221,3

Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

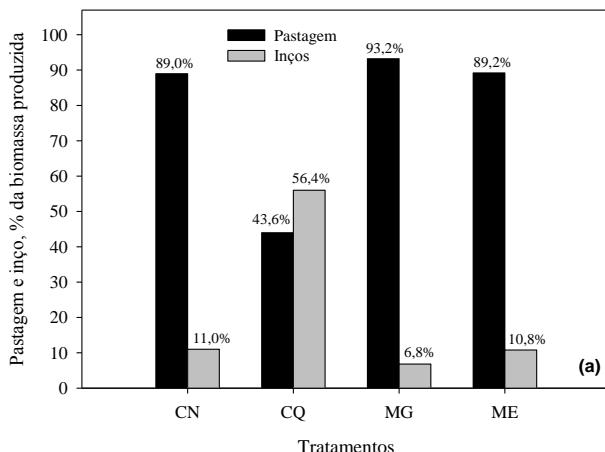
A maior incidência de inços encontrada foi a dos gêneros *Baccharis* e *Pteridium*. A elevada porcentagem de inços encontrada no tratamento de CQ pode ser explicada pela adaptação dessas plantas às condições de manejo do campo com uso do fogo (FONTANELI e JACQUES, 1988).

A queima favorece os inços pelo fato de não afetar sua estrutura, que muitas vezes é subterrânea, ao contrário da maioria das espécies de pastagem que possuem grande número de gemas próximas ao solo, além do uso do fogo abrir espaços na superfície do solo, favorecendo o seu rápido desenvolvimento.

De acordo com Pedreira et al. (2006), pastagens degradadas dão oportunidade para a colonização de plantas pioneiras, procuradas pelo gado somente quando a forragem principal se torna escassa, sendo consideradas plantas daninhas ou inços, pois geralmente não têm poder nutricional requerido para o desenvolvimento do animais.

A proporção de pastagem em relação aos inços, no somatório das três avaliações, foi de 89%, 93,2% e 89,2% no CN, MG e ME, respectivamente, enquanto que o CQ apresentou uma proporção de 56,4% (Figura 8). A porcentagem de inços no CQ, em comparação com os demais, foi aproximadamente 5 vezes superior. Os tratamentos com melhoramento do campo natural com introdução de espécies (MG e MG) foram os únicos que apresentaram leguminosas na composição da pastagem durante o período de avaliação do experimento (Figura 9).

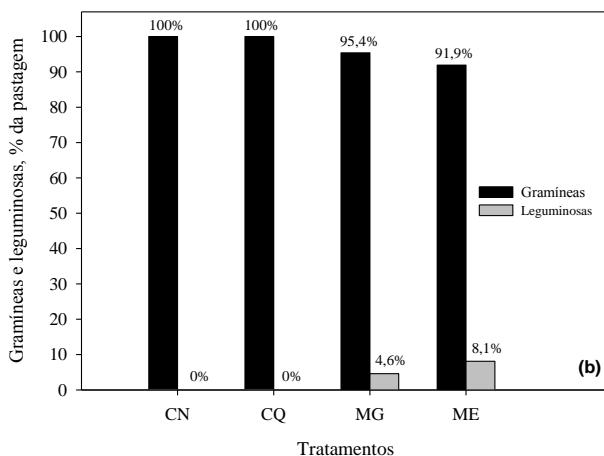
Figura 8 - Proporção de pastagem e inços da biomassa vegetal produzida em cada tratamento, no somatório das avaliações.



Fonte: Produção do próprio autor.

Em trabalho desenvolvido por Moojen (1991) na ausência do uso do fogo, obteve-se como efeito da adubação de pastagem nativa a redução do solo descoberto, menor participação de gramíneas de baixo valor nutritivo e de plantas indesejáveis na composição botânica além do aumento da frequência de algumas espécies de gramíneas de melhor qualidade. Segundo Heringer (2000), a correção, a adubação do solo e a roçada podem favorecer espécies de maior qualidade para o pastejo, enquanto que o uso do fogo favorece espécies de menor qualidade, como também de inços, além de diminuir a riqueza florística.

Figura 9 - Proporção de gramíneas e leguminosas na composição da pastagem em cada tratamento, no somatório das avaliações. CN: campo natural roçado; CQ: campo natural queimado; MG: campo natural melhorado após gradagem; ME: campo natural melhorado após escarificação.



