

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área de Concentração: Solos



Dissertação

**Atributos físicos e mecânicos de um solo construído em
área de mineração de carvão em Candiota-RS, cultivado
com diferentes espécies vegetais**

Lizete Stumpf

Pelotas, 2011

LIZETE STUMPF

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MECÂNICOS DE UM SOLO CONSTRUÍDO
EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTA-RS,
CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de concentração: Solos).

Orientador: Professor Dr. Eloy Antonio Pauletto

Co-orientador : Professor Dr^a. Flávia Fontana Fernandes
Professor Dr. Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki

Pelotas, 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto (Orientador)
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - UFPel

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense.

Prof. Dr. Luís Carlos Timm
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - UFPel

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eloy Antonio Pauletto pela orientação e contribuição na minha formação.

Aos professores Flávia Fontana Fernandes e Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki pela orientação nos trabalhos desenvolvidos.

Aos colegas de mestrado pelos momentos agradáveis de convivência e estudo.

A Marília e Patricia por toda ajuda teórica e prática, cumplicidade, alegria e inúmeras provas de amizade.

A Glaucia pela ajuda, convivência e amizade.

Ao Jacir pelo companheirismo e paciência.

Aos funcionários Paulo, Juliana e Dona Ana pela amizade e auxílio técnico.

Ao estagiário Tiago Stumpf da Silva por toda ajuda prestada durante o mestrado.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq - Projeto Carvão e à Companhia Riograndense de Mineração (CRM) pelo apoio financeiro e cedência da área experimental.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

STUMPF, Lizete. **Atributos físicos e mecânicos de um solo construído em área de mineração de carvão em Candiota-RS, cultivado com diferentes espécies vegetais**. 2011. 124 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

A maior jazida brasileira de carvão mineral localiza-se em Candiota-RS. Nesta localidade o carvão encontra-se próximo à superfície, em torno de 10 a 25m de profundidade, podendo ser minerado a céu aberto. Este método de lavra emprega a “dragline”, máquina de grande porte, para remoção do carvão, acarretando em modificações na topografia, na vegetação e no regime hidrológico da área. Logo, a principal alteração dos atributos físicos do solo construído advém da remoção das camadas do solo original e deposição nas áreas de regeneração. O excessivo tráfego de máquinas durante a construção do solo acarreta na compactação da área, dificultando a infiltração da água ao longo do perfil, facilitando a erosão hídrica e inibindo a revegetação da área. O uso de plantas que atuam como descompactadoras do solo constitui-se importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural de solo. O conhecimento de parâmetros físicos como a densidade e a agregação de solos construídos em áreas de mineração deve ser considerado de grande importância na avaliação dos atributos físicos, já que poderá indicar as mudanças ocorridas na porosidade, grau de compactação, penetração das raízes e permeabilidade da água e do ar. Os parâmetros mecânicos como a pressão de pré-consolidação e o índice de compressão podem indicar a capacidade de suporte de carga do solo, podendo evitar a compactação adicional da área. Neste contexto, o objetivo geral do trabalho foi analisar o potencial de diferentes plantas de cobertura na recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, através da determinação de parâmetros físico-mecânicos do solo construído, ao longo do tempo. Foram analisados os tratamentos com as plantas solteiras, implantadas em outubro/novembro de 2007: T1- Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4 - Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hemartria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Como testemunha usou-se o solo construído sem plantas de cobertura – SCSP, no intuito de observar a ação das plantas na recuperação dos atributos do solo construído. Como conclusões gerais pode-se dizer que devido ao pouco tempo de implantação do experimento, as plantas de cobertura tiveram ação incipiente na melhoria dos atributos físicos-mecânicos, mas ao serem comparadas com a testemunha, apresentaram melhores valores de densidade, porosidade total, DMP e porcentagem de macroagregados, destacando as braquiarias, até o presente momento.

Palavras-chave: densidade do solo; porosidade total; agregação; pressão de pré-consolidação; índice de compressão; plantas de cobertura.

Abstract

STUMPF, Lizete. **Physical attributes of a constructed soil in coal mining area grown with different plant species, southern Brazil**. 2011. 124p. Dissertation – Pos-Graduation Program in Agronomy, Concentration Area: Soils. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – Brazil.

The largest Brazilian coal mine is located in the municipality of Candiota, Rio Grande do Sul state. Carbon seams lie near the surface around 10 to 25 meters deep, it can be mined open-pit. This mining method uses a dragline, a large machine for removing carbon, it involves changes in topography, vegetation and hydrological regime of the area. Density, porosity and water retention are directly affected. The major change of constructed soil physical attributes comes from removal of layers of original soil and deposition on the regeneration areas. Excessive machinery traffic during soil construction causes compaction of the area, it makes difficult water infiltration into soil profile facilitating water erosion, and inhibiting the vegetation of the area. The use of soil uncompressed plants is an important strategy on recovering soil structural quality. The knowledge of physical parameters as density and aggregation of constructed soils in mining areas must be considered of great importance for evaluating physical attributes since it can indicates changes in porosity, degree of compaction, root penetration, and water and air permeability. Mechanical parameters as pre- consolidation pressure and compression index can indicate soil bearing capacity. The general objective of the work was analyze the potential of different cover crops on recovery of coal mining degraded areas, by determining physic-mechanical parameters of the constructed soil over time. Treatments with single plants established in October-November, 2007 were analyzed T1- Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4 - Braquiaria humidicola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hemartria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Constructed soil without cover crops was used as a control – SCSP in order to observe the action of plants on constructed soil attributes recovery. As general conclusions we can state that because of little time for establishing the experiment, the cover crop had incipient action on improvement of physical attributes, but when compared with control presented highest density and porosity, DPM, and percentage of macro-aggregates, highlighting *Brachiaria*.

Key words: bulk density; total porosity; aggregation; pre-consolidation pressure; index compression; cover crops.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental em 2003.....	14
Figura 2 - Croqui da área experimental em 2007.....	15
Figura 3 - Localização dos bancos de carvão na mina de Candiota.....	17
Figura 4 - Cava aberta para extração do carvão mineral.....	18
Figura 5 - Deposição dos cones de rejeitos pela “dragline”	19
Figura 6 - Nivelamento dos cones de rejeitos por trator de esteira.....	19
Figura 7 - Adição da camada superficial do solo original.....	19
Figura 8 - Compactação do solo construído.....	20
Figura 9 - Solo construído degradado.....	20
Figura 10 - Correlação entre diâmetro médio ponderado e a matéria orgânica do solo construído cultivado com diferentes plantas de cobertura, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m.....	63
Figura 11 - Curvas de compressão na camada de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m e curvas de compressão normalizada nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m dos tratamentos de um solo construído em área de mineração de carvão.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS.....40

Quadro 2 - Valores médios da Densidade (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Relação macroporosidade e porosidade total (Ma/Pt), Água disponível (AD) e Carbono orgânico (C.O.) para 6 tratamentos nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.....43

Quadro 3 - Valores médios da biomassa vegetal dos tratamentos em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.....45

Quadro 4 - Contraste dos valores médios da Densidade (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Água disponível (AD), Carbono orgânico (C.O.) e Relação macroporosidade e porosidade total (Ma/Pt) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.....47

Quadro 5 - Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS.....5
8

Quadro 6 - Valores médios do Diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP), Teor de matéria orgânica (MO), Macroagregados e Microagregados, Argila dispersa em água (ADA) para 6 tratamentos nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m de um solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS..... 60

Quadro 7 - Contraste dos valores médios da Porcentagem de macroagregados e microagregados, Diâmetro médio ponderado (DMP), Teor de matéria orgânica (MO) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS64

Quadro 8 - Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS7
5

Quadro 9 - Valores médios de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Teor de matéria orgânica (MO), Pressão de pré-consolidação (σ_p) e Índice de compressão (IC) para 6 tratamentos, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.....77

Quadro 10 - Contraste dos valores médios de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Teor de matéria orgânica (MO), Pressão de pré-consolidação (σ_p) e Índice de compressão (IC) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.....81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.6 CONCLUSÕES	48
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
AGREGAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTA- RS	53
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.6 CONCLUSÕES.....	66
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	74
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.6 CONCLUSÕES.....	83
5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
APÊNDICES.....	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

O uso do carvão mineral como fonte energética no cenário brasileiro ainda é baixo se comparado com a dimensão de suas reservas. O estado do Rio Grande do Sul apresenta reservas carboníferas estimadas em 28,8 bilhões de toneladas, e o carvão da mina de Candiota é considerado o mais competitivo para produção de energia elétrica (DNPM, 2005).

O carvão da mina de Candiota é extraído pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e utilizado pela Usina Termoeletrica Presidente Médici, que possui uma capacidade de geração de 126 MW na Fase A e 320 MW na Fase B com uma demanda de carvão na faixa de 1,7 milhões de toneladas por ano, atualmente operadas pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE). Um acordo bilateral entre Brasil e China, permitiu a construção da Fase C da Usina, que apresenta uma capacidade instalada de 350MW, e que opera desde outubro de 2010. A construção da Fase C significou a intensificação da utilização do carvão na produção de energia elétrica para atendimento do mercado brasileiro, duplicando o atual consumo deste combustível no estado (CGTEE, 2011).

Mediante a intensificação na produção de energia elétrica através do carvão mineral, os impactos oriundos de sua extração tendem a aumentar significativamente.

O carvão da mina de Candiota é minerado a céu aberto pois ocorre à 10-25 m da superfície do solo. No entanto, este processo ocasiona a remoção de grandes volumes de solo e rochas, gerando impactos ao ambiente, com modificações sob o ponto de vista químico, biológico e físico do solo.

O processo de extração do carvão envolve a retirada dos horizontes A, B e/ou C do solo original, seguida de remoção das rochas. Após a extração do carvão, os rejeitos (rochas e camadas de carvão não aproveitáveis) provenientes deste processo retornam à cava aberta, sendo depositados na forma de cones. Posteriormente, estes são nivelados por trator de esteira e há a reposição da camada superficial do solo original, retirada anteriormente à lavra do carvão, finalizando o processo de construção do solo.

No momento da construção do solo, ocorre a mistura dos horizontes provocando o deslocamento da matéria orgânica e do banco de sementes, antes

acumulados na superfície do solo original, para subsuperfície do solo construído. A compactação gerada durante a construção do solo dificulta a infiltração e redistribuição da água ao longo do perfil, facilitando a erosão hídrica e conseqüentemente, numa situação extrema, a exposição da piritita, contribuindo desta forma para acidificação das áreas e posterior estabelecimento da vegetação.

Haja visto a dimensão do processo de degradação que abrange a extração do carvão mineral, é notório perceber a dificuldade do solo construído retornar ao estado de organização anterior à mineração. No entanto, torna-se necessário adotar medidas de recuperação que o deixem com adequadas condições químicas, biológicas e físicas para que este cumpra alguma função no ambiente, ou seja, o solo construído deve ser um meio para o crescimento de plantas, regulador do fluxo de água, reciclador de materiais e habitat para organismos.

Em um programa de recuperação de áreas degradadas, o uso de plantas de cobertura torna-se primordial, pois a adição de fitomassa ao solo proporciona redução da erosão e aumento gradativo da matéria orgânica do solo, desempenhando papel fundamental na ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al. 2010), na melhoria da infiltração e armazenamento da água da chuva e aumento da atividade biológica, criando condições propícias para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (CAPECHE et al. 2008).

O uso de plantas que atuam como descompactadoras do solo constitui-se importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural do solo. De acordo com Camargo & Alleoni (1997), plantas com sistema radicular agressivo apresentam potencial em romper camadas de impedimento mecânico. Quando estas raízes se decompõem, deixam canais que podem melhorar o movimento da água e a difusão dos gases ao longo do perfil do solo, além de servirem como caminhos para a penetração radicular de culturas subseqüentes.

Neste contexto, o presente trabalho visou testar a hipótese de que plantas de cobertura estabelecidas em áreas de mineração de carvão influenciam na melhoria dos atributos físicos do solo construído ao longo do tempo, e que o tráfego intenso de máquinas no processo de construção ocasionam condições desfavoráveis ao crescimento das plantas.

O objetivo geral do trabalho foi analisar o potencial de diferentes plantas de cobertura na recuperação da qualidade de um solo construído na área de mineração

de carvão, através da determinação de parâmetros físico-mecânicos do solo construído, ao longo do tempo.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

1) Analisar o efeito de diferentes plantas de cobertura na densidade, porosidade, distribuição de poros por tamanho e capacidade de água disponível de um solo construído em área de mineração de carvão.

2) Analisar o efeito de diferentes plantas de cobertura na agregação de um solo construído, em área de mineração de carvão.

3) Analisar o efeito de diferentes plantas de cobertura na pressão de pré-consolidação e índice de compressão de um solo construído em área de mineração de carvão.

A dissertação, além da revisão bibliográfica, é disposta em capítulos, na qual o capítulo 3 atende o objetivo 1, o capítulo 4 atende o objetivo 2 e o capítulo 5 atende o objetivo 3.

1.1 Histórico da área experimental em Candiota-RS

A área experimental em Candiota-RS, foi implantada em novembro/dezembro de 2003. Para instalação das espécies, o solo construído foi escarificado com patola a uma profundidade de 0,10 a 0,15m, seguido da aplicação de 10,4 ton/ha de calcário, incorporado por grade, e 900 kg de fertilizante mineral na fórmula 5-20-20. Também se realizaram adubações nitrogenadas com sulfato de amônio na dose de 40 kg/ha e capinas manuais com enxada, sempre que surgissem invasoras na área. O delineamento experimental foi constituído de blocos ao acaso com 4 repetições, em parcelas de 40 m² (8m x 5m) com os seguintes tratamentos: T1 - Hemátria (*Hematria altissima*), T2 - Tifton (*Cynodon dactylum*), T3 - Pensacola (*Paspalum lourai*), T4 - Hemátria + Amendoim Forrageiro, T5 - Tifton + Amendoim Forrageiro (*Arachis pinto*), T6 - Pensacola + Amendoim Forrageiro, T7 – Pensacola + Controle (usado pela CRM no entorno: Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicula*) + Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*)) + Amendoim Forrageiro (Figura 1).

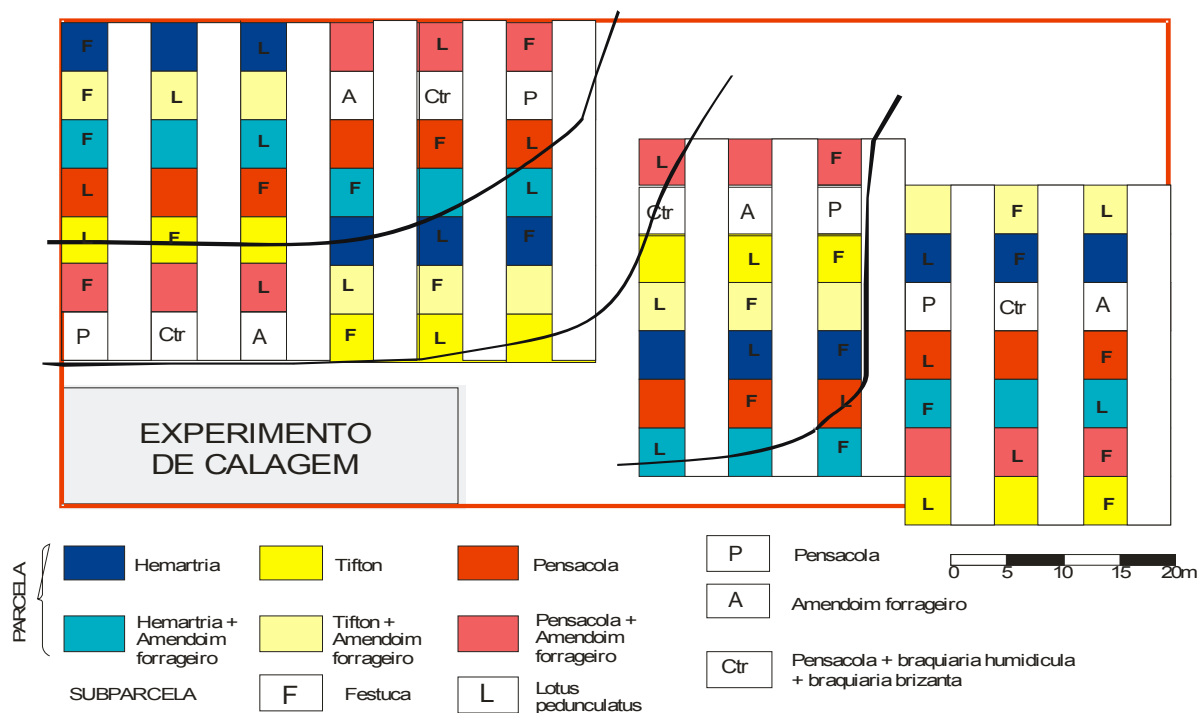


Figura 1 – Croqui da área experimental em 2003

A utilização de espécies perenes é justificada pela capacidade destas em se manterem na área ao longo do tempo e apresentarem alta capacidade de adição de biomassa ao solo.

Após o plantio das mudas de hemartria, tifton e amendoim forrageiro ocorreu um prolongado período de seca fazendo com que as plantas não se restabelecessem, tornando necessário o replantio. Devido à escassez de mudas as parcelas foram divididas pela metade, passando a ter uma área de 20m². Na área restante das parcelas tentou-se utilizar outras plantas de cobertura, com estabelecimento no período de inverno, como aveia preta, ervilhaca, festuca, capim lanudo e Lótus dando início a um novo experimento chamado “experimento de inverno”. Entretanto, devido às condições climáticas e ao ataque constante de lebres, estas não se estabeleceram.

Diante dos resultados obtidos no experimento implantado em 2003/2004 onde a grama Tifton e a Hemartria se destacaram e da possibilidade de avaliar novas espécies vegetais para recuperação dos atributos do solo construído, em outubro/novembro de 2007 implantou-se um novo experimento, com novas coberturas de verão que foram implantadas em parcelas solteiras e consorciadas com a Grama Tifton e a Hermátria (Figura 2).

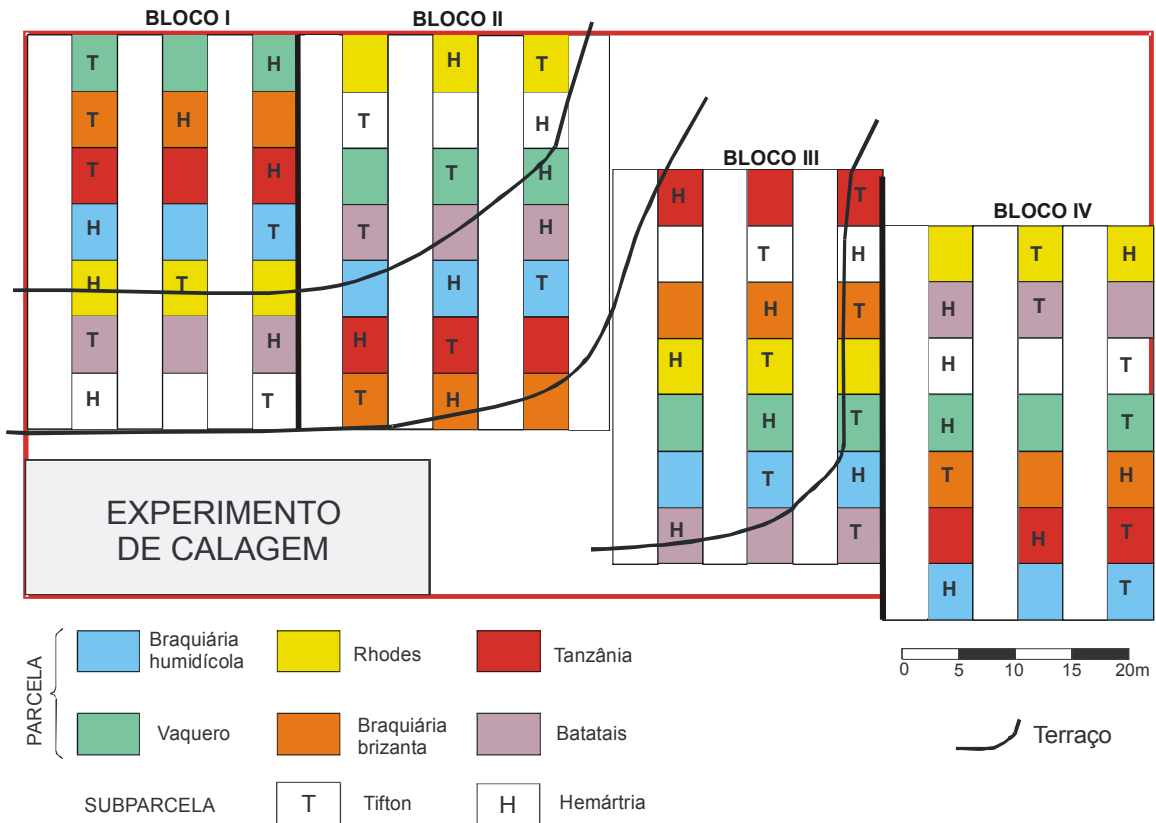


Figura 2: Croqui da área experimental 2007

No entanto, os consórcios não se estabeleceram bem como 2 cultivos solteiros (capim de rhodes e a grama batatais).

Portanto, para este trabalho, foram analisados somente os tratamentos com as plantas solteiras: T1- Capim vaquero (*Cynodon dactilon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximun*), T4 - Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hemartria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactilon*).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção, consumo e impactos do carvão mineral

Historicamente, o carvão teve grande importância no desenvolvimento econômico do mundo, mas deixou muitos efeitos sociais e ambientais deletérios para sociedade que o explorou.

De acordo com Sampaio (2002), milhões de toneladas de carvão são extraídos e utilizados com finalidades que vão desde a simples queima, para geração de energia elétrica, até a fabricação de coque metalúrgico empregado em fornos. Atualmente, 40% da eletricidade gerada no mundo é produzida através do carvão mineral.

De acordo com Gastaud et al. (2002), de todos os combustíveis fósseis, o carvão mineral é o que dispõe das maiores reservas no mundo, com projeção de haver mais de um trilhão de toneladas em reservas economicamente exploráveis usando a atual tecnologia de exploração de minas. Além de grandes, as reservas são geograficamente divididas, sendo espalhadas por centenas de países em todos os continentes, embora atualmente quatro países se destaquem, como a Rússia (56,5%), Estados Unidos (19,5%), China (9,5%) e Canadá (7,8%).

As maiores reservas brasileiras estão localizadas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná com 28,8 bilhões, 3,4 bilhões e 100 milhões de toneladas, respectivamente (NASCIMENTO et al. 2002). Entre os carvões nacionais, o mais competitivo para produção de energia elétrica é o da mina de Candiota, onde o carvão é minerado a céu aberto pois se localiza a 10 - 25m da superfície do solo (Figura 3). Devido aos diferentes tipos de gêneses dos carvões, normalmente existe a ocorrência de material inorgânico (argilas e pirita) misturado com material orgânico (SAMPAIO, 2002). As argilas são as responsáveis pelas cinzas geradas após a combustão do carvão e a pirita pelo teor de enxofre, muitas vezes prejudicial e danoso ao meio ambiente. Quando se faz a remoção dos rejeitos (argilas e piritas), elementos traços (Ni, As, Se, Cd, Cr, Hg e Pb) também são removidos, pois normalmente estão associados a estes rejeitos.



Figura 3: Localização dos bancos de carvão na mina de Candiota
 Fonte: Adaptado de Santucci (2009)

Para Quiñones (2004), além dos problemas localizados na área de mineração, outros problemas ambientais podem ocorrer em áreas vizinhas, como a degradação dos recursos hídricos, através da ocorrência de drenagem ácida e a solubilização de metais pesados, que geram consequências danosas para uma área de influência muito além da área de lavra (TAVARES, 2008).

Além do impacto no solo e na água, a mineração de carvão também provoca impactos na atmosfera. Segundo Montero (2004), a queima do carvão produz grandes volumes de partículas muito finas, que carregam consigo hidrocarbonetos e outros elementos. As partículas absorvem o dióxido de enxofre do ar e, com a umidade, formam-se partículas ácidas, nocivas para o sistema respiratório e ao meio ambiente.

2.2 Mineração a céu aberto

No Brasil, os principais métodos de mineração de carvão são a lavra a céu aberto e a lavra subterrânea, dependendo da profundidade em que se encontra o carvão.

No Rio Grande do Sul, a mineração de carvão está concentrada em lavras do tipo a céu aberto (KOPPE & COSTA, 2002). Na mina de Candiota, explorada pela

Companhia Riograndense de Mineração (CRM), o método de lavra a céu aberto emprega a “dragline”, máquina de grande porte, para remover o carvão. A escavação gera modificações na topografia, na vegetação e no regime hidrológico da área, já que envolve intensa movimentação de grandes volumes de solo e de rochas. Além do impacto visual, há problemas associados à drenagem ácida da área do entorno, geração de poeiras, ruídos, vibrações e gases emanados das detonações e deposição de rejeitos.

Para que se tenha melhor entendimento de como a lavra a céu aberto do carvão é realizado na Mina de Candiota e posteriormente, como o solo é construído, apresenta-se a seguir as principais etapas envolvidas neste processo:

- 1) Retirada dos horizontes A, B e/ou C do solo original;
- 2) Remoção das rochas (arenitos, siltitos e outras formações), através do uso da “dragline”, para a cava anteriormente aberta pela lavra (Figura 4);
- 3) Perfuração, detonação e extração do carvão do banco superior e do banco inferior, com separação do material inerte intermediário (argilitos);
- 4) Na cava aberta formam-se pilhas de cones compostos por uma mistura de rochas e carvão, considerados como rejeitos (Figuras 5 e 6);
- 5) Finalizando a recomposição topográfica da área, deposita-se uma camada do solo, retirada anteriormente à lavra do carvão (Figura 7), originando o solo construído.



Figura 4: Cava aberta para extração do carvão mineral



Figura 5: Deposição dos cones de rejeitos pela “dragline”



Figura 6: Nivelamento dos cones de rejeitos por trator de esteira



Figura 7: Adição da camada superficial do solo original

Como principal consequência de todo este processo, observa-se a excessiva compactação do solo, devido ao tráfego intenso de maquinaria pesada (Figura 8), dificultando a posterior revegetação da área (Figura 9).



Figura 8: Compactação do solo construído



Figura 9: Solo construído degradado

2.3 Recuperação de áreas degradadas

O uso do solo para as atividades: agrícola, pecuária e industrial tem contribuído diretamente para degradação dos atributos do solo, poluição do solo e das águas e redução da biodiversidade vegetal e fauna local.

Tavares (2008) menciona que no continente Sul Americano, segundo o GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo), tem-se 244 milhões de ha de solo degradado, sendo o desmatamento responsável por 41%, o superpastejo por 27,9%, as atividades agrícolas por 26,2%, a exploração intensa da vegetação por 4,9%.

Outra atividade antrópica que merece destaque por gerar degradação ambiental está relacionada à extração de minerais no subsolo brasileiro. As reservas minerais encontradas no Brasil são consideradas expressivas quando relacionadas mundialmente (FARIAS, 2002), destacando-se a produção de ferro, ouro, chumbo, zinco e prata, carvão, calcário, gipsita e cassiterita.

A degradação física de um solo é consequência do mau manejo dado a ele. Para Sequinatto (2010) a compactação é ocasionada pelo manejo inadequado dado ao solo, resultante do pisoteio animal ou do tráfego de máquinas, refletindo direta e negativamente sobre o desenvolvimento de plantas. Independente da fonte, o fato é que a compactação atinge níveis tão mais altos e negativos quanto maior for o desrespeito à capacidade de suporte de carga do solo, gerando como consequência deformações irreversíveis ao solo.

A compactação implica em aumento da densidade do solo, interferindo no armazenamento, transporte e disponibilidade de água às plantas, bem como no fluxo de gases, já que provoca alterações na quantidade e continuidade de poros do solo. Aumentos nos valores de densidade resultam em um ambiente onde as raízes têm dificuldade de se desenvolver, seja pela dificuldade de penetrarem no solo ou pelo acesso restrito à água ou minimização das trocas gasosas (SEQUINATO, 2010).

Para Bugin (2002), o impacto ambiental gerado pela mineração de carvão a céu aberto deve-se as operações de descobertura e preenchimento da cava já minerada, pois estas acarretam na desagregação do solo e a consequente compactação da área construída.

Dunker et. al (1998) mencionam que a revegetação inicial das áreas mineradas é normalmente difícil, pois a condição física do solo construído se apresenta como um obstáculo ao desenvolvimento das espécies, bem como a fertilidade inadequada, excesso de acidez ou alcalinidade e erosão (FAVARETTO et al. 2000).

