

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



Dissertação

**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**

Fernanda Coelho Gonçalves

Pelotas, 2008

Fernanda Coelho Gonçalves

**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**

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 do
conhecimento: Solos).

Orientador: Dr. Eloy Antonio Pauletto

Co-orientadores: Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto
Dr^a. Flavia Fontana Fernandes

Pelotas, 2008

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

G635e Gonçalves, Fernanda Coelho

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 / Fernanda Coelho Gonçalves. - Pelotas, 2008. 91f.

Dissertação (Mestrado em Solos) –Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. - Pelotas, 2008, Eloy Antonio Pauletto, Orientador; co-orientador Luiz Fernando Spinelli Pinto e Flavia Fontana Fernandes.

1.Recuperação do solo 2. Qualidade física 3. Matéria orgânica 4. Carvão I Pauletto, Eloy Antonio (orientador) II .Título.

CDD 631.42

Banca examinadora:

Dr. Eloy Antonio Pauletto - Orientador

Dr. Jocelito Saccol de Sá

Dr^a. Claudia Fernanda Almeida Teixeira

Dr^a. Ana Cláudia Rodrigues de Lima

A Deus

Dedico

*“O senhor é meu pastor, nada me
faltará.” (Salmo 23:1).*

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor Luiz Fernando Spinelli Pinto e a professora Flavia Fontana Fernandes pela co-orientação e ensinamentos transmitidos.

Ao professor Luís Carlos Timm pela confiança e oportunidade a mim concedida de participar da IX Escola Latinoamericana de Física do Solo.

A todos os professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos transmitidos.

À colega Cecília Estima Sacramento dos Reis pela amizade e auxílio nos experimentos.

A todos os colegas e amigos do Departamento de Solos pelos momentos de descontração, amizade e troca de experiências.

Aos funcionários e estagiários do Departamento de Solos pela amizade e auxílio técnico.

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

À Companhia Riograndense de Mineração (CRM) pela cedência da área experimental e apoio financeiro, em especial ao Eng^o Edson Aguiar e Eng^o Nei Sá Júnior, e também ao funcionário Luiz Roberto Moreira e ao estagiário Fábio Gralla.

Aos meus pais Luiz Fernando Gonçalves e Cleusa Cunha Coelho, e as minhas irmãs Katherine e Aline, pelo carinho, compreensão e incentivo durante esta etapa.

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

Resumo

GONÇALVES, Fernanda Coelho. **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. 91f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O carvão mineral apresenta importância estratégica na expansão do sistema elétrico nacional. A jazida de Candiota no RS é a maior do Brasil, com 38% de todo carvão nacional extraído a céu aberto. Este tipo de extração, aliado ao trânsito de máquinas pesadas, causa alterações negativas ligadas a estrutura do solo. Logo, atributos como a densidade do solo, porosidade, diâmetro médio ponderado e resistência mecânica do solo à penetração mostrarão seus reflexos. A revegetação tem sido utilizada com estratégia na recuperação destes solos, pois tem como seu principal efeito o restabelecimento do ciclo da matéria orgânica, o qual exerce forte influência sobre a qualidade física do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota no RS, após três anos de condução do experimento. Foram determinados os seguintes atributos do solo: distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e diâmetro médio ponderado; carbono orgânico; densidade do solo; porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência mecânica do solo à penetração. O experimento, implantado em nov/dez de 2003 e delineado em blocos ao acaso com 4 repetições, apresenta os seguintes tratamentos: T1 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 – Pensacola (*Paspalum notatum* Klüggé), T4 - Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T5 - Solo natural da frente de mineração. As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0,0 – 0,05m; 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m. Como conclusões gerais pode-se dizer: 1) O efeito das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo ainda é incipiente. 2) As plantas de cobertura Hemátria e Grama Tifton destacaram-se dentre as demais.

Palavras-chave: Recuperação do solo. Qualidade Física. Matéria Orgânica.

Abstract

GONÇALVES, Fernanda Coelho. **Effect of cover crops on the physical attributes of constructed soil in coal mining area in Candiota-RS, Brazil, after three years.** 2008. 91p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The mineral coal is important to the expansion of the national electrical system. Candiota's mine is the biggest mine in Brazil, with 38% of all national coal. This activity and the traffic of weight machines, cause negative alterations in the structure. Attributes such as bulk density, porosity, mean weight diameter of aggregates and mechanical resistance penetration show the consequences of this activity. The revegetation has been used as a strategy to recover these degraded soils. Thus, with, the reestablishment of the cycle of the organic substance exerts big influence on the physical quality of the soil. The objective of the present work was to evaluate the effect of different cover crops on the physical attributes of constructed soil in coal mining area in Candiota-RS, after 3 years of experiment conduction. Aggregates stability in different size classes, mean weight diameter (MWD), organic carbon, soil bulk density, total porosity, macro/microporosity and mechanical resistance to penetration were analyzed. The experiment, installed in nov/dez of 2003, is comprised of four randomized blocks with four treatments: T1 - *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard, T2 - *Cynodon dactylon* (L.) Pers., T3 – *Paspalum notatum* Flüggé, T4 - *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf, T5 – natural soil. The soil samples had been collected from the layers: 0,0 - 0,05m; 0,05 - 0,10m and 0,10 - 0,20m. As general conclusions were: 1) The effect of the cover crops on the soil physical attributes is still incipient. 2) The cover crops *Hemarthria altissima* and *Cynodon dactylon* stood out of the others.

Key words: Soil recovering. Physical quality. Organic matter.

Lista de Figuras

Figura 2.1	Localização da área experimental.....	22
Figura 2.2	Cobertura da Hemátria e da Grama Tifton na área experimental.....	24
Figura 2.3	Delineamento experimental.....	25
Figura 3.1	Distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, nas camadas: 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10-0,20m de um solo construído após 3 anos de condução do experimento na área de mineração de carvão de Candiota, RS (média de 8 repetições).....	38
Figura 3.2	Diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) nas camadas: 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10-0,20m de um solo construído após 3 anos de condução do experimento na área de mineração de carvão de Candiota, RS.....	40
Figura 3.3	Distribuição de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) nas camadas: 0,0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m de um solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS (média de 8 repetições).....	43
Figura 4.1	Comparações de médias de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota em duas épocas de avaliação.	61
Figura 4.2	Densidade do solo obtida pelo método da Tomografia Computadorizada de um solo construído e do solo natural da área de mineração de Candiota-RS.	62
Figura 4.3	Resistência mecânica do solo à penetração obtida um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota, RS em duas épocas de avaliação.	66

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Dados de precipitação mensais na área de mineração de carvão de Candiota-RS.....	21
Tabela 3.1	Distribuição das partículas do solo por tamanho de partículas do solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS.	35
Tabela 3.2	Distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) de um solo construído após 3 anos de condução do experimento (maio/2004 – maio/2007) na área de mineração de carvão de Candiota, RS.....	41
Tabela 3.3	Comparações de médias de valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota na caracterização inicial do experimento (maio de 2004) e após três anos de condução do experimento (maio de 2007).	44
Tabela 4.1	Distribuição das partículas do solo por tamanho de partículas do solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS.....	56
Tabela 4.2	Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota, RS para as camadas 0,0 – 0,05m; 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m.	58
Tabela 4.3	Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS para as camadas 0,0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m.	60

Tabela 4.4	Densidade pelo método da Tomografia Computadorizada de um solo construído e do solo natural da área de mineração de Candiota-RS.	64
Tabela 4.5	Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) de um solo construído na área de mineração de Candiota, RS em duas épocas de avaliação (maio/2004 e maio/2007).	65
Tabela 4.6	Umidade Gravimétrica (%) de um solo construído na área de mineração de Candiota-RS, no momento da avaliação da resistência mecânica à penetração.	67

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Características da área de mineração de carvão de Candiota	15
2.2 Degradação ambiental.....	17
2.3 Recuperação de áreas degradadas.....	19
2.3.1 Revegetação de áreas degradadas.....	20
2.3.1.1 Caracterização da área experimental	21
2.4 Atributos físicos do solo.....	26
3 EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA NA AGREGAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA – RS APÓS TRÊS ANOS	29
3.1 Resumo	30
3.2 Abstract	32
3.3 Introdução.....	33
3.4 Material e Métodos	35
3.5 Resultados e Discussão	37
3.6 Conclusões.....	45
3.7 Referências Bibliográficas	46
4 ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA – RS CULTIVADO COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA APÓS TRÊS ANOS	48
4.1 Resumo	49
4.2 Abstract	51
4.3 Introdução.....	52
4.4 Material e Métodos	55
4.5 Resultados e Discussão	57
4.6 Conclusões.....	67
4.7 Referências Bibliográficas	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICES	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, as reservas de carvão mineral são maiores do que as de petróleo e gás natural, sendo a maior jazida a de Candiota, no Rio Grande do Sul. Em Candiota a extração de carvão é realizada a céu aberto, onde ocorre a remoção de grandes volumes de solo e de rochas, o que acarreta uma série de modificações na estrutura do meio ambiente. Essa é uma das atividades de exploração dos recursos naturais que pode causar grandes impactos ao meio ambiente.

Os métodos utilizados para extração do carvão e para recomposição da paisagem, aliados ao uso e tráfego de máquinas e equipamentos de grande porte, provocam compactação e alterações negativas na estrutura, originadas da mistura do solo, subsolo, rochas e rejeitos de carvão, que irão compor os chamados solos construídos. Esses solos apresentam-se profundamente modificados em relação aos seus aspectos originais, resultando em uma série de problemas físicos, químicos e biológicos de difícil solução.

As alterações físicas causadas nesse tipo de solo estão diretamente relacionadas à estrutura, logo, atributos como densidade, diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água, porosidade e resistência mecânica do solo à penetração mostram as alterações ocorridas em solos construídos. Assim, torna-se necessário adotar medidas de recuperação que deixem o solo o mais próximo do conceito de solo natural, com adequadas condições físicas e químicas, atingindo o equilíbrio das características naturais do ambiente.

Para que essas áreas afetadas pela mineração sejam reabilitadas é necessário que se tenha o mínimo de qualidade ambiental e física, para que se desenvolvam plantas, sendo a revegetação indispensável à recuperação de áreas degradadas.

Um adequado desenvolvimento da vegetação pode auxiliar na recuperação dos impactos negativos nas condições físicas de solos afetados pela mineração, ou seja, deve-se escolher espécies que tenham capacidade para crescer rapidamente, proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e restabelecer o regime hídrico (KOPEZINSKI, 2000).

Além disso, as plantas utilizadas para cobertura apresentam comportamento e ações diferentes de acordo com as suas características. Assim diferentes plantas de cobertura poderão afetar de forma diferente os atributos físicos do solo ao longo do tempo. Conforme Saraiva et al. (1978), as gramíneas reúnem as características protetoras de solo, o tapete formado pela parte aérea e o sistema radicular fasciculado garantem proteção de tal forma que a erosão é quase nula.

Porém existem poucos dados a respeito do efeito diferencial de plantas utilizadas como cobertura vegetal sobre a recuperação da qualidade de solos construídos em áreas de mineração no Brasil, o que justifica a realização deste trabalho. Neste contexto, este trabalho testou a hipótese de que as plantas de cobertura influenciam diferentemente os atributos físicos de um solo construído ao longo do tempo.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota, no RS, após três anos de condução do experimento. Para isto comparou-se os resultados obtidos com os resultados obtidos por Franco (2006) em trabalho realizado nessa área no início da implantação das plantas de cobertura.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Avaliar a influência de plantas de cobertura na agregação de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS após três anos de condução do experimento.

- 2) Avaliar a influência de plantas de cobertura na densidade, porosidade e na resistência mecânica à penetração de um solo construído na área de mineração de

carvão de Candiota – RS após três anos de condução do experimento.

3) A partir da avaliação dos atributos físicos espera-se gerar informações que sirvam de subsídio para a escolha adequada das espécies que irão compor a etapa de revegetação no processo de recuperação de áreas degradadas pela mineração.

Foram determinados os seguintes atributos físicos do solo: distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e diâmetro médio ponderado; densidade do solo; porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência mecânica do solo à penetração.

A dissertação é disposta em capítulos compondo, além da revisão bibliográfica apresentada no item 2, os capítulos 3 e 4. Desta forma o objetivo 1 é atendido pelo capítulo 3 e o objetivo 2 pelo capítulo 4, o objetivo 3 é atendido por ambos capítulos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características da área de mineração de carvão de Candiota

A geração de energia a partir do carvão mineral desempenha um importante papel na expansão do sistema elétrico nacional, em função da escassez de energia elétrica aliada a menor disponibilidade de recursos hídricos competitivos. A mina de Candiota é a maior reserva carbonífera nacional, com aproximadamente 12,275 bilhões de toneladas dos depósitos do País (SEMC, 2006).