Fonte: produção do próprio autor.

Segundo Bertol et al. (2011), a prática da queima é comum na região do Planalto Catarinense, sendo rápida e de baixo custo para a limpeza das áreas, porém resulta na degradação do solo. A prática da roçada do campo natural surge como alternativa para eliminação de inços e material seco remanescente. No entanto, pelo fato de gerar custos com mão-de-obra e maquinário, a prática de manejo com roçada permanece pouco difundida.

A introdução de leguminosas exóticas na composição da pastagem, presente apenas nos tratamentos melhorados (MG e ME), resultou na melhoria da qualidade da pastagem, uma vez que os campos são caracterizados pelo predomínio de gramíneas nativas com baixa qualidade e pequeno potencial de

crescimento em estações frias (outono-inverno), conforme Bertol et al. (2011).

## 7 CONCLUSÕES

A porosidade do solo é influenciada pelos sistemas de manejo de campo nativo; o melhoramento do campo com solo escarificado ou gradeado aumenta a macroporosidade e reduz a microporosidade até a profundidade de 20 cm; tal efeito decresce ao longo do tempo e se iguala aos campos naturais queimado e roçado. A porosidade total tem comportamento semelhante, com efeito restrito às camadas superficiais de solo.

O campo melhorado com escarificador apresenta os menores valores de resistência mecânica do solo à penetração e densidade, sendo seu efeito efêmero e restrito até a camada de 5 cm de solo.

A queima do campo natural reduz a velocidade básica de infiltração de água e a lâmina total de água infiltrada no solo; por outro lado, a operação de escarificação no campo melhorado eleva os valores destas variáveis de infiltração em comparação aos demais tratamentos.

Os sistemas de manejo de campo nativo, em fase de estabelecimento, não alteram o grau de flocação da argila, a estabilidade dos agregados do solo e pouco influenciam os teores de carbono orgânico do Nitossolo Bruno.

A correção do solo através da calagem superficial, realizada nos tratamentos de campo natural melhorado, elevou o pH do solo até a profundidade de 10 cm de solo.

A queima do campo natural resulta em menor produção de pastagem e maior proporção de inços do que o campo natural roçado e o campo melhorado; os tratamentos com melhoramento são os únicos que apresentam quantidades significativas de leguminosas na composição da pastagem.

## 8 ALTERNATIVAS DE MANEJO

O processo de degradação das pastagens pode ser reversível, quando medidas controladoras como redução na taxa de lotação, vedação em épocas estratégicas (diferimento) e controle de plantas invasoras são tomadas logo após o surgimento dos primeiros sinais de degradação (CARVALHO, 1993). Entretanto, alguns métodos de recuperação requerem a adoção de um período de descanso, visando obter da planta a capacidade regenerativa como resposta à ausência do estresse causado pelo pastejo animal e às técnicas aplicadas (SILVA, 2004).

O diferimento da pastagem é uma estratégia de manejo de fácil realização e que garante estoque de forragem durante o período de sua escassez. No entanto, o diferimento do uso da pastagem resulta em produção de forragem de limitado valor nutritivo (SANTOS et al., 2008), o que implica em algumas ações de manejo como a utilização de menor período de diferimento do pasto, adubação nitrogenada e suplementação.

Durante o período de inverno, as forrageiras decrescem rapidamente em digestibilidade, o que acarreta perdas de peso aos animais, constituindo o principal fator limitante à produção (LENG, 1984). Nestas circunstâncias, é fundamental o fornecimento de substratos essenciais limitantes, o qual terá reflexos positivos sobre o consumo e o desempenho dos animais (MORAES et al., 2006).

Outra estratégia de manejo seria a subdivisão das áreas, incorporando muitas das vantagens do pastoreio rotativo e do diferimento de pastagem, principalmente a menor oportunidade de seleção feita pelo pelos animais e melhor aproveitamento dos excessos de forragem na primavera/verão. Aliada às subdivisões, é de fundamental importância o uso de lotações ótimas para que se obtenham ao mesmo tempo alto rendimento de forragem, bom desempenho animal, equilíbrio entre as

espécies e conservação (até mesmo incremento) da fertilidade do solo (CÓRDOVA et al., 2004).