2.3.1 Efeito de plantas de cobertura na recuperação de solos degradados

Em um programa de recuperação de áreas degradadas, o uso de plantas de cobertura torna-se primordial, pois a adição de fitomassa ao solo proporciona redução da erosão e aumento gradativo da matéria orgânica do solo, desempenhando papel fundamental na ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al.

2010), na melhoria da infiltração e armazenamento da água da chuva e aumento da atividade biológica, criando condições propícias para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (CAPECHE et al. 2008).

Para Portugal (2005), o desenvolvimento das raízes é fortemente influenciado pela estrutura do solo e em contrapartida, as plantas também influenciam na forma, estabilidade e resiliência da estrutura. A compressão criada pelo crescimento das raízes em poros já existentes ou na matriz do solo, resulta em novos poros ou na ampliação dos poros existentes.

De acordo Volk & Cogo (2008), as plantas se diferenciam quanto à influência de suas raízes na melhoria da estrutura do solo. Para Silva & Mielniczuk (1997), as gramíneas se destacam como plantas recuperadoras dos atributos físicos, pois sua alta densidade de raízes promove a aproximação das partículas do solo pela constante absorção de água no perfil, bem como liberam exsudatos que estimulam a microbiota do solo, auxiliando na formação e estabilização de agregados. Wohlenberg et al. (2004), menciona que a estabilidade e a distribuição do tamanho de agregados é maior em sistemas de cultivo que aportam material orgânico e cobrem o solo durante todo o ano.

Segundo Haynes & Beare (1997), solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares que adicionam material orgânico de quantidade e composição variada. A diferença entre espécies pode estar na qualidade do material orgânico sintetizado pelas raízes das diversas culturas ou na configuração das raízes, especialmente na proporção das raízes laterais (BASSO & REINERT, 1998).

Primavesi (1982), menciona que os resíduos de gramíneas promovem a melhoria da estrutura do solo, por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilitando aumento de ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos, favorecendo a estruturação e a estabilidade dos agregados do solo tornando-o menos suscetível à compactação.

Para Salton et al. (2008) o aporte de carbono ao solo, via raízes, é fundamental para formação de macroagregados. No entanto, os autores destacam que estes também podem ser formados por processos físicos, através do uso intensivo de máquinas e equipamentos, gerando macroagregados não estáveis. Na verdade, o que confere maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação

de exsudatos por raízes e crescimento e morte das raízes. Os compostos mucilaginosos produzidos pela raiz, como o ácido poligalacturônico, podem estabilizar os agregados por aumento da força de ligação entre as partículas e por redução da sua velocidade de umedecimento, preservando-os desta forma da destruição quando em contato com a água (RAGASSI, 2009).

Um dos principais impactos acarretados pela mineração de carvão e a posterior construção do solo refere-se à excessiva compactação do solo. Segundo Müller et al. (2001), as raízes sofrem modificações morfológicas e fisiológicas, por vezes específicas a cada espécie, a fim de se adaptarem às condições impostas pela compactação. De acordo com Camargo & Alleoni (1997), quando uma raiz encontra um poro no solo cujo diâmetro é menor que o seu, só prosseguirá se expandindo se for capaz de exercer pressão suficiente para dilatar o poro ou então, terá que diminuir seu diâmetro o suficiente para passar através dele.

Para Magalhães (2009), ao ocorrer o rompimento de camadas de solos compactados é de se esperar um elevado gasto de energia metabólica através do transporte de fotossintetizados da parte aérea para as raízes, o que leva à queda de produção, entretanto, geralmente, a maioria das culturas não apresenta a capacidade de romper as camadas muito compactadas. Diante disso, a planta faz uso do mecanismo de defesa através da expansão de raízes laterais com diâmetros adequados para passar pelos poros menores formados pelo processo compressivo do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Entretanto, as raízes laterais também podem apresentar dificuldade em romper as camadas compactadas. Logo, se o obstáculo é imposto a ambas, a planta passa a emitir pêlos radiculares.

Rizzo (2000), explica que o pêlo radicular pode penetrar num torrão introduzindo um ponto de fraqueza, causando a formação de grânulos. Esta granulação é acompanhada por mudanças na área próxima do sistema radicular, como resultado da entrada de água na planta, causando desidratação que favorece a contração e a formação do agregado. Contudo, a energia gasta pelas plantas, na procura dessas camadas de menor resistência e para criar esses mecanismos de defesa, deve refletir negativamente na planta, dificultando a expressão de seu potencial produtivo (REICHERT et al. 2007).

Segundo Andrade et al. (2009), a diminuição do grau de compactação pela ação de plantas de cobertura demonstra ser um processo lento. É primordial que haja mais informações sobre quais são as espécies mais eficientes, a curto e médio

prazo, para melhorar a qualidade física do solo sob determinadas condições de solo e clima. Para REICHERT et al. (2007), além da ação de um sistema radicular agressivo, é importante a ação de organismos como minhocas e besouros na recuperação de solos compactados, devido à formação de poros biológicos e adição de matéria orgânica.

Apesar da importância do efeito do sistema radicular na recuperação dos atributos físicos do solo, Costa et al. (2000) menciona que existe pouca informação sobre o desenvolvimento das raízes, pois em muitos trabalhos não se tem feito medições diretas da produção da biomassa subterrânea. Esse tipo de informação pode constituir importante subsídio na avaliação das potencialidades de uma espécie vegetal na recuperação de áreas fisicamente degradadas.

Na realidade, pouco se sabe a respeito do período de tempo que o solo leva para adquirir uma estrutura estável, independente da prática de recuperação adotada. No entanto, na literatura encontram-se alguns trabalhos que corroboram a eficiência de determinadas espécies na recuperação de solos degradados, ou ao menos indicam que estas possam ser eficientes ao longo dos anos, dependendo do manejo a ser adotado. Assim, Debiasi (2008) concluiu que plantas de cobertura de inverno (aveia preta e nabo forrageiro) após quatro anos, reduziram o grau de compactação em um Argissolo, devido principalmente ao aumento no teor de matéria orgânica e à ação do sistema radicular das espécies.

Para Brandão (2009) as raízes da braquiária, por serem abundantes e finas, são excelentes recicladoras de nutrientes, pois podem se desenvolver a profundidades superiores a 1,5m. Além disso, a decomposição de suas raízes favorecem o desenvolvimento da vida microbiana do solo e com isso, melhoram a agregação do solo, gerando condições favoráveis a maior infiltração de água e às trocas gasosas (STONE et al. 2003). Isto pode ser corroborado por Chioderoli (2010), quando menciona sobre o potencial das braquiárias quanto a cobertura do solo no sistema plantio direto, devido a sua elevada relação C/N e alta produtividade de biomassa. O grande aporte de palhada, somado ao grande volume de raízes em profundidade melhora a fertilidade bem como a estrutura do solo ao longo do perfil (CRISPIM et al. 2005).

Shiraishi et al. (2000) observou em Nitossolo Vermelho eutroférico típico que a braquiária brizanta produziu maior quantidade de raízes em relação ao capim Tanzânia, na profundidade de 0,00-0,80m, concluindo ser esta espécie mais

promissora na recuperação da estrutura do solo. Já Costa et al. (2000), observou em Planossolo que as raízes finas da braquiária humidicola foram responsáveis por 96% da densidade radicular média na camada de 0,00-0,10m e acima de 90% na camada de 0,60-0,70 m, destacando seu potencial na recuperação de áreas degradadas.

Magalhães (2009), avaliando o potencial da Grama Tifton na recuperação da qualidade estrutural de um Argissolo vermelho-amarelo cultivado em vasos, em diferentes graus de compactação do solo, observou significativas reduções na densidade e aumento na macroporosidade após implantação da forrageira.

Neto (2007) em estudo realizado em um Argissolo Vermelho Eutroférico, na região do cerrado, observou que as plantas forrageiras reduziram a densidade do solo nos primeiros 0,10m, mas não conseguiram diminuí-la nos 0,50m finais. O autor menciona que o capim Tanzânia contribuiu com a redução dos valores de resistência à penetração nas camadas superficiais do solo.

2.4 Atributos físicos do solo

A qualidade física do solo se manifesta através da capacidade de infiltração de água no solo e a consequente retenção e disponibilização às plantas, na ocorrência das trocas de calor e de gases com a atmosfera e com as raízes das plantas, bem como no crescimento radicular ao longo do perfil. Estas características físicas, no entanto, são influenciadas pelo manejo do solo ao longo do tempo (STRECK, 2007).

A estrutura do solo pode ser considerada a característica mais suscetível a modificações antrópicas, já que exerce influência no suprimento de água e ar às raízes das culturas, na disponibilidade de nutrientes e na penetração e desenvolvimento das raízes.

Um conjunto de atributos físicos como a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a densidade do solo e a agregação podem ser analisados e quantificados para verificar a qualidade física do solo e a respectiva resposta das culturas.

A degradação da estrutura do solo causa a perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica e, de acordo com Alakukku et. al (2003), a compactação do solo tem sido um dos principais fatores

que limitam a qualidade física de solos agrícolas e a obtenção de maiores índices de produção.

Do mesmo modo que nos solos agrícolas, a compactação é uma das principais manifestações oriundas do processo de construção de solos minerados. A compactação é ocasionada por compressão do volume do solo não saturado, acarretando o aumento da massa de sólidos em detrimento do volume de poros. Como consequência há o aumento na densidade do solo, diminuindo o volume de macroporos e tornando a infiltração e o movimento interno de água mais lentos, reduzindo a aeração e aumentando a resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes (SILVA et al. 2000).

Antropicamente, o solo pode tornar-se compactado principalmente pelo uso de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio de animais (REICHERT et al. 2007). O tráfego de veículos, o pisoteio de animais e o crescimento de raízes são consideradas as forças externas de aproximação das partículas do solo e os ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e degelo, expansão e contração da massa do solo respondem pelas forças internas (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Para Veiga et al. (2007), o tráfego excessivo é o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do maquinário sobre o solo, quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo. Reichert et al. (2007) menciona que a profundidade de compactação é variável com as especificações da máquina e seu rodado, condições do solo, número de vezes em que o solo é trafegado, com seu histórico de pressões e tipo de manejo adotado.

De acordo com Tormena et al. (1998), quando as tensões aplicadas pelo tráfego de máquinas agrícolas ultrapassam a capacidade de suporte de carga do solo, observa-se uma grande redução do volume de macroporos enquanto que o de microporos permanece inalterado ou até mesmo aumenta (TARAWALLY et al., 2004). Servadio et al. (2005) concluíram que o tráfego diminuiu a proporção dos poros alongados de maior tamanho em relação aos circulares e irregulares de menor tamanho, orientando-se paralelamente à superfície do solo, sem continuidade vertical, tornando-os menos efetivos na infiltração de água e no crescimento radicular em profundidade.

Outro fator decisivo para que haja compactação do solo se refere à umidade do solo. Quanto mais próximo da capacidade de campo (NETO, 2007) mais

suscetível à compactação. Para Collares (2005), o aumento no conteúdo de água no solo induz o decréscimo da aeração e da resistência do solo. O autor destaca que o primeiro efeito é indesejável quando abaixo de $0,10\text{m}^3.\text{m}^{-3}$, valor considerado limitante ao processo de respiração radicular e às trocas gasosas do solo, e o segundo efeito é desejável por ser facilitador do processo de penetração das raízes no solo.

2.4.1 Densidade do solo, Porosidade total e distribuição de poros por tamanho

A degradação da estrutura do solo altera a arquitetura dos poros, afetando seu volume, dimensão e configuração (SEQUINATTO, 2010).

A densidade do solo (D_s) representa a relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu volume total, que compreende o volume ocupado pelas partículas sólidas e espaços ocupados com água e ar. A D_s é um atributo que reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez, define as características do sistema poroso. A mineralogia, a textura e o teor de matéria orgânica interferem nos valores de densidade de determinado solo (FERREIRA, 2010).

A densidade do solo pode ser alterada pelo uso e manejo do solo, na medida em que se altera a disposição das partículas do solo. Portanto, o monitoramento dos valores de densidade ao longo do tempo pode fornecer informações importantes sobre a influência do uso e manejo do solo na sustentabilidade da exploração a que o solo está submetido.

Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a $1,9\text{ Mg}.\text{m}^{-3}$, enquanto solos argilosos apresentam valores de 0,9 a $1,7\text{ Mg}.\text{m}^{-3}$. Segundo Reichert et al. (2003), para solos com textura argilosa, a densidade crítica do solo situa-se entre 1,30 e $1,40\text{ Mg}.\text{m}^{-3}$. O valor da D_s reflete características do sistema poroso do solo, e como as raízes das plantas se desenvolvem nos poros, admite-se que qualquer alteração significativa no sistema poroso do solo pode resultar em interferência no desenvolvimento radicular, bem como na disponibilidade de água para as plantas (SANTOS et al. 2009).

O conhecimento da densidade de solos construídos em áreas de mineração deve ser considerado de grande importância na avaliação dos atributos físicos, já que poderá indicar as mudanças ocorridas na porosidade, grau de compactação, penetração das raízes e permeabilidade da água e do ar. Estes atributos podem

indicar a tendência deste solo em suportar o desenvolvimento de vegetação e sua suscetibilidade à processos erosivos.

O espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar compõem o espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. A porosidade total é inversamente proporcional à D_s e de grande importância para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo. Sempre que o manejo do solo tem influência sobre os valores de densidade, a relação macro/microporos é também alterada (SEQUINATTO, 2010) modificando as funções do solo em proporcionar para as culturas boa drenagem, retenção e disponibilização de água, trocas gasosas e facilidade à penetração de raízes.

No entanto, mais importante que quantificar a porosidade total do solo, é avaliar a distribuição de tamanho de poros. A porosidade pode ser dividida em duas classes: micro e macroporosidade. Para Klein & Libardi (2002), os macroporos são os poros com diâmetro maior que 0,05mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), e os microporos, aqueles com diâmetro menores que 0,05mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa).

A funcionalidade desses poros evidencia-se quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos pela aeração, infiltração e redistribuição de água no solo (REICHERT & REINERT, 2006).

2.4.2 Capacidade de água disponível

A escassez de água pode minimizar o potencial produtivo das culturas. Os seus efeitos são mais pronunciados e negativos às plantas, quando o solo apresenta restrições físicas de degradação estrutural, principalmente no aspecto poroso (SEQUINATTO, 2010). A compactação do solo além de dificultar o acesso das raízes à água armazenada no solo, também pode torná-la indisponível, já que a compressão do solo reduz o tamanho dos poros, ocasionando partículas mais adensadas e consequentemente deixando a água mais fortemente retida a estas partículas.

Solos mais argilosos apresentam capacidade de reter mais água do que àqueles menos argilosos. No entanto, a água armazenada pode não condizer com a água efetivamente disponível as plantas, devido a proporção de poros do solo.

A capacidade de água disponível pode ser definida por dois limites de umidade: a capacidade de campo (CC), considerado o limite superior e o ponto de murcha permanente (PMP), considerado o limite inferior de umidade.

Através da curva de retenção de água pode-se determinar a quantidade de água disponível no solo, considerando a capacidade de campo (CC) como a água retida à uma tensão de 10 kPa para solos arenosos ou 33 kPa para solos argilosos, e o ponto de murcha permanente (PMP) a água retida a 1500 kPa. A diferença entre estas duas unidades determina a quantidade de água disponível do solo para a planta.

A curva de retenção de água é a relação entre potencial matricial (Ψ_m) e umidade do solo (θ). Para altos teores de água a curva característica depende do arranjo e das dimensões dos poros, passando a ser uma função da densidade e porosidade do solo. Para baixos teores de água, o potencial matricial praticamente independe desses fatores, dependendo mais da textura e mineralogia do solo (REICHARDT & TIMM, 2004).

2.4.3 Agregação do solo

A estrutura do solo refere-se a organização das partículas do solo em agregados, em um determinado volume de solo. O espaço poroso é de importância similar ao espaço sólido, logo a estrutura do solo pode ser definida também pelo arranjo de poros pequenos, médios e grandes, como consequência da organização das partículas e agregados do solo.

De acordo com Campos (1993), a estrutura do solo é a característica mais suscetível a modificações antrópicas e a compactação se destaca como consequência direta desta modificação, pois altera a geometria e distribuição de poros, modificando o comportamento físico-hídrico e a condutividade de água no solo (RICHARD et al. 2001).

O papel que os agregados do solo tem no crescimento das raízes está relacionado em parte, com o grau de penetração das raízes no seu interior. Raízes de maior diâmetro apresentam maior resistência ao encurvamento quando penetram

em solo compactado (WHITELEY & DEXTER, 1984), o que é importante em solos deficientes em macroporos, onde as raízes necessitam mais deformar o solo do que explorar fissuras.

Um solo apresenta estabilidade estrutural quando mantém o arranjo de sólidos e espaços vazios, mesmo exposto a diferentes forças. A estabilidade de agregados é altamente afetada pelo manejo do solo. Assim, quando o solo é cultivado frequentemente, agregados são expostos várias vezes a distúrbios físicos por umedecimento rápido ou impacto da gota da chuva, bem como pela própria quebra por implementos (REICHERT & REINERT, 2006).

A estabilidade dos agregados deve-se principalmente à síntese microbiana, além do efeito da união mecânica dos micélios fúngicos (PALADINI & MIELNICZUK, 1991). No entanto, no manejo agrícola convencional, a matéria orgânica se torna mais acessível aos microorganismos, estimulando a oxidação e redução de seu conteúdo no solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Esse declínio é frequentemente acompanhado por diminuição na estabilidade de agregados em água.

De acordo com Tisdall & Oades (1982), a agregação do solo ocorre em duas etapas: a primeira compreende a formação do agregado e a segunda, a sua estabilização. O agregado se forma quando ocorre a aproximação das partículas de solo, principalmente através da floculação das partículas de argila, sendo esta a primeira etapa na formação de macroagregados estáveis. No entanto, a floculação é uma condição necessária mas não suficiente para que ocorra a agregação de forma estável. Para isto há a necessidade de ocorrer a cimentação das partículas. A matéria orgânica, juntamente com os minerais de argila, são os dois agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo.

Vale destacar que a aproximação das partículas de solo pode ocorrer por ação de forças de compressão, originadas na atuação de raízes, variação da umidade do solo e compactação por implementos agrícolas. O efeito dos ciclos de umedecimento e secagem sobre os agregados podem ser observados em solos com alto teor de argila, pois quando úmidas, expandem-se e quando secas, contraem-se, formando fendas (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

Os agregados de maior diâmetro tendem a apresentar boa correlação com carbono orgânico do solo (PALADINI & MIELNICZUK, 1991). A medida que o conteúdo de matéria orgânica diminui, decresce a estabilidade dos agregados,

indicando que os compostos orgânicos podem ter atuação na formação e estabilização desses agregados. No entanto, Tisdall & Oades (1982) consideram que, apesar de existirem muitas correlações entre o conteúdo de carbono orgânico no solo e a estabilidade de agregados em água, este nem sempre tem efeito agregante pois apenas frações específicas da matéria orgânica são responsáveis pela estabilidade de agregados.

Tisdall & Oades (1982) mencionam que há diferentes tipos de ligantes responsáveis pela estabilização de agregados. Alguns são considerados ligantes transitórios, os quais compreendem materiais orgânicos rapidamente decompostos por microorganismos (polissacarídeos microbianos, associado às raízes e à biomassa microbiana na rizosfera). Os ligantes temporários, compreendem raízes e hifas de fungos, que persistem no solo por meses ou anos, podendo ser afetados pelo manejo do solo. Geralmente agem estabilizando macroagregados (TISDALL & OADES, 1982). Os ligantes persistentes se referem ao húmus, a fração mais estável da matéria orgânica.

A influência das culturas sobre a agregação de solos, além da deposição de biomassa vegetal, também refere-se a ação da extensa rede de raízes no solo. A pressão exercida pelo crescimento radicular pode levar a formação, estabilidade e quebra dos agregados (TISDALL & OADES, 1982).

A estabilidade de agregados assume papel importante relacionado à erodibilidade dos solos agrícolas, já que a ruptura dos agregados é um dos primeiros fatores no desencadeamento de processos erosivos. A desagregação do solo produz microagregados e estes podem ser desestruturados se as partículas de argila se dispersarem (TISDALL & OADES, 1982). Consequentemente, as partículas dispersas obstruem os poros, diminuindo a infiltração de água no solo e favorecendo o escoamento superficial.

Para avaliação da estrutura do solo, a porosidade total e a relação entre microporosidade e macroporosidade são fatores importantes a serem considerados. A microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas e implementos (SILVA & KAY, 1997).

Existe uma estreita relação entre as condições físicas do solo e o desenvolvimento das plantas. Solos desestruturados e compactados geralmente

apresentam valores baixos de porosidade, dificultando a penetração de raízes e a difusão de oxigênio (PALMEIRA et al. 1999). De acordo com Tormena et al. (1998), a porosidade de aeração de 10%, tem sido adotada como crítica para o crescimento da maioria das plantas cultivadas. No entanto, Van Lier (2001) afirma que em termos físicos, para culturas com um sistema radicular pouco profundo (em torno de 0,10 m), os valores de porosidade de aeração seriam ao redor de 5%, enquanto que em condições de maior profundidade do sistema radicular e alto consumo de O_2 , a necessidade de porosidade de aeração atingiria valores próximos de 20%.

A agregação do solo é avaliada por meio da estabilidade dos agregados em água. Para Silva et al. (2000), quanto maior for o agregado, maiores serão o diâmetro médio ponderado (DMP) e os espaços porosos entre eles, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. No entanto, Bertol et al. (2004) menciona que um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta adequada distribuição de tamanho de poros no seu interior. Isto pode ocorrer se o agregado teve suas partículas de solo aproximadas por compressão do solo. Isto pode ser corroborado por Carpenedo & Mielniczuk (1990), que verificaram em plantio direto um aumento do DMP na camada de 0,00 – 0,10 m, porém a avaliação da estrutura interna dos agregados mostrou que eles foram formados por forças de compressão e não por ação biológica das raízes e microrganismos.

2.4.4 Pressão de pré-consolidação e índice de Compressão

As ações de manejo do solo devem ser bem planejadas, pois seus efeitos são responsáveis pela produção e sustentabilidade do sistema. A compactação do solo pode ser considerada uma das externalidades negativas ocasionadas pelo tráfego excessivo na realização das operações agrícolas.

Debiasi (2008) cita como principais efeitos da compactação, o incremento na densidade e na resistência mecânica do solo. Consequentemente há redução da infiltração e redistribuição de água ao longo do perfil, bem como diminuição da aeração e restrição ao desenvolvimneto das raízes das plantas.

Busca-se avaliar parâmetros físico-mecânicos que venham a auxiliar na minimização da compactação adicional dos solos agrícolas e não agrícolas. Dentre estes parâmetros destacam-se a pressão de pré-consolidação (σ_p) e o

índice de compressão (IC), que para Dias Junior & Pierce (1996) são os indicadores quantitativos da sustentabilidade estrutural dos solos.

A curva de compressão tem sido utilizada para simular as reduções de volume do solo, representada graficamente pela relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o arranjo das partículas, como o índice de vazios ou a densidade do solo (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996).

A pressão de pré-consolidação pode ser considerado como um indicativo da capacidade de suporte de carga do solo, onde a aplicação de pressões maiores que a pressão de preconsolidação geram deformações plásticas, acarretando na compactação adicional do solo. Por outro lado, quando as pressões aplicadas ao solo são menores que a pressão de pré-consolidação, ocorrem as deformações elásticas, ou seja, o solo retorna ao estado anterior após cessar a aplicação da força a qual foi submetido (SUZUKI, 2005).

De acordo com Lima et al. (2004), a pressão de pré-consolidação é influenciada pela umidade, textura, teor de carbono orgânico e o estado de compactação inicial do solo. Por sua associação a valores elevados de densidade e resistência mecânica do solo, elevados valores de pressão de preconsolidação implicam em condições desfavoráveis para o crescimento das raízes, mas favoráveis para o tráfego.

O índice de compressão é considerado um indicativo da suscetibilidade do solo à compactação. Solos que apresentam valores elevados do índice de compressão exibem grandes mudanças na relação ar-água-matriz quando ocorre a aplicação de uma pressão (LIMA, 2004).

A ação de cargas externas no solo tende a formar camadas compactadas em formato laminar, ou seja, no sentido horizontal. Com isso o sistema radicular demonstra dois comportamentos principais expressos pelo menor comprimento, devido à alta resistência do solo à penetração das raízes para as camadas mais profundas e a formação de raízes com diâmetro reduzido, ou seja, raízes mais finas (ROSA, 2007).

Ainda há pouca informação a respeito dos efeitos produzidos pelas plantas de cobertura sobre a capacidade de suporte de carga e a suscetibilidade do solo à compactação. No entanto, é possível que esta prática afete a pressão

de pré-consolidação e o índice de compressão, uma vez que as plantas de cobertura atuam na estruturação do solo, através da ação mecânica das raízes e exsudatos radiculares, que formam e estabilizam agregados do solo (DEBIASI, 2008).

Diante do exposto, toda ação antrópica pode ser grande potencializadora de compactação, se executada de forma excessiva e equivocada. Assim, deve-se planejar toda ação sobre o solo, para minimizar esses riscos. Para isto, é necessário ter conhecimento de como funciona o processo de compactação no solo e o efeito dos danos causados pelo uso excessivo de máquinas em solos agrícolas e não agrícolas.

**3 ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO CONSTRUIDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO
DE CARVÃO EM CANDIOTA-RS, CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES
VEGETAIS**

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTA-RS, CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS

3.1 Resumo – A extração do carvão envolve a retirada de grandes volumes de solo e rochas. Após a mineração, os rejeitos retornam a cava aberta, sendo nivelados por trator de esteira, seguido da deposição de camadas do solo original, finalizando o processo de construção do solo. Todo este processo envolve intenso tráfego de máquinas, acarretando em excessiva compactação das camadas de solo depositadas. Logo, o solo construído caracteriza-se por problemas de infiltração e redistribuição da água ao longo do novo perfil, facilitando à erosão hídrica e, conseqüentemente, dificultando a revegetação da área. O uso de plantas que atuam como descompactadoras do solo constitui-se importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural do solo. O presente trabalho analisou a influência de diferentes plantas de cobertura na melhoria dos atributos físicos de um solo construído, após 2 anos de condução do experimento, na área de mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração, em Candiota/RS. Os tratamentos estudados foram: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2-Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4-Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Como testemunha utilizou-se o solo construído sem plantas de cobertura, no intuito de observar a ação das plantas na melhoria dos atributos do solo construído. Amostras de solo preservadas foram coletadas em julho/2008 e outubro/2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m e determinadas a densidade do solo, a porosidade total, macroporosidade, microporosidade e água disponível. Devido ao pouco tempo de execução do experimento, a ação das plantas de cobertura foi incipiente na melhoria dos atributos físicos do solo construído. Devido ao pouco tempo de execução do experimento, a ação das plantas de cobertura foi incipiente na melhoria dos atributos físicos do solo construído. Entretanto, observou-se de modo geral uma tendência de redução dos valores de densidade do solo e conseqüentemente aumento da porosidade total em relação à testemunha, com destaque para os tratamentos com as braquiárias.

Palavras Chaves: construção do solo; compactação; plantas de cobertura

PHYSICAL ATTRIBUTES OF A CONSTRUCTED SOIL IN A COAL MINING AREA, CANDIOTA-RS, GROWN WITH DIFFERENT PLANT SPECIES

3.2 Abstract - Coal extraction involves removal of large volumes of soil and rocks. After mining overburden return to the pen pit and is leveled by bulldozer, followed by original soil layers deposition for completing the process of soil construction. The whole process involves intense traffic of machines, causing excessive compaction of deposited soil layers. Therefore, a constructed soil is characterized by infiltration problems and redistribution of water along the new profile facilitating water erosion, and consequently difficulting revegetation of the site. The use of plants that act as soil de-compressors is an important strategy on recovering soil quality. This work analyzed the influence of different cover crops on the improvement of physical attributes of a constructed soil after conducting a two years experiment in the coal mining site of Companhia Riograndense de Mineração located in the municipality of Candiota, RS. The studied treatments were: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2-Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximun*), T4-Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). A constructed soil without cover crops was used as a control – SCSP, to observe the action of plants on constructed soil attributes improvement. Preserved soil samples were collected in July, 2008 and October, 2009, in layers of 0.00-0.05 and 0.10-0.15m deep. Soil density, porosity, macro-porosity, micro-porosity, and available water were determined. Due to the short period of time for execution of the experiment the action of cover crops was incipient on improving physical attributes of constructed soil. However, it was generally observed a tendency of soil density values reduction, and consequently an increase of total porosity compared to control. The treatment with Brachiaria stood out.