As reservas de carvão mineral no Brasil estão concentradas nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com 28,80 e 3,36 bilhões de toneladas, respectivamente (89,0 e 10,5% do estoque do País), para um total das reservas brasileiras de 32,6 bilhões (SEMC, 2006). Esses estoques correspondem a 50 % dos recursos energéticos não renováveis do País, enquanto que o petróleo e o gás natural correspondem, respectivamente, a 10% e 3% dos recursos energéticos brasileiros (SEMC, 2006).

A mina de Candiota de propriedade da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), empresa de economia mista criada em 1969 e controlada pelo Governo do Rio Grande do Sul, está localizada no município de Candiota. Este município possui uma população de aproximadamente 12.000 habitantes, com uma distância aproximada de 150 km de Pelotas (acesso pela BR 293) e 400 km de Porto Alegre (acesso pelas BR 116 e 293). A mineração de carvão é realizada, ininterruptamente, desde 1961, objetivando a produção de carvão termoelétrico. As reservas de carvão de Candiota passíveis de serem mineradas a céu aberto correspondem a 1 bilhão de toneladas, com camadas de estéril, composto por argilas, arenitos, folhelhos e fragmentos de carvão

que recobrem o minério, de até 50 metros de espessura (CRM, 2007).

O carvão extraído por esta mineradora é usado como combustível, sendo britado e transportado por correias até a Usina Termoeletrica Presidente Médici (UTPM), a qual possui uma geração nominal de 126MW na Fase A e 320 MW na Fase B com uma demanda de carvão na faixa de 1,7 milhões de toneladas ano⁻¹, atualmente operadas pela Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE), empresa pública federal. Um acordo bilateral entre Brasil e China, permitirá a construção da Usina de Candiota III (Fase C), que terá uma capacidade instalada de 350MW. Segundo previsão da Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica, a Usina Candiota III entrará em operação em 2010 (CGTEE, 2006).

As camadas de carvão na Jazida de Candiota, juntamente com folhelhos cinza e carbonosos, argilitos, arenitos e conglomerados, integram a denominada Formação Rio Bonito, a qual insere-se no Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, do Permiano Superior (BRASIL-IBGE, 1986).

A área de mineração de Candiota é constituída por dois leitos de carvão mineráveis, denominados de Camada Superior (CS) e Camada Inferior (CI), de características constantes em termos de espessura e qualidade. A camada de material estéril encontrada na jazida de Candiota apresenta cobertura relativamente baixa nas malhas atualmente em lavra, oscilando entre 12 e 15 metros de espessura, necessitando remover grandes volumes de solo para a extração do carvão (SCHULTZE, 1998; GONÇALVES, 1999).

A recomposição das áreas é feita paralelamente à extração do minério. No processo de extração é utilizada uma escavadeira chamada de “*walking-drag-line*”, para a descobertura do carvão, em que são realizados cortes sucessivos em sistema “vaivém” na seguinte seqüência: a) retirada do solo superficial (horizonte A); b) retirada da argila vermelha (horizontes B e C); c) perfuração e detonação do arenito; d) descobertura do carvão através da “*walking-drag-line*”; e) perfuração, detonação e extração do carvão do banco superior (BS) e do banco inferior (BI), com separação do argilito intermediário; f) recomposição topográfica, constituída pelos materiais de cobertura, com ou sem o aproveitamento de vazios para deposição de cinzas; g) deposição da “terra vegetal” sobre a área recomposta topograficamente; h)

estabelecimento de práticas agronômicas de preparo, conservação e correção do solo; i) plantio de espécies vegetais (SCHULTZE, 1998).

Durante a lavra, os materiais de cobertura, que ficam acima das camadas aproveitáveis de carvão, são misturados entre si e depositados no corte lateral vazio. A lavra simultânea à recomposição contribui para redução no custo de recuperação, que tende a ser diluído (NOER, 1989). Além disso, este processo utilizado em Candiota pode evitar que as pilhas de solo retiradas da pré-mineração fiquem expostas à intempérie por longos períodos, o que prejudicaria a qualidade destes solos.

A recomposição topográfica do local já minerado é realizada por tratores de esteira, os quais quebram os cones de estéries deixados pela “*walking-drag-line*” para conformação do terreno. Esses cones são compostos por uma mistura heterogênea de argilitos, arenitos, folhetos e carvão, existentes nas camadas de cobertura do perfil geológico de Candiota. O método de lavra e de recomposição origina, portanto, áreas recuperadas topograficamente, compostas por uma camada superficial de solo, inadequadamente chamada de “terra vegetal” ou “solo orgânico”, constituída pelo horizonte A do solo, frequentemente misturado com os horizontes B e C, e subsuperficialmente, composta por estéries de mineração, que são formados por uma mistura heterogênea de materiais com litologias e graus de intemperização variados (PINTO, 1999). Nas áreas antigas da mineração de Candiota (Malha II), onde não há mais “terra vegetal”, foram realizados plantios de espécies vegetais diretamente sobre os estéries (SCHULTZE, 1998). Este processo de recomposição dá origem aos solos construídos, “minesoils”, os quais são formados por materiais e procedimentos antropogênicos, ou seja, determinados pela ação humana, adquirindo na condição ambiente ao longo do tempo uma evolução pedogênica (KÄMPF et. al., 2000; PINTO & KÄMPF, 2002).

2.2 Degradação ambiental

Reinert (1997) considera como degradação do solo a perda de condições desejáveis, relacionadas ao crescimento de plantas e ao ambiente, e propõe que a recuperação de solos seja definida como o melhoramento da qualidade de um solo

degradado no sentido de adquirir novamente suas condições originais.

O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração (IBAMA, 1990) define que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados.

Sanches & Formoso (1990) citam que os impactos ambientais provocados pela mineração de carvão, principalmente a céu aberto, acarretam a contaminação do solo, água e ar, causando impactos temporários ou permanentes.

Segundo Stahl et al. (2002), dentre os impactos causados pelo processo de lavra, pode-se citar a perda completa da vegetação da superfície do solo, destruição da estrutura do solo e eliminação do habitat dos organismos do solo, expulsando a fauna existente no local. Estes autores citam ainda que vários fatores de natureza física e química do rejeito carbonífero limitam o estabelecimento vegetal, restringindo a reabilitação das áreas de mineração, causando sérios efeitos nos atributos físicos, químicos e biológicos, e consequentemente resultando em reduções significativas da qualidade do solo. Além disso, tráfego freqüente de veículos também contribui para modificar a estrutura do solo, causando a compactação do solo e, consequentemente, a redução do volume do espaço poroso, o aumento da densidade do solo e alterações nas propriedades hidráulicas, afetando a movimentação da água e de soluções do solo, e também o desenvolvimento das plantas e raízes.

Em consequência da desagregação da estrutura e da redução da capacidade de infiltração da água, ocorre um maior escoamento superficial e exposição de camadas ricas em pirita, o que acarreta uma série de prejuízos no desenvolvimento da vegetação, fontes pontuais de poluição e aparecimento de um rápido e intenso processo erosivo (PINTO & KÄMPF, 2002).

A oxidação da pirita (FeS_2), contida no carvão e litologias associadas, produz ácido sulfúrico, provocando o fenômeno da drenagem ácida, que polui as águas e inibe a revegetação das áreas construídas. Isto se deve à produção de altos níveis de acidez ($\text{pH} < 3,5$), que causa deficiência de nutrientes para as plantas e concentrações tóxicas de metais (Nunes, 2002).

A reversão deste quadro, segundo Pinto & Kämpf (2002), só será possível com a correção da acidez, controle da erosão das áreas recuperadas através de manejo e com o rápido estabelecimento da vegetação e a manutenção da cobertura do solo ao longo do tempo.

2.3 Recuperação de áreas degradadas

A recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações, idealizadas e executadas por profissionais de diferentes áreas, que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural (DIAS & GRIFFITH, 1998). Os objetivos da recuperação dos solos construídos prevêm basicamente o surgimento de sucessão vegetal, de modo que essa revegetação promova a inibição da ocorrência do processo erosivo nestas áreas, através da presença de indícios de reestruturação das propriedades físicas do solo, início de reciclagem de nutrientes, vegetação e organismos vivos (BUGIN, 2002).

As propriedades dos solos construídos refletem as características dos materiais constituintes do solo natural e do método de construção adotado. A correção posterior dos distúrbios pode ser difícil e onerosa, o que sugere que haja um considerável controle sobre as características do solo construído, obtido através de um adequado manejo e método de construção, com cuidadosa seleção dos materiais mais adequados para a construção e correta disposição destes nas áreas a serem recuperadas (PINTO, 1997). De acordo com Schafer et al. (1980), se forem construídos com materiais de alta qualidade e em uma inclinação estável, esses podem superar o potencial de alguns solos naturais.

No momento da escolha das técnicas de lavra e de recomposição a serem adotadas, devem ser levados em consideração os aspectos locais e as características particulares de cada região (KOPEZINSKI, 2000), pois as operações de construção do solo devem ser cuidadosamente avaliadas para determinar a sua influência nas condições físicas dos solos construídos (MCSWEENEY & JANSEN, 1991). Segundo Nunes (2002), para que seja possível o sucesso na recuperação de áreas degradadas

são necessários estudos que visem avaliar as várias formas de degradação causadas por alterações nos atributos dos solos construídos, bem como seu potencial de uso, para a obtenção de índices que permitam estipular o impacto ambiental dessas áreas mineradas, contribuindo assim para diagnosticar os problemas existentes e propor a adequada recuperação destas áreas.

2.3.1 Revegetação de áreas degradadas

A revegetação, segundo Bugin (2002), é a etapa do processo de recuperação da área em que são adotadas as medidas para a implantação de uma cobertura vegetal, visando não somente a recuperação paisagística, mas também o controle dos processos erosivos e recuperação das propriedades do solo.

Qualquer estudo que inclua a avaliação da qualidade ambiental de uma região ou a compreensão dos processos que conduziram a uma dada situação não pode deixar de considerar a cobertura vegetal (OLIVEIRA & BALBUENO, 2000), a qual pode reduzir parte dos prejuízos causados pelas operações de mineração a céu aberto (BARNHISEL & MASSEY, 1969).

Na maioria das vezes, o solo das áreas construídas possui características físico-químicas alteradas, apresentando níveis baixos de nutrientes, quando comparados às do solo original. Um adequado desenvolvimento da vegetação pode auxiliar na correção desses fatores, ou seja, deve-se escolher espécies que tenham capacidade para crescer rapidamente, proteger e enriquecer o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e restabelecer o regime hídrico (KOPEZINSKI, 2000).

Os benefícios das coberturas vegetais não se limitam à diminuição do efeito erosivo das chuvas. Durante a decomposição de restos de culturas pela ação das bactérias aeróbicas e especialmente de material celulósico, são produzidos ácidos poliurônicos que conferem estabilidade dos agregados do solo. O sistema radicular das plantas de cobertura também é um fator importante no controle da erosão e na agregação, pois pode atuar como agente rompedor de camadas compactadas na superfície e em profundidade e como auxílio de agregação na rizosfera através da força exercida pelas raízes ao aumentarem seu diâmetro (BAVER et al., 1973).

A manutenção do solo coberto traz também outros benefícios, tais como; proteção contra a radiação solar, mantendo as temperaturas mais baixas, reduzindo, desta forma, a perda de água por evaporação, e mantendo conseqüentemente os teores de água elevados por períodos mais longos; maior controle de plantas daninhas; maior ciclagem de nutrientes além de beneficiar a atividade biológica (GASSEN & GASSEN, 1996).

2.3.1.1 Caracterização da área experimental

Na escolha das espécies vegetais a serem utilizadas na etapa de revegetação na área de mineração de Candiota (Fig. 2.1) tornou-se importante a utilização de critérios como a quantidade de biomassa produzida e a adaptação da espécie às condições edafoclimáticas do local, pois deverão suportar períodos de déficit hídrico durante o verão e baixas temperaturas durante o inverno. Além disso, devem suportar sítios de alcalinidade e acidez variáveis devido ao uso de calcário e ao processo de oxidação da pirita, que pode estar misturada ao material de origem (FRANCO, 2006).

O clima da região é classificado como sendo do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido de acordo com a classificação de Wilhelm Köppen. Na tab. 2.1 são apresentados os dados de precipitação mensais na área de mineração de carvão de Candiota – RS.

Tabela 2.1 - Dados de precipitação mensais na área de mineração de carvão de Candiota-RS.