Já a técnica de melhoramento de campo nativo com introdução de espécies de estação fria, surge como alternativa para aumentar a produtividade dos campos do sul do Brasil, além da manutenção da estrutura física do solo e melhoria da fertilidade. A utilização de práticas de melhoramento da pastagem natural com correção, adubação do solo e introdução de espécies cultivadas, além de diminuir a participação de gramíneas cespitosas grosseiras e de espécies indesejáveis, tem favorecido tanto a produção das espécies nativas como das introduzidas, minimizando a deficiência de forragem no período de outono/inverno (BARRETO et al., 1978; MOOJEN, 1991; SILVA e JACQUES, 1993).

A introdução de leguminosas hibernais, nos sistemas melhorados, tem aumentado a qualidade e a produção de forragem (CASTILHOS e JACQUES, 1984). O campo natural melhorado, além de manter a cobertura do solo e preservar as espécies nativas, fornece forragem em períodos de escassez, principalmente no estágio de maturação fisiológica das espécies nativas. As pastagens naturais e melhoradas se bem manejadas apresentam boa cobertura vegetal e eficiente controle do processo erosivo (DURR et al., 1993).

A recuperação de pastagens degradadas pela melhoria de atributos físicos do solo também pode ser feita com práticas mecânicas, como a escarificação do solo, a qual favorece o desenvolvimento radicular das plantas, incrementa a rugosidade superficial, eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo (SECCO e REINERT, 1997; CAMARA e KLEIN, 2005).

Ao mesmo tempo em que se necessita preservar o ecossistema de campos naturais, precisa torná-lo mais produtivo e rentável sob a pena de ter o mesmo substituído por outras atividades (FERREIRA, 2008). As pastagens naturais poderão ser preservadas se existirem alternativas econômicas

que assegurem a permanência da atividade pecuária nela estabelecida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. **Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho.** R. Bras. Ci. Solo, v. 25, p. 717-723, 2001.
- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. **Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa.** R. Bras. Ci. Solo, v. 28, p. 337-345, 2004.
- BARNES, R.F.; TAYLOR. T.H. **Grassland agriculture and ecosystem concepts.** In: Heath, M.E., Barnes, R.F., Metcalfe, D.S. Forages: the science of grassland agriculture. 4. ed. Ames: Iowa State University Press, p. 12-20. 1985.
- BARRETO, I.L.; VICENZI, M.L.; NABINGER, C. **Melhoramento e renovação de pastagens.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 5., 1978, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Cargill, 1978. p. 28-63.
- BAVOSO, M.A. et al. **Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo:** Efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p. 227- 234, 2010.

**BEHLING, H. Campos Sulinos:** Conservação e uso sustentável da biodiversidade. In: Jeske-Pieruschka, V.; Schüler, L. & Pillar, V.D.P. Dinâmica dos campos do sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente. p.13-25. 2009.

**BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) – 1<sup>a</sup> aproximação.** Pesq. Agropec. Bras., v. 28, p. 515-521, 1993.

**BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.1047- 1054, 2000a.

**BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos:** Perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. Bras. Ci. Solo, v. 35, p. 1421-1430, 2011.

**BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.5, p.779-786, 1998.

**BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Hídrico álico afetadas pelo manejo do solo.** Ciência Rural, v.30, p.91-95, 2000.

**BERTONI; J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 1990.

**BERTRAND, A.R. Rate of water intake in the field.** In: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.197-208.

BOLDO, E.L. et al. **O uso do fogo como prática agropastoril na microrregião homogênea dos campos de cima da serra: análise da situação atual e busca de um modelo sustentável.** R. Bras. Agroec., v. 1, p. 875-878, 2006.

**BOLDRINI, I.I. A Flora dos Campos do Rio Grande do Sul.**  
In: Campos Sulinos- conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília, DF. MMA. p. 63-77. 2009b.

**BOLDRINI, I.I. Biodiversidade do Campos do Planalto das Araucárias.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 240p. 2009a.

**BOLDRINI, I.I. Campos do Rio Grande do Sul:**  
Caracterização fisionômica e problemática ocupacional. Porto Alegre: Instituto de Biociência/UFRGS, 39p. (Boletim, 56). 1997.

**BOLDRINI, I.I. Campos Sulinos:** caracterização e biodiversidade. In: Araújo, E.L.; Noura, A.N.; Sampaio, E.V.S.B.; Gestinari, L.M.S. & Carneiro, J.M.T. (eds.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. p.95-97. 2002.