Key words: construction of soil; compaction; cover crops

3.3 Introdução

A maior jazida brasileira de carvão mineral localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul, município de Candiota. Nesta localidade, o carvão encontra-se próximo à superfície, em torno de 10 a 25 m de profundidade, podendo ser minerado a céu aberto. Este método de lavra emprega a “dragline”, máquina de grande porte, para remoção do carvão, acarretando em modificações na topografia, vegetação e no regime hidrológico da área.

O processo da extração do carvão envolve a retirada dos horizontes A, B e/ou C do solo original, seguida de remoção das rochas (arenitos e siltitos). Em seguida, os rejeitos (rochas e camadas de carvão não aproveitadas) retornam à cava aberta, onde são depositados em forma de cones. Posteriormente, estes são nivelados por trator de esteira e há a reposição da camada superficial do solo original, retirada anteriormente à lavra do carvão, finalizando o processo de construção do solo.

A compactação gerada durante a construção do solo dificulta a infiltração e redistribuição da água ao longo do perfil, facilitando a erosão hídrica e conseqüentemente, numa situação extrema, a exposição da pirita, contribuindo desta forma para acidificação das áreas e posterior estabelecimento da vegetação.

Fidalski (1999) menciona que um determinado solo pode ser considerado quimicamente adequado para o cultivo de plantas e produzir abaixo da expectativa em razão das limitações físicas que comprometam o desenvolvimento das raízes, a absorção de água e de nutrientes.

De acordo com Campos (1993), a estrutura do solo é a característica mais suscetível a modificações antrópicas. Dentre elas, destaca-se o efeito da compactação, devido às alterações que provoca na geometria e distribuição de poros no solo. Para Servadio et al. (2005) o tráfego de máquinas diminui a proporção dos poros alongados de maior tamanho em relação aos circulares e irregulares de menor tamanho, orientando-se paralelamente à superfície do solo, sem continuidade vertical. Como conseqüência estes poros tornam-se menos efetivos na infiltração e movimento interno de água, reduzindo a aeração e aumentando a resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes (SILVA et al. 2000).

Para Ferraz et al. (2008) a importância do conhecimento das proporções de microporosidade e macroporosidade compreende o comportamento físico-hídrico do solo e suas condições para o adequado desenvolvimento de espécies vegetais. Solos com camadas compactadas apresentam redução da porosidade total e da macroporosidade, e em contraposição há o incremento da microporosidade e da densidade dos solos. Nesses casos, o aumento da microporosidade favorece a retenção de água no solo, porém compromete o transporte de ar e água. O fluxo de gases e o movimento de água no solo dependem não somente da porcentagem de macroporos, mas também da continuidade ao longo do perfil e do contato com a superfície (DALBIANCO, 2009).

Há indicações de limites críticos de densidade do solo ao crescimento radicular, porém esses são variáveis para diferentes tipos de solos e plantas. Para solos com textura argilosa a densidade crítica do solo situa-se entre 1,30 e 1,40 Mg.m⁻³ (REICHERT et al. 2003).

A recuperação de solos fisicamente degradados pode ser alcançada através do manejo adequado do solo, levando em consideração o fator tempo (SEQUINATTO, 2010). O uso de plantas que atuam como descompactadoras do solo constitui-se importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural de solo. De acordo com Camargo & Alleoni (1997), espécies com sistema radicular agressivo apresentam potencial para romper camadas de impedimento mecânico, podendo formar canais responsáveis pelo movimento de água e a difusão de gases.

As gramíneas perenes são mais eficientes em aumentar a estabilidade de agregados do que as leguminosas (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990), por apresentarem um sistema radicular mais extenso e denso, favorecendo os pontos de contato entre as partículas minerais, podendo ser utilizadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo de áreas degradadas.

Embora os atributos físicos densidade e porosidade sejam indicadores simples para caracterização do solo, seu estudo em áreas mineradas é importante devido à destruição ao qual o solo original foi submetido e a conseqüente mistura de horizontes no momento da construção do solo.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de diferentes plantas de cobertura na melhoria dos atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, ao longo do tempo.

3.4 Material e Métodos

A área de estudo se localiza na mina de carvão pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM), no município de Candiota/RS, situado a 140 Km de Pelotas.

O experimento foi instalado entre setembro/outubro de 2007 em delineamento de blocos ao acaso com parcelas de 20m² (5m x 4m), com quatro repetições. Os tratamentos eram compostos originalmente de 7 espécies de cobertura, solteiras ou consorciadas com Hermatria e Tifton. Entretanto, 2 delas não se estabeleceram (Capim de Rhodes-T5 e Grama batatais-T6), bem como os consórcios, de forma que foram avaliados apenas 6 tratamentos: T1- Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4 - Braquiaria humidicola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hematria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon*).

Para efeito de comparação utilizou-se como testemunha o solo construído sem plantas de cobertura – SCSP, localizado na área adjacente ao experimento, no intuito de avaliar melhor a ação das plantas na recuperação do solo.

O solo construído da área experimental caracteriza-se pelo predomínio do horizonte B de um Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). Os teores médios de areia, silte e argila apresentados pelo solo construído, na camada de 0,00-0,15 m (Quadro 1), mostram o dobro de argila em relação ao horizonte A do solo original, definindo sua textura como argilosa.

Quadro 1: Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,15 m				
Tratamentos	Discriminação	Areia	Silte	Argila
		g.kg ⁻¹		
T1	Capim vaquero	306,5	210,8	482,7
T2	Braquiária brizanta	328,8	208,2	463,0
T3	Tanzânia	317,3	202,6	480,1
T4	Braquiária humidicola	315,9	210,8	473,3
T7	Hematria	311,2	213,6	475,2
T8	Tifton	310,6	209,9	479,5
Média		315,0	209,3	475,6
Solo Original*		461,4	264,0	274,7

*Fonte: Adaptado de Nunes (2002).

Amostras de solo preservadas foram coletadas em julho/2008 (4 repetições por tratamento) e outubro/2009 (8 repetições por tratamento), nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15 m, com o uso de anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro e 3 cm de altura. Para a determinação da densidade do solo (D_s), foi utilizado o método do anel volumétrico e para a determinação da porosidade total (P_t), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) o método da mesa de tensão, conforme Embrapa (1997).

O conteúdo de carbono foi determinado pelo método de Walkley-Black, segundo Tedesco et al. (1995), em amostras passadas na peneira de 2mm com 3 repetições.

Para a determinação das curvas de retenção de água no solo foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards (KLUTE, 1986) para as tensões de 10, 33, 102 e 1530 kPa e a mesa de tensão para as tensões de 1kPa e 6 kPa.

Os dados da relação umidade volumétrica e potencial mátrico foram ajustados pelo programa computacional Soil Water Retention Curve – SWRC de Dourado Neto et al. (1995), que utiliza o modelo de Van Genuchten (1980), cuja a equação é:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + \left(\alpha h\right)^n\right]^m} \quad (1)$$

Onde:

θ_s = umidade volumétrica do solo saturado ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

h = módulo do potencial mátrico, em cm de coluna de água;

α , n , m = parâmetros empíricos referentes às características do solo.

Os parâmetros foram ajustados partindo-se de valores iniciais de 0,015, 2,0 e 0,50 para α , n , m , respectivamente, e calculados considerando sua independência (Genuchten & Nielsen, 1985). Após este procedimento, foram montadas as curvas de retenção através da utilização do programa Excel, a fim de visualizar o comportamento de cada uma.

A água disponível (AD) foi considerada como sendo a água armazenada no solo entre as tensões de 10 kPa e 1530 kPa, tensões essas usadas para representar, respectivamente, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, após o ajuste das curvas ao modelo de van Genuchten (1980). Para o cálculo de AD foi utilizado a seguinte expressão:

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times z \quad (2)$$

Onde:

AD = Água disponível (mm);

θ_{CC} = valor de umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{PMP} = valor de umidade no Ponto de Murcha Permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

z = profundidade de solo avaliada (mm).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software SAS v. 9. No intuito de avaliar o efeito do tempo e dos tratamentos para as variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), relação macroporosidade e porosidade total (Ma/Pt), água disponível (AD) e carbono orgânico (C.O.), foi utilizado a análise de medidas repetidas (*proc mixed*). Para verificar diferenças entre a testemunha (SCSP) e os tratamentos no ano de 2009, foi utilizado o teste de Dunnett (5%), para todos os atributos citados anteriormente.

3.5 Resultados e Discussão

No Quadro 2 observa-se que as variáveis densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) na camada de 0,00-0,05m, não foram significativamente afetadas pelos fatores tempo e tratamento. No entanto, de 2008 para 2009, todos os tratamentos apresentaram uma tendência em diminuir os valores de Ds, e aumentar os valores da Pt. Para as variáveis macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) houve efeito do tempo, pois de 2008 para 2009 a Ma diminuiu e Mi aumentou, no entanto os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si.

Quadro 2: Valores médios da Densidade (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Relação macroporosidade e porosidade total (Ma/Pt), Água disponível (AD) e Carbono orgânico (C.O.) para os 6 tratamentos nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,05m														
Tratamentos	Ds (Mg.m ⁻³)		Pt (%)		Ma (%)		Mi (%)		Ma/Pt		AD (mm)		C.O. (g.kg ⁻¹)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
T1	1,53 ^{ns}	1,48 ^{ns}	43,82 ^{ns}	45,62 ^{ns}	10,17 Aa	8,13 Ba	33,65 Ba	37,50 Aa	0,23 Aa	0,18 Ba	2,43 Ba	5,70 Aa	4,48 Bb	6,08 Ab
T2	1,41 ^{ns}	1,39 ^{ns}	46,29 ^{ns}	47,36 ^{ns}	14,61 Aa	8,11 Ba	31,68 Ba	39,24 Aa	0,32 Aa	0,17 Ba	2,61 Ba	5,20 Aa	4,33 Bb	6,87 Ab
T3	1,48 ^{ns}	1,43 ^{ns}	44,93 ^{ns}	46,16 ^{ns}	11,37 Aa	7,57 Ba	33,57 Ba	38,59 Aa	0,25 Aa	0,16 Ba	2,85 Ba	4,01 Aa	6,21 Ba	8,18 Aa
T4	1,41 ^{ns}	1,41 ^{ns}	47,13 ^{ns}	47,41 ^{ns}	15,72 Aa	10,0 Ba	31,41 Ba	37,41 Aa	0,33 Aa	0,21 Ba	2,30 Ba	4,24 Aa	6,50 Ba	7,65 Aa
T7	1,47 ^{ns}	1,42 ^{ns}	46,40 ^{ns}	46,68 ^{ns}	14,93 Aa	7,91 Ba	31,46 Ba	38,76 Aa	0,32 Aa	0,17 Ba	2,60 Ba	5,42 Aa	6,13 Ba	7,72 Aa
T8	1,46 ^{ns}	1,41 ^{ns}	44,56 ^{ns}	46,08 ^{ns}	9,70 Aa	9,19 Ba	34,85 Ba	36,89 Aa	0,22 Aa	0,20 Ba	3,24 Ba	3,29 Aa	4,23 Bb	6,75 Ab
Camada de 0,10 - 0,15m														
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
T1	1,70 Aa	1,56 Ba	39,31 Bab	43,30 Aa	3,79 Ba	8,37 Aa	35,51 ^{ns}	34,94 ^{ns}	0,10 Ba	0,19 Aa	1,41 Ba	2,12 Aa	4,97 ab	5,44 ab
T2	1,65 Aa	1,60 Ba	39,28 Aab	42,34 Aa	3,38 Ba	5,34 Aa	37,19 ^{ns}	35,90 ^{ns}	0,09 Ba	0,12 Aa	1,96 Ba	2,89 Aa	6,55 a	5,55 a
T3	1,70 Aa	1,65 Ba	36,90 Ab	38,17 Ab	2,47 Ba	5,50 Aa	34,44 ^{ns}	32,66 ^{ns}	0,07 Ba	0,14 Aa	1,32 Ba	1,67 Aa	4,42 b	5,55 a
T4	1,73 Aa	1,57 Ba	36,95 Bb	41,29 Aab	2,99 Ba	6,44 Aa	33,96 ^{ns}	34,84 ^{ns}	0,08 Ba	0,16 Aa	0,88 Ba	1,97 Aa	5,40 ab	5,43 ab
T7	1,63 Aa	1,58 Ba	41,00 Aa	41,68 Aab	4,48 Ba	5,10 Aa	36,52 ^{ns}	36,59 ^{ns}	0,11 Ba	0,12 Aa	1,33 Ba	2,37 Aa	5,49 ab	5,49 ab
T8	1,73 Aa	1,60 Ba	37,58 Aab	39,76 Aab	2,37 Ba	5,74 Aa	35,22 ^{ns}	34,02 ^{ns}	0,06 Ba	0,14 Aa	1,68 Ba	2,18 Aa	4,07 b	4,60 b

T1 – Capim vaquero; T2 – Braquiária brizanta ; T3 – Tanzânia ; T4 – Braquiária humidicola ; T7 – Hermatria ; T8 – Tifton ; ns = não apresentou diferença significativa; Letras maiúsculas, iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Embora tenha se observado efeito significativo do tempo para Ma e Mi, isto não se refletiu na Pt, e conseqüentemente na Ds. A diminuição da Ma e o conseqüente aumento da Mi ao longo do tempo, demonstra que houve uma desagregação na camada de 0,00-0,05m. Isto pode ser decorrente do manejo do solo na implantação do experimento (capinas manuais com enxada) cujos efeitos foram mais intensos na camada superficial. De acordo com Panachuki et al. (2006), o solo quando submetido ao revolvimento intensivo tem a sua estrutura alterada com fracionamento dos agregados em unidades menores e conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos.

Os valores da relação Ma/Pt na camada de 0,00-0,05m diminuíram significativamente com o tempo, para todos os tratamentos, a valores abaixo do ideal. No entanto, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. A relação ideal entre macroporos e porosidade total é de 0,33. Genro Júnior et al. (2009) observaram em Latossolo Vermelho muito argiloso, sob cultivo convencional, valor de 0,28 para a relação Ma/Pt na camada de 0,00-0,03m, associando este resultado ao manejo do solo adotado.

Analisando os valores de água disponível (AD) na camada superficial (0,00-0,05m), observa-se que esta variável aumentou significativamente com o tempo, embora não houvessem diferenças entre tratamentos (Quadro 2). A AD, assim como a Mi, refletiu o efeito do manejo na desagregação ocorrida nesta camada, visto que a disponibilidade de água está ligada a retenção que ocorre nos microporos. Para Tormena et al. (1998), o conteúdo de água disponível reflete as alterações na estrutura do solo em virtude das alterações do espaço poroso, principalmente com aumento da microporosidade, que segundo Bertol et al. (1998) está relacionada à armazenagem de um volume de água relativamente alto retido à baixa energia e disponível às plantas por um período de tempo relativamente longo após uma chuva.

Na camada de 0,00-0,05m (Quadro 2) observa-se que a variável carbono orgânico (C.O.) foi influenciada significativamente pelo tempo, aumentando seus valores de 2008 para 2009 (Quadro 2). Os maiores teores de C.O. foram encontrados em T3, T4 e T7, possivelmente por conta dos maiores aportes de biomassa apresentados por estas espécies (Quadro 3). Apesar do T2 apresentar maior quantidade de biomassa vegetal, isto não refletiu em maiores teores de carbono orgânico. De acordo com Nunes et al. (2006), a relação C/N e os teores de

lignina apresentados pelas braquiárias podem resultar em lenta mineralização do carbono, com possibilidades de produzir efeitos benéficos a longo prazo.

Quadro 3: Valores médios da biomassa vegetal dos tratamentos cultivados em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Tratamentos	Discriminação	Biomassa Seca (Kg.ha ⁻¹)
T1	Capim vaquero	2146,00
T2	Braquiária brizanta	6087,70
T3	Tanzânia	3248,40
T4	Braquiária humidicola	3051,70
T7	Hermatria	3036,35
T8	Tifton	2216,40

Analisando os resultados obtidos na camada de 0,10-0,15m observa-se, no Quadro 2, que houve efeito do tempo para a Ds, pois seus valores diminuíram significativamente de 2008 para 2009, entretanto, não houve diferenças entre as espécies estudadas.

Como consequência desta redução houve um aumento nos valores de Pt em todos tratamentos, no entanto, somente para T1 e T4 este aumento foi significativo, possivelmente pela maior densidade do sistema radicular das espécies destes tratamentos.

O possível efeito do sistema radicular nesta camada se evidencia também pelo aumento significativo da Ma e consequentemente da relação Ma/Pt. A ação do sistema radicular, mecânica e biológica, dá-se principalmente na agregação, que por sua vez influencia a macroporosidade. Silva & Mielniczuk (1997) afirmam que as gramíneas podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo as ligações entre partículas minerais contribuindo para a formação e estabilidade dos agregados.

A melhor estruturação do solo teve efeito nos valores de água disponível, que aumentaram significativamente com o tempo (Quadro 2). Dalmago et al. (2009), comparando o plantio direto (PD) com o convencional (PC), observaram que houve 60% mais água disponível no PD. Estes autores associaram este resultado a melhorias da estruturação do solo nas primeiras camadas do perfil, pelo efeito das plantas e a adição de matéria orgânica.

Quando se compara os tratamentos utilizados com o solo construído sem plantas de cobertura – SCSP (Quadro 4), na camada de 0,00-0,05 m as variáveis Ds

e Pt mostram diferenças significativas para todos os tratamentos, exceto para o T1. Este efeito deve-se possivelmente ao manejo imposto na camada superficial do solo construído, para a implantação das diferentes espécies somado ao teor de CO apresentado pelos tratamentos. No entanto, algumas espécies se destacaram para algumas variáveis. Para a variável Ds, o T2 – solo construído cultivado com Braquiária brizanta, apresentou maior diferença significativa em relação ao SCSP, ou seja, o menor valor de densidade do solo. Para a variável Pt, o T4 – solo construído cultivado com Braquiária humidicola, apresentou maior diferença significativa, ou seja, uma maior porosidade total. Em relação à Ma e Ma/Pt, nesta mesma camada, o T4 – solo construído cultivado com Braquiária humidicola, apresentou a única diferença significativa em relação ao SCSP, mostrando um maior valor (Quadro 4). Logo, somado ao efeito do manejo inicial dado à área, os resultados apresentados podem estar refletindo a ação do sistema radicular das braquiarias, já que estas tendem a ser abundantes e finas, com potencial para reduzir a compactação do solo (BRANDÃO, 2009). Costa et al. (2000) avaliando a distribuição vertical das raízes de Brachiaria humidicola, em um Planossolo submetido a pastagem por 15 anos, observaram que as raízes finas foram responsáveis por 96% da densidade radicular média na camada de 0,00 - 0,10 m.

Para as variáveis Mi e AD, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas em relação ao SCSP, na camada de 0,00-0,05m (Quadro 4). Para variável C.O., como era de se esperar, houve diferenças entre tratamentos e testemunha, apesar dos valores obtidos serem baixos. No entanto espera-se que no decorrer dos anos o aumento do teor de carbono auxilie de forma mais eficaz na melhoria dos atributos físicos do solo construído. Marcolan & Anghinoni (2006), observaram em um Argissolo Vermelho distrófico típico, sob sistema plantio direto, um período mínimo de quatro anos após o revolvimento, para o retorno dos atributos físicos do solo à condição original, uma vez que eles não se diferenciaram daqueles apresentados pelo sistema plantio direto com 8 e 12 anos.

Analisando a camada de 0,10-0,15 m (Quadro 4), para a variável Ds observa-se que todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas quando comparados com a testemunha (SCSP), exceto o T3. Para a Pt, a maioria das espécies também apresentou este comportamento, exceto o T3 e T8.

Quadro 4: Contraste dos valores médios da Densidade (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Água disponível (AD), Carbono orgânico (C.O.) e Relação macroporosidade e porosidade total (Ma/Pt) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,05m								
	Discriminação	Ds (Mg.m ⁻³)	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	AD (mm)	C.O. (g.kg ⁻¹)	Ma/Pt
T1	Capim vaquero	1,48	45,62	8,13	37,50	5,70	6,08*	0,18
T2	Braquiária brizanta	1,39*	47,36*	8,11	39,24	5,20	6,87*	0,17
T3	Tanzânia	1,43*	46,16*	7,57	38,59	4,01	8,18*	0,16
T4	Braquiária humidicola	1,41*	47,41*	10,0*	37,41	4,24	7,65*	0,21*
T7	Hermatria	1,42*	46,68*	7,91	38,76	5,42	7,72*	0,17
T8	Tifton	1,41*	46,08*	9,19	36,89	3,29	6,75*	0,20
SCSP	Solo Construído Sem Plantas de Cobertura	1,54	41,56	5,74	35,82	4,11	1,76	0,13
Camada de 0,10 - 0,15m								
T1	Capim vaquero	1,56*	43,30*	8,37*	34,94	2,12*	5,44*	0,19*
T2	Braquiária brizanta	1,60*	42,34*	5,34	35,90	2,89*	5,55*	0,12
T3	Tanzânia	1,65	38,17	5,50	32,66	1,67*	5,55*	0,14
T4	Braquiária humidicola	1,57*	41,29*	6,44	34,84	1,97*	5,43*	0,16
T7	Hermatria	1,58*	41,68*	5,10	36,59	2,37*	5,49*	0,12
T8	Tifton	1,60*	39,76	5,74	34,02	1,68*	4,60*	0,14
SCSP	Solo Construído Sem Plantas de Cobertura	1,69	37,78	2,72	37,82	3,97	1,86	0,07

* = indica diferença significativa entre cada tratamento e a testemunha (SCSP), pelo teste de Dunnett a 5%.

Estes resultados indicam que, apesar do pouco tempo de implantação, já há indicação de atuação do sistema radicular na recuperação física do solo construído. Entretanto, nota-se que esta recuperação ainda é lenta, pois ao se comparar a Ma, Ma/Pt entre tratamentos e testemunha (SCSP), apenas o T1 apresenta diferenças significativas.

Ao se observar os valores de Mi, nenhum tratamento apresenta diferenças significativas em relação ao SCSP, mas ao comparar os resultados de AD, todos os tratamentos apresentaram menores valores que o SCSP (Quadro 4). Este comportamento reflete, possivelmente o maior grau de compactação que a testemunha apresenta, e de acordo com Bertol & Santos (1995) o aumento da água disponível pode ser decorrente da compactação provocada pelo tráfego de máquinas pesadas, entretanto a água armazenada pode não condizer com a água efetivamente disponível para as plantas, devido a proporção de poros do solo, já que os de menor diâmetro podem reter a água a tensões superiores à capacidade de absorção pelas plantas (MENTGES, 2010).

3.6 Conclusões

O pouco tempo de condução do experimento impediu que as diferentes plantas de cobertura manifestassem seu pleno potencial na melhoria dos atributos físicos do solo construído estudado.

Com relação à testemunha (solo construído sem plantas de cobertura) os tratamentos estudados contribuíram, principalmente, na melhoria dos atributos densidade, porosidade total e carbono orgânico nas duas camadas estudadas, com destaque para as braquiárias.

3.7 Referências Bibliográficas

- BRANDÃO, E. D. **Efeito do sistema radicular da *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados de um Nitossolo vermelho**. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- BERTOL, I.; SANTOS, J.C.P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 30, p. 263-267, 1995.
- BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; MACHADO, L.A.Z.; MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 779-786, 1998.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1997.
- CAMPOS, B. C. **Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de cobertura de inverno e manejo do solo e culturas**. 1993. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14 n. 1, p. 99-105, 1990.
- COSTA, F.; PACIOMIK, S.; ABREU, J.B.R. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Pastures Tropicales**, v. 24, n. 3, 2000.
- DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural**. 2009. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; KRÜGER, C.A.M.B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.855-864, 2009.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), **Manual de métodos de análise de solos**, 2 ed, Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- FERRAZ, R.P.D.; DONAGEMMA, G.K.; ROSSI, C.Q.; POLIDORO, J.C. Fundamentos de morfologia. pedologia. física e química do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada. Disponível em: <

http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008> Acesso em 12 de jul. 2009.

FIDALSKI, J. Física do solo. Disponível em: <
<http://www.iapar.br/arquivos/File/fisica.pdf>> Acesso em 10 nov. 2010.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v.39, p.65-73, 2009.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.163-170, 2006.

MENTGES, M. I. **Implicações do uso do nas propriedades físicohídricas e mecânicas de um argissolo vermelho amarelo e de um gleissolo háplico**. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.A.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.943-948, 2006.

NUNES, M. C. D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. Pelotas-RS, 130f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2002.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T.A; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10 n. 2. Campina Grande. 2006.

SANTOS, L.N.S.; PASSOS, R.R.; CARDOSO, L.C.M.; SANTOS, L.; GARCIA, G.O.; CECÍLIO, R.A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em ALEGRE (ES). **Engenharia Ambiental**. v.6 n.2, p.140-149, Espírito Santo do Pinhal. 2009.

SILVA, R.V.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**. v. 30 n 5, p. 795-801. Santa Maria. 2000.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 158f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SERVADIO, P.; MARSILIA, A.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S.; PAGLIAI, M. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil and Tillage Research**. v. 84 n.1. 2005.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, p.113-117, 1997.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem. preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p. 301-309. 1998.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995, 174 p.

4 AGREGAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTARS

AGREGAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTA-RS

4.1 Resumo – O agregado se forma mediante a aproximação das partículas do solo, seja através da flocculação das argilas ou por ação de forças de compressão, originadas na atuação de raízes, variação da umidade do solo e compactação por implementos agrícolas. Um solo apresenta estabilidade estrutural quando mantém o arranjo de sólidos e espaços vazios, mesmo expostos a diferentes forças. Os agregados de maior diâmetro tendem a apresentar boa correlação com o carbono orgânico do solo, pois geralmente, à medida que este teor diminui, decresce a estabilidade dos agregados, indicando que os compostos orgânicos podem ter atuação na formação e estabilização desses agregados. A principal alteração dos atributos físicos do solo construído advém da remoção das camadas do solo original e deposição nas áreas de regeneração. O excessivo tráfego de máquinas durante a construção do solo acarreta na compactação da área, dificultando a infiltração da água ao longo do perfil, facilitando a erosão hídrica e inibindo a revegetação da área. O objetivo do estudo foi analisar a influência de diferentes plantas de cobertura na agregação de um solo construído, na área de mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração, em Candiota/RS. Os tratamentos avaliados foram: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2-Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3-Tanzânia (*Panicum maximum*), T4-Braquiaria humidicola (*Brachiaria humidicola*), T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Como testemunha utilizou-se o solo construído sem plantas de cobertura, no intuito de observar a ação das plantas na recuperação dos atributos do solo construído. Foram coletadas amostras deformadas em julho/2008 e outubro/2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m e determinados o DMP, porcentagem de macroagregados e microagregados e carbono orgânico. Na camada superficial e subsuperficial, o diâmetro médio ponderado e a elevada porcentagem de macroagregados se devem mais a compressão do solo construído do que a ação biológica das plantas de cobertura estudadas. Quando os tratamentos foram comparados com a testemunha, observou-se que em ambas as camadas, todos os tratamentos apresentaram melhores resultados, com destaque para as braquiarias que apresentaram os maiores valores de DMP e porcentagem de macroagregados.

Palavras Chaves: agregado; compactação; plantas de cobertura.

AGGREGATION OF A CONSTRUCTED SOIL GROWN WITH DIFFERENT PLANT SPECIES IN A COAL MINING AREA IN THE MUNICIPALITY OF CANDIOTA-RS

4.2 Abstract – The aggregate is formed by approximation of the soil particles through flocculation of clay or by action of compressive forces originated during roots activity, variation of soil moisture, and compaction by farm equipment. Soil presents structural stability when it holds arrangement of solids and empty spaces, even exposed to different forces. Aggregates of largest diameter tend to have good correlation with soil organic carbon, because usually, as this level decreases, the stability of the aggregates also decreases, indicating that organic compounds may have a role in the formation and stabilization of those aggregates. The main changes of a constructed soil physical attributes comes from the removal of original soil layers and deposition in regeneration areas. The excessive machinery traffic during soil construction causes compression in the area and prevents water infiltration along the profile facilitating water erosion and inhibiting the revegetation of the area. The objective of the study was to analyze the influence of different cover crops in a constructed soil aggregation, in the coal mining site of Companhia Riograndense de Mineração located in the municipality of Candiota, RS. The studied treatments were: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2-Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximun*), T4-Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Constructed soil without cover crops was used as a control – SCSP, to observe the action of plants on recovering of constructed soil attributes. For this study deformed samples were collected in July, 2008 and October, 2009, in layers of 0.00-0.05 and 0.10-0.15m deep, DMP, micro-aggregates and macro-aggregates percentage, and organic carbon were determined. In the superficial and sub-superficial layers the weighted mean diameter and the high percentage of micro-aggregates owes more to constructed soil compression than to biological action of the studied cover plants. When treatments were compared to control it was observed that in both layers all treatments showed better results, especially to *Brachiaria*, that presented greater values of DMP and macro-aggregates percentage.