Meses	2003	2004	2005	2006	Média
janeiro		77	88	103	89
fevereiro		142	38	50	77
março		35	61	82	59
abril		209	110	71	130
maio		174	129	63	122
junho		78	67	127	91
julho		61	41	71	58
agosto		83	111	96	97
setembro	87	102	167	51	107
outubro	106	106	148	55	103
novembro	106	168	21	95	95
dezembro	151	68	20	149	79
Total		1303	1001	1013	1106

Fonte: CRM

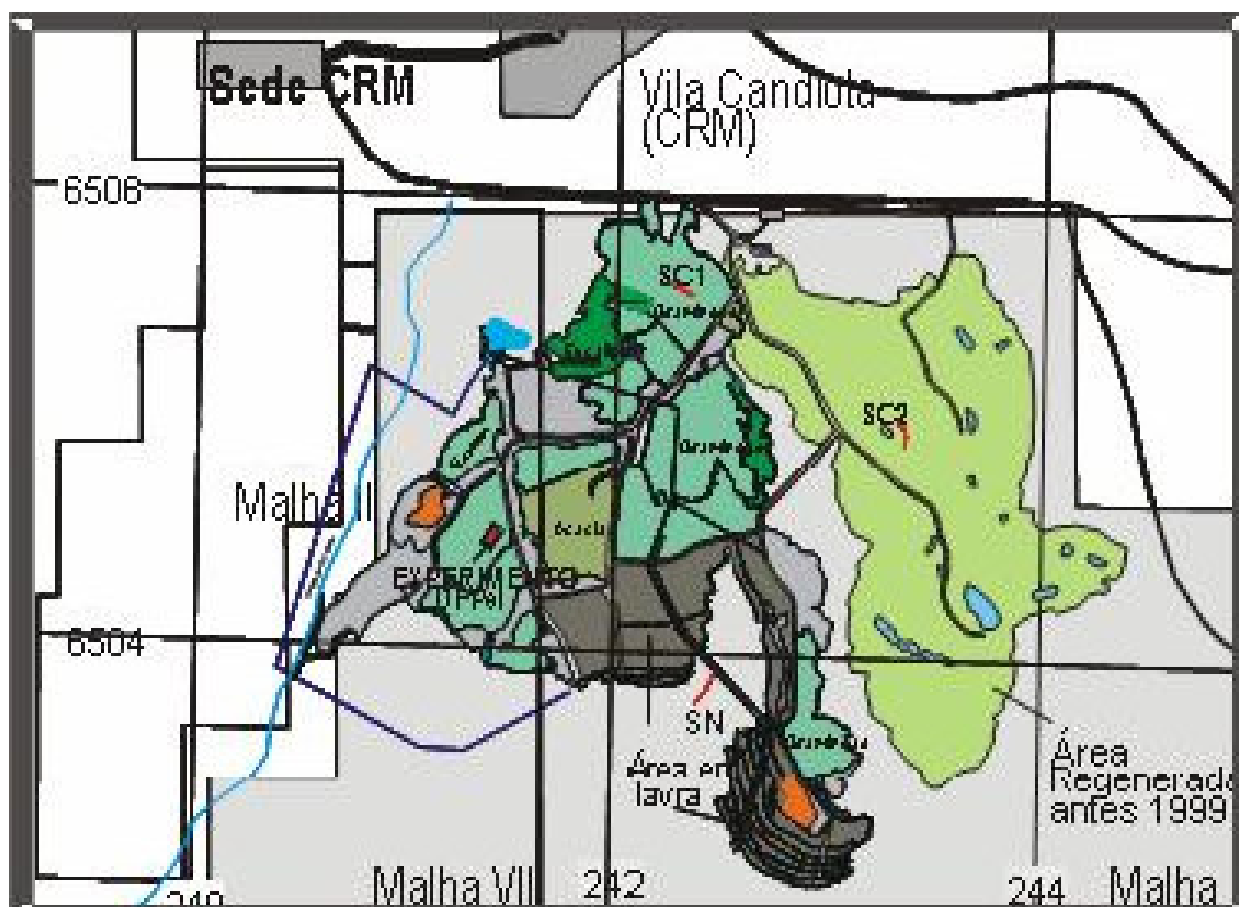


Figura 2.1 – Localização da área experimental.
Adaptado de Nunes (2002).

As gramíneas perenes, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, contribuindo para sua formação e estabilidade, e podem ser usadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (SILVA & MIELNICZUK, 1997). Porém, a consorciação de gramíneas e leguminosas é mais eficiente na reagregação do que somente leguminosas ou somente gramíneas (ALLISON, 1973).

Entre as espécies de plantas de cobertura escolhidas para revegetação da área de mineração de Candiotá estão gramíneas perenes: Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé) e Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf); e uma leguminosa perene: Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W. C.

Greg.).

Segundo Cook et al. (2008), a Hemátria (Fig. 2.2) é uma espécie nativa em diversos continentes: Sul da Europa (Grécia, Itália, Espanha), África, Oceano Índico, Ásia Ocidental (Turquia, Arábia Saudita, Líbano), Sul da Ásia (Índia), Sudeste Asiático (Indonésia, Tailândia, Mianmar). Esta planta cresce bem em solos com pH entre 5,5 e 6,5, mas tolera acidez até pH 4,5. Além disso, é muito tolerante a locais com problemas de encharcamento, tolerando também períodos curtos de seca. Por ser encontrada naturalmente entre latitudes 40°N e 34°S, tolera calor (ótimo de desenvolvimento entre 31 e 35°C) e geadas, tolerando frios de até -10°C. Possui alta velocidade de crescimento e alto potencial de adição de biomassa por períodos maiores que outras gramíneas tropicais. Produz pouca semente, logo sua implantação se dá por mudas (estacas de estolões).

A Pensacola é uma gramínea perene original do estado do Rio Grande do Sul que foi melhorada na Flórida (EUA), apresenta estolões curtos e folhas estreitas. Requer índice pluviométrico acima de 800mm anual e tem baixa resistência ao sombreamento. Esta planta é muito rústica, apresenta bom valor nutritivo e é resistente ao pisoteio. Apresenta, entretanto, desenvolvimento lento e incidência alta de sementes dormentes (PUPO, 1979).

Já a Grama Tifton (Fig. 2.2) é, provavelmente, originária do Sudeste da África, sendo esta, uma gramínea de clima subtropical temperado, rizomatosa, com vários híbridos de interesse forrageiro, entre eles o Coast Cross, a Tifton 68 e 85 e a Florakirk. Ela é sensível ao sombreamento, é menos tolerante ao frio que as demais, e é relativamente exigente em fertilidade. Entretanto, apresenta enraizamento a cada nó, lhe conferindo uma vantagem comparativa em termos de estabelecimento (AGPC, 2008).

A Braquiária Brizanta, conforme Cook et al. (2008), é uma gramínea perene tropical, de crescimento rápido em condições de temperatura elevada, estolonífera, adaptada a solos de textura média a argilosa, média tolerância a seca, não tolera fogo e encharcamento, e é adaptada a condições de menor fertilidade, embora prefira solos

com pH entre 5 e 7,5. Não suporta sombreamento e frio. Sua propagação se dá via sementes.

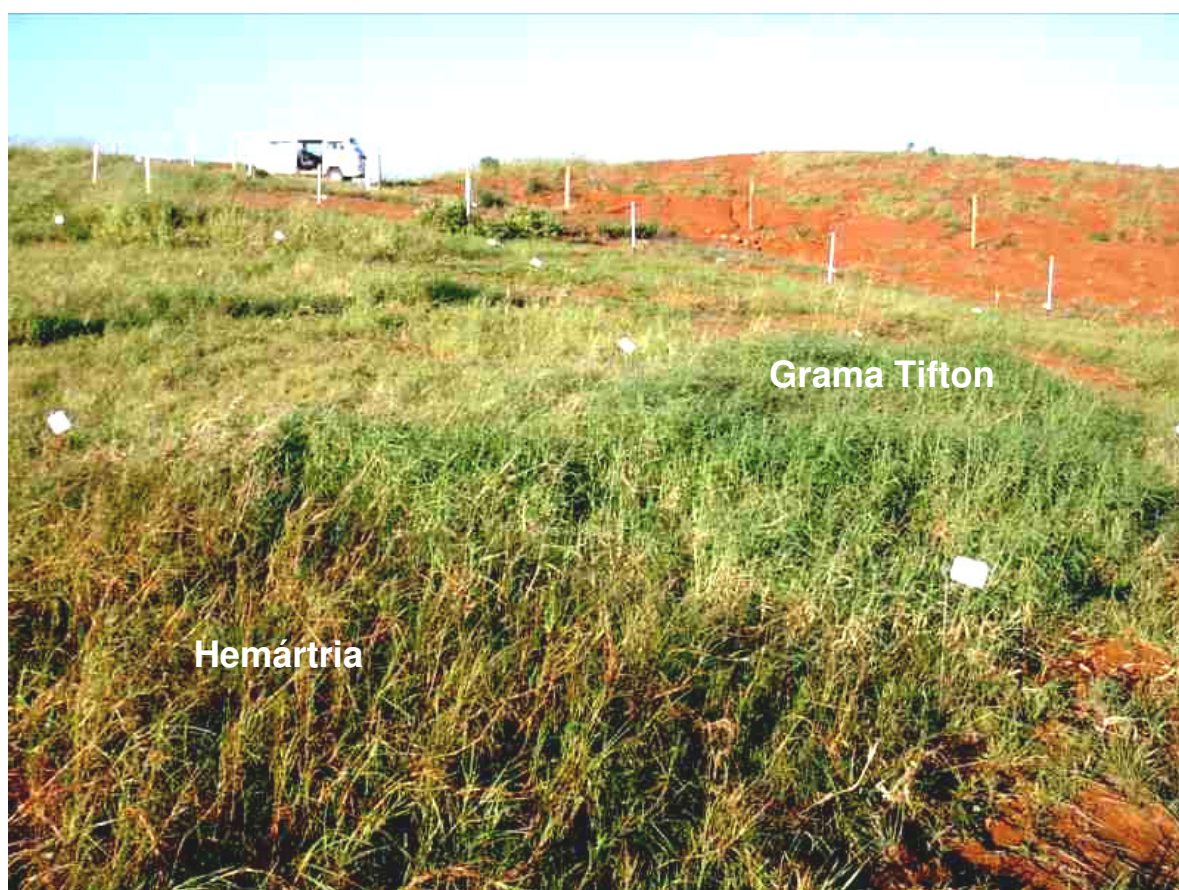


Figura 2.2 – Cobertura da Hemátria e da Grama Tifton na área experimental.

O Amendoim Forrageiro é uma leguminosa perene, nativa, com crescimento rasteiro e estolonífero, com talo ramificado, circular, apresenta entrenós curtos e estolões fortes. Excelente forrageira, teria o papel de incluir N biologicamente no sistema, pois é capaz de fixar anualmente entre 60 e 150 Kg/ha, equivalendo (em N) de 132 a 333 kg/ha de uréia . Exige índice pluviométrico acima dos 900mm anuais, tem boa resistência ao sombreamento. Indicada para pastoreio, cobertura verde e consorciação com gramíneas (COOK et al., 2008).

A utilização de espécies perenes é justificada pela propriedade destas espécies de se manterem na área ao longo do tempo, possibilitando uma menor interferência do homem nos anos seguintes. Além disso, estas espécies apresentam uma alta

capacidade de adição de biomassa. A introdução de uma leguminosa visa garantir o suprimento de nitrogênio através da fixação biológica.

O experimento é composto pelos seguintes tratamentos (Fig. 2.3): T1 – Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 – Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 – Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), T4 – Hemátria + Amendoim Forrageiro (*Arachis pintoii* Krapov. & W. C. Greg.), T5 – Grama Tifton + Amendoim Forrageiro, T6 – Pensacola + Amendoim Forrageiro, T7 – Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T8 – Solo natural da frente de mineração.