**BOLDRINI, I.I. Diversidade Florística nos campos do Rio Grande do Sul.** In: Anais 57 o Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Gramado, 321-324. 2006.

**BOND, W.J.; MIDGLEY G.F.; WOODWARD F.I. What controls South African vegetation – climate or fire?** South African Journal of Botany v. 69, p. 1-13. 2003.

BORDIN, I. et al. **Sistema radicular de planta cítrica e atributos físicos do solo em um Latossolo argiloso submetido à escarificação.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 820-825, 2005.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. **Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 14, p. 369- 374, 1990.

BURWELL, R. E., SLONEKER, L. L.; NELSON, W. W. 1968. **Tillage influences water intake.** Jour. Soil and Water Cons. v. 23, p. 185-188.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. **Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall.** Soil Till. Res., v. 68, p. 49-57, 2002.

BUSSCHER, W.J. et al. **Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil.** Soil Till. Res., v. 35, p. 115-123, 1995.

CAHN, M. D.; BOULDIN, D. R.; CRAVO, M.S. **Amelioration of subsoil acidity in an Oxisols of the humid tropics.** Biology and Fertility Soils, Madison, v. 15, p. 153-159, 1993.

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

CARDOSO, A.; POTTER, R.; DEDECEK, R.A. **Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no Noroeste do estado do Paraná.** Pesq. Agropec. Bras., v. 27, p. 349-353, 1992.

**CARVALHO, M.M. Recuperação de pastagens degradadas.**  
Coronel Pacheco: EMBRAPA — CNPGL, p.51. (Documentos, 55). 1993.

**CARVALHO, P.C. de F. et al. O estado da arte em integração lavoura e pecuária.** In: Gottschall, C. S.; Silva, J. L. S. da; Rodrigues, N. C. (Org.). Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia. Canoas-RS, p. 7-44. 2005.

**SILVA, J.L.S.; RODRIGUES, N.C. (Org.). Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia.** Canoas: ULBRA, 2005. p.7-44.

**CASSOL, L.C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 143p. (Tese de Doutorado)

**CASTILHOS, Z.M.S.; JACQUES, A.V.A. Produção e qualidade de uma pastagem natural submetida a tratamentos de introdução de trevo vesiculoso cv. Yuchi (Trifolium vesiculosum Savi), ceifa e queima.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Estado Rio Grande do Sul, v.11, p.65-112, 1984.

**CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.527-538, 1998.

**CINTRA, F.L.D. Caracterização do impedimento mecânico em Latossolos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980. 89p. (Tese de Mestrado)

CQFS/RS-SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORDOVA, U. A. **Validação da tecnologia de melhoramento de pastagens naturais no Planalto Sul de Santa Catarina**. Revista de Ciências Agroveterinárias. Lages, v.11, n.1, 2012

CÓRDOVA, U. de. A. et al. **Melhoramento e Manejo de Pastagens Naturais no Planalto Catarinense**; As pastagens naturais de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 274p. 2004.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. **Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central**. Pesq. Agropec. Bras., v. 30, p. 107-114, 1995.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. **Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.34, n.2, p.289-298, 1999.

COUTINHO, L.M. **O Cerrado e a ecologia do fogo**. Ci. Hoje, v. 12, p. 22-30, 1990.

DAUBENMIRE, R. **Ecology of fire in grasslands**. Advances in Ecological Research, London, v.5, p.209-266, 1968.

DEXTER, A.R. **Advances in characterization of soil structure.** Soil Till. Res., v. 11, p. 199-238, 1988.

DIAS FILHO, M.B. **Pastagens cultivadas na Amazônia Oriental Brasileira:** Processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.) Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradas, p.135-147. 1998.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. **O processo de compactação do solo e sua modelagem.** R. Bras. Ci. Solo, v. 20, p. 175-182, 1996.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152p.

DULEY, F.L. **Surface factors affecting the rate of intake of water by soils.** Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.4, p.60-64, 1939.

DÜRR, J.W. et al. **Melhoramento da pastagem natural: queima, ceifa, pastejo intenso e adubação como modificadores da composição florística.** Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v.22, n.2, p.330-340, 1993.

EKWUE, E.I.; STONE, R.J. **Organic matter effects on strength properties of compacted agricultural soils.** Trans. ASAE, v. 38, p. 357-367, 1995.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 2004. 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46)

EVANS, S.D. et al. **Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture and corn yield**. Soil Till. Res., v. 38, p. 35-46, 1996.