Key words: aggregate; compaction; cover crops

4.3 Introdução

Uma área drasticamente alterada pode ser definida como àquela superfície terrestre onde a vegetação e a comunidade animal foram eliminados e a maior parte dos horizontes do solo foram perdidos ou alterados. A mineração de carvão a céu aberto está entre as atividades antrópicas capazes de gerar este tipo de alteração (GONZALEZ, 2006) pois envolve a retirada de horizontes do solo durante a extração do carvão, gerando modificações físico-químicas importantes.

Com a atual necessidade de aumento na produção de energia e o esgotamento do potencial hídrico, a dimensão das reservas de carvão no Brasil pode proporcionar um incremento na produção de energia para atender à crescente demanda (GAVRONSKI, 2007). No entanto, a intensificação da exploração implica em um impacto ambiental de maiores proporções do que os observados atualmente, com um correspondente crescimento dos impactos negativos nos ambientes terrestres e aquáticos destas áreas, influenciando assim, a qualidade de vida da região.

A mineração de qualquer mineral, pode ser desenvolvida a céu aberto ou subterrânea, dependendo de aspectos técnicos e, fundamentalmente, econômicos (TONEL & TAFFAREL, 2004). Em Candiota-RS, na maior jazida de carvão mineral do Brasil, a mineração se desenvolve a céu aberto, pois o carvão localiza-se a 10-25m da superfície do solo.

A mineração a céu aberto e a posterior recomposição topográfica da área, aliados ao uso e tráfego de equipamentos de grande porte, resultam em desestruturação, compactação e mistura do solo, subsolo, rochas e rejeitos de carvão, originando os solos construídos. Os atributos físicos destes solos tornam-se profundamente modificados em relação aos seus aspectos originais, acarretando em problemas hídricos, químicos e biológicos de difícil recuperação.

A fragilidade física do solo leva a alterações no espaço poroso, com redução da infiltração, dificuldade de revegetação, aumento do escoamento superficial e grandes perdas de solo por erosão, comprometendo assim a qualidade do solo e das águas.

Um solo apresenta estabilidade estrutural quando mantém o arranjo de sólidos e espaços vazios, mesmo expostos a diferentes forças. Segundo Wohlenberg et al. (2004) a estabilidade e a distribuição do tamanho de agregados é

maior em sistemas de cultivo que aportam material orgânico e cobrem o solo durante todo o ano.

O uso de plantas de cobertura em programas de recuperação de áreas degradadas torna-se primordial, pois a adição de fitomassa ao solo proporciona redução da erosão e aumento gradativo da matéria orgânica do solo melhorando a infiltração e o armazenamento da água da chuva e promovendo o incremento da atividade biológica, criando condições propícias para o estabelecimento de espécies mais exigentes (CAPECHE et al. 2008).

No entanto, a influência das culturas sobre a agregação de solos, além da deposição de fitomassa, também se refere à ação da extensa rede de raízes no solo. A pressão exercida pelo crescimento radicular pode levar a formação, estabilidade e quebra dos agregados (TISDALL E OADES, 1982).

Para Volk & Cogo (2008) as plantas se diferenciam quanto à influência de suas raízes na melhoria da estrutura do solo, com destaque para as gramíneas devido a rusticidade e rápido desenvolvimento inicial. De acordo com Silva & Mielniczuk (1997) as gramíneas se destacam como plantas recuperadoras dos atributos físicos, pois sua alta densidade de raízes promove a aproximação das partículas do solo pela constante absorção de água no perfil, bem como liberam exsudatos que estimulam a microbiota do solo, auxiliando na formação e estabilização de agregados.

Segundo Salton et al. (2008) o aporte de carbono ao solo, via raízes, é fundamental para formação de macroagregados. No entanto, os autores destacam que estes também podem ser formados por processos físicos, através do uso intensivo de máquinas e equipamentos, gerando macroagregados não estáveis. Na verdade, o que confere maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes e crescimento e morte das raízes.

De acordo com Silva et al. (2000) quanto maior for o agregado, maior será o diâmetro médio ponderado (DMP) e os espaços porosos entre eles. No entanto, Bertol et al. (2004) mencionam que um agregado de elevado DMP nem sempre apresenta adequada distribuição de tamanho de poros no seu interior. Isto pode ocorrer se o agregado teve suas partículas de solo aproximadas por compressão do solo.

Neste contexto, espera-se que diferentes plantas de cobertura atuem de forma diferenciada na estruturação de um solo construído e que, ao longo do tempo, haja melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Logo, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência de diferentes plantas de cobertura na agregação de um solo construído em uma área de mineração de carvão em Candiota – RS, ao longo do tempo.

4.4 Material e Métodos

A área de estudo se localiza na mina de carvão pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM), no município de Candiota/RS, situado a 140 Km de Pelotas.

O experimento foi instalado entre setembro/outubro de 2007 em delineamento de blocos ao acaso com parcelas de 20m² (5m x 4m), com quatro repetições. Os tratamentos eram compostos originalmente de 7 espécies de cobertura, solteiras ou consorciadas com *Hematria* e Tifton. Entretanto, 2 delas não se estabeleceram (Capim de Rhodes-T5 e Grama batatais-T6), bem como os consórcios, de forma que foram avaliados apenas 6 tratamentos: T1- Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4 - Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hematria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon*).

Para efeito de comparação utilizou-se como testemunha o solo construído sem plantas de cobertura – SCSP, localizado na área adjacente ao experimento, no intuito de avaliar melhor a ação das plantas na recuperação do solo.

O solo construído da área experimental caracteriza-se pelo predomínio do horizonte B de um Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). Os teores médios de areia, silte e argila apresentados pelo solo construído, na camada de 0,00-0,15 m (Quadro 5), mostram o dobro de argila em relação ao horizonte A do solo original, definindo sua textura como argilosa.

Para este estudo foram coletadas amostras deformadas em julho/2008 (4 repetições por tratamento) e outubro/2009 (4 repetições por tratamento), nas camadas de 0,00 a 0,05 m e 0,10 a 0,15m, no intuito de avaliar a influência das diferentes plantas de cobertura na agregação do solo construído, ao longo do tempo.

Quadro 5: Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,15 m				
Tratamentos	Discriminação	Areia	Silte	Argila
		g.kg ⁻¹		
T1	Capim vaquero	306,5	210,8	482,7
T2	Braquiária brizanta	328,8	208,2	463,0
T3	Tanzânia	317,3	202,6	480,1
T4	Braquiária humicicola	315,9	210,8	473,3
T7	Hermatria	311,2	213,6	475,2
T8	Tifton	310,6	209,9	479,5
Média		315,0	209,3	475,6
Solo Original*		461,4	264,0	274,7

*Fonte: Adaptado de Nunes (2002).

A distribuição das partículas do solo por tamanho e a argila dispersa em água foram determinadas seguindo o método da pipeta, descrito por Gee & Bauder (1986), onde o correspondente a 10 g de solo seco foram colocadas em um vidro de 1000 mL, correspondente a um vidro de café solúvel. Adicionou-se 250 mL de água destilada e 10 mL do dispersante hidróxido de sódio de 1 N, o qual foi submetido a agitação lenta, por 16 horas em um agitador do tipo vai-vém. Após foram realizados os demais procedimentos de análise.

Para as determinações da distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e do diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) foram utilizadas amostras passadas na peneira de malha de 9,52mm, com base no peneiramento úmido, seguindo o princípio do método descrito por Kemper & Rosenau (1986) e adaptado por Palmeira et al. (1999), que utiliza o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936). Os intervalos das classes dos agregados foram: C1: 9,52-4,76mm; C2: 4,76-2,0mm; C3: 2,00-1,00mm; C4: 1,00-0,25mm; C5: 0,25-0,105mm e C6: <0,105mm. A partir dessas classes, os agregados foram separados em macroagregados, ou seja agregados maiores que 0,25mm e microagregados, agregados menores que 0,25mm de acordo com Tisdall & Oades (1982). Foram utilizadas 3 repetições para cada amostra de solo.

O conteúdo de carbono foi determinado pelo método de Walkley-Black, segundo Tedesco et al. (1995), em amostras passadas na peneira de 2mm com 3 repetições.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software SAS v. 9. No intuito de avaliar o efeito do tempo e dos tratamentos para as variáveis diâmetro médio ponderado (DMP), carbono orgânico (C.O.), macroagregados e

microagregados, foi aplicada a análise de medidas repetidas (*proc mixed*). Para verificar diferenças entre a testemunha (SCSP) e os tratamentos no ano de 2009, foi utilizado o teste de Dunnett (5%), para todos os atributos citados anteriormente.

4.5 Resultados e Discussão

No Quadro 6 pode se observar que em ambas as camadas estudadas (0,00-0,05 e 0,10-0,15m), para o ano de 2009, a porcentagem de macroagregados é relativamente elevada em todos os tratamentos (em torno de 80%). Estes altos valores podem estar relacionados mais ao efeito do trânsito de máquinas pesadas por ocasião da construção do solo formando agregados estáveis por compressão, do que pela própria ação das plantas de cobertura utilizadas no experimento.

A mineração de carvão a céu aberto e a posterior recomposição da área minerada causa a desestruturação do solo original com destruição total dos agregados, com a conseqüente mistura de horizontes do solo. Aliado à remoção do solo original, o tráfego intenso de equipamentos de grande porte para construção do solo acabam formando camadas compactadas em formato laminar, com orientação das argilas no sentido horizontal.

Segundo D'Agostini (1992) sob pressão compressiva ocorre orientação das partículas nos agregados, tornando-os mais densos e coesos, e como conseqüência, mais resistentes à compressão. Em solos agrícolas sob intenso manejo convencional, Drees et al. (1994) observou macroagregados com poucos poros visíveis e com formas mais arestadas, resultando em agregados com aspecto maciço, com predominância de microporos, o que geralmente reflete a ação de forças compressivas.

Em áreas agrícolas, Carpenedo & Mielniczuk (1990) observaram em sistema plantio direto um aumento do DMP dos agregados estáveis em água na camada de 0,00-0,10m, porém a avaliação da estrutura interna dos agregados também mostrou que eles foram formados por forças de compressão e não por ação biológica das raízes e microrganismos. Os autores salientam que o efeito compressivo do tráfego de máquinas tem relevante importância no DMP dos agregados nessa camada.

Quadro 6: Valores médios do Diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP), Teor de matéria orgânica (MO), Macroagregados e Microagregados, Argila dispersa em água (ADA) para 6 tratamentos nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m de um solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,05m									
Tratamentos	Macroagregados (%)		Microagregados (%)		DMP (mm)		MO (%)		ADA (%)
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	
T1	83,33 A b	70,16 B b	16,67 B ab	29,85 A a	2,10 A ab	1,43 B b	0,77 B b	1,05 A b	26,99
T2	86,58 A a	75,26 B a	13,43 B b	24,74 A ab	2,36 A a	2,00 A a	0,74 B b	1,18 A b	22,61
T3	81,74 A b	70,82 B b	18,27 B a	29,19 A a	1,51 A b	1,44 A b	1,07 B a	1,41 A a	25,19
T4	80,40 A b	77,08 B a	19,60 B a	22,93 A b	1,69 A b	1,70 A ab	1,12 B a	1,32 A a	22,75
T7	82,83 A b	75,51 B a	17,77 B ab	24,49 A ab	1,50 A b	1,86 A ab	1,05 B a	1,33 A a	22,91
T8	81,43 A ab	72,16 B ab	18,57 B a	27,85 A a	1,45 A b	1,53 A ab	0,73 B b	1,16 A b	24,80
Camada de 0,10 - 0,15m									
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2009
T1	86,61 A a	81,48 A a	13,39 B a	18,52 A a	2,37 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,85 ab	0,94 ab	24,95
T2	83,80 A a	82,18 A a	16,20 A a	17,82 A a	2,29 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,13 a	0,95 a	25,22
T3	88,52 A a	84,35 A a	11,48 B a	15,64 A a	2,06 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,76 b	0,95 a	18,33
T4	87,98 A a	82,08 A a	12,02 B a	17,93 A a	2,00 ^{ns}	2,38 ^{ns}	0,93 ab	0,93 ab	15,49
T7	85,90 A a	85,92 A a	14,78 A a	14,08 A a	1,78 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,94 ab	0,94 ab	27,94
T8	88,01 A a	83,95 A a	11,99 B a	16,05 A a	2,06 ^{ns}	1,85 ^{ns}	0,70 b	0,79 b	22,41

T1 – Capim vaquero; T2 – Braquiária brizanta ; T3 – Tanzânia ; T4 – Braquiária humidicola ; T7 – Hermatria ; T8 – Tifton; ns = não apresentou diferença significativa; Letras maiúsculas, iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No Quadro 6, observa-se ainda que após a implantação das diferentes coberturas vegetais, houve uma diminuição significativa na porcentagem de macroagregados para todos os tratamentos e um aumento significativo da porcentagem de microagregados, do ano de 2008 para 2009, na camada de 0,00-0,05m. Isto pode estar ligado ao manejo ao qual a área experimental foi submetida para implantação das plantas de cobertura. Logo, as ações como as freqüentes capinas realizadas na área tentando estabelecer um novo experimento, possivelmente, ocasionaram a quebra dos agregados maiores em agregados de menor tamanho.

Mendes et al. (2003) mencionam que o aumento na quantidade de microagregados no solo sob plantio convencional é consequência da quebra dos macroagregados, em decorrência dos constantes cultivos mecânicos. Os autores observaram em Latossolo Vermelho argiloso, na profundidade de 0,00-0,05m, 20 e 24% de microagregados em áreas sob plantio direto e plantio convencional, respectivamente. Já na área sob vegetação nativa, constataram que 13% do solo era constituído por microagregados.

Entre os tratamentos, os maiores valores de macroagregados foram apresentados pelo T2, T4 e T7 na camada de 0,00-0,05m, no ano de 2009 (Quadro 6). Possivelmente, por apresentar um maior número de raízes finas, estas plantas de cobertura atuaram de forma mais eficiente na manutenção dos agregados formados por compressão. Nesta mesma camada, o menor valor de microagregados foi apresentado pelo T4, não diferindo estatisticamente do T2 e T7.

Gale et al. (2000) em um solo agrícola sob plantio direto, concluíram que os resíduos derivados das raízes tiveram um importante papel na estabilização dos macroagregados, enfatizando o importante potencial das raízes de plantas e exsudados radiculares na formação e estabilização de agregados.

Quando analisado o diâmetro médio ponderado (DMP) dos tratamentos na camada de 0,00-0,05m, observou-se que somente o T1 – solo construído cultivado com Capim vaquero, apresentou efeito significativo ao longo tempo, diminuindo o valor de DMP do ano de 2008 para o ano de 2009. Provavelmente este resultado deve-se a menor expressividade inicial do sistema radicular desta espécie.

De acordo com Tisdall & Oades (1982), as raízes das plantas são os agentes efetivos na estabilização de agregados por envolverem fisicamente os microagregados do solo, formando e estabilizando os macroagregados.

A menor ação do tratamento T1 na agregação do solo construído também pode ser observado através dos maiores valores de argila dispersa em água (ADA) e menores teores de matéria orgânica (MO) apresentados (Quadro 6). De acordo com Nascimento et al. (2005), o menor teor de MO condiciona maiores teores de argila dispersa em água e consequentemente menor agregação do solo.

Entre os tratamentos, o DMP do T2 – solo construído cultivado com Braquiária brizanta foi significativamente superior na camada de 0,00-0,05m, tanto no ano de 2008 como 2009.

Na camada de 0,10-0,15m observa-se que os valores de macroagregados não apresentaram efeito do tempo (Quadro 6). Entretanto, nota-se que a porcentagem de microagregados aumentou com o tempo, para a maioria dos tratamentos avaliados. Como não houve diminuição significativa na porcentagem de macroagregados para os tratamentos nesta camada, este aumento da porcentagem dos agregados de menor tamanho ($< 0,250\text{mm}$) possivelmente está ligado a ação biológica dos exsudatos das raízes.

Silva (1993) menciona que o sistema radicular pode atuar como agente de agregação, através da liberação de exsudatos orgânicos os quais funcionam como ponto de agregação e, ainda através da rede formada pelas raízes, que contribuem para a ligação das partículas do solo. De acordo com Beutler et al. (2005), a ação física do sistema radicular e a exsudação de polissacarídeos e de outros compostos orgânicos, agrupam partículas individuais de solo como pequenos microagregados e vão compondo os macroagregados.

A porcentagem de MO foi influenciada significativamente pelo tempo, aumentando seus valores de 2008 para 2009, na camada de 0,00-0,05m (Quadro 6). Os maiores teores foram encontrados nos tratamentos T3, T4 e T7, possivelmente devido aos maiores aportes de fitomassa apresentados por estas espécies. Na camada de 0,10-0,15m não houve diferenças significativas do tempo para esta variável, no entanto o T2 mostrou os melhores resultados em ambos os anos.

De acordo com Paladini & Mielniczuk (1991), os agregados de maior diâmetro tendem a apresentar boa correlação com a matéria orgânica do solo. À medida que o conteúdo de matéria orgânica diminui, decresce a estabilidade dos agregados, indicando que os compostos orgânicos podem ter atuação na formação e estabilização desses agregados. No entanto, Tisdall & Oades (1982) consideram que, apesar de existirem muitas correlações entre o teor de matéria orgânica do solo

e a estabilidade de agregados em água, este nem sempre tem efeito agregante pois apenas frações específicas da matéria orgânica são responsáveis pela estabilidade de agregados.

Na Figura 10, observa-se pelos valores de r que houve baixa correlação entre o DMP e o teor de MO, considerando todos os tratamentos, em ambas camadas do solo construído. Portanto, o teor de MO não foi um fator determinante, até o momento, na agregação do solo construído, reforçando a possível formação de agregados por compressão. Isto pode estar relacionado ao pouco tempo de condução do experimento.

Cruz et al. (2003) avaliando a agregação de um Argissolo vermelho sob plantio direto, encontrou resultados em que o maior teor de MO apresentado após 3 anos de condução do sistema, não refletiu em diferenças significativas no diâmetro médio de agregados. Os autores remetem este fato devido ao pouco tempo de implantação do sistema plantio direto.

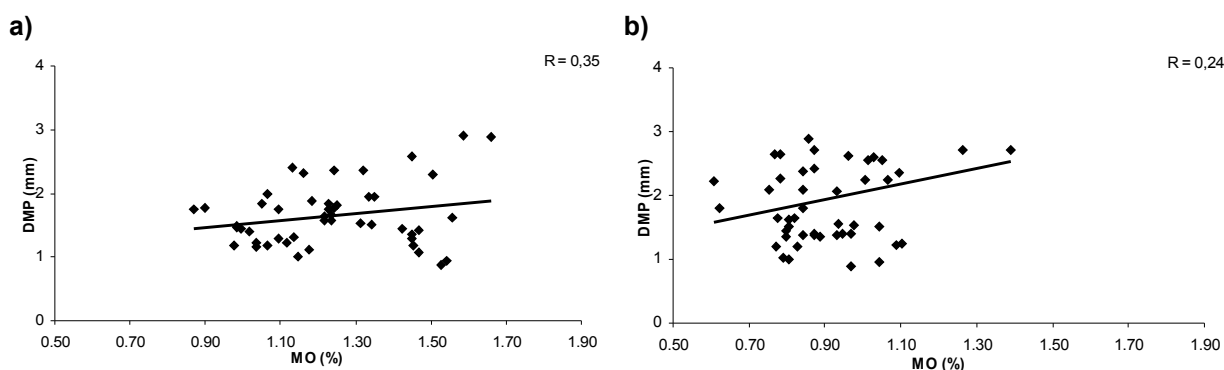


Figura 10: Correlação entre diâmetro médio ponderado e o matéria orgânica do solo construído cultivado com diferentes plantas de cobertura, para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 m (a) e 0,10-0,15m (b).

Quando os tratamentos são comparados com o solo construído sem plantas de cobertura (SCSP), na camada de 0,00-0,05m, observa-se que todos os tratamentos apresentaram porcentagem de macroagregados significativamente superiores em relação à testemunha, com destaque para o T2, T4 e T7 - solo construído cultivado com Braquiária brizanta, Braquiária humidicola e Hermatria, respectivamente (Quadro 7). No que diz respeito a porcentagem de microagregados, todos os tratamentos foram significativamente menores em relação a testemunha, nesta mesma camada.

Quadro 7 - Contraste dos valores médios da Porcentagem de macroagregados e microagregados, Diâmetro médio ponderado (DMP), Teor de matéria orgânica (MO) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,05m				
Tratamentos	Macroagregados (%)	Microagregados (%)	DMP (mm)	MO (%)
T1	70,16*	29,85*	1,43*	1,05*
T2	75,26*	24,74*	2,00*	1,18*
T3	70,82*	29,19*	1,44*	1,41*
T4	77,08*	22,93*	1,70*	1,32*
T7	75,51*	24,49*	1,86*	1,33*
T8	72,16*	27,85*	1,53*	1,16*
SCSP	65,50	34,50	0,90	0,30
Camada de 0,10 - 0,15m				
T1	81,48*	18,52*	1,71*	0,94*
T2	82,18*	17,82*	2,00*	0,95*
T3	84,35*	15,64*	1,76*	0,95*
T4	82,08*	17,93*	2,38*	0,93*
T7	85,92*	14,08*	2,04*	0,94*
T8	83,95*	16,05*	1,85*	0,79*
SCSP	79,16	20,84	1,54	0,32

T1 – Capim vaquero; T2 – Braquiária brizanta; T3 – Tanzânia; T4 – B. humidicola; T7 – Hermatria; T8 – Tifton;
 * = indica diferença significativa entre cada tratamento e a testemunha (SCSP), pelo teste de Dunnett a 5%.

Com relação ao DMP, na camada de 0,00-0,05m também se observa que todos os tratamentos apresentaram diferença significativa em relação ao SCSP, com destaque para o T2 (Quadro 7), refletindo, embora incipiente, o efeito benéfico das diferentes coberturas na agregação do solo construído.

Neto et al. (2008) avaliando a recuperação de atributos físicos de um solo construído em Santa Catarina, observaram que a semeadura de Braquiária brizanta, nas áreas corrigidas com calcário e adubadas com cama de aviário, melhoraram os valores de DMP (5mm) 4 anos após o início do manejo da área. Os autores mencionam que o aumento da estabilidade de agregados pode estar associado ao sistema radicular fasciculado e à deposição dos resíduos vegetais da parte aérea da braquiária.

Rodrigues et al. (2007) avaliando a recuperação de uma “área de empréstimo”, de uma usina hidrelétrica em Ilha Solteira, 30 anos após a remoção da vegetação e das camadas de solo, observaram que os melhores resultados de DMP,

na profundidade de 0,00-0,10m foram encontrados na área ocupada espontaneamente com Braquiária brizanta (2,70mm), se sobressaindo às áreas revegetadas com Pinus e vegetação nativa do cerrado.

Na camada subsuperficial (0,10-0,15m) a porcentagem de macroagregados de todos os tratamentos foram significativamente superiores em relação à testemunha (SCSP), com destaque para o T7. No que diz respeito à porcentagem de microagregados, todos os tratamentos foram significativamente menores em relação a testemunha, com destaque para o T7- solo construído cultivado com Hermatria.

Ainda na mesma camada, quando a variável DMP de cada tratamento é comparada com o solo construído sem plantas de cobertura - SCSP, todos os tratamentos apresentam-se significativamente superiores, com destaque para o T4 – solo construído cultivado com Braquiária humidicola, seguido do T2 e T7 – solo construído cultivado com Braquiária brizanta e Hermatria, respectivamente (Quadro 7).

Nota-se que os valores de DMP da camada subsuperficial são maiores que os valores apresentados na camada superficial (Quadro 7). Gonçalves (2008) também se deparou com este resultado, justificando este comportamento à própria construção do solo, onde os agregados formados por compressão apresentam maior suscetibilidade às intempéries climáticas na camada superficial do que na subsuperficial.

No entanto, a possível ação das plantas se faz observar quando compara-se os diferentes tratamentos com o solo construído sem plantas de cobertura - SCSP, verificando que todos os tratamentos apresentaram maior porcentagem de macroagregados e maior DMP que a testemunha (SCSP). Portanto, os dados obtidos até o momento indicam que o efeito das plantas de cobertura sobre a agregação do solo construído exigirá maior tempo para a formação de agregados estáveis oriundos da ação biológica. Não se descarta a possibilidade de que a ação da própria chuva e o crescimento e o desenvolvimento das raízes das espécies estudadas estejam causando a ruptura da massa coesa, para a seguir, reagregar novamente o solo, através da exudação radicular, do teor de matéria orgânica e incremento da vida microbiana do solo. De acordo com Tisdall & Oades (1982), as raízes podem penetrar em agregados relativamente grandes, causando sua separação.

Para a variável MO, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas quando comparados à testemunha (Quadro 7), apesar dos teores apresentarem-se baixos (menores que 2,5%), conforme a CQFS (2004).

De acordo com Campos et al. (1999) a continua deposição de fitomassa, além de acarretar maior aporte de carbono, atua como isolante entre o solo e a atmosfera. Solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação.

Marcolan & Anghinoni (2006) observaram em um Argissolo Vermelho distrófico típico sob sistema plantio direto, um período mínimo de quatro anos após o revolvimento para o retorno dos atributos físicos do solo à condição original, uma vez que eles não se diferenciaram do sistema plantio direto de 8 e 12 anos.

Logo, espera-se que no decorrer dos anos o aumento da fitomassa das diferentes espécies vegetais sobre e sob o solo, e consequentemente do teor de carbono, auxilie de forma mais eficaz na melhoria dos atributos físicos do solo construído.

4.6 Conclusões

As braquiárias e a *Hermatria*, até o momento, estão atuando de forma mais eficiente na manutenção dos agregados na superfície do solo construído do que as outras plantas de cobertura.

Quando os tratamentos foram comparados com a testemunha, observou-se que em ambas as camadas, todos os tratamentos apresentaram melhores resultados, com destaque para as braquiárias e a *Hermatria* que apresentaram os maiores valores de DMP.

4.7 Referências Bibliográficas

- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Scientiarum Agronomy Maringá**. v.27 n.2, p. 193-198. 2005.
- BORTOLOZZO, A.R.; SANS, L.M.A. Selamento superficial e seus efeitos na taxa de infiltração: uma revisão. **Revista FactuCiência**, v.1, p.32-42. 2001.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.383-391. 1999.
- CAPECHE, C.L.; MACEDO, J.R.; MELO, A.S. **Estratégias de recuperação de áreas degradadas**. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008> Acesso em 12 de jul. 2009.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos. submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.14 n.1, p.99-105. 1990
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. 2004. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**; SBRS-NRS: Brasil, 10 ed., Porto Alegre, 400p.
- CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1105-1112. 2003.
- D'AGOSTINI, L.R. **Variações temporais da coesividade entre agregados de solo**. 1992. 82p. Tese Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DREES, L.R.; KARATHANASIS, A.D.; WILDING, L.P.; BLEVINS, R.L. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society America Journal**, v.58, n.3, p.508-517. 1994.
- GALE, W.J.; CAMBRARDELLA, A.C. & BAILEY, T.B. Surface Residue and Rootderived Carbon in Stable and Unstable Aggregates. **Soil Science Society American Journal**, v. 64, p. 196-201, 2000.
- GEE, G.W. & OR, D. Particle-size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p.255-293
- GONÇALVES, F. C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

GONZÁLEZ, A.J.C. **Caracterización goeambiental de lugares alterados por minería de carbón en la provincia de León (España)**. Boletín Geológico y Minero. 117 (2): 317-300. Madrid. 2006.