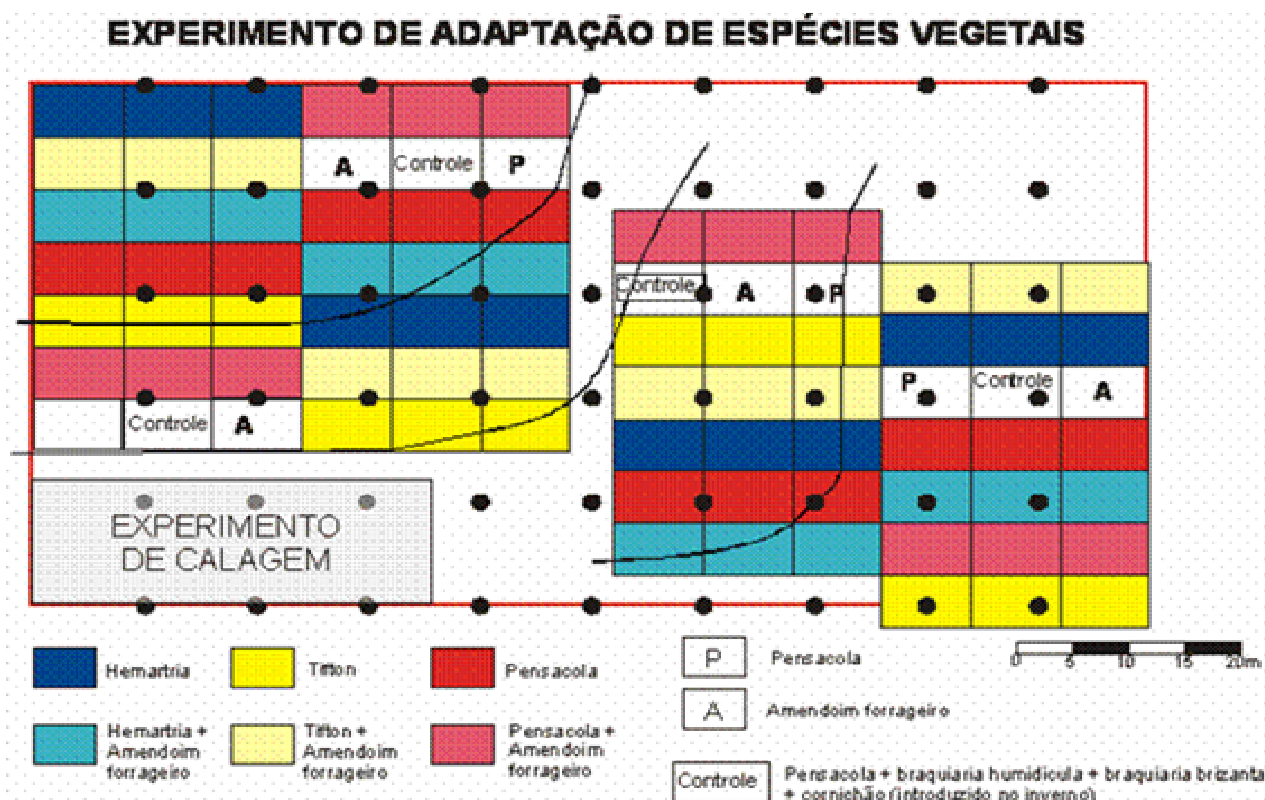


Figura 2.3 – Delineamento experimental.

Este último pode ser considerado como a testemunha ou solo no estado imediatamente anterior à sua remoção, empilhamento e uso para a construção do solo no processo de recuperação da área minerada.

Porém, neste trabalho foram analisados apenas os dados obtidos a partir dos tratamentos com as gramíneas solteiras, sendo excluídos os obtidos dos consórcios

gramínea e leguminosa, ou seja, os tratamentos T4, T5 e T6, devido ao não estabelecimento do amendoim forrageiro em função dos seguidos períodos de seca ocorridos durante a condução do experimento.

2.4 Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo são os de mais difícil controle e em solos construídos são extremamente variáveis (MCSWEENEY & JANSEN, 1991; Bell, 1994).

As operações de lavra e de recomposição executadas nas atividades de mineração de carvão causam importantes alterações sobre os atributos físicos do solo, como a diminuição da estabilidade dos agregados, o aumento da densidade do solo, alterações na porosidade, permeabilidade e estrutura em relação ao solo natural, e, consequentemente a diminuição do desenvolvimento normal das plantas (NUNES, 2002), assim como uma menor disponibilidade de água e uma menor aeração (POTTER et al., 1988). Essas alterações não se restringem apenas ao contraste entre o solo natural e o solo construído, elas continuam agindo ao longo do tempo devido à ação das intempéries.

Os atributos densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade têm sido utilizados como indicadores da qualidade física do solo para o desenvolvimento de plantas (SPERA et al., 2004). Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos permite monitorar a eficiência ou não de sistemas de manejo do solo ou de outras atividades diferentes, quando se objetiva a estabilidade estrutural (SECCO et al., 2005).

Estudos realizados por Pedersen et al. (1980) e Hauser & Chichester (1989) mostram que os solos construídos são pouco estruturados, com alta densidade, baixa porosidade, menor infiltração, baixa condutividade hidráulica, baixa disponibilidade e redistribuição de água e mais alto teor de argila e de fragmentos rochosos em relação aos solos naturais de referência. Esses atributos físico-hídricos dos solos construídos são condicionados pelo manejo e método de construção, com cuidadosa seleção de materiais para construção dos solos e correta disposição destes nas áreas a serem recuperadas (INDORANTE et al., 1981; SNARKI et al., 1981; PINTO, 1997).

O solo construído da área de mineração de Candiota se enquadra neste contexto, principalmente por ter uma textura predominantemente argilosa e por ter variações dos atributos físicos muito semelhantes aos citados anteriormente.

Na caracterização inicial, realizada por Franco em maio de 2004, o solo construído da área experimental apresentou maior concentração de agregados na classe de 1,00 - 0,25mm na camada superficial, ocasionando um menor diâmetro médio ponderado (DMP). Isto pode ser explicado pelo menor conteúdo de carbono orgânico do solo construído em relação ao solo natural que resulta em uma menor estabilidade dos agregados e assim, em um menor DMP. Já na camada subsuperficial, o solo construído apresentou maior concentração de agregados de maior tamanho, porém com valores de DMP semelhantes ao do solo natural.

Conforme Kämpf et al. (2000), uma estrutura não favorável é uma das principais consequências de solos com pouco tempo de construção. Então, o pouco tempo decorrido entre a instalação do experimento (nov/2003) e a caracterização física do solo construído realizada em 2004 (Franco, 2006) não foi suficiente para que se verificasse influência das plantas de cobertura sobre a estrutura deste solo.

Em trabalho realizado por Nunes (2002), na área de mineração de carvão de Candiota-RS, como o objetivo de verificar se os métodos de lavra e de recomposição ambiental degradam as condições físicas do solo dos solos construídos, a autora observou que, embora apresentassem diferentes materiais e métodos de construção, o solo construído com cinco anos apresentou maior agregação do que o solo com um ano de construção. O que leva a inferir que ao longo do tempo estes solos tendam a desenvolver uma estrutura morfológica.

O solo construído da área experimental apresenta maior porcentagem da fração argila, enquanto que o solo natural apresenta maiores teores de areia, apesar dos dois possuírem o mesmo material de origem (FRANCO, 2006).

Nunes (2002) observou que, os teores de argila, silte e areia, cor do solo (2,5 YR) e conteúdo de carbono orgânico do solos construídos são muito semelhantes aos do horizonte B do perfil modal do solo natural, indicando que nesta área não foi utilizado material do horizonte A e sim do B, chamado, na mina de Candiota, de argila vermelha. Quanto à densidade, o solo construído da área experimental apresentou na sua

caracterização inicial, valores de densidade na camada superficial semelhantes ao do solo natural, enquanto que na camada subsuperficial o solo construído apresenta maiores valores de densidade que o solo natural.

Segundo Franco (2006), isto pode estar relacionado às operações realizadas por ocasião da instalação do experimento onde, foi feita escarificação para descompactar o solo e uma gradagem para incorporar o calcário, atingindo apenas a camada superficial. Em relação à porosidade, a camada superficial do solo construído apresentou as maiores porcentagens de macroporos quando comparada com a camada subsuperficial, e assim pode-se dizer que a camada subsuperficial do solo construído é mais restritiva ao desenvolvimento das plantas que a camada superficial.

Assim na recuperação de áreas degradadas pela mineração é importante minimizar as alterações negativas dos atributos do solo, para que o desenvolvimento de vegetação possa ocorrer de maneira satisfatória, diminuindo consideravelmente as perdas de solo por erosão.

3 EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA NA AGREGAÇÃO DE UM SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA – RS APÓS TRÊS ANOS

**EFEITO DE PLANTAS DE COBERTURA NA AGREGAÇÃO DE UM SOLO
CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO DE CANDIOTA – RS APÓS
TRÊS ANOS**

**EFFECT OF COVER CROPS ON THE AGGREGATION OF CONSTRUCTED SOIL IN
COAL MINING AREA IN CANDIOTA-RS, BRAZIL, AFTER THREE YEARS**

3.1 Resumo - As modificações causadas por atividades como a mineração afetam diretamente a estrutura do solo, o qual tende a perder sua estrutura original. O retorno do solo construído a uma condição próxima a do solo natural depende da sua reestruturação, e para isso é necessário que o ciclo da matéria orgânica seja restabelecido. Plantas de cobertura podem apresentar efeitos benéficos na agregação do solo, seja por efeito mecânico das raízes, ou pela geração de matéria orgânica, minimizando os efeitos da degradação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura na agregação de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, após três anos de condução do experimento. Foram feitas as seguintes avaliações: distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado e carbono orgânico. O experimento, implantado em nov/dez de 2003 e delineado em blocos ao acaso com 4 repetições, apresenta os seguintes tratamentos: T1 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 – Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), T4 - Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T5 - Solo natural da frente de mineração. As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0,0 – 0,05m; 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m. Os resultados obtidos mostram que: 1) Após 3 anos de

condução do experimento a maior concentração de agregados estáveis em água ocorreu na classe 1,00 – 0,25mm, de forma mais acentuada na camada superficial em todos os tratamentos. 2) Não houve efeito dos tratamentos na agregação, com exceção da Hemátria na camada 0,0 – 0,05m. 3) Os valores de diâmetro médio ponderado de agregados do solo construído diminuíram ao longo do tempo, apesar do aumento no conteúdo de carbono orgânico. 4) O efeito das plantas de cobertura sobre a agregação do solo construído ainda é muito incipiente.

Palavras Chave: Estrutura. Carbono orgânico. Mineração. Carvão.

3.2 Abstract - The modifications caused by mining affect the soil structure, which tends to lose its original structure. The constructed soil might return to natural condition but it depends on its reorganization. However, for this is necessary that the cycle of the organic matter be reestablished. Cover crops can present beneficial effect the soil aggregation, either for mechanical effect of the roots, or for the generation of organic matter, minimizing the degradation effect. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of different cover crops in the constructed soil aggregation in coal mining area in Candiota-RS, after 3 years of experiment conduction. Aggregates stability in different size classes, mean weight diameter (MWD) and organic carbon were analyzed. The experiment, installed in nov/dez of 2003, is comprised of four randomized blocks with four treatments: T1 - *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard, T2 - *Cynodon dactylon* (L.) Pers., T3 – *Paspalum notatum* Flüggé, T4 - *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf, T5 – natural soil. The soil samples were collected from the layers: 0,0 - 0,05m; 0,05 - 0,10m and 0,10 - 0,20m. The gotten results show that: 1) After 3 years of experiment conduction, the water stable aggregate was higher in class 1,00 - 0,25mm, mainly in the superficial layer in all treatments. 2) There was effect of the treatments on the aggregation, with exception of the *Hemarthria altissima* in layer 0,0 - 0,05m. 3) The values of MWD reduced along time, despite the increase in the organic carbon content. 4) The effect of the cover crops on the constructed soil aggregation is still very incipient.

Key words: Water Stable Aggregates. Structure. Organic carbon. Mining. Coal.

3.3 Introdução

A mineração de carvão é uma atividade de grande importância para a economia brasileira (LOES, 1998). É em Candiota, no Estado do Rio Grande do Sul, que está localizada a maior reserva de carvão do país, sendo sua exploração realizada a céu aberto (CRM, 2007).

Modificações antrópicas, causadas por atividades como a mineração, afetam diretamente a estrutura do solo, a qual tende a perder sua estrutura original. Durante as etapas de extração do carvão e recomposição da paisagem ocorrem alterações negativas na estrutura, provocadas pela mistura de horizontes com rejeitos de carvão, subsolo e pedaços de rochas, além da compactação causada pelo empilhamento das camadas de solo através do uso de máquinas e equipamentos pesados.

A perda de condições desejáveis do solo, relacionadas com o crescimento de plantas, armazenamento e movimento de água no solo, tem sido considerada como degradação do solo, e o predispõe à perda da qualidade estrutural e conseqüentemente à erosão hídrica (REINERT, 1997). Esta definição está relacionada à perda da produtividade dos solos decorrentes da diminuição de nutrientes, matéria orgânica, mudanças em atributos físicos e conseqüências adversas, que afetaram a estrutura do solo.