FERREIRA, A.J.D. et al. **Sediment and solute yield in forest ecosystems affected by fire and rip-ploughing techniques, Central Portugal**: a plot and catchment analysis approach. Phys. Chem. Earth, v. 22, p.309-314, 1997.

FERREIRA, E.T. **Recria de novilhos de corte em campo nativo submetido a diferentes estratégias de manejo** (dados não publicados, 2008).

FLORES, J.P.C. et al. **Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.771-780, 2007.

FONTANA, C.S.; BENKE G.A.; REIS R.E. (eds.) **Livro vermelho da fauna ameaçada de extinção no Rio Grande do Sul**. Ed. PUCRS, Porto Alegre. 2003.

FONTANELI, R.S.; JACQUES, A.V.A. **Melhoramento de pastagem natural** – ceifa, queima, diferimento e adubação. Revista Soc Bras Zootec, v.17, n.2, p.180-194, 1988.

FORSYTHE, W. **Fisica de suelos**; manual de laboratório. New York: University Press, 1975. 324p.

GARCÍA-PRÉCHAC, F. et al. **Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay**. Soil & Tillage Research, v.77, p.1-13, 2004.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília, IICA/EMBRAPA – CNPGL. 197 p. 1986.

GILLES, L. et al. **Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação**. R. Bras. Ci. Solo, v. 33, p. 1427-1440, 2009.

GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; GIACCHETTI, M. **Effect of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth**. Soil Science, v.149, n.6, p.344-350, 1990.

GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S.; GIACCHETTI, M. **The natural evolution of a burned soil: a three-year investigation**. Soil Science, Ottawa, v.143, n.3, p.220-226, 1987.

GOEDERT, W. J. et al. **Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de PD**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

GOMBEER, R.; D'HOORE, H. **Induced migration of clays and other moderately mobile soil constituents**. III. Critical soil/water dispersion ratio, colloid stability and electrophoretic mobility. Pedologie, Ghent, v.21, p.311-342, 1971.

GOMES, K.E. et al. **Zoneamento das pastagens naturais do Planalto Catarinense**. In: Reunião do Grupo Técnico

Regional do Cone Sul em Melhoramento e Utilização dos Recursos Rurais das Áreas Tropical e Subtropical, 11. Lages, SC. Anais... Lages: Empasc, P. 304-312. 1989, 1990.

GRACE, J.B. et al. **Productivity and carbon fluxes of tropical savannas**. Journal of Biogeography, v. 33, p. 387-400, 2006.

HERINGER, I. **Efeitos do fogo por longo período e de alternativas de manejo sobre o solo e a vegetação de uma pastagem natural**. 2000. 208f. Tese (Doutorado em Zootecnia/Plantas Forrageiras) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia/Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HERNANI, L.C. et al. **Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em latossolo amarelo do Vale do Ribeira, SP. II. Perdas por erosão**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.11, n.2, p.215-219, 1987.

HESTER, J. W.; THUROW, T.L.; TAYLOR JR., C.A. **Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by prescrib burning**. Journal Range Management, Denver, v.50, n2, p. 199-204, 1997.

HILL, R.L.; CRUSE, R.M. **Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols**. Soil Science Society of America Journal, v.49, p.1270- 1273, 1985.

HILLEL, D. **Solo e água**: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 213p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas interativos**. Rio de Janeiro IBGE. [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). 2006.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A. **Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols.** Soil Sci. Soc. Am. J., v. 66, p. 1656-1661, 2002.

JACQUES, A.V.A. **Sítio do Pinheirinho:** uma pequena experiência de 37 anos. RST 470 Km 150, André da Rocha, RS. 2002. 9p. (Relatório).

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregates.** In: BLACK, C.A. (ed.) Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.499-510.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KLEIN, R.M. **Southern Brazilian phytogeographic features and the probable influence of Upper Quaternary climate changes in the floristic distribution.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 33, p. 67-88. 1984.

KLEIN, V.A. et al. **Avaliação de escarificadores e resposta da cultura do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.307-311, 1995.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânica de um latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** 1998. 150f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/Universidade de São Paulo.