GRAVONSKI, J.D. **Carvão mineral e as energias renováveis no Brasil**. 291f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of Soil Analysis**. 2.ed. Madison. Wisconsin USA: American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. p.425-441. 1986.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.163-170, 2006.

MENDES, I.C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27 n. 3, p. 327-336. 2003.

MENDES, C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S. ; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 435-443. 2003.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 825-831. 2005.

NETO, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; MAFRA, A.L. MEDEIROS, J.C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez. adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.32 n.4. 2008.

NUNES, M.C.D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. Pelotas-RS, 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15, p.135-140. 1991.

PALMEIRA, P. R. T., PAULETTO, E. A., TEIXEIRA, C. F. A., GOMES, A. da S., SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23. p. 189-195. 1999.

PORTUGAL, A.F. **Resiliência da estrutura em argissolo sob diferentes usos. na zona da mata de Minas Gerais**. 2005. 102f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa.

RODRIGUES, G.B.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11 n 1. 2007.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32 n 1. 2008.

SHIRAISHI, F.A.; BARBOSA, V.G.; SANTOS, L.V.; RAGASSI, C.F.; FAVARIN, J.L. **Distribuição do sistema radicular das gramíneas *Panicum maximum* cv. Tanzânia. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e Milho (*Zea mays* L.) em preparo profundo de solo.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.ESALQ/USP.Piracicaba/SP. 2000.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.113-117. 1997.

SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola.** 1993. 126f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Europe Journal Soil Science**. v. 33, p. 141-163. 1982.

TONEL, G. & TAFFAREL, S.R. Processamento do xisto. Disponível em: <http://www.oocities.org/br/giovanitonel/chemical_eng_files/process_xisto> Acesso em 16 de fevereiro de 2011.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M. ; REINERT,D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28 n. 5. 2004.

VOLK, L.B.S ; COGO, N.P.R. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 1713-1722. 2008.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v. 28, p. 337-351. 1936.

**5 PRESSÃO DE PRÉ-CONSOLIDAÇÃO E SUSCETIBILIDADE À
COMPACTAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE
CARVÃO EM CANDIOTA-RS, APÓS CULTIVO COM DIFERENTES ESPÉCIES
VEGETAIS**

PRESSÃO DE PRÉ-CONSOLIDAÇÃO E SUSCETIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CANDIOTA-RS, APÓS CULTIVO COM DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS

5.1 Resumo – A compactação altera as propriedades físicas do solo, aumentando a densidade do solo em detrimento da porosidade total, principalmente os poros de maior diâmetro. A matéria orgânica e a argila podem auxiliar na capacidade do solo em resistir a estresses mecânicos, pois atuam como pontes de transferência de energia entre as partículas, aumentando a resistência da estrutura à fricção. A mineração de carvão é considerada uma atividade antrópica de grande impacto no ambiente, já que envolve excessivo tráfego de máquinas para remoção de grandes volumes de solo e rochas, tanto para extração do carvão como para a recomposição topográfica da área. A pressão de pré-consolidação é um parâmetro mecânico do solo que indica a capacidade de suporte de carga do solo, sendo influenciada pela umidade, textura, teor de carbono orgânico e o estado de compactação inicial do solo. O índice de compressão indica a suscetibilidade do solo à compactação. O estudo analisou a influência de diferentes plantas de cobertura na pressão de pré-consolidação e índice de compressão de um solo construído na área de mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração, em Candiota/RS. Os tratamentos avaliados foram: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2-Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3-Tanzânia (*Panicum maximum*), T4-Braquiária humidícola (*Brachiaria humidicola*); T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactylon*). Como testemunha utilizou-se o solo construído sem plantas de cobertura, no intuito de observar a ação das plantas na recuperação dos atributos do solo construído. Foram coletadas amostras preservadas em julho/2008 e outubro/2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m e determinados a pressão de pré-consolidação e o índice de compressão. Devido ao pouco tempo de implantação das espécies vegetais e ao elevado grau de compactação apresentado, os parâmetros mecânicos não mostraram sensibilidade para inferir sobre a recuperação dos atributos físicos do solo construído.

Palavras Chaves: compactação, carbono orgânico, plantas de cobertura

PRECONSOLIDATION PRESSURE AND SUSCETIBILITY TO A CONSTRUCTED SOIL COMPACTION IN COAL MINING AREA AFTER DIFFERENT PLANT SPECIES CULTIVATION

5.2 Abstract - Compaction changes soil physical properties, increasing its density to the detriment of total porosity, mainly pores with largest diameter. Organic matter and clay may assist in soil ability to resist mechanical stresses, because they act as bridges to transfer energy between particles increasing the resistance of the structures to friction. Coal mining is considered an anthropic activity of great impact to environment, since it involves an excessive traffic of machines, both in extraction of coal as in topographic reconstruction of the area. Preconsolidation pressure is considered a mechanical parameter of soil which indicates soil bearing capacity, and is influenced by humidity, texture, organic carbon content, and initial state of soil compaction. Compression index indicates the susceptibility of soil to compaction. The study analyzed the influence of different cover crops on preconsolidaton pressure and compression index of a constructed soil in the coal mining area of Companhia Riograndense de Mineração, located in the municipality of Candiota, RS. The studied treatments were: T1-Capim vaquero (*Cynodon dactilon*), T2-Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximun*), T4-Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7-Hermatria (*Hemarthria altissima*), T8-Grama Tifton (*Cynodon dactilon*). Constructed soil without cover crops was used as a control to observe the action of plants on recovery of constructed soil attributes. Preserved samples were collected in July, 2008 and October, 2009, in layers of 0.00-0.05 and 0.10-0.15m deep; pre-consolidation pressure and index compression were determined. Due to the short period of time for deployment of plant species and the high degree of compaction presented, the mechanical parameters showed no sensitivity to infer recovery of constructed soil physical attributes.

Key words: compaction; organic carbon; cover crops

5.3 Introdução

A compactação do solo pode gerar à destruição dos agregados, com consequente reorganização das partículas de argila, silte e areia, resultando em uma estrutura maciça e coesa na matriz do solo (HORN et al. 1995). Para Tormena et al. (1998) a compactação altera as propriedades físicas do solo, geralmente aumentando a densidade em detrimento da porosidade total, principalmente os poros de maior diâmetro do solo.

Em solos agrícolas a causa preponderante da compactação do solo é o tráfego de máquinas, equipamentos e animais (BORTOLUZZI et al. 2008). Para Veiga et al. (2007) o tráfego excessivo é o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do trator sobre o solo, quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo. Reichert et al. (2007) mencionam que a profundidade de compactação é variável com as especificações da máquina e seu rodado, condições do solo, número de vezes em que o solo é trafegado e com seu histórico de pressões e tipo de manejo adotado.

A mineração de carvão é considerada uma atividade antrópica de grande impacto no ambiente, já que envolve uma elevada quantidade de máquinas, de grande porte, tanto para extração do carvão como para a recomposição topográfica da área. Logo, as áreas recuperadas topograficamente, compostas por uma camada superficial de solo original constituída pela mistura dos horizontes A, B e C, e, subsuperficialmente, composta por estéreis de mineração (PINTO, 1999), tornam-se extremamente compactadas.

A condição física do solo construído, portanto, implica em um obstáculo ao desenvolvimento das espécies vegetais, já que um dos efeitos da compactação é o incremento na densidade e na resistência mecânica do solo. Consequentemente há redução da infiltração e redistribuição de água ao longo do perfil, bem como diminuição da aeração e restrição ao desenvolvimento das raízes das plantas (DEBIASI et al., 2008).

A deformação do solo tem uma relação direta com a porosidade total, especialmente a macroporosidade, indicando que quanto maior a deformação do solo maior será a redução de macroporosidade e porosidade total do solo. Segundo Suzuki et al. (2008), quanto maior a deformação total da amostra no teste de

compressão uniaxial, mais susceptível o solo é a compactação e menor sua capacidade de suporte de carga.

Bortoluzzi et al. (2008) mencionam que a capacidade do solo em resistir a estresses mecânicos garante a qualidade da porosidade e a relação entre as fases líquida e gasosa, e que a matéria orgânica e a argila atuam como pontes de transferência de energia entre as partículas, aumentando a resistência da estrutura à fricção e, por consequência, ao colapso.

Os solos mais argilosos apresentam um comportamento mais compressivo devido a sua maior capacidade de retenção de água, necessitando de maiores cuidados com o tráfego de máquinas, pois são mais suscetíveis à compactação quando cargas superiores às que o solo já sofreu são aplicadas (SUZUKI, 2005).

Segundo Andrade et al. (2009), a diminuição do grau de compactação pela ação de plantas de cobertura demonstra ser um processo lento. É primordial que haja mais informações sobre quais são as espécies mais eficientes, a curto e médio prazo, para melhorar a qualidade física do solo sob determinadas condições de solo e clima. Apesar da importância do efeito do sistema radicular na recuperação dos atributos físicos do solo, Costa et al. (2000) mencionam que existe pouca informação sobre os aspectos do desenvolvimento das raízes, pois em muitos trabalhos não se tem feito medições diretas da produção da biomassa subterrânea. Esse tipo de informação pode constituir importante subsídio na avaliação das potencialidades de uma planta de cobertura na recuperação de áreas estruturalmente degradadas.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi analisar a influência de diferentes plantas de cobertura na pressão de pré-consolidação e na suscetibilidade a compactação de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, ao longo do tempo.

5.4 Material e Métodos

A área de estudo se localiza na mina de carvão pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM), no município de Candiota/RS, situado a 140 Km de Pelotas.

O experimento foi instalado entre setembro/outubro de 2007 em delineamento de blocos ao acaso com parcelas de 20m² (5m x 4m), com quatro

repetições. Os tratamentos eram compostos originalmente de 7 espécies de cobertura, solteiras ou consorciadas com *Hematria* e Tifton. Entretanto, 2 delas não se estabeleceram (Capim de Rhodes-T5 e Grama batatais-T6), bem como os consórcios, de forma que foram avaliados apenas 6 tratamentos: T1- Capim vaquero (*Cynodon dactylon*), T2 - Braquiaria brizanta (*Brachiaria brizantha*), T3 - Tanzânia (*Panicum maximum*), T4 - Braquiaria humidícola (*Brachiaria humidicola*), T7 - Hematria (*Hemarthria altissima*), T8 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon*).

Para efeito de comparação utilizou-se como testemunha o solo construído sem plantas de cobertura – SCSP, localizado na área adjacente ao experimento, no intuito de avaliar melhor a ação das plantas na recuperação do solo.

O solo construído da área experimental caracteriza-se pelo predomínio do horizonte B de um Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). Os teores médios de areia, silte e argila apresentados pelo solo construído, na camada de 0,00 - 0,15m (Quadro 8), mostram o dobro de argila em relação ao horizonte A do solo original, definindo sua textura como argilosa.

Quadro 8: Granulometria do solo construído e do horizonte A do solo original da mina de Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,15 m				
Tratamentos	Discriminação	Areia	Silte	Argila
		g.kg ⁻¹		
T1	Capim vaquero	306,5	210,8	482,7
T2	Braquiária brizanta	328,8	208,2	463,0
T3	Tanzânia	317,3	202,6	480,1
T4	Braquiária humidicola	315,9	210,8	473,3
T7	Hematria	311,2	213,6	475,2
T8	Tifton	310,6	209,9	479,5
Média		315,0	209,3	475,6
Solo Original*		461,4	264,0	274,7

*Fonte: Adaptado de Nunes (2002).

Foram coletadas amostras preservadas em julho/2008 (4 repetições por tratamento) e outubro/2009 (8 repetições por tratamento), nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, com o uso de anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro e 3 cm de altura, no intuito de avaliar a influência das diferentes plantas de cobertura nos parâmetros mecânicos do solo construído, ao longo do tempo.

As amostras foram saturadas por capilaridade durante um período mínimo de 24 horas, pesadas e equilibradas na tensão de 6 kPa em mesa de tensão para a determinação da macroporosidade (Ma) (EMBRAPA, 1997) e, posteriormente, a

tensão de 10 kPa em uma câmara de Richards (KLUTE, 1986), para os ensaios de compressão uniaxial. Os testes de compressão uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático Modelo CNTA-IHM/BR fabricado pela Masquetto Automação Agrícola. As amostras foram submetidas à aplicação de pressões sucessivas e estáticas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, conforme metodologia descrita por Silva et al. (2007). Encerrado o ensaio, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, para a determinação da densidade do solo (D_s), microporosidade (M_i) e da porosidade do solo (P_t) (EMBRAPA, 1997).

Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, as curvas de compressão foram normalizadas, dividindo a densidade do solo ao final da aplicação de cada carga no teste de compressão pela densidade inicial (D_s/D_{si}).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software SAS v. 9. No intuito de avaliar o efeito do tempo e dos tratamentos para as variáveis densidade do solo (D_s), macroporosidade (M_a) e microporosidade (M_i), teor de matéria orgânica (MO), pressão de pré-consolidação (σ_p) e índice de compressão (IC) foi utilizada a análise de medidas repetidas (*proc mixed*). Para verificar diferenças entre a testemunha (SCSP) e os tratamentos no ano de 2009, foi utilizado o teste de Dunnett (5%) para todos os atributos citados anteriormente.

5.5 Resultados e Discussão

No Quadro 9 observa-se que a variável densidade do solo (D_s) na camada de 0,00-0,05m, não foi significativamente afetada pelos fatores tempo e tratamento. No entanto, de 2008 para 2009, houve uma tendência em diminuir os valores de D_s nesta camada, para todos os tratamentos. Para as variáveis macroporosidade (M_a) e microporosidade (M_i) houve efeito do tempo, pois de 2008 para 2009 a M_a diminuiu e a M_i aumentou (Quadro 9).

A diminuição da M_a e o aumento da M_i , mostra que houve uma desagregação na camada de 0,00-0,05m. Isto pode ser decorrente do manejo dado à área como sucessivas capinas para implantação das espécies e para eliminação de invasoras nas parcelas. De acordo com Panachuki et al. (2006) o solo quando submetido ao revolvimento intensivo tem a sua estrutura alterada com o fracionamento dos agregados em unidades menores e conseqüente redução no volume de macroporos e aumento no volume de microporos.

Quadro 9: Valores médios de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Teor de matéria orgânica (MO), Pressão de pré-consolidação (σ_p) e Índice de compressão (IC) para 6 tratamentos, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 - 0,05m												
Tratamentos	Ds (Mg.m ⁻³)		Ma (%)		Mi (%)		MO (%)		σp (Kpa)		IC	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
T1	1,53 ^{ns}	1,48 ^{ns}	10,17 A	8,13 B	33,65 B	37,50 A	0,77 B b	1,05 A b	193,75 ^{ns}	215,63 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,32 ^{ns}
T2	1,41 ^{ns}	1,39 ^{ns}	14,61 A	8,11 B	31,68 B	39,24 A	0,74 B b	1,18 A b	128,00 ^{ns}	144,50 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,34 ^{ns}
T3	1,48 ^{ns}	1,43 ^{ns}	11,37 A	7,57 B	33,57 B	38,59 A	1,07 B a	1,41 A a	122,00 ^{ns}	261,38 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,32 ^{ns}
T4	1,41 ^{ns}	1,41 ^{ns}	15,72 A	10,0 B	31,41 B	37,41 A	1,12 B a	1,32 A a	187,00 ^{ns}	196,75 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,31 ^{ns}
T7	1,47 ^{ns}	1,42 ^{ns}	14,93 A	7,91 B	31,46 B	38,76 A	1,05 B a	1,33 A a	172,00 ^{ns}	196,75 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,32 ^{ns}
T8	1,46 ^{ns}	1,41 ^{ns}	9,70 A	9,19 B	34,85 B	36,89 A	0,73 B b	1,16 A b	201,50 ^{ns}	228,50 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Camada de 0,10 – 0,15m												
T1	1,70 A	1,56 B	3,79 B	8,37 A	35,51 ^{ns}	34,94 ^{ns}	0,85 ab	0,94 ab	241,67 ^{ns}	240,75 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,26 ^{ns}
T2	1,65 A	1,60 B	3,38 B	5,34 A	37,19 ^{ns}	35,90 ^{ns}	1,13 a	0,95 a	222,50 ^{ns}	197,63 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}
T3	1,70 A	1,65 B	2,47 B	5,50 A	34,44 ^{ns}	32,66 ^{ns}	0,76 b	0,95 a	272,75 ^{ns}	243,13 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,24 ^{ns}
T4	1,73 A	1,57 B	2,99 B	6,44 A	33,96 ^{ns}	34,84 ^{ns}	0,93 ab	0,93 ab	242,50 ^{ns}	286,13 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,21 ^{ns}
T7	1,63 A	1,58 B	4,48 B	5,10 A	36,52 ^{ns}	36,59 ^{ns}	0,94 ab	0,94 ab	250,33 ^{ns}	254,50 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,21 ^{ns}
T8	1,73 A	1,60 B	2,37 B	5,74 A	35,22 ^{ns}	34,02 ^{ns}	0,70 b	0,79 b	208,75 ^{ns}	219,63 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,22 ^{ns}

T1 – Capim vaquero; T2 – Braquiária brizanta ; T3 – Tanzânia ; T4 – Braquiária humidicola ; T7 – Hermatria ; T8 – Tifton ; ns = não apresentou diferença significativa; Letras maiúsculas, iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de 0,10-0,15m houve efeito do tempo para a D_s , pois os valores diminuíram significativamente de 2008 para 2009, entretanto, não houve diferenças entre as espécies estudadas (Quadro 9). Este resultado reflete o possível efeito das raízes nesta camada, já que os valores de macroporosidade também aumentaram significativamente ao longo do tempo.

Silva & Mielniczuk (1997) afirmam que as gramíneas podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo a aproximação das partículas minerais, contribuindo para a formação e estabilidade dos agregados.

Os teores de matéria orgânica na camada de 0,00-0,05m foi influenciada significativamente pelo tempo, aumentando seus valores de 2008 para 2009 (Quadro 9). Os maiores teores foram apresentados pelos tratamentos T3, T4 e T7, possivelmente devido aos maiores aportes de biomassa apresentados por estas espécies.

Para camada de 0,10-0,15m não se observou efeito do tempo para o teor de matéria orgânica, no entanto houve diferenças entre tratamentos. O T2 – solo construído cultivado com *Braquiária* brizanta apresentou os maiores teores de MO nesta camada, em ambos os anos. No entanto, este resultado pode ser reflexo da incorporação de outras espécies vegetais, anteriores à implantação do experimento em 2007.

No Quadro 9 também são observados os valores da pressão de pré-consolidação (σ_p) e índice de compressão (IC). A análise estatística para as variáveis estudadas revelou ausência de efeito do tempo e dos tratamentos para todos os parâmetros mecânicos avaliados, em ambas as camadas.

As curvas de compressão para cada tratamento e para ambas as camadas no ano de 2009, são apresentadas na Figura 11 (a,b,c,d). Após a normalização das curvas, na camada de 0,00-0,05m houve um maior deslocamento dos valores de D_s , em função das pressões aplicadas, no T2 e T4 – solo construído cultivado com *Braquiária* brizanta e *Braquiária* humidicola, respectivamente. Na camada de 0,10 – 0,15m esse deslocamento foi maior no T1 – solo construído cultivado com *Capim* vaquero.

A maior deformação observada possivelmente deve-se à maior porosidade total apresentada por estes tratamentos, em ambas as camadas. Oliveira et al.

(2003) observaram em Latossolo Vermelho argiloso, que a maior deformação das amostras de solo estavam relacionadas com a menor densidade do solo e com o maior espaço poroso disponível à deformação.

A compressibilidade em ambas as camadas do solo construído, cultivado com diferentes plantas de cobertura, evidencia que os tratamentos com densidade inicial mais elevada apresentaram menor deformação.

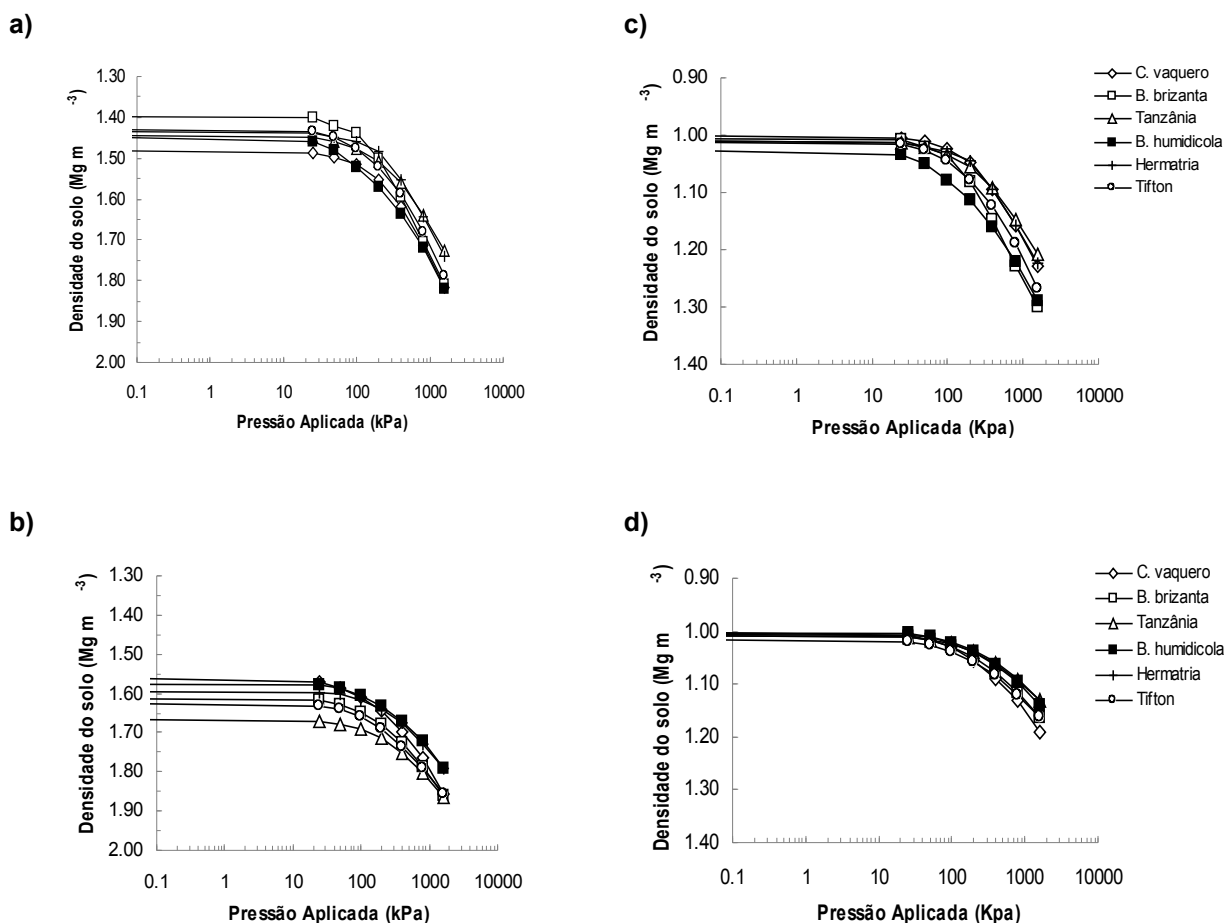


Figura 11 – Curvas de compressão na camada de 0,00-0,05m (a) e 0,10-0,15m (b) e curvas de compressão normalizada nas camadas de 0,00-0,05m (c) e 0,10-0,15m (d) dos tratamentos de um solo construído em área de mineração de carvão.

Apesar de não apresentar diferenças significativas para o tempo e para os tratamentos, na camada superficial (0,00-0,05m) observou-se que o T2 – solo construído cultivado com Braquiária brizanta apresentou menor densidade inicial e consequentemente maior suscetibilidade à compactação (>IC) no ano de 2009 (Quadro 9). Na camada subsuperficial este mesmo comportamento foi observado,

onde T1 apresentou menor densidade inicial e maior suscetibilidade a compactação.

Os valores da pressão de pré-consolidação apresentaram ausência de efeito dos fatores tempo e tratamento em ambas as camadas (Quadro 9). No entanto, na camada de 0,00-0,05m observa-se que todos os tratamentos mostraram uma tendência em aumentar seus valores de 2008 para 2009. Isto pode ser um reflexo do histórico de capinas da área, somado ao incremento de carbono orgânico nesta camada (Quadro 9).

Mediante o decréscimo da macroporosidade e aumento da microporosidade, observados de 2008 para 2009, as parcelas mostraram-se mais resistentes à compactação adicional (Quadro 9). Apesar de ter ocorrido uma desagregação na camada superficial, o incremento de MO possivelmente esteja auxiliando na resistência dos agregados de menor tamanho à ruptura. Imhoff (2002) menciona que agregados ficam mais resistentes à ruptura com o incremento do teor de matéria orgânica no solo.

Na camada de 0,10-0,15m os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente solo construído cultivado com Capim vaquero, Braquiária brizanta e Tanzânia, apresentaram tendência em diminuir seus valores de σ_p . Mediante o aumento da Ma ao longo do tempo, com a conseqüente diminuição da Ds, o menor suporte de carga apresentado (menor σ_p e maior IC) deve-se possivelmente a atuação do sistema radicular dos tratamentos nesta camada.

Debiasi et al. (2008) observaram em um Argissolo Vermelho distrófico franco-argilo-arenoso, que na camada de 0,03-0,06m, o consórcio aveia preta + ervilhaca diminuíram a σ_p e aumentaram o IC. Atribuíram isto à redução da Ds e ao aumento da porosidade total ocasionado por suas raízes. No entanto, em solo construído os parâmetros físico-mecânicos mostram a atuação das plantas de cobertura na camada subsuperficial.

É possível que as plantas de cobertura afetem a σ_p e o IC, uma vez que atuam na estruturação do solo, formando e estabilizando agregados de maior tamanho, o que ocorre graças ao aporte de resíduos orgânicos e exsudatos radiculares e à ação mecânica das raízes (DEBIASI et al. 2008).

Quando os diferentes tratamentos são comparados com a testemunha (SCSP), na camada de 0,00-0,05m a variável Ds mostra diferenças significativas para todos os tratamentos, exceto para o T1 (Quadro 10).

Quadro 10 – Contraste dos valores médios de Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Teor de matéria orgânica (MO), Pressão de pré-consolidação (σ_p) e Índice de compressão (IC) entre os 6 tratamentos e a testemunha (SCSP) para o ano de 2009, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m, em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

Camada de 0,00 – 0,05m							
Tratamentos	Discriminação	Ds (Mg.m ⁻³)	Ma (%)	Mi	MO (%)	σ_p (Kpa)	IC
T1	Capim vaquero	1,48	8,13	37,50	1,05*	215,63*	0,32
T2	Braquiária brizanta	1,39*	8,11	39,24	1,18*	144,50*	0,34
T3	Tanzânia	1,43*	7,57	38,59	1,41*	261,38*	0,32
T4	Braquiária humidicola	1,41*	10,00*	37,41	1,32*	196,75*	0,31
T7	Hermatria	1,42*	7,91	38,76	1,33*	196,75*	0,32
T8	Tifton	1,41*	9,19	36,89	1,16*	228,50*	0,34
SCSP	Solo Construído Sem Plantas de Cobertura	1,54	5,74	35,82	0,30	54,50	0,29
Camada de 0,10 - 0,15m							
T1	Capim vaquero	1,56*	8,37*	34,94	0,94*	240,75*	0,24
T2	Braquiária brizanta	1,60*	5,34	35,90	0,96*	197,63*	0,23
T3	Tanzânia	1,65	5,50	32,66	0,95*	243,13*	0,24
T4	Braquiária humidicola	1,57*	6,44	34,84	0,93*	286,13*	0,21
T7	Hermatria	1,58*	5,10	36,59	0,94*	254,50*	0,26
T8	Tifton	1,60*	5,74	34,02	0,79*	219,63*	0,22
SCSP	Solo Construído Sem Plantas de Cobertura	1,69	2,72	37,82	0,32	131,00	0,24

* = indica diferença significativa entre cada tratamento e a testemunha (SCSP), pelo teste de Dunnett a 5%.

O T2 - solo construído cultivado com Braquiária brizanta, apresentou maior diferença significativa em relação ao SCSP, ou seja, o menor valor de densidade do solo (Quadro 10).