Os impactos negativos nos atributos físicos do solo ocorrem rapidamente, mas sua recuperação tende a ser bastante lenta. Em áreas degradadas pela remoção da vegetação e do solo tem-se buscado a recuperação por meio da revegetação, pois é conhecida a inter-relação da vegetação com a morfologia, a química e a biologia do solo (GARAY et al., 2003).

A vegetação e, conseqüentemente, a matéria orgânica, são fatores de importância na formação de agregados, através da ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, e isto indiretamente, fornece nutrientes à fauna do solo (KIEHL, 1979). A estabilidade dos agregados do solo pode ser resultado da ação da união mecânica por células e hifas dos organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição, que agem individualmente ou em conjunto (BAVER et

al., 1973).

Segundo Allison (1973), as plantas exercem significativo benefício na agregação, pois apresentam raízes finas que se ramificam pelo solo, pressionando as partículas e predispondo a formação de agregados. Além disso, removem continuamente a água, criando condições mais secas na região das raízes e, pela exsudação, fornecem alimento para microorganismos da rizosfera, os quais influenciam na agregação. O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos, ou seja, algumas espécies podem ser mais eficientes do que outras.

Solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares que adicionem material orgânico de quantidade e composição variada (WOHLENBERG et al., 2004). 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 as ligações dos pontos de contato entre as partículas minerais e agregados, e podem ser utilizadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo de áreas degradadas (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica são fundamentais, pois a melhoria e manutenção das condições físicas do solo só poderão ser alcançadas e mantidas através da ação das raízes, da atividade macro e microbiológica e da decomposição do material orgânico (ALVES, 1992).

A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo de solo e de culturas, adequadamente conduzidos, proporcionam o aporte de material orgânico por meio de resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

No caso de solos construídos em áreas de mineração, o seu retorno a uma condição próxima a do solo natural dependerá de sua reestruturação, a qual está baseada principalmente no restabelecimento do ciclo da matéria orgânica e da atividade radicular. Culturas com sistema radicular agressivo, capazes de ter ação agregadora do solo, podem minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos por

meio de melhorias na sua estrutura. Assim, deve-se buscar plantas de cobertura que possuam estas características e sejam mais adaptadas às condições deste ecossistema, para que se verifique o efeito destas plantas sobre os atributos do solo, minimizando os efeitos prejudiciais da erosão (FRANCO, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura na agregação de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, após três anos de condução do experimento.

3.4 Material e Métodos

A área de estudo se localiza na região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, na área de mineração de carvão de Candiota da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), no município de Candiota, RS. O município de Candiota, cujas coordenadas geográficas são 31,55° de latitude sul e 53,67° de longitude oeste, está situado a 400 km da cidade de Porto Alegre e 140 km de Pelotas.

O clima da região é classificado como sendo do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido de acordo com a classificação de Wilhelm Köppen. O solo construído da área experimental caracteriza-se pela mistura de horizontes, com o predomínio do horizonte B, sendo que o solo natural é classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). A caracterização granulométrica do solo construído e do solo natural é apresentada na tab. 3.1.

Tabela 3.1 – Distribuição das partículas do solo por tamanho de partículas do solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	-----%-----					
	Camada 0,0 - 0,10m			Camada 0,10 - 0,20m		
Solo Construído	33,60	21,09	45,30	31,76	20,40	47,78
Solo Natural	47,78	27,18	25,04	44,49	25,61	29,90

Adaptado de FRANCO (2006).

A instalação do experimento ocorreu em novembro/dezembro de 2003. O delineamento experimental é constituído de blocos ao acaso com 4 repetições, em

parcelas de 20 m² (4m x 5m) com os seguintes tratamentos: T1 - Hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), T4 - Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T5 - Solo natural da frente de mineração. Este último pode ser considerado como a testemunha ou solo no estado imediatamente anterior à sua remoção, empilhamento e uso para a construção do solo no processo de recuperação da área minerada. Os dados do solo natural (T5) foram obtidos do trabalho de Nunes (2002), os quais fazem parte de uma transeção de 117 metros, onde foram coletadas amostras de 40 pontos, distantes 3 metros entre si.

Por ocasião da instalação do experimento o solo foi escarificado com patola a uma profundidade de aproximadamente 0,10 a 0,15 m. Posterior à escarificação foi realizada uma calagem com aplicação correspondente a 10,4 ton/ha de calcário com PRNT de 100% e uma adubação correspondente a 900 kg/ha da fórmula 5-20-20, conforme resultados obtidos pela análise de solo. Além disto, foram realizadas, em todas as primaveras (out/nov) adubações nitrogenadas utilizando sulfato de amônio na dose correspondente a 40 kg/ha de nitrogênio e capinas manuais com enxada, sempre que surgissem invasoras na área, numa frequência de duas a três capinas anuais.

Foram coletadas amostras deformadas em maio de 2007, nas camadas de 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m, com duas repetições. Para as determinações da distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho e do diâmetro médio ponderado foram utilizadas amostras passadas na peneira de malha de 9,52 mm, 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 foram: C1: 9,52-4,76mm; C2: 4,76-2,0mm; C3: 2,00-1,00mm; C4: 1,0-0,25mm; C5: 0,25-0,105mm e C6: < 0,105mm.

O conteúdo de carbono foi determinado segundo Tedesco et al. (1995).

Para avaliar a influência das diferentes plantas de cobertura ao longo do tempo (3 anos) os dados obtidos, neste estudo, foram comparados com os dados obtidos por Franco (2006), cuja coleta foi realizada em maio de 2004, correspondentes à caracterização física inicial. Para tanto foram calculadas as médias dos dados obtidos

nas camadas de 0,0 – 0,05m e 0,05 – 0,10m.

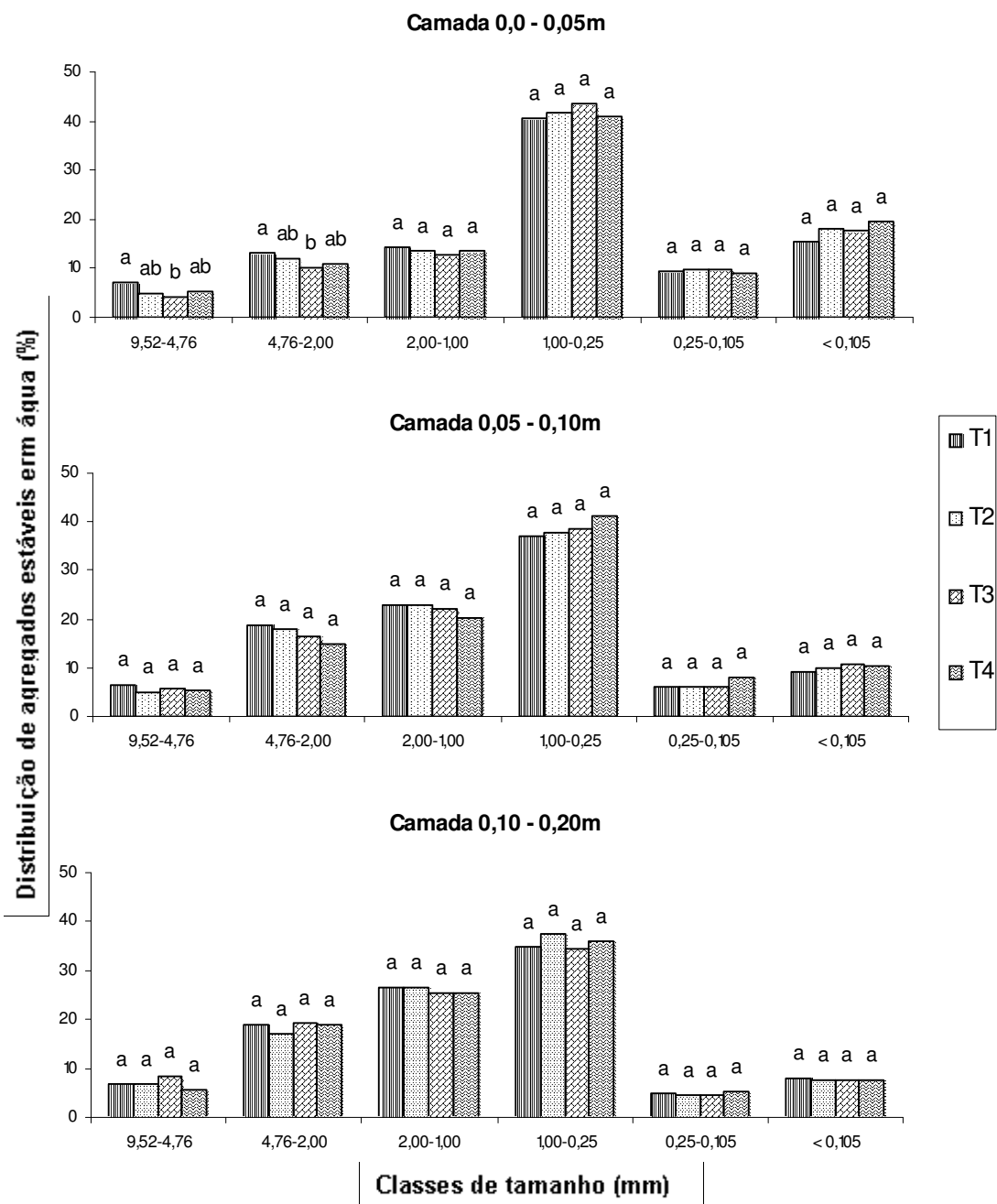
Os resultados obtidos foram analisados através da análise da variância e comparação de médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro, utilizando o Sistema de Análise Estatística – Winstat (MACHADO, 2001).

3.5 Resultados e Discussão

A distribuição percentual de agregados estáveis em água em classes de tamanho e nas diferentes camadas do solo (Fig. 3.1) mostra que, após três anos de condução do experimento, a maior concentração de agregados estáveis em água ocorreu na classe 1,00 – 0,25mm (em torno de 43,42 a 34,60%) em todos os tratamentos e camadas, porém de forma mais acentuada na camada de 0,0 – 0,05m.

Franco (2006), na caracterização física inicial do experimento, também observou uma maior concentração de agregados estáveis em água na camada superficial (0,0 – 0,10m) do solo construído na classe de 1,00 – 0,25mm, porém, na camada subsuperficial (0,10 – 0,20m), encontrou a maior concentração na classe de 4,76 – 2,00mm. Por sua vez, Nunes (2002) observou em solos construídos a maior concentração de agregados na classe de 1,00 e 0,50mm, em contraste com o solo natural, no qual a maior agregação ocorre na classe de maior diâmetro 9,52 - 4,76mm. A autora atribui isto ao processo de quebra dos agregados de maior tamanho durante os processos de retirada do solo da frente de mineração, transporte, deposição e preparo na área regenerada.

Observa-se na Fig. 3.1 que, na camada 0,0 – 0,05m, os tratamentos T1 e T3 diferiram significativamente entre si nas classes 9,52 – 4,76mm e 4,76 – 2,00mm, demonstrando uma ação benéfica da Hemátria (T1) na formação de agregados nessas classes de tamanho, em detrimento da Pensacola (T3), que apresentou a menor concentração.



Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma classe, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Figura 3.1 - Distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, nas camadas: 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10-0,20m de um solo construído após 3 anos de condução do experimento na área de mineração de carvão de Candiota, RS (média de 8 repetições).