KUCERA, C.L. **Grassland and Fire.** In: Fire regimes and ecosystem properties (eds. Mooney HH, Bonnicksen NL,

Christensen NL, Lotan JE & Reiner WA). United States Forest Service, pp. 90-111. 1981.

LAL, R.; BRUCE, J.P. **The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect.** Environment Science Pollution, v.2, p.177-185, 1999.

LENG, R.A. **Supplementation of tropical and subtropical pastures for ruminant production.** In: GILCHRIST, F.M.C.; MACKIE, R.I. (Eds.) *Herbivore nutrition in the subtropics and tropics*. Craighall: The Science Press Ltda., p.129-144. 1984.

LEVY, E.B.; MADDEN, E.A. **The point method of pasture analysis.** New Zealand J. of Agric., v.46: p.267-279. 1933.

LOPES, M.L.T. et al. **Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja.** Ciência Rural, v.39, p.1499-1506, 2009.

MACEDO, M.C.M. **A utilização do fogo e as propriedades físicas e químicas do solo.** In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12, 1995, Piracicaba. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.315-345.

MARASCHIN, G.E. **Production potential of South America grasslands.** In: International Grassland Congress São Paulo, pp. 5-15. 2001.

MARCHÃO, R.L. et al. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.873-882, 2007.

MEGDA, M. M. et al. **Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.781-788, 2008.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. **Wheat root growth as affected by soil strength.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

MIOTTO, S.T.S.; WAECHTER J.L. **Diversidade dos campos sul-brasileiros:** Fabaceae. In: 54 Congresso Nacional de Botânica. Sociedade Brasileira de Botânica do Brasil Belém, pp. 121-124. 2003.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e ações prioritárias para conservação da Mata Atlântica e Campos Sulinos.** MMA/SBF, Brasília, 40p. 2000.

MOOJEN, E.L. **Dinâmica e potencial produtivo de uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul submetida a pressões de pastejo, época de dferimento e níveis de adubação.** Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 231p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1991.

MORAES, E.H.B.K.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. **Associação de diferentes fontes energéticas e protéicas em suplementos múltiplos na recria de novilhos mestiços sob pastejo no período da seca.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.3, p.914-930. 2006.

MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. **Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 11, p. 1-6, 1987.

MORIN, J.; VAN WINKEL, J. **The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation.** Soil Science Society of America Journal, v.60, p. 1223-1227, 1996.

NABINGER, C.; DE MORAES, A.; MARASCHIN, G.E. **Campos in southern Brazil.** In: Lelaike, G. et al. (ed.) Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cambridge: CABI Publishing, 2000. cap.18, p.355-376. 2000.

OADES, J.M. **Mucilages at the root surface.** J. Soil Sci., v. 29, p. 1-16, 1978.

OLIVEIRA, L.O.F.; SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M. et al. **Consumo e digestibilidade de novilhos Nelore sob pastagem suplementados com misturas múltiplas.** Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.56, n.1, p.61-68. 2004.

OVERBECK, G.E. et al. **Brazil's neglected biome:** The South Brazilian Campos. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, v. 9, p. 101-116. 2007.

PEDREIRA, C. G. S. et al. **As pastagens e o Meio Ambiente.** Anais do 23º Simpósio sobre manejo de pastagens, Piracicaba. FEALC, 2006. 540p.

PILLAR, V.D. et al. Workshop “**Estado atual e desafios para a conservação dos campos**”. In. UFRGS (disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>) Porto Alegre, p. 24. 2006.

PINHEIRO, R. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. **Aggregates distribution and soil organic matter under**

**different tillage systems for vegetable crops in a red Latosol from Brazil.** Soil & Tillage Research, v. 77, p. 79-84, 2004.

PRESTES, N. E. & CÓRDOVA, U. A. **Introdução de espécies em campos naturais.** In: Melhoramento e Manejo de Pastagens Naturais no Planalto Catarinense. Epagri, Florianópolis, 2004. p.107-173. 274p.

RAIJ, B, van. **Electrochemical properties of some Brazilian soils.** Ithaca, 1971. 144p. Tese (Ph.D.) -Cornell University.

RAMIREZ-LOPEZ, L. et al. **Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia.** Engenharia Agrícola, v.28, p.55-63, 2008.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K. **Infiltração da água no solo.** In: Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2 ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. P. 317-352.

REICHERT, J.M. et al. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** Soil Tillage Res., v. 102, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. **Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, p.289-298. 1992.