Em relação a Ma nesta mesma camada, o T4 - solo construído cultivado com Braquiária humidicola, apresentou a única diferença significativa em relação ao SCSP, demonstrando um maior valor (Quadro 10). Logo, somado ao efeito do manejo inicial dado à área, os resultados apresentados podem estar refletindo a ação do sistema radicular das braquiárias, já que estas tendem a ser abundantes e finas, com potencial para reduzir a compactação do solo (BRANDÃO, 2009). Costa et al. (2000) avaliando a distribuição vertical das raízes de Braquiaria humidicola, em um Planossolo submetido a pastagem por 15 anos, observaram que as raízes finas foram responsáveis por 96% da densidade radicular média na camada de 0,00-0,10m.

Quando os parâmetros mecânicos foram comparados com a testemunha (Quadro 10), na camada de 0,00-0,05m, os valores de pressão de pré-consolidação (σ_p) de todos os tratamentos foram superiores, com destaque para o T3 – solo construído cultivado com Tanzânia, que apresentou a maior diferença significativa. Este resultado pode ser decorrente do teor de matéria orgânica que os diferentes tratamentos apresentam em relação à testemunha (Quadro 10).

De acordo com Braida et al. (2008) a matéria orgânica pode atuar na atenuação dos efeitos da compactação, aumentando a elasticidade e resistência do solo. Pelo fato da matéria orgânica possuir elevado número de cargas, é considerada flexível e elástica, apresentando capacidade de recuperar a forma inicial após a remoção de uma carga aplicada sobre ela (SOANE, 1990). Essas características permitem que partículas orgânicas que estivessem ligando partículas minerais no solo fossem deformadas quando as partículas minerais são deslocadas umas em relação às outras, por efeito da aplicação de uma carga. Ao cessar a aplicação da carga, as partículas orgânicas tenderiam a retornar à forma original, deslocando consigo as partículas minerais, resultando em expansão do solo após o descarregamento (BRAIDA et al. 2008).

Para a variável MO, em ambas as camadas estudadas, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas quando comparados à testemunha (Quadro 10), apesar dos teores apresentarem-se baixos (menores que 2,5%), conforme a CQFS (2004). No entanto, espera-se que no decorrer dos anos o aumento da fitomassa das diferentes espécies vegetais sobre e sob o solo, e

consequentemente do teor de carbono, auxiliie de forma mais eficaz na melhoria dos atributos físicos do solo construído.

Na camada de 0,10-0,15m (Quadro 10) observa-se que os valores médios da D_s de todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas quando comparados com a testemunha (SCSP), exceto o T3. Ao se comparar a Ma, apenas o T1 apresentou diferenças significativas em relação ao SCSP. Estes resultados podem indicar uma lenta atuação do sistema radicular da maioria das plantas estudadas na recuperação física do solo construído.

Ao se comparar a pressão σ_p , na camada de 0,10-0,15m, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas em relação a testemunha (SCSP). Para Debiasi et al. (2008), o sistema radicular das plantas de cobertura, ao unir mecanicamente as partículas do solo, pode colaborar para um maior valor de σ_p , ou seja, um maior suporte de carga.

O índice de compressão (IC) de todos os tratamentos, em ambas as camadas, não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com a testemunha (SCSP).

5.6 Conclusões

Devido ao pouco tempo de implantação do experimento, as plantas de cobertura ainda não refletiram na melhoria dos parâmetros mecânicos do solo construído. Apenas três tratamentos na camada de 0,10-0,15m apresentaram redução de densidade com a conseqüente redução de pressão de pré-consolidação e aumento da suscetibilidade a compactação.

A utilização de plantas de cobertura, de modo geral, aumentaram os valores de pressão de pré-consolidação do solo em relação a testemunha. O incremento de matéria orgânica é responsável pela maior elasticidade do solo construído cultivado com diferentes plantas de cobertura.

5.7 Referências Bibliográficas

- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n 4, 2009.
- BORTOLUZZI, E.C.; SILVA, V.R.; PETRY, C.; CECCHETTI, D. Porosidade e retenção de água em um argissolo sob manejos convencional e direto submetido a Compressões unidimensionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p.1447-1457. 2008.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SEQUINATTO, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p.477-485. 2008.
- BRANDÃO, E. D. **Efeito do sistema radicular da *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados de um Nitossolo vermelho**. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.
- COSTA, F.; PACIOMIK, S.; ABREU, J.B.R. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Pastures Tropicales**, v. 24 n. 3. 2000.
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo. influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2629-2637. 2008
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**, 2 ed, Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- HORN, R.; DOMZAL, H. & OUWERKERK, C. van. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil and Tillage Research**. v. 35, p. 23-36. 1995.
- IMHOFF, S. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.
- NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.A.; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p. 943-948. 2006.

NUNES, M.C.D. **Condições físicas de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS.** Pelotas-RS, 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURI, N.; RESCK, D.V.S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 27 n 5. 2003.

PINTO, L.F.S. **Potencial de acidificação e de neutralização do carvão, cinzas e materiais geológicos da área de mineração de Candiota-RS.** Relatório da FAPERGS, UFPel, Pelotas-RS, 1999. 31p.

REICHERT, J.M; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação. efeitos. limites críticos e mitigação.** Tópicos em Ciência do Solo. 5:49-134. 2007.

SILVA, R.B.; MASQUETTO, B.J.; LANÇAS, K.P. **Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina.** In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado. Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research.** v.16, p.179-201. 1990.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. ; REICHERT, J.M. ; RODRIGUES, C.L.L. Estimativa da susceptibilidade a compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 32 n 3, p. 963-973. 2008.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C. M Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem. preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 22, p. 301-309. 1998.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from outhter Brazil. as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research.** v. 92, p. 104-113. 2007.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao pouco tempo de implantação do experimento, as plantas de cobertura tiveram ação incipiente na melhoria dos atributos físicos do solo construído. No entanto, até o momento as braquiarias mostram-se promissoras, pois quando comparadas com a testemunha (SCSP) apresentaram os melhores valores de densidade, porosidade total, DMP e porcentagem de macroagregados.

Como sugestão de pesquisa, faz-se necessário avaliar o sistema radicular das plantas de cobertura instaladas no experimento, para melhor compreensão de sua atuação nos resultados obtidos até o momento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; van der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMERF, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field trafficinduced subsoil compaction. A review Part 1. Machine soil/interactions. **Soil and Tillage Research**, v.73 n.1-2, p.145-160. 2003

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13 n 4 . 2009.

BASSO. C. J. & REINERT. D.J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo Podzólico. **Ciência Rural**, v. 28, p. 567- 571. 1998.

BERTOL, I.; ALBURQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163. 2004.

BRANDÃO, E.D. **Efeito do sistema radicular da *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados de um Nitossolo vermelho**. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

BUGIN, A. Introdução à recuperação de área degradadas. In: TEIXEIRA, E. C. (coord). **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre, RS: FEPAM, 2002. p.93-98.

CAMPOS, B.C. **Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de cobertura de inverno e manejo do solo e culturas**. 1993. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI. L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1997.

CAPECHE, C.L.; MACEDO, J.R.; MELO, A.S. **Estratégias de recuperação de áreas degradadas**. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008> Acesso em 12 de jul. 2009.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos. submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14 n.1, p.99-105. 1990

CHIODEROLI, C.A. **Consortiação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura-pecuária**. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista.

CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.cgtee.gov.br>. Acesso e: 10 jan. 2011

COSTA, F.; PACIOMIK, S.; ABREU, J.B.R. Distribuição vertical de características morfológicas do sistema radicular de *Brachiaria humidicola*. **Pastures Tropicales**, v. 24 n. 3. 2000.

CRISPIM, S. M. A.; JÚNIOR, W. B.; BRANCO, O. D. **Perfilhamento. Produção de Matéria Seca de Brachiaria brizantha no Pantanal. Sub-Região da Nhecolândia. MS**. Circular técnica nº 61. Embrapa. 2005.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo. influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2629-2637. 2008.

DNPM – **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Informativo anual da indústria carbonífera. Ano base 1995. Brasília-DF. DNPM. 2005. 246p.

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

DUNKER, R.E.; HOOKS, C.L.; DARMODY, R.G. **Effect of reclamation method on minesoil productivity in illinois**. Department of Crop Sciences and Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois at Urbana-Champaign. Paper presented at Prime Farmland Reclamation Workshop. Illinois. 1998.

FARIAS, C.E.G. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório Preparado para o CGEE PNUD – Contrato 2002/001604. 2002.

FAVARETTO, N.; MORAES, A.; MOTTA, A.C.M.; PREVEDELLO, B.M.S. Efeito da revegetação e da adubação de área degradada na fertilidade do solo e nas características da palhada. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35. Brasília/ DF. 2000.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do solo. In: van LIER, Q.J. **Física do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa/ MG. 2010. p.2-27.

GASTAUD, C.E.G.S.; FERREIRA, J.B.D.; PEREIRA, H.J.V.; VARGAS, P.R.B.; ADRIANO, D.S.; SCHEMBRI, T.M. **O carvão mineral na geração de energia termoeletrica e sua participação na matriz energética do Rio Grande do Sul**. Curso de Estudos de Política e Estratégia de Governo – CEPEG. XXXIX Ciclo de Estudos de Política e Estratégia – CEPE. Porto Alegre/RS. 2002

HAYNES, R.J.; BEARE, M.H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.1647-1653. 1997.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KOPPE, J. C.; COSTA, J.F.C. Mineração. In: TEIXEIRA, E.C. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM. 2002. p.15-27.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 945-951. 2004

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz.

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v.10 n 1, p. 68-76. 2009.

MONTEIRO, K.V. **Carvão: o combustível de ontem**. Núcleo Amigos da Terra Brasil. Porto Alegre/RS. 2004.

MÜLLER, M.M.L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531-538. 2001.

NASCIMENTO, F.M.F.; MENDONÇA, R.M.G.; MACEDO, M.I.F.; SOARES, P.S.M. **Impactos ambientais nos recursos hídricos da exploração de carvão em Santa Catarina**. Contribuição Técnica elaborada para II Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e II Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea. Belo Horizonte. IBRAM. 2002.

NETO, J.V.N. **Consortiação de forragens: uma alternativa de aumento da produção de forragens e melhoria das propriedades físicas de solos no Norte do Tocantins**. 2007. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical). Universidade Federal do Tocantins.

PALADINI, F. L. S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15. p.135-140. 1991.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 189-195. 1999.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.508-514. 2010.

PORTUGAL, A.F. **Resiliência da estrutura em argissolo sob diferentes usos. na zona da mata de Minas Gerais.** 2005. 102f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo.** 4. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541 p.

QUINONES, O.R.G. **Caracterização e gênese de solos construídos após mineração de carvão na mina boa vista, município de minas do leão/RS.** 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

RAGASSI, F.C. **Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata.** 2009.Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

REICHERT, J.M; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** Tópicos em Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134. 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, J. D.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v.27, p.29-48. 2003.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo.** Disponível em: <http://www.cesnors.ufsm.br/fundamentos_da_ciencia_solo> Acesso em 18 de Ago. 2010.

RICHARD, G. et al. Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. **European Journal Soil Science**, v. 52, p. 49-58. 2001.

RIZZO, L.T.B. **Indicadores da resiliência do latossolo vermelho escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetininga-SP. Recuperação de um solo degradado pela compactação.** 2000. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade Estadual de São Paulo.

ROSA, D.P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 n 1. 2008.

SAMPAIO, C.H. **Beneficiamento.** In: TEIXEIRA. E.C. **Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização.** Porto Alegre: FEPAM. 2002. p.29-43.

SANTOS, L.N.S.; PASSOS, R.R.; CARDOSO, L.C.M.; SANTOS, L.; GARCIA, G.O.; CECÍLIO, R.A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em ALEGRE (ES). **Engenharia Ambiental**, v.6 n.2, p.140-149. Espírito Santo do Pinhal. 2009.

SANTUCCI, J. O papel do carvão mineral na geração de energia. In: **Carvão mineral: responsável por 40% da eletricidade mundial**. Porto Alegre, RS. CREA-RS, 2009, 38p.

SILVA, R.V.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30 n. 5, p. 795-801. 2000.

SERVADIO, P.; MARSILIA, A.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S.; PAGLIAI, M. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil and Tillage Research**, v. 84 n 1. 2005.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 158f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.113-117. 1997.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 877-883. 1997.

SILVA, M.L.N.; CURI, N. & BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35 n.12, p. 2485-2492. 2000.

SHIRAISHI, F.A.; BARBOSA, V.G.; SANTOS, L.V.; RAGASSI, C.F.; FAVARIN, J.L. **Distribuição do sistema radicular das gramíneas *Panicum maximum* cv. Tanzânia. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e Milho (*Zea mays* L.) em preparo profundo de solo**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".ESALQ/USP. 2000.

STONE, R.J. & EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. **Transactions of the ASAE**, v.36 n.6, p.1713 - 1719. 1993.

STRECK, C.A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil**. 2007. 96f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria.

SUZUKI, S. A. L. E. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 151f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. ; REICHERT, J. M. ; RODRIGUES, C.L.L. Estimativa da susceptibilidade a compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 n 3, p. 963-973. 2008.

TARAWALLY, M. A.; MEDINA, H.; FRÓMETA, M.E.; ITZA, C.A. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 95-103. 2004.

TAVARES, S.R.L. Áreas Degradadas: Conceitos e Caracterização do Problema. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008> Acesso em 12 de jul. 2009.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Europe Journal Soil Science**, v. 33, p. 141-163. 1982.

TORMENA, C.A.; ROLOFF. G.; SÁ. J.C.M Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem. preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 301-309. 1998.

WHITELEY, G.M. & DEXTER, A.R. The behaviour of roots encountering cracks in soil. I. Experimental methods and results. **Plant Soil**, v. 77 , p. 141-149. 1984.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre. 2008.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 n 5. 2004.

van LIER, Q.J. Oxigenação do sistema radicular: Uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 233-238. 2001.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from outher Brazil. as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 92, p. 104-113. 2007.

VOLK, L.B.S ; COGO, N.P.R. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1713-1722. 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Médias finais da distribuição dos agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para os 6 tratamentos dos blocos I,II,III e IV, para camada de 0,00-0,05m, no ano de 2008

Bloco I										
Tratamento	9,72-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.	Macroagr.	Microagr.
	%						mm	g/Kg⁻¹	%	
C. vaquero	24,89	16,91	15,05	30,93	3,98	8,24	2,78	0,99	87,78	12,22
B.brizanta	5,04	15,07	16,75	42,88	5,87	14,39	1,41	2,03	79,74	20,26
Tanzania	2,93	10,22	12,97	50,82	7,37	15,69	1,09	6,94	76,94	23,06
B. humidicola	2,49	8,47	12,81	47,68	9,32	19,23	0,98	7,37	71,45	28,55
Hermatria	12,86	20,22	20,60	35,43	2,69	8,24	2,14	6,89	89,07	10,93
Tifton	4,98	14,37	15,90	44,39	6,73	13,64	1,38	2,98	79,64	20,37
Bloco II										
C. vaquero	2,97	16,71	19,41	44,03	4,90	11,99	1,36	6,24	83,12	16,89
B.brizanta	13,00	13,96	20,67	41,94	3,87	6,56	1,98	3,23	89,57	10,43
Tanzania	4,31	12,29	16,52	48,18	6,57	12,13	1,29	4,97	81,30	18,70
B. humidicola	8,12	14,09	17,01	43,50	4,91	12,36	1,60	6,11	82,72	17,27
Hermatria	3,75	12,68	17,79	47,87	4,94	12,97	1,28	5,29	82,09	17,91
Tifton	2,88	13,30	23,18	41,45	5,39	13,80	1,28	1,74	80,81	19,19
Bloco III										
C. vaquero	2,05	11,90	19,96	44,88	7,62	13,59	1,15	5,99	78,79	21,21
B.brizanta	21,63	29,57	18,76	22,06	2,34	5,65	2,97	5,82	92,02	7,99
Tanzania	3,88	15,38	16,68	41,60	6,42	16,04	1,33	6,24	77,54	22,46
B. humidicola	5,91	13,21	15,57	43,57	9,02	12,72	1,40	7,63	78,26	21,74
Hermatria	4,51	13,11	16,25	41,51	7,95	16,67	1,29	6,63	75,38	24,62
Tifton	4,25	15,92	20,06	41,80	6,85	11,13	1,42	6,63	82,03	17,98
Bloco IV										
C. vaquero	27,22	24,99	15,54	15,88	1,84	14,52	3,13	4,69	83,63	16,36
B.brizanta	27,46	21,98	16,10	19,45	3,24	11,78	3,08	6,26	84,99	15,02
Tanzania	16,04	19,24	21,31	34,58	2,97	5,89	2,34	6,67	91,17	8,86
B. humidicola	22,28	21,99	18,01	26,88	3,98	6,87	2,78	4,90	89,16	10,85
Hermatria	2,40	16,29	17,98	48,09	5,77	9,46	1,31	5,69	84,76	15,23
Tifton	8,73	16,38	20,75	37,38	5,66	11,09	1,74	5,55	83,24	16,75

APÊNDICE 2 - Médias finais da distribuição dos agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para os 6 tratamentos dos blocos I,II,III e IV, para camada de 0,10-0,15m, no ano de 2008

Bloco I										
Tratamento	9,72-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.	Macroagr.	Microag.
	%						mm	g/Kg⁻¹	%	
C. vaquero	28,48	15,46	10,94	26,25	4,70	14,16	2,90	3,74	81,13	18,86
B.brizanta	43,95	23,20	13,43	13,08	1,62	4,71	4,21	6,05	93,66	6,33
Tanzania	14,39	30,38	27,15	21,18	2,05	4,86	2,60	5,26	93,10	6,91
B. humidicola	8,15	21,92	32,20	28,65	3,31	5,77	1,99	6,37	90,92	9,08
Hermatria	12,56	22,48	24,85	30,12	3,47	6,53	2,22	5,76	90,01	10,00
Tifton	7,98	25,38	24,85	30,28	4,23	7,29	2,00	5,14	88,49	11,52
Bloco II										
C. vaquero	11,10	18,99	20,82	32,81	4,55	11,73	1,96	8,08	83,72	16,28
B.brizanta	8,28	13,46	17,05	39,81	7,72	13,68	1,57	7,46	78,60	21,40
Tanzania	5,38	20,73	26,00	35,50	3,71	8,68	1,71	5,16	87,61	12,39
B. humidicola	8,01	21,41	25,90	31,80	4,99	7,88	1,89	5,99	87,12	12,87
Hermatria	5,58	12,76	21,19	45,19	5,41	9,88	1,44	6,50	84,72	15,29
Tifton	12,39	27,07	21,69	27,39	4,35	7,11	2,31	6,03	88,54	11,46
Bloco III										
C. vaquero	17,95	30,79	28,40	18,30	1,92	2,65	2,87	4,13	95,44	4,57
B.brizanta	2,25	17,10	19,95	40,01	6,24	14,45	1,31	5,21	79,31	20,69
Tanzania	6,23	27,32	20,45	33,26	5,19	7,55	1,90	5,77	87,26	12,74
B. humidicola	8,93	18,16	19,98	38,26	5,39	9,28	1,80	4,90	85,33	14,67
Hermatria	1,34	12,97	14,99	52,30	5,93	12,47	1,10	3,93	81,60	18,40
Tifton	13,91	30,36	21,46	22,21	5,72	6,34	2,49	4,51	87,94	12,06
Bloco IV										
C. vaquero	4,82	23,66	27,27	30,40	3,63	10,23	1,75	3,93	86,15	13,86
B.brizanta	12,73	19,04	19,81	32,03	4,93	11,46	2,06	7,46	83,61	16,39
Tanzania	3,96	20,1	29,43	32,62	3,91	9,98	2,05	1,49	86,11	13,89
B. humidicola	12,94	25,07	22,06	28,48	4,55	6,90	2,29	4,35	88,55	11,45
Hermatria	15,71	21,20	21,40	28,96	4,26	8,46	2,35	5,75	87,27	12,72
Tifton	4,86	14,52	21,73	45,97	4,25	8,67	1,46	0,62	87,08	12,92

APÊNDICE 3 - Médias finais da distribuição dos agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para os 6 tratamentos dos blocos I,II,III e IV, para camada de 0,00-0,05m, no ano de 2009

Tratamento	Bloco I									
	9,72-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.	Macroag.	Microag.
	%						mm	g/Kg ⁻¹	%	
C. vaquero	14,38	7,99	14,10	33,38	12,06	18,09	1,75	5,15	69,85	30,15
B.brizanta	10,20	20,47	22,16	30,45	4,00	12,72	1,95	7,79	83,28	16,72
Tanzania	8,93	20,74	18,40	34,63	4,09	13,21	1,84	7,02	82,70	17,30
B. humidicola	8,95	13,30	18,80	37,90	6,49	14,56	1,63	7,17	78,95	21,05
Hermatria	10,75	15,11	15,76	34,73	5,64	18,02	1,75	7,19	76,35	23,66
Tifton	19,99	16,71	13,66	28,62	4,56	16,47	2,39	8,58	78,98	21,03
Bloco II										
C. vaquero	2,15	14,24	20,00	40,68	5,75	17,19	1,21	6,03	77,07	22,94
B.brizanta	15,77	12,58	10,94	32,57	8,16	19,99	1,94	6,16	71,86	28,15
Tanzania	6,76	14,53	16,43	39,62	7,47	15,19	1,49	8,78	77,34	22,66
B. humidicola	2,72	8,38	11,08	38,91	10,18	28,74	0,92	7,08	61,09	38,92
Hermatria	7,74	8,61	9,90	42,55	5,36	25,84	1,28	6,55	68,80	31,20
Tifton	3,10	11,56	14,45	36,13	12,02	22,74	1,09	6,76	65,24	34,76
Bloco III										
C. vaquero	7,56	11,30	14,40	38,43	12,10	16,21	1,41	5,84	71,69	28,31
B.brizanta	23,46	8,99	10,15	29,90	10,14	17,36	2,34	5,41	72,50	27,50
Tanzania	8,70	9,54	8,80	34,96	15,26	22,75	1,33	8,42	62,00	38,01
B. humidicola	11,15	15,32	21,94	40,56	1,92	9,11	1,90	8,91	88,97	11,03
Hermatria	10,00	8,59	17,38	37,33	9,59	17,11	1,52	7,72	73,30	26,70
Tifton	8,63	11,09	16,44	34,18	8,73	20,95	1,48	5,73	70,34	29,68
Bloco IV										
C. vaquero	8,42	10,83	9,01	33,75	9,82	28,17	1,34	7,32	62,01	37,99
B.brizanta	12,76	11,79	15,69	33,17	9,36	17,24	1,77	8,12	73,41	26,60
Tanzania	4,79	10,30	11,23	34,91	12,64	26,14	1,11	8,48	61,23	38,78
B. humidicola	20,85	13,28	13,20	31,98	7,05	13,65	2,35	7,45	79,31	20,70
Hermatria	28,34	14,73	13,48	27,04	2,48	13,93	2,90	9,43	83,59	16,41
Tifton	4,43	9,42	16,75	43,48	6,58	19,35	1,18	5,94	74,08	25,93

APÊNDICE 4 - Médias finais da distribuição dos agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para os 6 tratamentos dos blocos I,II,III e IV, para camada de 0,10-0,15m, no ano de 2009

Tratamento	Bloco I							DMP	C.O.	Macroagr.	Microag.
	9,72-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105					
	%										
							mm	g/Kg ⁻¹			
C. vaquero	1,58	14,55	21,45	39,57	8,84	14,00	1,20	4,64	77,15	22,84	
B.brizanta	12,28	24,87	23,19	28,46	4,48	6,72	2,25	3,85	88,80	11,20	
Tanzania	19,21	20,93	21,50	28,68	3,16	6,50	2,59	5,94	90,32	9,66	
B. humidicola	14,43	20,55	16,29	32,41	4,95	11,38	2,18	5,64	83,68	16,33	
Hermatria	19,47	26,74	27,01	20,35	2,49	3,94	2,83	5,04	93,57	6,43	
Tifton	5,63	17,76	25,06	37,89	6,64	7,01	1,63	4,60	86,34	13,65	
Bloco II											
C. vaquero	14,71	22,47	22,06	28,14	1,81	10,79	2,32	6,29	87,38	12,60	
B.brizanta	5,27	11,04	13,45	40,51	12,20	17,53	1,24	6,36	70,27	29,73	
Tanzania	4,40	15,24	21,97	39,95	5,54	12,90	1,43	4,86	81,56	18,44	
B. humidicola	47,53	20,80	11,50	15,42	2,17	2,58	4,37	5,90	95,25	4,75	
Hermatria	3,60	14,18	21,34	48,14	5,24	7,51	1,37	4,78	87,26	12,75	
Tifton	22,01	19,84	14,73	28,66	5,22	9,55	2,65	4,52	85,24	14,77	
Bloco III											
C. vaquero	17,26	18,90	21,59	30,14	4,81	7,31	2,39	4,99	87,89	12,12	
B.brizanta	11,85	12,60	18,19	38,74	4,79	13,83	1,80	4,26	81,38	18,62	
Tanzania	6,17	14,64	22,55	38,77	4,83	13,03	1,53	5,55	82,13	17,86	
B. humidicola	6,47	15,00	11,65	32,99	10,71	23,18	1,38	5,47	66,11	33,89	
Hermatria	23,48	13,26	18,04	30,80	4,23	10,18	2,60	5,85	85,58	14,41	
Tifton	11,76	19,73	23,73	33,78	4,03	6,97	2,09	4,65	89,00	11,00	
Bloco IV											
C. vaquero	2,35	6,21	15,03	49,90	8,07	18,44	0,94	5,86	73,49	26,51	
B.brizanta	20,78	22,34	20,03	25,12	3,60	8,13	2,71	7,71	88,27	11,73	
Tanzania	4,85	15,08	24,26	39,19	5,97	10,64	1,48	5,86	83,38	16,61	
B. humidicola	3,72	20,63	29,81	29,10	3,41	13,32	1,60	4,73	83,26	16,73	
Hermatria	5,01	13,99	17,10	41,17	9,40	13,32	1,37	6,29	77,27	22,72	
Tifton	1,91	9,73	15,95	47,63	8,73	16,06	1,02	4,64	75,22	24,79	

APÊNDICE 5 - Médias finais da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) para os 6 tramentos dos blocos I,II,III e IV na camada de 0,00-0,05m, para o ano de 2008

Tratamento	Bloco I				Bloco II			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,58	41,46	7,88	33,58	1,45	44,75	11,30	33,45
B.brizanta	1,35	49,37	22,13	27,24	1,32	50,61	16,61	34,00
Tanzania	1,36	49,93	20,05	29,88	1,48	44,18	8,34	35,85
B. humidicola	1,27	53,61	26,33	27,28	1,47	45,63	10,06	35,57
Hermatria	1,29	52,18	24,22	27,96	1,35	50,43	18,25	32,18
Tifton	1,48	45,25	8,91	36,34	1,29	53,20	18,57	34,63

Tratamento	Bloco III				Bloco IV			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,56	47,33	13,84	33,49	1,53	41,76	7,66	34,10
B.brizanta	1,43	44,94	9,20	35,74	1,55	40,24	10,50	29,75
Tanzania	1,47	43,36	13,76	29,60	1,61	42,26	3,32	38,94
B. humidicola	1,32	48,90	17,03	31,87	1,59	40,37	9,44	30,93
Hermatria	1,74	39,22	3,83	35,39	1,50	43,76	13,42	30,34
Tifton	1,45	43,03	8,93	34,10	1,61	36,75	2,41	34,34

APÊNDICE 6 - Médias finais da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) para os 6 tramentos dos blocos I,II,III e IV na camada de 0,10-0,15m, para o ano de 2008

Tratamento	Bloco I				Bloco II			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,71	37,08	6,87	30,21	1,64	39,06	4,02	35,04
B.brizanta	1,58	39,22	4,57	33,62	1,53	41,53	4,69	39,57
Tanzania	1,68	37,92	3,22	34,70	1,71	37,71	2,75	34,96
B. humidicola	1,70	38,52	3,42	35,09	1,73	37,29	5,96	31,33
Hermatria	1,51	44,57	8,96	35,61	1,61	39,53	3,04	36,49
Tifton	1,76	38,29	2,37	35,92	1,80	37,25	2,01	35,24

Tratamento	Bloco III				Bloco IV			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,62	42,65	2,79	39,86	1,83	38,45	1,50	36,95
B.brizanta	1,71	40,02	2,12	38,90	1,79	36,36	2,14	36,66
Tanzania	1,81	32,21	0,66	31,55	1,62	39,77	3,24	36,53
B. humidicola	1,75	35,02	0,77	34,25	1,75	36,97	1,81	35,16
Hermatria	1,67	38,98	3,47	35,51	1,73	40,93	2,45	38,48
Tifton	1,75	37,60	2,23	35,37	1,60	37,19	2,86	34,34