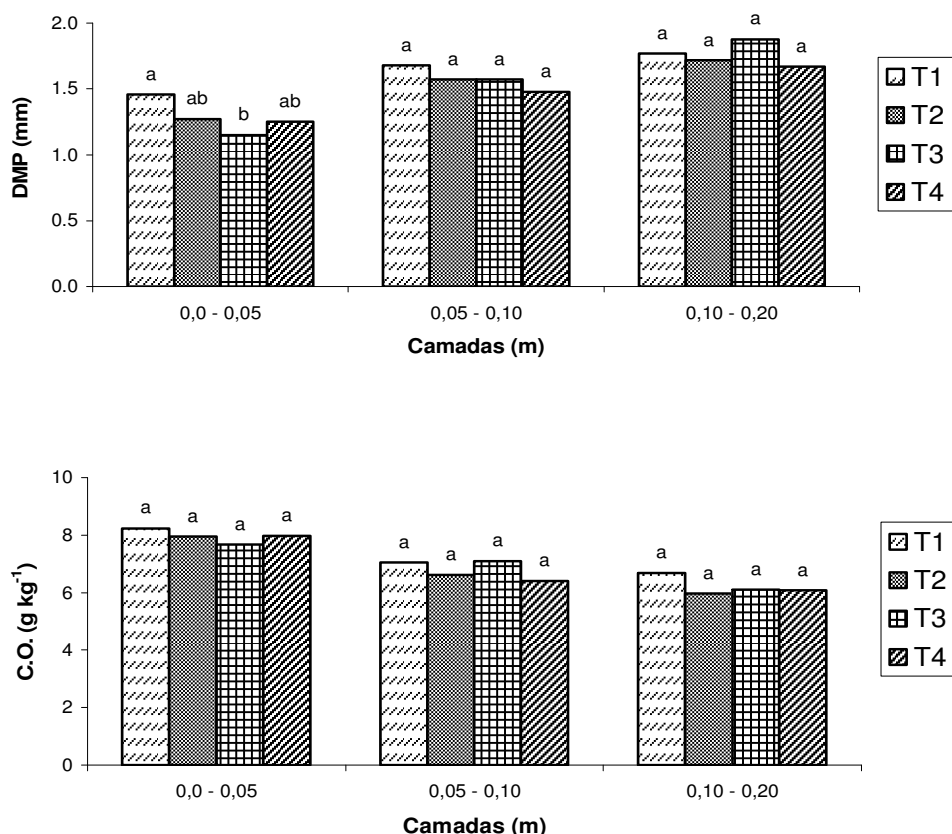
A menor concentração de agregados nas classes de maior diâmetro na camada superficial do solo construído pode ser devido à sua maior exposição à ação de fatores externos que causam desagregação, principalmente a ação erosiva da chuva, a falta de cobertura do solo e a baixa concentração de carbono orgânico, agente agregador das partículas do solo.

A Fig. 3.2 mostra os valores de DMP e de C.O. em função dos tratamentos estudados. Observa-se, de uma maneira geral, que o DMP apresenta valores menores na camada superficial em todos os tratamentos estudados, o que reflete uma menor concentração de agregados de maior tamanho nesta camada, e, portanto agregados com menor estabilidade. Nas camadas subseqüentes (0,05 - 0,10m e 0,10 - 0,20m) os valores de DMP foram ligeiramente maiores. Embora os valores de carbono orgânico sejam maiores na camada superficial (Fig. 3.2) isto não se refletiu em maior agregação. Comparando-se os valores de DMP com os do C.O. observa-se um efeito inverso, ou seja, enquanto o carbono orgânico diminui em profundidade o DMP aumenta, o que contradiz a teoria de formação do agregado (Baver et al., 1973), onde o DMP aumenta de acordo com o aumento de carbono orgânico, conforme discutido em Palmeira et al. (1999).

Cabe ressaltar que o solo que faz parte deste experimento foi construído com o horizonte B do solo natural, com alto teor de argila (tab. 3.1), utilizando máquinas pesadas, o que acarretou um solo extremamente compactado e com baixo conteúdo de carbono orgânico.

O fato das camadas subsuperficiais apresentarem maiores valores de DMP, não deve estar relacionado a possíveis efeitos de tratamento, mas à própria construção do solo. A compactação do solo leva ao aumento da coesão entre as partículas, o que dificulta posteriormente a sua desestruturação à medida que a massa de solo é submetida à ação de intempéries. Dessa forma, no presente caso, os menores valores de DMP obtidos na camada superficial estão relacionados à maior destruição dos agregados, artificialmente formados, pelas operações de preparo e cultivo do solo, e pela maior exposição aos processos erosivos da chuva, cujos efeitos ainda não são observados nas camadas mais profundas.

A diferença significativa do DMP entre tratamentos, observada na camada superficial, mostra que o efeito da Hemártria (T1) na agregação foi maior que o da Pensacola (T3). Isto provavelmente está relacionado à maior produção de matéria seca (C.O.) e a maior cobertura do solo oferecida pela Hemártria.



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada camada, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. T1 – Hemártria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Figura 3.2 – Diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) nas camadas: 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10-0,20m de um solo construído após 3 anos de condução do experimento na área de mineração de carvão de Candiota, RS.

Para permitir comparações entre os dados obtidos após três anos de condução do experimento com a caracterização inicial realizada por Franco (2006) foi calculada a

média dos valores obtidos nas camadas 0,0 – 0,05m e 0,05 – 0,10m, os quais são apresentados na tab. 3.2.

Observa-se nessa tabela que, tanto na camada 0,0 - 0,10m, quanto na 0,10 - 0,20m, não há efeito significativo entre tratamentos nos parâmetros de agregação estudados. Evidenciam-se, entretanto, valores maiores de DMP na camada 0,10 - 0,20m com relação à camada 0,0 - 0,10m. Com relação ao carbono orgânico ocorre o contrário, ou seja, os maiores valores são encontrados na camada 0,0-0,10m. As razões para este fato foram discutidas anteriormente.

Tabela 3.2 – Distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) de um solo construído após 3 anos de condução do experimento (maio/2004 – maio/2007) na área de mineração de carvão de Candiota, RS.

Trat.	Classes de distribuição de tamanho de agregados (mm)						DMP	C.O.
	9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	(mm)	(g kg ⁻¹)
Camada 0,0 - 0,10 m								
T1	6,84 a	15,88 a	18,46 a	38,69 a	7,67 a	12,48 a	1,57 a	7,64 a
T2	5,02 a	15,08 a	18,20 a	39,71 a	7,85 a	14,15 a	1,42 a	7,28 a
T3	5,01 a	13,31 a	17,50 a	40,98 a	7,96 a	14,22 a	1,36 a	7,38 a
T4	5,46 a	13,01 a	16,91 a	41,13 a	8,52 a	14,96 a	1,37 a	7,20 a
Média	5,58	14,32	17,76	40,13	8,00	13,95	1,43	7,38
DP	1,35	2,52	2,67	2,47	1,67	2,93	0,18	0,73
CV	24,20	17,57	15,01	6,15	20,91	20,98	12,54	9,90
Camada 0,10 - 0,20 m								
T1	6,89 a	19,04 a	26,37 a	34,83 a	4,95 a	7,92 a	1,77 a	6,68 a
T2	6,91 a	16,96 a	26,41 a	37,51 a	4,57 a	7,64 a	1,72 a	5,96 a
T3	8,51 a	19,48 a	25,35 a	34,60 a	4,51 a	7,55 a	1,88 a	6,09 a
T4	5,50 a	19,00 a	25,46 a	35,98 a	5,27 a	7,54 a	1,67 a	6,07 a
Média	6,95	18,62	25,90	35,73	4,83	7,66	1,76	6,20
DP	3,41	4,59	3,39	5,76	1,14	1,08	0,27	0,96
CV	48,98	24,66	13,08	16,13	23,63	14,07	15,24	15,55

As médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas dentro de cada camada, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5% de probabilidade de erro. CV – coeficiente de variação; DP – desvio padrão.

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Na comparação dos dados obtidos com o solo natural (Fig. 3.3) observa-se, na distribuição de agregados nas diferentes classes, que a maior concentração, no solo natural, ocorre nas classes de maior tamanho, com mais evidência na camada 0,0 -

0,10m, o que se confirma com os valores obtidos no DMP, 3,68mm na camada superficial, e 3,20mm na camada subsuperficial. Pela grande diferença entre os valores obtidos, principalmente na classe de maior tamanho (9,52-4,76mm), entre o solo natural e os tratamentos estudados, pode-se afirmar que o solo construído está ainda muito longe de atingir as condições do solo natural. Cabe ressaltar novamente que o solo construído é constituído de materiais oriundos principalmente de horizonte B, com baixo conteúdo de carbono orgânico e consequentemente menor agregação.

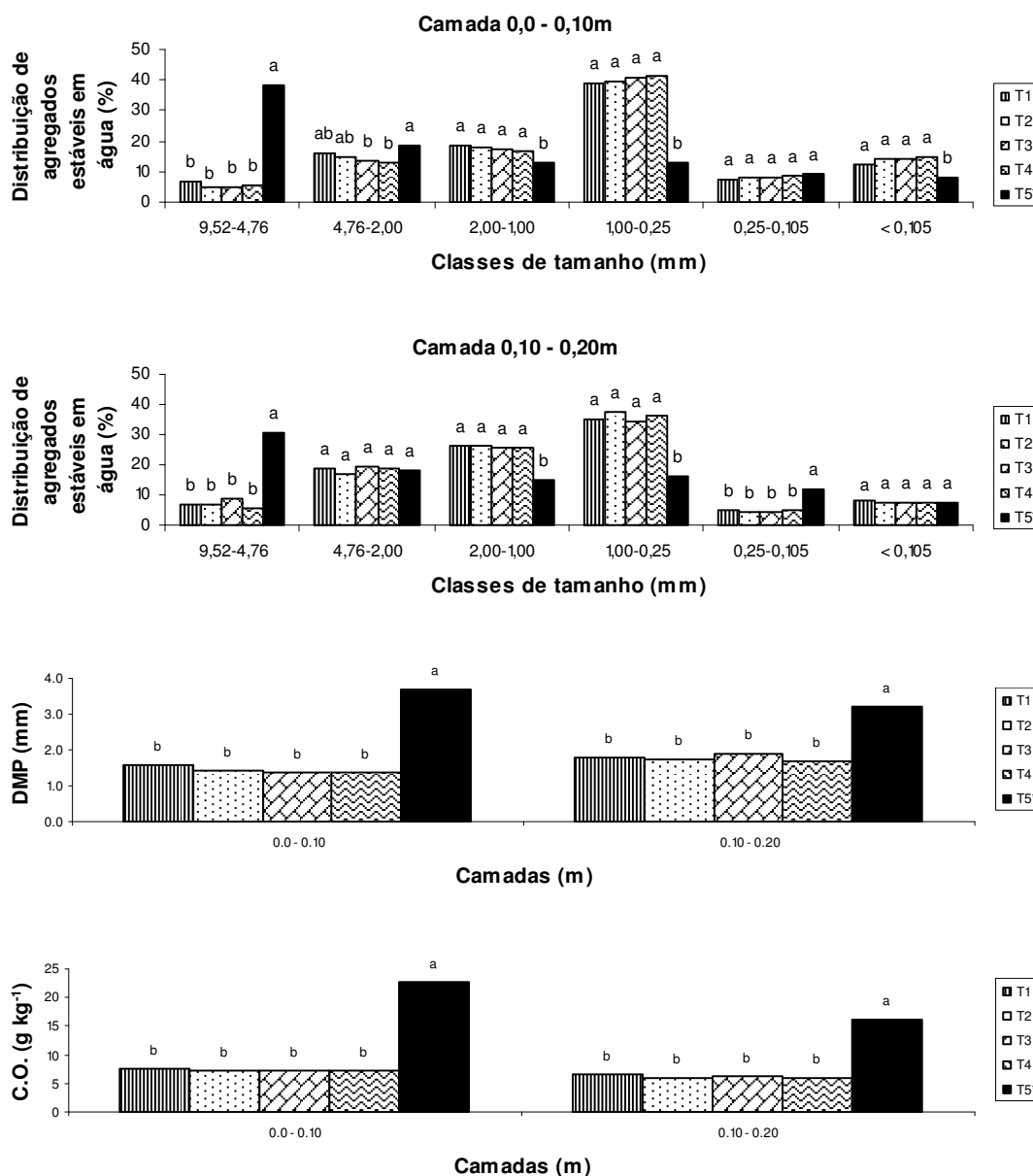
A partir da comparação de médias (tab. 3.3), realizada para avaliar o efeito dos tratamentos ao longo do tempo sobre o DMP do solo construído, observa-se uma diminuição significativa deste, tanto na camada superficial, quanto na subsuperficial

A redução do DMP após os três anos de experimento se deve a uma diminuição dos macroagregados, tanto na camada superficial, como na subsuperficial, conforme pode ser observado na comparação com os dados de Franco (2006). Isto, provavelmente, se deve à ação desagregadora da chuva sobre os agregados formados por compressão do solo pelas máquinas pesadas utilizadas durante o processo de construção, e também, pela inexistência, ainda, de agentes cimentantes, principalmente substâncias orgânicas suficientes para formar agregados estáveis.

Segundo Roth et al. (1991) e Paladini & Mielniczuk (1991), existe uma correlação significativa entre o conteúdo de matéria orgânica e os índices de estabilidade dos agregados, em função da atuação das moléculas orgânicas nas etapas de sua formação e estabilização, além se serem fontes de energia para os microorganismos, que são importantes agentes de agregação. Logo, acredita-se que o aumento ocorrido no conteúdo de carbono do solo construído desde a caracterização inicial seja ainda insuficiente para que este tenha efeito na estabilidade dos agregados deste solo.