RHEINHEIMER D.D.S. et al. **Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima.** Ciência Rural v. 33, p. 49-55. 2003.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A. **Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol.** Geoderma, v.48, p.351-361, 1991.

SALTON, J.C. et al. **Pastoreio de aveia e compactação do solo.** R. Plantio Direto, v. 69, p. 32-34, 2002.

SAN JOSÉ ,J.J., MONTES R.A.; FARINAS M.R. **Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduous forest.** Forest Ecology and Management, v. 105, p. 251-262. 1998.

SANTOS, E.C.; MIELKE O.H.H.; CASAGRANDE M.M. **Inventários de borboletas no Brasil: estado da arte e modelo de áreas prioritárias para pesquisa com vistas à conservação.** Natureza & Conservação, v. 6, p. 68-90. 2008.

SANTOS, K. F. dos. **Determinação de atributos físicos e do carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra no planalto sul catarinense.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014. 88p (Dissertação de Mestrado).

SCHICK, J. **Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um Cambissolo Húmico em Lages, SC.** Lages, 2014. 149 p (Tese de Doutorado).

SCURLOCK, J.M.O.; HALL D.O. **The global carbon sink: a grassland perspective.** Global Change Biology, v. 4, p. 229-233. 1998.

SECCO, D.; REINERT, D.J. **Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto.** Eng. Agric., v. 16, p. 52-61, 1997.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)

SECCO, D. et al. **Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 29, p. 407-414, 2005.

SHARROW, S.H.; WRIGHT, H.A. **Effects of fire, ash, and litter on soil nitrate, temperature, moisture, and tobosagrass production in the rolling plains.** Journal of Range Management, Denver, v.30, n.4, p.266-270, 1977.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. **Characterization of the least limiting water range.** Soil Sci. Soc.Am. J., v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, I.F. **Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivos sobre as propriedades físicas de um Latossolo.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1980. 70p. (Tese de Mestrado)

SILVA, J.L.S.; JACQUES, A.V.A. **Disponibilidade de forragem de uma pastagem natural, sobressemeada com leguminosas perenes de estação quente.** Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.22, n.6, p.920-929, 1993.

- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto.** Ciência Rural, v. 34, p. 399-406, 2004.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.; REICHERT, J.M. **Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 24, p. 191-199, 2000.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. **Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems.** Soil Sci. Soc. Am. J., v. 63, p. 1350-1358, 1999.
- SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A.; LORENTZ, S. **Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils.** II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. Soil Till. Res., v. 43, p. 335-354, 1997.
- SOUZA, W. J. O.; MELO W. J. **Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 1113-1122, 2003.
- SPERA, S.T. et al. **Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto.** Acta Scientiarum. Agronomy, v.32, p.37-44, 2010.
- TANNER, C.B.; MARMARIL, C.P. **Pasture soil compaction by animal traffic.** Agron. J., v. 51, p. 329-331, 1959.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. **Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass.** Aust. J. Soil Res., v. 17, p. 429- 441, 1979.

TORMENA, C.A. et al. **Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo.** Sci. Agric., v. 59, p.795–801, 2002.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 15, p. 105-111, 1991.

TWONLOW, S.J.; PARKINSON, R.J.; REID, I. **Temporal changes in soil physical conditions after deep loosening of a silty clay loam in SW England.** Soil Till. Res., v. 31, p. 31-47, 1994.

VALLS, J.F.M.; BOLDRINI, I.I.; MIOTTO S.T.S. **Recursos genéticos e ameaças para a biodiversidade: a conservação de recursos genéticos campestres.** In: Mittelmann A. & Reis J.C.L. (org.). Reunião do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul – Grupo Campos, 21, 2006, Pelotas. Palestras e Resumos... Pelotas: Embrapa Clima Temperado. (Embrapa Clima Temperado. Documento 166, 1, 71-85 pp.). 2006.

WEIRICH NETO, P. H. et al. **Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto.** Ciência rural, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006.

WENDLING, B. et al. **Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WILLIANS, C. H. **Soil acidification under clover pasture.** Australian Journal Experimental Agriculture Animal Husbandry, Melbourne, v. 20, p. 561-567, 1980.

YOKOYAMA, L. P. et al. **Avaliação econômica de técnicas de recuperação de pastagens.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1335-1345, 1999.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. **Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil.** Soil and Tillage Research, v.84, p.28-40, 2005.