APÊNDICE 7 - Medias finais da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) para os 6 tramentos dos blocos I,II,III e IV na camada de 0,00-0,05m, para o ano de 2009

Tratamento	Bloco I				Bloco II			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,50	44,52	6,14	38,38	1,58	39,84	3,62	36,22
B.brizanta	1,38	48,24	9,50	38,74	1,48	44,61	4,06	40,55
Tanzania	1,48	45,39	6,87	38,52	1,40	47,26	5,67	41,59
B. humidicola	1,42	48,33	12,24	36,08	1,46	45,89	5,43	40,46
Hermatria	1,54	42,75	3,67	39,08	1,28	52,93	17,29	35,64
Tifton	1,45	46,31	5,16	41,15	1,30	52,73	18,83	33,89

Tratamento	Bloco III				Bloco IV			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,33	55,16	17,92	37,25	1,49	42,97	4,82	38,15
B.brizanta	1,31	49,57	12,57	37,00	1,38	47,01	6,32	40,69
Tanzania	1,42	45,31	9,17	36,14	1,41	46,67	8,57	38,10
B. humidicola	1,32	48,99	9,79	39,20	1,42	46,45	12,54	33,90
Hermatria	1,49	42,58	1,69	40,89	1,38	48,44	9,00	39,44
Tifton	1,47	42,17	7,52	34,65	1,42	43,13	5,27	37,86

APÊNDICE 8 - Medias finais da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) para os 6 tramentos dos blocos I,II,III e IV na camada de 0,10-0,15m, para o ano de 2009

Tratamento	Bloco I				Bloco II			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,59	41,20	6,74	34,46	1,57	40,18	8,39	31,78
B.brizanta	1,62	41,98	8,36	34,65	1,57	44,13	4,56	36,84
Tanzania	1,60	41,03	6,98	34,05	1,64	38,52	1,56	36,96
B. humidicola	1,65	39,76	2,90	36,86	1,58	41,60	10,96	30,64
Hermatria	1,58	41,21	2,18	39,03	1,53	43,97	8,42	35,55
Tifton	1,57	41,88	5,66	36,22	1,56	39,48	8,61	30,87

Tratamento	Bloco III				Bloco IV			
	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Ds g.cm ⁻³	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)
C. vaquero	1,48	49,86	13,12	36,74	1,58	41,98	5,21	36,77
B.brizanta	1,56	41,60	3,44	37,90	1,65	41,67	5,01	34,22
Tanzania	1,69	35,05	10,90	24,15	1,68	38,07	2,59	35,49
B. humidicola	1,48	42,98	7,62	35,36	1,57	40,81	4,30	36,51
Hermatria	1,52	41,28	5,28	35,99	1,68	40,28	4,50	35,77
Tifton	1,60	39,58	5,57	34,01	1,67	38,11	3,11	35,00

APÊNDICE 9 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco I da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4479	0,3903	0,3358	0,3139	0,3093	0,2986	0,2812
	θ calc.	0,4500	0,3901	0,3330	0,3223	0,3053	0,2958	0,2850
B. brizanta	θ obs.	0,4578	0,3699	0,2724	0,2440	0,2307	0,2131	0,2053
	θ calc.	0,4600	0,3702	0,2664	0,2468	0,2227	0,2146	0,2104
Tanzânia	θ obs.	0,4722	0,4326	0,2988	0,2761	0,2628	0,2368	0,2153
	θ calc.	0,4700	0,4292	0,3025	0,2826	0,2534	0,2388	0,2246
B. humidicola	θ obs.	0,4829	0,3738	0,2728	0,2530	0,2414	0,2241	0,2038
	θ calc.	0,4800	0,3691	0,2716	0,2555	0,2312	0,2184	0,2050
Hermatria	θ obs.	0,4954	0,4126	0,2796	0,2328	0,2210	0,1990	0,1839
	θ calc.	0,5000	0,4102	0,2707	0,2464	0,2125	0,1969	0,1834
Tifton	θ obs.	0,5057	0,4917	0,3634	0,3262	0,3104	0,2871	0,2623
	θ calc.	0,5100	0,4893	0,3592	0,3371	0,3036	0,2859	0,2672
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,3299	0,3216	0,3021	0,3002	0,2956	0,2897	0,2823
	θ calc.	0,3300	0,3196	0,3034	0,3000	0,2940	0,2901	0,2845
B. brizanta	θ obs.	0,3948	0,3509	0,3362	0,3225	0,3214	0,3129	0,2956
	θ calc.	0,3900	0,3516	0,3340	0,3288	0,3180	0,3104	0,3016
Tanzânia	θ obs.	0,4193	0,3675	0,3470	0,3369	0,3358	0,3293	0,3121
	θ calc.	0,4200	0,3712	0,3481	0,3431	0,3340	0,3280	0,3188
B. humidicola	θ obs.	0,3837	0,3747	0,3509	0,3386	0,3310	0,3212	0,3155
	θ calc.	0,3800	0,3698	0,3493	0,3416	0,3278	0,3221	0,3200
Hermatria	θ obs.	0,4281	0,4068	0,3561	0,3218	0,3188	0,3083	0,2812
	θ calc.	0,4300	0,4103	0,3502	0,3368	0,3150	0,3025	0,2876
Tifton	θ obs.	0,4983	0,4467	0,4115	0,4032	0,3422	0,3175	0,2928
	θ calc.	0,4980	0,4566	0,4103	0,3924	0,3504	0,3195	0,2940

APÊNDICE 10 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genuchten (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco I da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento	α (l/m)	m	n	θ_r cm^3/cm^3	θ_s cm^3/cm^3	c,a	AD cm^3/cm^3
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,2553	0,2229	1,9146	0,28	0,45	0,9944	0,0373
B. brizanta	0,0655	0,8996	1,0547	0,21	0,46	0,9974	0,0364
Tanzânia	0,1391	0,0695	7,5144	0,22	0,47	0,9964	0,0580
B. humidicola	0,2856	0,0958	5,0085	0,20	0,48	0,9981	0,0505
Hermatria	0,137	0,3201	1,8607	0,18	0,50	0,9959	0,0630
Tifton	0,1172	0,0522	9,0834	0,26	0,51	0,996	0,0699
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,218	0,0765	3,8668	0,28	0,33	0,9935	0,0154
B. brizanta	0,0006	3,5309	0,3455	0,30	0,39	0,9845	0,0272
Tanzânia	0,9126	0,1106	2,3962	0,31	0,42	0,9907	0,0243
B. humidicola	0,0068	1,8522	0,8367	0,32	0,38	0,99	0,0215
Hermatria	0,1092	0,1764	2,2828	0,28	0,43	0,9803	0,0492
Tifton	0,0001	6,0084	0,3599	0,32	0,43	0,9976	0,035

APÊNDICE 11 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco II da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4709	0,4447	0,3345	0,2879	0,2687	0,2488	0,2320
	θ calc.	0,4700	0,4402	0,3245	0,2998	0,2647	0,2483	0,2338
B. brizanta	θ obs.	0,5068	0,5041	0,3400	0,2881	0,2739	0,2475	0,2320
	θ calc.	0,5100	0,5000	0,3333	0,3031	0,2634	0,2463	0,2328
Tanzânia	θ obs.	0,4764	0,4104	0,3585	0,3205	0,3107	0,2846	0,2757
	θ calc.	0,4800	0,4112	0,3514	0,3333	0,3010	0,2862	0,2801
B. humidicola	θ obs.	0,4783	0,4554	0,3557	0,3078	0,2945	0,2704	0,2659
	θ calc.	0,4800	0,4618	0,3539	0,3194	0,2815	0,2728	0,2701
Hermatria	θ obs.	0,4851	0,4525	0,3218	0,2685	0,2499	0,2225	0,2084
	θ calc.	0,4900	0,4506	0,3135	0,2819	0,2401	0,2234	0,2118
Tifton	θ obs.	0,5472	0,5146	0,3463	0,2613	0,2453	0,2271	0,2013
	θ calc.	0,5500	0,5114	0,3312	0,2916	0,2396	0,2183	0,2027
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4230	0,3889	0,3504	0,3284	0,3216	0,3135	0,3010
	θ calc.	0,4200	0,3903	0,3464	0,3353	0,3178	0,3093	0,3018
B. brizanta	θ obs.	0,4400	0,4300	0,3957	0,3441	0,3389	0,3050	0,2875
	θ calc.	0,4400	0,4374	0,3853	0,3626	0,3274	0,3102	0,2945
Tanzânia	θ obs.	0,3931	0,3712	0,3496	0,3399	0,3360	0,3262	0,3161
	θ calc.	0,3900	0,3698	0,3490	0,3440	0,3352	0,3300	0,3235
B. humidicola	θ obs.	0,3376	0,3363	0,3133	0,3021	0,3019	0,2954	0,2868
	θ calc.	0,3400	0,3385	0,3098	0,3050	0,2980	0,2945	0,2911
Hermatria	θ obs.	0,3861	0,3885	0,3649	0,3586	0,3474	0,3399	0,3277
	θ calc.	0,3900	0,3896	0,3631	0,3570	0,3471	0,3412	0,3340
Tifton	θ obs.	0,4818	0,3542	0,3087	0,3037	0,2990	0,2902	0,2844
	θ calc.	0,4820	0,3535	0,3112	0,3046	0,2950	0,2902	0,2855

APÊNDICE 12 - Parâmetros de ajuste para o modelo van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco II da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento	α (l/m)	m	n	θ_r cm ³ /cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	c,a	AD cm ³ /cm ³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,0814	0,2679	2,1728	0,23	0,47	0,9952	0,0660
B. brizanta	0,077	0,1401	4,6499	0,23	0,51	0,995	0,0703
Tanzânia	0,0015	4,2655	0,5392	0,28	0,48	0,9896	0,0532
B. humidicola	0,026	0,8268	1,5977	0,27	0,48	0,9927	0,0494
Hermatria	0,0606	0,4297	1,7136	0,21	0,49	0,9949	0,0701
Tifton	0,0658	0,3354	2,0902	0,20	0,55	0,9895	0,0888
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,0641	0,5834	1,0479	0,30	0,42	0,9914	0,0335
B. brizanta	0,0353	0,2291	2,4402	0,29	0,44	0,9685	0,0681
Tanzânia	0,1446	0,3771	1,0334	0,32	0,39	0,9926	0,0205
B. humidicola	0,0973	0,0537	9,7761	0,29	0,34	0,9742	0,0139
Hermatria	0,0786	0,0482	7,9445	0,33	0,39	0,9834	0,0231
Tifton	0,7349	0,1762	2,9757	0,28	0,48	0,9991	0,019

APÊNDICE 13 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco III da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4510	0,3975	0,3349	0,3133	0,3024	0,2871	0,2812
	θ calc.	0,4500	0,4001	0,3274	0,3149	0,2973	0,2892	0,2819
B. brizanta	θ obs.	0,4700	0,4600	0,3574	0,3129	0,3091	0,2752	0,2645
	θ calc.	0,4700	0,4600	0,3507	0,3287	0,2966	0,2806	0,2650
Tanzânia	θ obs.	0,4174	0,3797	0,2960	0,2906	0,2847	0,2645	0,2542
	θ calc.	0,4200	0,3795	0,3030	0,2907	0,2723	0,2629	0,2533
B. humidicola	θ obs.	0,4407	0,4191	0,3187	0,2807	0,2656	0,2388	0,2354
	θ calc.	0,4400	0,4205	0,3152	0,2897	0,2584	0,2474	0,2408
Hermatria	θ obs.	0,3922	0,3826	0,3539	0,3303	0,3246	0,3131	0,3080
	θ calc.	0,3900	0,3809	0,3467	0,3343	0,3169	0,3118	0,3101
Tifton	θ obs.	0,4082	0,4020	0,3410	0,3058	0,2912	0,2770	0,2626
	θ calc.	0,4100	0,4006	0,3355	0,3168	0,2891	0,2758	0,2635
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4265	0,4180	0,3986	0,3835	0,3717	0,3487	0,3435
	θ calc.	0,4300	0,4197	0,3963	0,3864	0,3650	0,3520	0,3415
B. brizanta	θ obs.	0,4162	0,4020	0,3887	0,3738	0,3714	0,3645	0,3463
	θ calc.	0,4200	0,4012	0,3848	0,3794	0,3681	0,3604	0,3519
Tanzânia	θ obs.	0,3454	0,3284	0,3155	0,3126	0,3035	0,2984	0,2903
	θ calc.	0,3500	0,3309	0,3165	0,3120	0,3030	0,2970	0,2911
B. humidicola	θ obs.	0,3502	0,3560	0,3425	0,3397	0,3383	0,3293	0,3185
	θ calc.	0,3600	0,3477	0,3408	0,3384	0,3330	0,3285	0,3217
Hermatria	θ obs.	0,3898	0,3638	0,3551	0,3612	0,3574	0,3529	0,3463
	θ calc.	0,3900	0,3628	0,3585	0,3575	0,3557	0,3544	0,3524
Tifton	θ obs.	0,4103	0,3597	0,3401	0,3334	0,3213	0,3131	0,2925
	θ calc.	0,4100	0,3587	0,3387	0,3326	0,3196	0,3097	0,2963

APÊNDICE 14 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas do bloco III da área experimental de Candiota, RS, para o ano de 2008

C. vaquero	θ obs.	0,4287	0,4250	0,3410	0,2960	0,2917	0,2746	0,2545
	θ calc.	0,4300	0,4203	0,3332	0,3127	0,2829	0,2682	0,2543
B. brizanta	θ obs.	0,4091	0,3494	0,2975	0,2733	0,2702	0,2492	0,2403
	θ calc.	0,4100	0,3503	0,2936	0,2812	0,2618	0,2520	0,2427
Tanzânia	θ obs.	0,4226	0,4003	0,3894	0,3489	0,3288	0,3122	0,2811
	θ calc.	0,4200	0,4044	0,3754	0,3625	0,3307	0,3066	0,2832
B. humidicola	θ obs.	0,3703	0,3435	0,3093	0,2856	0,2807	0,2640	0,2586
	θ calc.	0,3700	0,3398	0,3065	0,2953	0,2743	0,2642	0,2600
Hermatria	θ obs.	0,4079	0,3725	0,3034	0,2645	0,2518	0,2296	0,2204
	θ calc.	0,4100	0,3708	0,2920	0,2722	0,2433	0,2308	0,2216
Tifton	θ obs.	0,4090	0,3874	0,3732	0,3415	0,3319	0,3201	0,3035
	θ calc.	0,4100	0,3916	0,3609	0,3502	0,3292	0,3164	0,3035
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,3845	0,3791	0,3695	0,3655	0,3610	0,3546	0,3500
	θ calc.	0,3800	0,3782	0,3722	0,3687	0,3583	0,3516	0,3500
B. brizanta	θ obs.	0,4167	0,3798	0,3666	0,3504	0,3491	0,3389	0,3247
	θ calc.	0,4200	0,3807	0,3636	0,3583	0,3467	0,3376	0,3242
Tanzânia	θ obs.	0,4121	0,3728	0,3653	0,3469	0,3262	0,3148	0,3126
	θ calc.	0,4100	0,3825	0,3588	0,3505	0,3325	0,3202	0,3104
B. humidicola	θ obs.	0,3697	0,3553	0,3516	0,3421	0,3397	0,3321	0,3218
	θ calc.	0,3700	0,3528	0,3443	0,3416	0,3357	0,3310	0,3234
Hermatria	θ obs.	0,4093	0,3972	0,3848	0,3745	0,3669	0,3594	0,3387
	θ calc.	0,4100	0,3981	0,3808	0,3752	0,3641	0,3566	0,3463
Tifton	θ obs.	0,4533	0,4236	0,3783	0,3377	0,3265	0,3239	0,3049
	θ calc.	0,4530	0,4255	0,3670	0,3515	0,3277	0,3165	0,3071

APÊNDICE 16 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco IV da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2008

Tratamento	α	m	n	θ_r	θ_s	c,a	AD
	(l/m)			cm ³ /cm ³			cm ³ /cm ³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0.0697	0.1847	2.9081	0.25	0.43	0.9845	0.0585

B. brizanta	0,1174	0,5575	0,9913	0,24	0,41	0,9927	0,0385
Tanzânia	0,0039	1,2703	0,7176	0,28	0,42	0,9719	0,0794
B. humidicola	0,0016	3,8541	0,5908	0,26	0,37	0,9851	0,0353
Hermatria	0,0543	0,5906	1,2086	0,22	0,41	0,9919	0,0506
Tifton	0,0231	0,7064	0,8306	0,30	0,41	0,9712	0,0467
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,0006	5,8914	0,8867	0,35	0,38	0,946	0,0187
B. brizanta	0,0003	3,3074	0,3124	0,32	0,42	0,9863	0,0341
Tanzânia	0,0004	4,5423	0,4733	0,31	0,41	0,9749	0,0401
B. humidicola	0,0017	1,9159	0,3431	0,32	0,37	0,9642	0,0182
Hermatria	0,0515	0,4161	0,86661	0,34	0,41	0,9742	0,0289
Tifton	0,0107	0,7884	0,735	0,27	0,44	0,9898	0,083

APÊNDICE 17 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco I da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4722	0,4382	0,3838	0,3756	0,3140	0,2862	0,2489
	θ calc.	0,4720	0,4379	0,3888	0,3685	0,3194	0,2828	0,2512

B. brizanta	θ obs.	0,5178	0,4671	0,3874	0,3732	0,3011	0,2760	0,2288
	θ calc.	0,5180	0,4657	0,3925	0,3654	0,3075	0,2696	0,2345
Tanzânia	θ obs.	0,4752	0,4519	0,3852	0,3753	0,3234	0,2991	0,2816
	θ calc.	0,4750	0,4496	0,3916	0,3686	0,3233	0,2995	0,2836
B. humidicola	θ obs.	0,4728	0,4430	0,3608	0,3528	0,3029	0,2733	0,2372
	θ calc.	0,4730	0,4428	0,3302	0,3099	0,2787	0,2620	0,2441
Hermatria	θ obs.	0,4539	0,4194	0,3908	0,3809	0,3231	0,3017	0,2595
	θ calc.	0,4540	0,4248	0,3882	0,3727	0,3325	0,2975	0,2616
Tifton	θ obs.	0,4983	0,4467	0,4115	0,4032	0,3422	0,3175	0,2928
	θ calc.	0,4980	0,4566	0,4103	0,3924	0,3504	0,3195	0,2940
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4633	0,3875	0,3446	0,3359	0,3093	0,3032	0,2926
	θ calc.	0,4630	0,3879	0,3452	0,3334	0,3121	0,3007	0,2934
B. brizanta	θ obs.	0,4479	0,3748	0,3465	0,3399	0,3226	0,3180	0,3095
	θ calc.	0,4480	0,3746	0,3459	0,3384	0,3245	0,3166	0,3104
Tanzânia	θ obs.	0,3989	0,3550	0,3405	0,3365	0,3245	0,3213	0,3210
	θ calc.	0,3990	0,3561	0,3390	0,3346	0,3271	0,3233	0,3211
B. humidicola	θ obs.	0,4249	0,3869	0,3686	0,3633	0,3448	0,3377	0,3314
	θ calc.	0,4250	0,3901	0,3687	0,3620	0,3483	0,3393	0,3315
Hermatria	θ obs.	0,4321	0,3998	0,3903	0,3869	0,3672	0,3589	0,3517
	θ calc.	0,4320	0,4037	0,3863	0,3808	0,3691	0,3609	0,3528
Tifton	θ obs.	0,3845	0,3745	0,3592	0,3336	0,3177	0,2988	0,2575
	θ calc.	0,3800	0,3690	0,3516	0,3435	0,3205	0,2975	0,2649

APÊNDICE 18 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco I da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento	α (l/m)	m	n	θ_r cm ³ /cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	c,a	AD cm ³ /cm ³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,0016	2,2041	0,6163	0,25	0,47	0,997	0,117
B. brizanta	0,0078	1,2126	0,6743	0,23	0,52	0,9969	0,131

Tanzânia	0,0117	1,0335	0,8952	0,28	0,48	0,9972	0,085
B. humidicola	0,1233	0,1131	4,1047	0,24	0,47	0,9575	0,066
Hermatria	0,0002	4,6178	0,5348	0,26	0,45	0,9926	0,111
Tifton	0,0005	3,8578	0,5303	0,29	0,50	0,9914	0,098
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,002	3,5769	0,4428	0,29	0,46	0,999	0,040
B. brizanta	0,0007	4,7806	0,3545	0,31	0,45	0,9994	0,028
Tanzânia	0,0005	6,1198	0,3721	0,32	0,40	0,9963	0,014
B. humidicola	0,0004	4,5882	0,4054	0,33	0,43	0,9971	0,030
Hermatria	0,0004	4,134	0,3971	0,35	0,43	0,9833	0,028
Tifton	0,0007	1,95	0,6021	0,26	0,38	0,985	0,0787

APÊNDICE 19 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco II da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4514	0,4263	0,3649	0,3573	0,3364	0,2824	0,2557
	θ calc.	0,4510	0,4182	0,3775	0,3612	0,3216	0,2905	0,2590
B. brizanta	θ obs.	0,4652	0,4451	0,4055	0,3444	0,3367	0,2993	0,2736
	θ calc.	0,4650	0,4481	0,3896	0,3667	0,3243	0,3011	0,2796
Tanzânia	θ obs.	0,4890	0,4639	0,4435	0,3717	0,3552	0,3341	0,3146

	θ calc.	0,4890	0,4739	0,4197	0,3961	0,3516	0,3302	0,3165
B. humidicola	θ obs.	0,5350	0,4799	0,4046	0,3613	0,3444	0,3052	0,2747
	θ calc.	0,5350	0,4797	0,3988	0,3747	0,3317	0,3072	0,2825
Hermatria	θ obs.	0,5202	0,4683	0,3564	0,3147	0,2914	0,2560	0,2205
	θ calc.	0,5200	0,4680	0,3524	0,3246	0,2803	0,2564	0,2309
Tifton	θ obs.	0,5380	0,4439	0,3389	0,3106	0,3018	0,2796	0,2506
	θ calc.	0,5380	0,4431	0,3386	0,3204	0,2920	0,2763	0,2587
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4303	0,3661	0,3178	0,3125	0,2989	0,2872	0,2692
	θ calc.	0,4300	0,3656	0,3213	0,3116	0,2955	0,2861	0,2747
B. brizanta	θ obs.	0,4737	0,4278	0,3684	0,3413	0,3230	0,2964	0,2623
	θ calc.	0,4740	0,4266	0,3669	0,3489	0,3149	0,2940	0,2707
Tanzânia	θ obs.	0,4536	0,4144	0,3696	0,3628	0,3488	0,3304	0,3078
	θ calc.	0,4540	0,4116	0,3744	0,3634	0,3425	0,3291	0,3137
B. humidicola	θ obs.	0,4170	0,3368	0,3064	0,3042	0,2976	0,2927	0,2846
	θ calc.	0,4170	0,3365	0,3085	0,3036	0,2960	0,2918	0,2871
Hermatria	θ obs.	0,4729	0,4313	0,3555	0,3399	0,3167	0,2988	0,2781
	θ calc.	0,4730	0,4308	0,3573	0,3403	0,3134	0,2990	0,2837
Tifton	θ obs.	0,3725	0,3612	0,3524	0,3494	0,3424	0,3395	0,3301
	θ calc.	0,3700	0,3595	0,3513	0,3484	0,3422	0,3375	0,3315

APÊNDICE 20 - Parâmetros para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco II da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento	α	m	n	θ_r	θ_s	c.a	AD
	(l/m)			cm ³ /cm ³			cm ³ /cm ³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,0012	2,306	0,5624	0,26	0,45	0,9826	0,102
B. brizanta	0,0274	0,4841	1,2047	0,27	0,47	0,9703	0,087
Tanzânia	0,0154	0,7814	1,1175	0,32	0,49	0,9546	0,080
B. humidicola	0,0438	0,6111	0,8913	0,28	0,54	0,9918	0,092
Hermatria	0,0916	0,3043	1,5449	0,22	0,52	0,9955	0,094

Tifton	0,2494	0,0827	5,3024	0,25	0,54	0,9958	0,062
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,2538	0,4053	0,9958	0,27	0,43	0,997	0,037
B. brizanta	0,0433	0,613	0,8013	0,26	0,47	0,994	0,078
Tanzânia	0,0379	0,797	0,6384	0,31	0,45	0,993	0,050
B. humidicola	0,8509	0,16	2,744	0,29	0,42	0,9989	0,017
Hermatria	0,104	0,3382	1,4137	0,28	0,47	0,9987	0,057
Tifton	1,7189	0,4634	0,33	0,37	0,996	0,0170	0,0029

APÊNDICE 21 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco III da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4741	0,4495	0,3725	0,3624	0,3046	0,2704	0,2385
	θ calc.	0,4740	0,4457	0,3821	0,3563	0,3027	0,2708	0,2436
B. brizanta	θ obs.	0,5192	0,4666	0,3700	0,3615	0,2874	0,2558	0,2363
	θ calc.	0,5190	0,4644	0,3817	0,3511	0,2896	0,2564	0,2369
Tanzânia	θ obs.	0,4573	0,4169	0,3614	0,3526	0,2999	0,2712	0,2621
	θ calc.	0,4570	0,4175	0,3646	0,3442	0,2997	0,2741	0,2631
B. humidicola	θ obs.	0,4996	0,4596	0,3920	0,3825	0,3179	0,2743	0,2389
	θ calc.	0,5000	0,4572	0,3996	0,3758	0,3177	0,2740	0,2401

Hermatria	θ obs.	0,4760	0,4554	0,4089	0,3996	0,3375	0,2930	0,2411
	θ calc.	0,4760	0,4527	0,4115	0,3920	0,3374	0,2887	0,2429
Tifton	θ obs.	0,4342	0,4010	0,3465	0,3393	0,3024	0,2767	0,2682
	θ calc.	0,4340	0,3987	0,3521	0,3350	0,2994	0,2793	0,2683
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4482	0,4084	0,3674	0,3613	0,3332	0,3158	0,3092
	θ calc.	0,4480	0,4083	0,3716	0,3591	0,3333	0,3181	0,3092
B. brizanta	θ obs.	0,4324	0,4067	0,3790	0,3761	0,3472	0,3314	0,3188
	θ calc.	0,4320	0,4076	0,3809	0,3708	0,3476	0,3314	0,3194
Tanzânia	θ obs.	0,2993	0,2617	0,2415	0,2366	0,2163	0,2045	0,2032
	θ calc.	0,2990	0,2664	0,2423	0,2346	0,2190	0,2095	0,2032
B. humidicola	θ obs.	0,4381	0,3949	0,3536	0,3494	0,3109	0,2915	0,2754
	θ calc.	0,4380	0,3933	0,3543	0,3406	0,3105	0,2901	0,2754
Hermatria	θ obs.	0,4212	0,3927	0,3599	0,3530	0,3209	0,3027	0,2757
	θ calc.	0,4210	0,3929	0,3633	0,3518	0,3241	0,3019	0,2782
Tifton	θ obs.	0,3760	0,3601	0,3537	0,3478	0,3476	0,3421	0,3284
	θ calc.	0,3800	0,3605	0,3529	0,3505	0,3452	0,3409	0,3335

APÊNDICE 22 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas de solo, do bloco III da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento	α	m	n	θ_r	θ_s	c.a	AD
	(l/m)			cm³/cm³			cm³/cm³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,0132	0,8336	0,8866	0,24	0,47	0,9965	0,113
B. brizanta	0,0051	1,8378	0,7026	0,24	0,52	0,9963	0,114
Tanzânia	0,0006	5,1492	0,6052	0,26	0,46	0,9972	0,081
B. humidicola	0,0006	3,5843	0,5806	0,24	0,50	0,998	0,136
Hermatria	0,0006	2,9157	0,6474	0,24	0,48	0,9982	0,149
Tifton	0,0023	2,6904	0,6298	0,27	0,43	0,9969	0,067

Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,0006	4,7413	0,5103	0,31	0,45	0,9984	0,050
B. brizanta	0,0005	4,1638	0,5306	0,32	0,43	0,9967	0,051
Tanzânia	0,0004	5,2678	0,4529	0,20	0,30	0,9942	0,031
B. humidicola	0,0002	6,1328	0,4707	0,28	0,44	0,9968	0,065
Hermatria	0,0006	2,9851	0,5069	0,28	0,42	0,9986	0,074
Tifton	0,0002	3,0905	0,2817	0,33	0,38	0,9649	0,0170