A partir da análise estatística por comparação de médias de DMP e conteúdo de carbono orgânico, pode-se observar que o tratamento T1 (Hemátria) foi o que apresentou menor redução no DMP e maior incremento de carbono orgânico ao longo do tempo, nas duas camadas analisadas. Além disso, foi o único que apresentou aumento significativo no conteúdo de carbono orgânico na camada subsuperficial. Embora este tratamento não tenha mostrado efeito positivo quanto à agregação do solo

construído, pode-se afirmar que tenha sido o tratamento com melhor desempenho em relação aos demais.



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada classe e camada, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta; T5 – Solo natural. * Dados adaptados de NUNES (2002).

Figura 3.3 – Distribuição de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) nas camadas: 0,0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m de um solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS (média de 8 repetições).

Tabela 3.3 – Comparações de médias de valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota na caracterização inicial do experimento (maio de 2004) e após três anos de condução do experimento (maio de 2007).

DMP (mm)					
Tratamento	2004	2007	Diferença	DMS	Sig.
Camada 0,0 - 0,10					
T1	1,93	1,57	0,36	0,32550501	Sig.*
T2	2,06	1,42	0,64	0,32550501	Sig.*
T3	1,87	1,36	0,52	0,32550501	Sig.*
T4	2,07	1,37	0,70	0,32550501	Sig.*
Camada 0,10 - 0,20					
T1	2,73	1,77	0,96	0,84811323	Sig.*
T2	3,00	1,72	1,28	0,84811323	Sig.*
T3	2,83	1,88	0,95	0,84811323	Sig.*
T4	3,29	1,67	1,62	0,84811323	Sig.*
C.O. (g kg ⁻¹)					
Tratamento	2004	2007	Diferença	DMS	Sig.
Camada 0,0 - 0,10					
T1	5,22	7,64	2,43	0,91039843	Sig.*
T2	5,21	7,28	2,07	0,91039843	Sig.*
T3	5,50	7,38	1,88	0,91039843	Sig.*
T4	5,48	7,20	1,72	0,91039843	Sig.*
Camada 0,10 - 0,20					
T1	4,74	6,68	1,94	1,1721927	Sig.*
T2	5,17	5,96	0,79	1,1721927	NS
T3	5,02	6,09	1,07	1,1721927	NS
T4	5,18	6,07	1,14	1,1721927	NS

* nível de significância de 5%. DMS – diferença mínima significativa.

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Conforme Basso & Reinert (1998), plantas de cobertura do solo levam a uma variação temporal na estabilidade estrutural de agregados no inverno e aumentam a estabilidade estrutural do solo no verão, na cultura do milho sob plantio direto. Então, verifica-se que as plantas de cobertura influem na agregação do solo de forma diferente, dependendo da época do ano, em função das condições climáticas, e, além disso, da cobertura vegetal existente na área. Campos et al. (1994) também encontraram significativa variação temporal induzida por diferentes plantas, em razão das condições climáticas e fatores impostos pelos sistemas de cultivo.

Os dados obtidos indicam que o efeito das culturas sobre os atributos físicos dos solos construídos exige maior tempo para que ocorra a formação de agregados de maior tamanho. A reestruturação esperada depende de que haja condições favoráveis às culturas implantadas, proporcionando uma regeneração na hierarquia de agregação pelo incremento do fluxo de energia e matéria seca do sistema.

3.6 Conclusões

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- 1) Após 3 anos de condução do experimento a maior concentração de agregados estáveis em água manteve-se na classe 1,00 – 0,25mm, de forma mais acentuada na camada superficial em todos os tratamentos.
- 2) Não há efeito das plantas de cobertura nos parâmetros de agregação estudados, à exceção da Hemátria na camada de 0,0 – 0,05m.
- 3) Os valores de diâmetro médio ponderado de agregados diminuíram após três anos de condução do experimento, em ambas as camadas, apesar do conteúdo de carbono orgânico ter aumentado.
- 4) O efeito das culturas sobre a agregação dos solos construídos ainda é muito incipiente.

3.7 Referências Bibliográficas

- ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1973. p.215-345.
- ALVES, M.C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeito nas propriedades físicas e químicas**. Piracicaba, 1992. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo..
- 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.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. 4. Ed. México, Union Topográfica Hispano Americana. 1973. 529 p.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; NICLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura de vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v.24, p.459-463, 1994.
- 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**, Campinas - SP, v.14, n.1, p.99-105, 1990.
- CRM - Companhia Riograndense de Mineração, Capturado na Internet em novembro de 2007, Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/>
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro; Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FRANCO, A.M.P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. Pelotas-RS, 2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; et al. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.705-712, 2003.
- 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, 1986. p.425-441.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo-SP, ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262p.

- LOES, R. H. Z. Ação do Ibama na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W. V. (eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, SOBRADE, Viçosa-MG, 1998. p. 247-251.
- MACHADO, A. A. **Sistema de análise estatística para Windows (WINSTAT)**, Pelotas-RS, Universidade Federal de Pelotas, CD, 2001.
- 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, 2002
- 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**, Campinas – SP, 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**, Campinas – SP, v. 23, p. 189-195, 1999.
- REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris, curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, v.4, p.25-44, 1997.
- ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas – SP, v.15, p.241-248, 1991.
- SILVA, L. F. & MIELNICZUK, J. Ação do Sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas – RS, v.21, p.113-117, 1997.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampliada. Porto Alegre-RS: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995, 174p.
- 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, p.891-900, 2004.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society Agronomy** v.28, p.337-351, 1936.

**4 ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE
CARVÃO DE CANDIOTA – RS CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA
APÓS TRÊS ANOS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM SOLO CONSTRUÍDO NA ÁREA DE MINERAÇÃO DE
CARVÃO DE CANDIOTA – RS CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA
APÓS TRÊS ANOS**

**PHYSICAL ATTRIBUTES OF CONSTRUCTED SOIL IN COAL MINING AREA IN
CANDIOTA-RS, BRAZIL, CULTIVATED WITH COVER CROPS AFTER THREE
YEARS**

4.1 Resumo - A atividade de mineração diminui a qualidade física do solo, pois exige intensa mobilização do solo e grande movimentação de veículos pesados. Solos degradados podem ser recuperados através do cultivo de plantas de cobertura que adicionem matéria orgânica, um dos fatores responsáveis pela manutenção de suas condições físicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura em alguns atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, após três anos de condução do experimento. Foram feitas as seguintes avaliações: densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e resistência mecânica do solo à penetração. O experimento, implantado em nov/dez de 2003 e delineado em blocos ao acaso com 4 repetições, apresenta os seguintes tratamentos: T1 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 – Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), T4 - Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T5 - Solo natural da frente de mineração. As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0,0 – 0,05m; 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m. Os resultados obtidos mostram que: 1) Os valores de densidade do solo, porosidade total e microporosidade aumentaram após três anos

de condução do experimento, em ambas as camadas, porém este aumento não foi significativo para alguns tratamentos. 2) Os valores de resistência mecânica do solo à penetração diminuíram na camada de 0,0 – 0,20m. 3) Após 3 anos de condução do experimento não há efeito positivo das plantas de cobertura nos atributos físicos estudados, à exceção da Hemária e da Grama Tifton na camada de 0,0 – 0,05m. 4) Os dados obtidos indicam que o efeito das culturas sobre os atributos físicos dos solos construídos ainda é muito incipiente.

Palavras Chave: Densidade do solo. Porosidade. Resistência mecânica do solo à penetração.

4.2 Abstract - The mining activity degrades the soil physical quality, because it demands intense mobilization of the soil and great movement of heavy vehicles. Degraded soil can be recovered through the cultivate of cover crops that add organic substance, one of the responsible factors for the maintenance of its physical conditions. The objective of the present work was to evaluate the effect of different cover crops on the physical attributes of constructed soil in coal mining area in Candiota-RS, after three years of experiment conduction. Soil bulk density, total porosity, macro/microporosity and mechanical resistance to penetration were analyzed. The experiment, installed in nov/dez of 2003, is comprised of four randomized blocks with four treatments: T1 - *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard, T2 - *Cynodon dactilon* (L.) Pers., T3 - *Paspalum notatum* Flüggé, T4 - *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf, T5 - natural soil. The soil samples were collected from the layers: 0,0 - 0,05m; 0,05 - 0,10m and 0,10 - 0,20m. The results showed that: 1) The values of soil bulk density, total porosity and microporosity increased after three years of experiment conduction, in both layers, but it did not show statistical difference. 2) The values of soil mechanical resistance to the penetration reduced in the layer of 0,0 - 0,20m. 3) After 3 years of experiment conduction, it did not show a positive effect of the cover crops in the studied physical attributes, excet the *Hemarthria altissima* and the *Cynodon dactilon* in the layer of 0,0 - 0,05m. 4) The results indicated that the effect of the cultures on the physical attributes of constructed soil is still very incipient.

Key words: Soil bulk density, Porosity, Mechanical resistance of penetration.

4.3 Introdução

O carvão mineral apresenta papel importante na expansão do sistema elétrico nacional. As reservas brasileiras totalizam 32 bilhões de toneladas de carvão *"in situ"*. Deste total, o Estado do Rio Grande do Sul possui 86,5%, sendo que a Jazida de Candiota, possui 38% de todo o carvão nacional (DNPM, 1995).

Em Candiota, em decorrência da atividade de mineração, ocorrem alterações na estrutura do solo, pois há uma intensa mobilização do solo durante a extração do carvão, como também uma grande movimentação de veículos pesados usados na reconstrução do mesmo.

Conforme Nunes (2002) o tráfego de equipamentos nas áreas de mineração, tanto na fase de descobertura como na de recomposição, pode degradar a qualidade física do solo, que em uma condição de fragilidade acaba tornando-se altamente compactado. A compactação excessiva dos solos construídos foi constatada por autores como Bell et al. (1994) e Andrews et al. (1998) como sendo um dos fatores mais determinantes para o crescimento das plantas nestas áreas, pois a profundidade das camadas compactadas define o limite da profundidade de enraizamento.

Segundo Brady & Weil (2002), solos com maior proporção de espaço poroso em relação ao volume de sólidos possuem menor densidade que os solos mais compactados e com menor espaço poroso. Consequentemente, qualquer fator que influencie no espaço poroso afetará a densidade do solo.

A profundidade do perfil também é um dos fatores que influencia diretamente na densidade do solo, tendendo a aumentar a densidade com o aumento da profundidade. Isto se deve, provavelmente, ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, pouca quantidade de raízes e à compactação causada pelo peso das camadas superiores, reduzindo a porosidade (BRADY & WEIL, 2002).

Potter et al. (1988) comparando um solo natural com solos construídos, os quais possuíam de 4 a 11 anos de recuperação, observaram valores altos de densidade, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas. Segundo Power et al. (1985), é comum encontrar valores de densidade de 1,4 a 1,7 Mg m⁻³ em áreas de mineração, principalmente devido à utilização de máquinas pesadas.

A porosidade do solo é um atributo físico que sofre grandes alterações com a compactação. Trabalhos realizados indicam relação significativa da compactação com o decréscimo da porosidade, da continuidade do número de poros e da difusão de gases, e com reduções significativas principalmente no volume dos macroporos (NOVAK et al., 1992; HILLEL, 1998).

Os poros do solo apresentam-se de tamanhos e formas variadas, e a sua função está relacionada com o seu tamanho. Entre as partículas de maior tamanho, como areia ou entre agregados, predominam os poros maiores chamados macroporos e entre as partículas menores, como as argilas, predominam poros menores chamados de microporos (VIEIRA et al., 1998). Koorevaar et al. (1983), citados por Libardi (2005), classificam os poros em três grupos: macroporos como sendo os poros com diâmetro maior que 0,1mm, cuja função é a aeração da matriz do solo e condução de água durante o processo de infiltração; mesoporos, poros com diâmetro entre 0,1mm e 0,03mm, cuja função é a condução da água durante o processo de redistribuição; e os microporos, poros com diâmetro menor que 0,03mm também chamados de poros capilares, cuja função é a armazenagem de água. Nestes poros, a água se move, mas muito vagarosamente.

O tráfego de máquinas e implementos agrícolas, realizados principalmente em condições de umidade inadequadas, provoca alterações no arranjo das partículas, o que ocasiona uma redução no volume ocupado por certa massa de solo e no tamanho dos poros (REICHARDT, 1990). Os poros de tamanho maior, através dos quais o movimento de ar e da água é normalmente rápido e por onde se dá o crescimento radicular sem restrições, são os mais facilmente afetados pela compactação (CAMARGO & ALLEONI, 1997; CASTRO & DIAS, 1999). Logo, a porosidade do solo está inversamente relacionada com a densidade, ou seja, quanto maior for a densidade, menor será a sua porosidade.