APÊNDICE 24 - Dados da curva de retenção de água considerando como limite superior a água retida à tensão de 10 kPa para as duas camadas de solo, do bloco IV da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento		Tensões (cm de água)						
		0	10	60	102	340	1020	15300
Camada 0,00-0,05m								
C. vaquero	θ obs.	0,4607	0,4328	0,3815	0,2951	0,2574	0,2430	0,1904
	θ calc.	0,4610	0,4422	0,3562	0,3217	0,2603	0,2278	0,1980
B. brizanta	θ obs.	0,5091	0,4856	0,4069	0,3332	0,3012	0,2974	0,2678
	θ calc.	0,5090	0,4918	0,3898	0,3538	0,3023	0,2822	0,2696
Tanzânia	θ obs.	0,4948	0,4474	0,3810	0,3183	0,2853	0,2823	0,2594
	θ calc.	0,4950	0,4516	0,3635	0,3349	0,2890	0,2700	0,2598
B. humidicola	θ obs.	0,4540	0,4143	0,3390	0,2728	0,2548	0,2506	0,2448
	θ calc.	0,4540	0,4210	0,3262	0,2901	0,2481	0,2450	0,2450
Hermatria	θ obs.	0,5294	0,4893	0,3944	0,3232	0,2871	0,2736	0,2598
	θ calc.	0,5290	0,4934	0,3793	0,3398	0,2838	0,2665	0,2602
Tifton	θ obs.	0,4789	0,4605	0,3786	0,2945	0,2686	0,2631	0,2537

	θ calc.	0,4340	0,4300	0,3509	0,2908	0,2540	0,2540	0,2540
Camada 0,10-0,15m								
C. vaquero	θ obs.	0,4531	0,4328	0,3769	0,3331	0,3164	0,3139	0,3018
	θ calc.	0,4530	0,4360	0,3675	0,3448	0,3148	0,3058	0,3022
B. brizanta	θ obs.	0,3949	0,3694	0,3422	0,3152	0,2975	0,2899	0,2439
	θ calc.	0,3950	0,3658	0,3365	0,3256	0,3001	0,2795	0,2517
Tanzânia	θ obs.	0,4506	0,4021	0,3676	0,3415	0,3275	0,3246	0,3082
	θ calc.	0,4510	0,4031	0,3607	0,3495	0,3303	0,3198	0,3103
B. humidicola	θ obs.	0,4383	0,4134	0,3651	0,3252	0,3108	0,3070	0,2905
	θ calc.	0,4380	0,4149	0,3547	0,3374	0,3114	0,3002	0,2922
Hermatria	θ obs.	0,4525	0,4225	0,3838	0,3574	0,3463	0,3455	0,3332
	θ calc.	0,4530	0,4240	0,3769	0,3652	0,3478	0,3399	0,3340
Tifton	θ obs.	0,3675	0,3712	0,3434	0,3100	0,2900	0,2672	0,2529
	θ calc.	0,3700	0,3700	0,3374	0,3161	0,2850	0,2696	0,2547

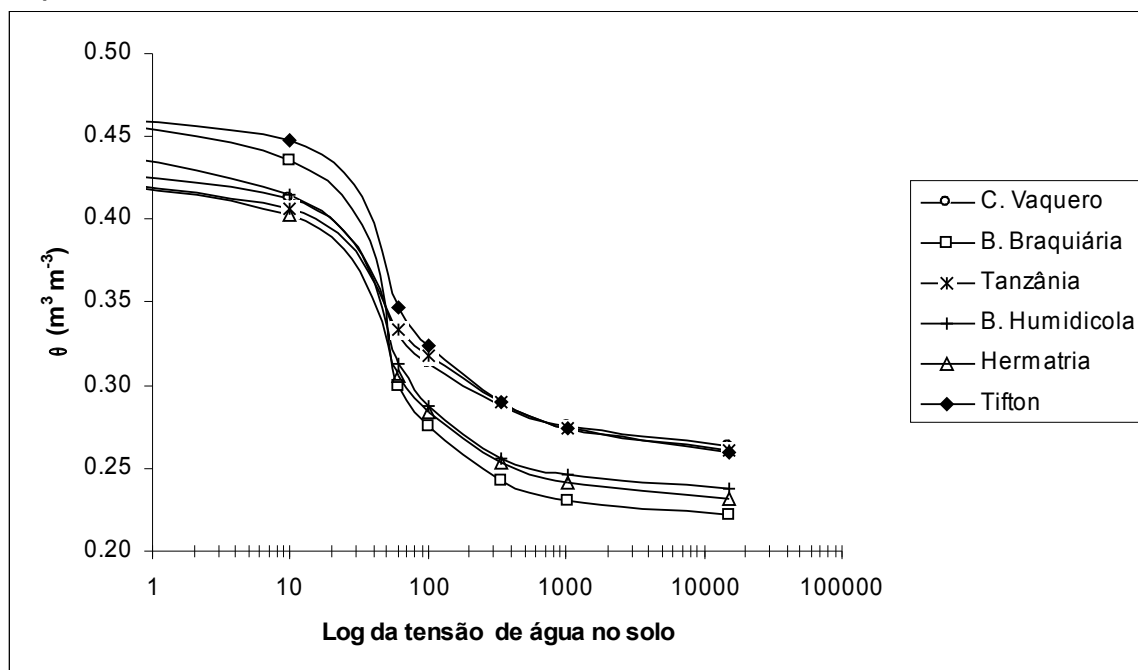
APÊNDICE 25 - Parâmetros de ajuste para o modelo de van Genutchen (1980) e água disponível (AD) para as duas camadas do bloco IV da área experimental de Candiota/RS, para o ano de 2009

Tratamento	α	m	n	θ_r	θ_s	c.a	AD
	(l/m)			cm ³ /cm ³			cm ³ /cm ³
Camada 0,00-0,05m							
C. vaquero	0,0298	0,417	1,3801	0,19	0,46	0,9728	0,124
B. brizanta	0,0323	0,499	1,6223	0,27	0,51	0,9827	0,084
Tanzânia	0,0196	1,0542	0,9507	0,26	0,50	0,9847	0,075
B. humidicola	0,0019	8,362	0,9773	0,25	0,45	0,9872	0,045
Hermatria	0,0183	1,0861	1,1601	0,26	0,53	0,9919	0,080
Tifton	0,0038	10,075	1,8656	0,25	0,43	0,9943	0,037
Camada 0,10-0,15m							
C. vaquero	0,0242	0,8578	1,3387	0,30	0,45	0,987	0,043
B. brizanta	0,0031	1,4005	0,5171	0,24	0,40	0,9795	0,074

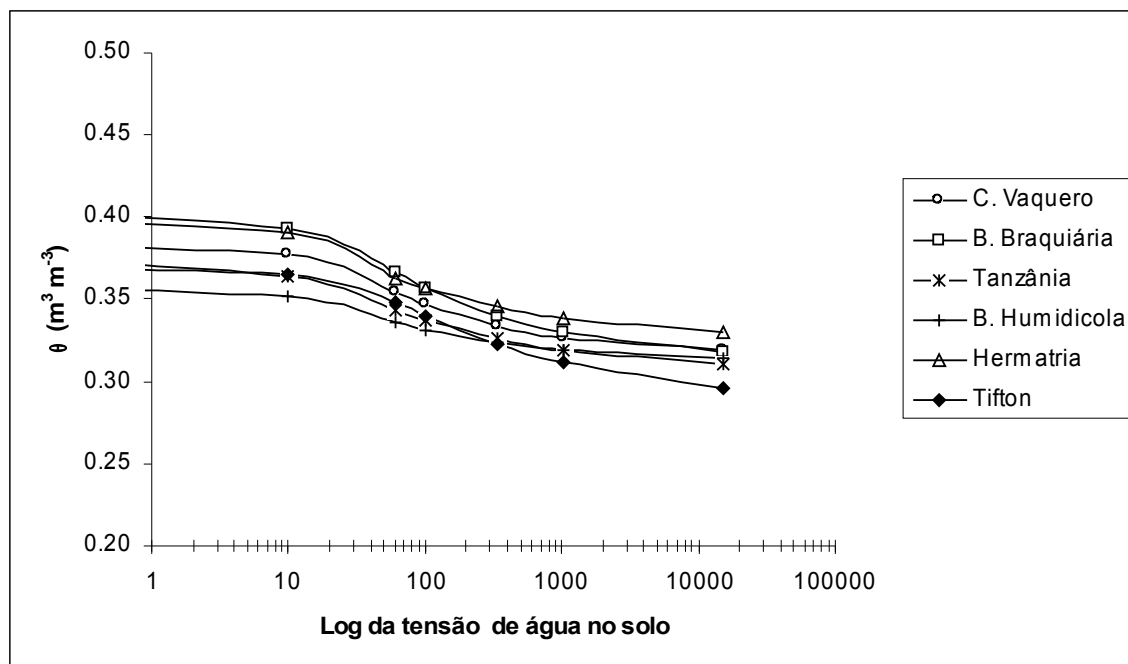
Tanzânia	0,0465	0,8909	0,7081	0,31	0,45	0,9905	0,039
B. humidicola	0,0409	0,5986	1,2394	0,29	0,44	0,9843	0,045
Hermatria	0,0558	0,6497	1,082	0,33	0,45	0,9881	0,031
Tifton	0,0304	0,0645	8,1776	0,25	0,37	0,9916	0,0614

APÊNDICE 26 – Curvas de retenção de água no solo nas camadas de 0,00-0,05m (a) e 0,10-0,15m (b) do solo construído, em 2008.

a)

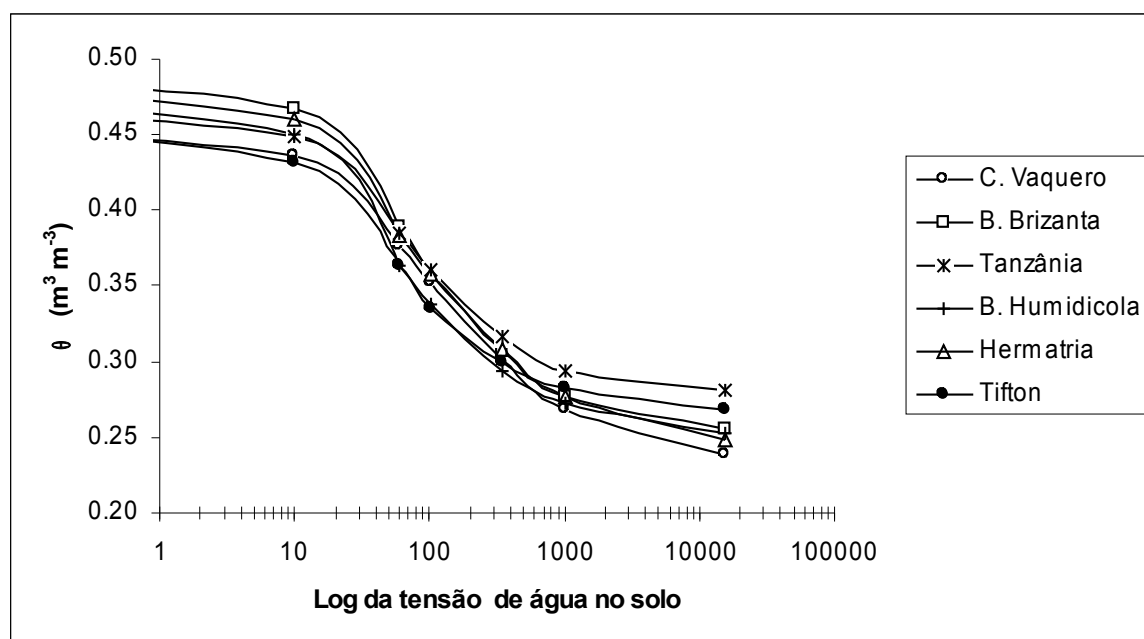


b)

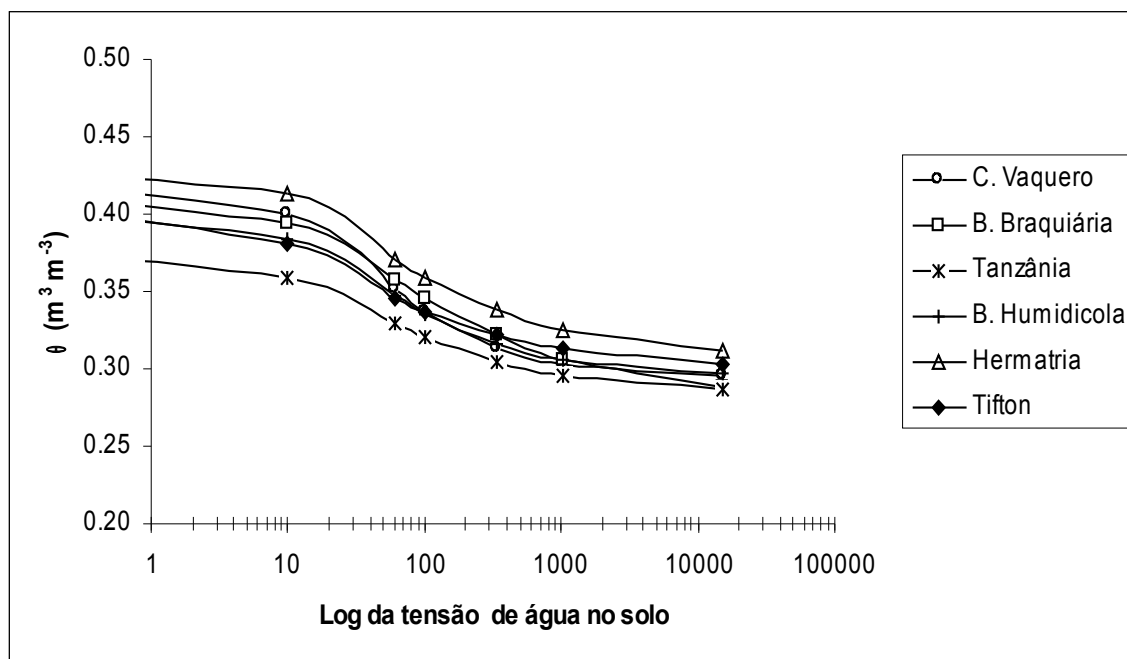


APÊNDICE 27 – Curvas de retenção de água no solo nas camadas de 0,00-0,05m (a) e 0,10-0,15m (b) do solo construído, em 2009.

a)



b)



APÊNDICE 28 - Médias finais da pressão de pré-consolidação (σ_p) e índice de compressão (IC) para os 6 tratamentos dos blocos I,II,III e IV, nas camadas de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m no ano de 2008

Camada de 0,00-0,05m

Tratamento	Bloco I		Bloco II		Bloco III		Bloco IV	
	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC
C. vaquero	130	0,27	290	0,43	219	0,31	136	0,31
B.Brizanta	176	0,39	80	0,32	0	0	0	0
Tanzania	83	0,25	126	0,26	157	0,33	0	0
B. humidicola	188	0,37	170	0,35	199	0,42	191	0,26
Hermatria	138	0,31	39	0,27	284	0,25	227	0,39
Tifton	136	0,14	87	0,34	395	0,42	188	0,33

Camada de 0,10-0,15m

C. vaquero	355	0,17	206	0,25	0	0	164	0,15
B.Brizanta	298	0,15	203	0,28	149	0,17	240	0,26
Tanzania	301	0,22	256	0,17	283	0,14	251	0
B. humidicola	280	0,19	170	0,41	257	0,14	263	0,26
Hermatria	193	0,20	214	0,16	344	0,23	0	0,26
Tifton	136	0,14	325	0,17	224	0,16	150	0,22

APÊNDICE 29 - Médias finais da densidade na pressão de pré-consolidação (σ_p) e índice de compressão (IC) para os 6 tratamentos dos Blocos I, II, III e IV nas camadas de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m no ano de 2009

Camada de 0,00-0,05m								
Tratamento	Bloco I		Bloco II		Bloco III		Bloco IV	
	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC	σ_p kPa	IC
C. vaquero	152	0,28	176	0,30	180,5	0,39	354	0,32
B.Brizanta	241	0,28	96,5	0,31	96,5	0,39	144	0,36
Tanzania	346	0,19	130	0,28	258,5	0,41	311	0,41
B. humidicola	320,5	0,20	102,5	0,31	76	0,33	288	0,38
Hermatria	322,5	0,18	63,5	0,30	212	0,42	189	0,37
Tifton	312	0,27	60	0,33	272	0,33	270	0,44

Camada de 0,10-0,15m								
C. vaquero	207,50	0,10	239,50	0,42	350,50	0,28	165,50	0,23
B.Brizanta	202,50	0,13	153	0,34	210	0,24	225	0,22
Tanzania	273	0,13	201,50	0,26	257	0,16	241	0,28
B. humidicola	373	0,13	145	0,23	354,50	0,18	272	0,29
Hermatria	339	0,16	179	0,23	273,50	0,24	226,50	0,33
Tifton	266	0,15	97,50	0,23	284,50	0,25	230,50	0,24

APÊNDICE 30 – Análise de variância dos atributos físicos, nas camadas de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

0,00-0,05m					0,10-0,15m				
		Densidade do Solo							
Efeitos	Valor F	Pr>F		Valor F	Pr>F		Valor F	Pr>F	
Tratamento	1,24	0,3064		1,32	0,2725				
Tempo	2,28	0,1481		22,81	0,0002				
Tratamento*tempo	0,08	0,9952		1,03	0,4309				
		Porosidade Total							
Tratamento	0,42	0,8341		3,4	0,1114				
Tempo	1,45	0,2446		6,85	0,0175				
Tratamento*tempo	0,2	0,9572		3,18	0,0312				
		Macroporosidade							
Tratamento	0,60	0,6969		0,8	0,5581				
Tempo	12,8	0,0022		7,6	0,013				
Tratamento*tempo	0,95	0,4727		1,22	0,3418				
		Microporosidade							
Tratamento	0,43	0,825		1,03	0,4125				
Tempo	67,09	<,0001		0,03	0,8554				
Tratamento*tempo	1,89	0,1464		0,64	0,6728				
		Água Disponível							
Tratamento	1,13	0,3798		1,19	0,3545				
Tempo	38,08	<,0001		6,19	0,0229				
Tratamento*tempo	2,31	0,0865		2,52	0,4351				

APÊNDICE 31 – Análise de variância da agregação na camada de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

0,00-0,05m			0,10-0,15m	
Diâmetro Médio Ponderado				
Efeitos	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F
Tratamento	5,12	0,0005	0,64	0,6714
Tempo	1,32	0,2551	0,57	0,4546
Tratamento*tempo	2,87	0,0208	2,09	0,0779
Carbono Orgânico				
Tratamento	5,83	0,0004	2,6	0,0387
Tempo	58,65	<,0001	0,07	0,7918
Tratamento*tempo	1,67	0,1642	1,66	0,1647
Macroagregados				
Tratamento	2,96	0,0179	3,64	0,0057
Tempo	77,83	<,0001	0,1	0,7489
Tratamento*tempo	0,52	0,7623	3,75	0,0048
Microagregados				
Tratamento	0,96	0,0179	1,86	0,1138
Tempo	77,83	<,0001	15,85	0,0002
Tratamento*tempo	0,52	0,7623	1,37	0,2468

APÊNDICE 32 – Análise de variância dos parâmetros mecânicos na camada de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m em solo construído na área de mineração de carvão em Candiota/RS.

	0,00-0,05m		0,10-0,15m	
	Pressão de Pré-consolidação			
Efeitos	Valor F	Pr>F	Valor F	Pr>F
Tratamento	0,56	0,7271	0,71	0,6204
Tempo	2,39	0,1395	0,16	0,6977
Tratamento*tempo	0,6	0,7012	0,34	0,8827
	Índice de Compressão			
Tratamento	0,35	0,8779	0,25	0,9396
Tempo	0,13	0,7260	2,55	0,1280
Tratamento*tempo	0,59	0,7105	0,97	0,4632

APÊNDICE 33 - Análise de variância entre os tratamentos e o solo construído sem plantas de cobertura, na camada de 0,00-0,05m em Candiota/RS.

Comparações	0,00-0,05m	
	Densidade do solo	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	0,95	0,3338
Braquiária brizanta vs SCSP	10,12	0,0022
Tanzânia vs SCSP	4,16	0,0450
Braquiária humidicola vs SCSP	8,52	0,0047
Hermatria vs SCSP	4,96	0,0291
Tifton vs SCSP	6,10	0,0159
Comparações	Porosidade total	
	Valor F	Pr>F
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	3,36	0,0709
Braquiária brizanta vs SCSP	8,29	0,0052

Tanzânia vs SCSP	4,92	0,0297
Braquiária humidicola vs SCSP	9,28	0,0032
Hermatria vs SCSP	7,06	0,0097
Tifton vs SCSP	4,52	0,0369
Macroporosidade		
Capim vaquero vs SCSP	1,31	0,2559
Braquiária brizanta vs SCSP	2,87	0,0944
Tanzânia vs SCSP	1,34	0,2514
Braquiária humidicola vs SCSP	5,30	0,0242
Hermatria vs SCSP	2,84	0,0963
Tifton vs SCSP	1,83	0,1801
Microporosidade		
Capim vaquero vs SCSP	0,05	0,8189
Braquiária brizanta vs SCSP	0,28	0,6001
Tanzânia vs SCSP	0,41	0,5253
Braquiária humidicola vs SCSP	0,06	0,8106
Hermatria vs SCSP	0,09	0,7676
Tifton vs SCSP	0,05	0,8219
Água disponível		
Capim vaquero vs SCSP	0,00	0,9623
Braquiária brizanta vs SCSP	0,05	0,8278
Tanzânia vs SCSP	0,54	0,4645
Braquiária humidicola vs SCSP	0,83	0,3661
Hermatria vs SCSP	0,01	0,9118
Tifton vs SCSP	0,84	0,3633

APÊNDICE 34 - Análise de variância entre os tratamentos e o solo construído sem plantas de cobertura, na camada de 0,10-0,15m em Candiota/RS.

0,10-0,15m		
Comparações	Densidade do solo	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	9,37	0,0036
Braquiária brizanta vs SCSP	3,32	0,0444
Tanzânia vs SCSP	0,14	0,7068
Braquiária humidicola vs SCSP	6,83	0,0118
Hermatria vs SCSP	6,13	0,0168
Tifton vs SCSP	3,32	0,0444
Porosidade total		
Capim vaquero vs SCSP	6,45	0,0131
Braquiária brizanta vs SCSP	5,27	0,0104
Tanzânia vs SCSP	0,68	0,4135
Braquiária humidicola vs SCSP	4,11	0,0379
Hermatria vs SCSP	4,53	0,0364
Tifton vs SCSP	0,04	0,8398
Macroporosidade		
Capim vaquero vs SCSP	7,41	0,0081
Braquiária brizanta vs SCSP	0,69	0,4103
Tanzânia vs SCSP	1,37	0,2449
Braquiária humidicola vs SCSP	2,89	0,0933
Hermatria vs SCSP	2,06	0,1552
Tifton vs SCSP	1,57	0,2145
Microporosidade		
Capim vaquero vs SCSP	0,71	0,4010
Braquiária brizanta vs SCSP	0,00	0,9823
Tanzânia vs SCSP	4,54	0,0365

Braquiária humidicola vs SCSP	1,55	0,2177
Hermatria vs SCSP	0,02	0,8900
Tifton vs SCSP	1,77	0,1875
Água disponível		
Capim vaquero vs SCSP	15,65	0,0003
Braquiária brizanta vs SCSP	7,61	0,0083
Tanzânia vs SCSP	19,54	<,0001
Braquiária humidicola vs SCSP	20,74	<,0001
Hermatria vs SCSP	14,42	0,0004
Tifton vs SCSP	13,36	0,0007

APÊNDICE 35 - Análise de variância entre os tratamentos e o solo construído sem plantas de cobertura, na camada de 0,00-0,05m em Candiota/RS

0,00-0,05m		
Comparações	Diâmetro Médio Ponderado	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	19,16	<,0001
Braquiária brizanta vs SCSP	46,35	<,0001
Tanzânia vs SCSP	8,34	0,0045
Braquiária humidicola vs SCSP	16,15	<,0001
Hermatria vs SCSP	16,70	<,0001
Tifton vs SCSP	9,75	0,0025
Carbono Orgânico		
Capim vaquero vs SCSP	18,97	<,0001
Braquiária brizanta vs SCSP	28,77	<,0001
Tanzânia vs SCSP	45,16	<,0001
Braquiária humidicola vs SCSP	43,27	<,0001
Hermatria vs SCSP	40,81	<,0001
Tifton vs SCSP	21,28	<,0001
Macroagregados		
Capim vaquero vs SCSP	15,33	0,0001
Braquiária brizanta vs SCSP	30,25	<,0001
Tanzânia vs SCSP	14,69	0,0002
Braquiária humidicola vs SCSP	13,71	0,0003
Hermatria vs SCSP	23,18	<,0001
Tifton vs SCSP	16,22	<,0001
Microagregados		
Capim vaquero vs SCSP	15,33	0,0001
Braquiária brizanta vs SCSP	30,25	<,0001
Tanzânia vs SCSP	14,69	0,0002
Braquiária humidicola vs SCSP	13,71	0,0003

Hermatria vs SCSP	23,18	<,0001
Tifton vs SCSP	16,22	<,0001

APÊNDICE 36 - Análise de variância entre os tratamentos e o solo construído sem plantas de cobertura, na camada de 0,10-0,15m em Candiota/RS

0,10-0,15m		
Comparações	Diâmetro Médio Ponderado	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	5,09	0,0255
Braquiária brizanta vs SCSP	10,49	0,0015
Tanzânia vs SCSP	4,25	0,0411
Braquiária humidicola vs SCSP	9,85	0,0021
Hermatria vs SCSP	4,54	0,0348
Tifton vs SCSP	6,33	0,0129
Carbono Orgânico		
Capim vaquero vs SCSP	35,80	<,0001
Braquiária brizanta vs SCSP	49,55	<,0001
Tanzânia vs SCSP	27,36	<,0001
Braquiária humidicola vs SCSP	35,36	<,0001
Hermatria vs SCSP	34,89	<,0001
Tifton vs SCSP	17,18	<,0001
Macroagregados		
Capim vaquero vs SCSP	9,90	0,0024
Braquiária brizanta vs SCSP	43,30	<,0001
Tanzânia vs SCSP	10,53	0,0017
Braquiária humidicola vs SCSP	19,01	<,0001
Hermatria vs SCSP	33,09	<,0001
Tifton vs SCSP	14,29	0,0003
Microagregados		
Capim vaquero vs SCSP	6,26	0,0134
Braquiária brizanta vs SCSP	3,84	0,0421
Tanzânia vs SCSP	14,02	0,0003
Braquiária humidicola vs SCSP	20,06	<,0001

Hermatria vs SCSP	14,46	0,0002
Tifton vs SCSP	12,20	0,0006

APÊNDICE 37 - Análise de variância entre os tratamentos e o solo construído sem plantas de cobertura, na camada de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m em Candiota/RS.

0,00-0,05m		
	Pressão de Pré-consolidação	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	11,36	0,0012
Braquiária brizanta vc SCSP	3,43	0,0682
Tanzânia vc SCSP	12,81	0,0006
Braquiária humidicola vs SCSP	9,27	0,0032
Hermatria vs SCSP	8,62	0,0044
Tifton vs SCSP	13,07	0,0005
	Índice de compressibilidade	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	1,57	0,2141
Braquiária brizanta vc SCSP	1,80	0,1835
Tanzânia vc SCSP	0,34	0,5624
Braquiária humidicola vs SCSP	0,58	0,4491
Hermatria vs SCSP	0,31	0,5775
Tifton vs SCSP	2,89	0,0932
0,10-0,15m		
	Pressão de Pré-consolidação	
	Valor F	Pr>F
Capim vaquero vs SCSP	9,48	0,0029
Braquiária brizanta vc SCSP	4,86	0,0307
Tanzânia vc SCSP	12,25	0,0008
Braquiária humidicola vs SCSP	16,27	0,0001
Hermatria vs SCSP	10,84	0,0015
Tifton vs SCSP	5,95	0,0172
	Índice de compressibilidade	
	Valor F	Pr>F

Capim vaquero vs SCSP	0,03	0,8586
Braquiária brizanta vc SCSP	0,29	0,5933
Tanzânia vc SCSP	1,47	0,2295
Braquiária humídicola vs SCSP	0,87	0,3535
Hermatria vs SCSP	0,60	0,4410
Tifton vs SCSP	1,99	0,1626