Além de modificarem as taxas de trocas gasosas, as alterações causadas na porosidade do solo alteram a disponibilidade de água para as plantas (OLIVEIRA et al., 2003; BERTOL et al., 2004; ARGENTON et al., 2005). Neste sentido, Silva et al. (1986) constataram que o solo em relação a uma condição natural modifica a retenção de água, por alterar a distribuição do tamanho dos poros e os teores de matéria orgânica,

e também observaram acentuada queda na condutividade hidráulica saturada com a compactação, provavelmente causada pela redução da quantidade de poros de diâmetros maiores que 0,05mm.

Operações de mobilização do solo provocam redução na macroporosidade, com efeitos negativos para a aeração do solo (SPERA et al., 2004). A macroporosidade nos sistemas submetidos à ação antrópica, segundo Spera et al. (2004) diminui da camada de 0,0 – 0,05m para a camada de 0,10 – 0,15m. Assim, a densidade do solo e a microporosidade aumentam da camada superficial para a camada mais profunda e, em consequência, para a porosidade total e a macroporosidade ocorre o inverso, pois esses atributos são dependentes entre si.

A resistência mecânica do solo à penetração permite inferir sobre o impedimento que o mesmo oferece ao crescimento das raízes (PEDROTTI et al., 2001), e tem sido apontada como um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, pois ela expressa o grau de compactação do solo (RICHART et al., 2005). Essa resistência geralmente aumenta com a compactação e com a redução da umidade do solo, podendo atingir valores restritivos ao desenvolvimento e crescimento das raízes e das plantas (CAMARGO E ALLEONI, 1997).

O teor de matéria orgânica é caracterizado como um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e também influencia na resposta dos solos à compactação (DIAS JÚNIOR et al., 1999). Dentre os mecanismos pelos quais a matéria orgânica influencia a capacidade dos solos em resistir às forças de compactação, a estabilidade dos agregados é o fator determinante na susceptibilidade do solo à compactação. Neste sentido, McBride & Bober (1989) e Zhang et al., (1997) afirmam que a susceptibilidade do solo à compactação diminui com o incremento no teor de carbono orgânico no solo, o que ocorre devido à redução da faixa de umidade na qual o solo apresenta propriedades plásticas. Portanto, os autores apontam que um adequado aporte de matéria orgânica ao solo poderá diminuir os efeitos da compactação do solo.

Solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares que adicionem material orgânico

de quantidade e composição variada (WOHLENBERG et al., 2004).

Rodrigues et al. (2007), estudando a dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas, observaram que as coberturas utilizadas com o objetivo de recuperação destas áreas, sendo elas a vegetação natural, braquiária, *Pinus* sp. E cerrado, apresentaram efeitos positivos sobre a densidade do solo nos primeiros 0,10m.

Assim, tornam-se necessários o estudo e a definição de quais são as plantas de cobertura mais adaptadas e eficazes, para posterior implantação em áreas de solos regenerados, e verificar a sua influência nos atributos físicos destes solos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura em alguns atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS após três anos de condução do experimento.

4.4 Material e Métodos

A área de estudo se localiza na região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, na área de mineração de carvão de Candiota da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), no município de Candiota, RS. O município de Candiota, cujas coordenadas geográficas são 31,55° de latitude sul e 53,67° de longitude oeste, está situado a 400 km da cidade de Porto Alegre e 140 km de Pelotas.

O clima da região é classificado como sendo do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido de acordo com a classificação de Wilhelm Köppen. O solo construído da área experimental caracteriza-se pela mistura de horizontes, com o predomínio do horizonte B, sendo que o solo natural é classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). A caracterização granulométrica do solo construído e do solo natural é apresentada na tab. 4.1.

A instalação do experimento ocorreu em novembro/dezembro de 2003. O delineamento experimental é constituído de blocos ao acaso com 4 repetições, em parcelas de 20 m² (4m x 5m) com os seguintes tratamentos: T1 - Hemária (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T3 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), T4 - Braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T5 - Solo natural da frente de mineração. Este último pode

ser considerado como a testemunha ou solo no estado imediatamente anterior à sua remoção, empilhamento e uso para a construção do solo no processo de recuperação da área minerada. Os dados do solo natural (T5) foram obtidos do trabalho de Nunes (2002), os quais fazem parte de uma transeção de 117 metros, onde foram coletadas amostras de 40 pontos, distantes 3 metros entre si.

Tabela 4.1 – Distribuição das partículas do solo por tamanho de partículas do solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS.

	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	-----%-----					
	Camada 0,0 - 0,10m			Camada 0,10 - 0,20m		
Solo Construído	33,60	21,09	45,30	31,76	20,40	47,78
Solo Natural	47,78	27,18	25,04	44,49	25,61	29,90

Adaptado de FRANCO (2006).

Por ocasião da instalação do experimento o solo foi escarificado com patola a uma profundidade de aproximadamente 0,10 a 0,15m. Posterior à escarificação foi realizada uma calagem com aplicação correspondente a 10,4 ton/ha de calcário com PRNT de 100% e uma adubação correspondente a 900 kg/ha da fórmula 5-20-20, conforme resultados obtidos pela análise de solo. Além disto, foram realizadas, em todas as primaveras (out/nov) adubações nitrogenadas utilizando sulfato de amônio na dose correspondente a 40 kg/ha de nitrogênio e capinas manuais com enxada, sempre que surgissem invasoras na área, numa frequência de duas a três capinas anuais.

Foram coletadas amostras indeformadas em maio de 2007, nas camadas de 0,0 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, com o uso de cilindros de inox de aproximadamente 50 cm³, com quatro repetições. Para a determinação da densidade do solo (Ds), foi utilizado o método do anel volumétrico segundo Embrapa (1997) e para a determinação da porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) o método da mesa de tensão, conforme Embrapa (1997).

A resistência mecânica do solo à penetração (RMP) foi medida em maio de 2007 até a profundidade de 0,40m, fazendo-se 3 determinações por parcela. Foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf, segundo método

descrito por Stolf (1991). Essa determinação foi acompanhada da determinação da umidade gravimétrica (U_g) nas camadas de 0,0 – 0,10m; 0,10 – 0,20m e 0,20 – 0,40m. Para possibilitar uma melhor análise dos dados, foi calculada a média dos valores de RMP, determinados a cada 0,02m, obtendo-se assim os valores de RMP das camadas 0,0 – 0,10m; 0,10 – 0,20m; 0,20 – 0,30m e 0,30 – 0,40m.

Foi realizada também a determinação da densidade do solo pelo Método da Tomografia Computadorizada. Para tanto foram coletadas amostras com estrutura preservada nas camadas 0,0 – 0,07m; 0,05 – 0,12m; 0,10 – 0,17m, utilizando tubos cilíndricos de PVC com 70mm de diâmetro. A determinação da densidade do solo pelo método da Tomografia Computadorizada foi realizada conforme Pedrotti (2003), Embrapa (2000), Crestana et al. (1992) e Vaz et al. (1989), utilizando-se o Minitomógrafo instalado no Laboratório de Tomografia de Solos da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) da UFPel. Os coeficientes de atenuação linear necessários para o cálculo foram determinados em amostras de solo deformadas, coletadas nas parcelas dos respectivos tratamentos.

Para avaliar a influência das diferentes plantas de cobertura ao longo do tempo os dados obtidos neste estudo foram comparados com os dados obtidos por Franco (2006), cuja coleta foi realizada em maio de 2004, constituindo-se na caracterização inicial. Para tanto foi ainda calculada a média dos dados obtidos nas camadas de 0,0 – 0,05m e 0,05 – 0,10m.

Os resultados obtidos foram analisados através da análise da variância e comparação de médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro, utilizando o Sistema de Análise Estatística – Winstat (MACHADO, 2001).

4.5 Resultados e Discussão

Os atributos físicos densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade (M_a) e microporosidade (M_i), para as camadas 0,0 – 0,05m, 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m são apresentados na tab. 4.2.

Tabela 4.2 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota, RS para as camadas 0,0 – 0,05m; 0,05 – 0,10m e 0,10 – 0,20m.

Tratamento	Ds	Pt	Ma	Mi
	Mg m ⁻³	-----	%-----	-----
camada 0,0 - 0,05 m				
T1	1,48 b	49,61 a	12,04 a	37,58 a
T2	1,50 b	47,92 a	11,82 a	36,11 a
T3	1,56 ab	46,92 a	11,80 a	35,12 a
T4	1,63 a	45,50 a	10,56 a	34,94 a
Média	1,54	45,49	11,55	33,94
CV	4,36	6,28	25,82	8,91
DP	0,07	2,98	2,98	3,20
Tratamento	Ds	Pt	Ma	Mi
	Mg m ⁻³	-----	%-----	-----
camada 0,05 - 0,10 m				
T1	1,64 a	45,86 a	10,01 ab	35,85 a
T2	1,68 a	45,02 a	8,30 b	36,72 a
T3	1,62 a	46,74 a	12,52 a	34,23 a
T4	1,69 a	45,99 a	10,19 ab	35,81 a
Média	1,66	45,90	10,25	35,65
CV	3,17	5,45	21,02	4,65
DP	0,05	2,50	2,16	1,66
Tratamento	Ds	Pt	Ma	Mi
	Mg m ⁻³	-----	%-----	-----
camada 0,10 - 0,20 m				
T1	1,69 a	44,09 a	7,10 a	36,99 a
T2	1,77 a	45,08 a	6,31 a	38,77 a
T3	1,71 a	45,44 a	8,39 a	37,05 a
T4	1,73 a	46,27 a	8,64 a	37,63 a
Média	1,73	45,22	7,61	37,61
CV	3,53	6,60	33,52	2,81
DP	0,06	2,98	2,55	1,06

Médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas dentro da mesma camada, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5%. T1 – Hemária; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Praticamente não se observou efeito de tratamentos nas variáveis estudadas, com exceção da densidade do solo na camada 0,0 - 0,05m, que apresentou valores significativamente maiores no T4 em relação aos observados em T1 e T2, evidenciando efeito benéfico das plantas de cobertura Hemária (T1) e Grama Tifton (T2); e da macroporosidade na camada de 0,05 - 0,10m, com valores significativamente maiores

no T3 (Pensacola) em relação ao T2 (Grama Tifton). Embora exista diferença significativa, não se pode afirmar que seja devido à presença da Pensacola, uma vez que essa cultura apresentou crescimento lento e com baixa produção de matéria seca. Outros fatores devem ter contribuído como, as freqüentes capinas realizadas no controle das invasoras que, devido ao solo estar menos protegido, provocou maior revolvimento na camada superficial, contribuindo para o aumento da macroporosidade. Constata-se ainda, que os menores valores de densidade e, conseqüentemente, os maiores valores de macroporosidade são observados na camada superficial, evidenciando um efeito benéfico das plantas de cobertura implantadas, com maior ênfase para o tratamento Hemária (T1).

Para a comparação dos resultados obtidos destes atributos com o solo natural (tab. 4.3) foi necessário calcular as médias dos valores obtidos nas camadas 0,0 – 0,05m e 0,05 - 0,10m, pois não há valores da camada 0,0 - 0,10m subdividida para o solo natural. Verifica-se que os tratamentos do solo construído apresentam valores significativamente superiores de densidade, porosidade total e macroporosidade, tanto na camada superficial como na camada sub-superficial, com exceção da macroporosidade na camada sub-superficial que apresentou valores estatisticamente iguais. Com relação à microporosidade verifica-se que o T5 (solo natural) apresenta os maiores valores na camada superficial e os menores valores na camada sub-superficial, embora não ocorram diferenças significativas na comparação com alguns tratamentos nas duas camadas.

O fato de o solo construído apresentar maiores valores de densidade, segundo Stahl et al. (2002), pode estar relacionado ao elevado teor de argila e baixo conteúdo de carbono orgânico do material utilizado na construção do solo (Horizonte B).

Os baixos valores de porosidade total do solo natural em relação ao solo construído, o que não confere com os resultados obtidos por Kämpf et al. (2000) e Nunes (2002), pois esses autores observaram o contrário, segundo Franco (2006) são devido à utilização deste solo, em épocas passadas, com culturas anuais e pecuária em sistemas convencionais favorecendo a degradação física, e também ao tráfego de máquinas pesadas na frente de mineração. Os valores extremamente baixos de macroporosidade deste solo, principalmente na camada superficial (1,2%),

aproximadamente 10 vezes menor que os do solo construído confirmam estes fatos.

Tabela 4.3 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído e do solo natural da área de mineração de carvão de Candiota, RS para as camadas 0,0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m.

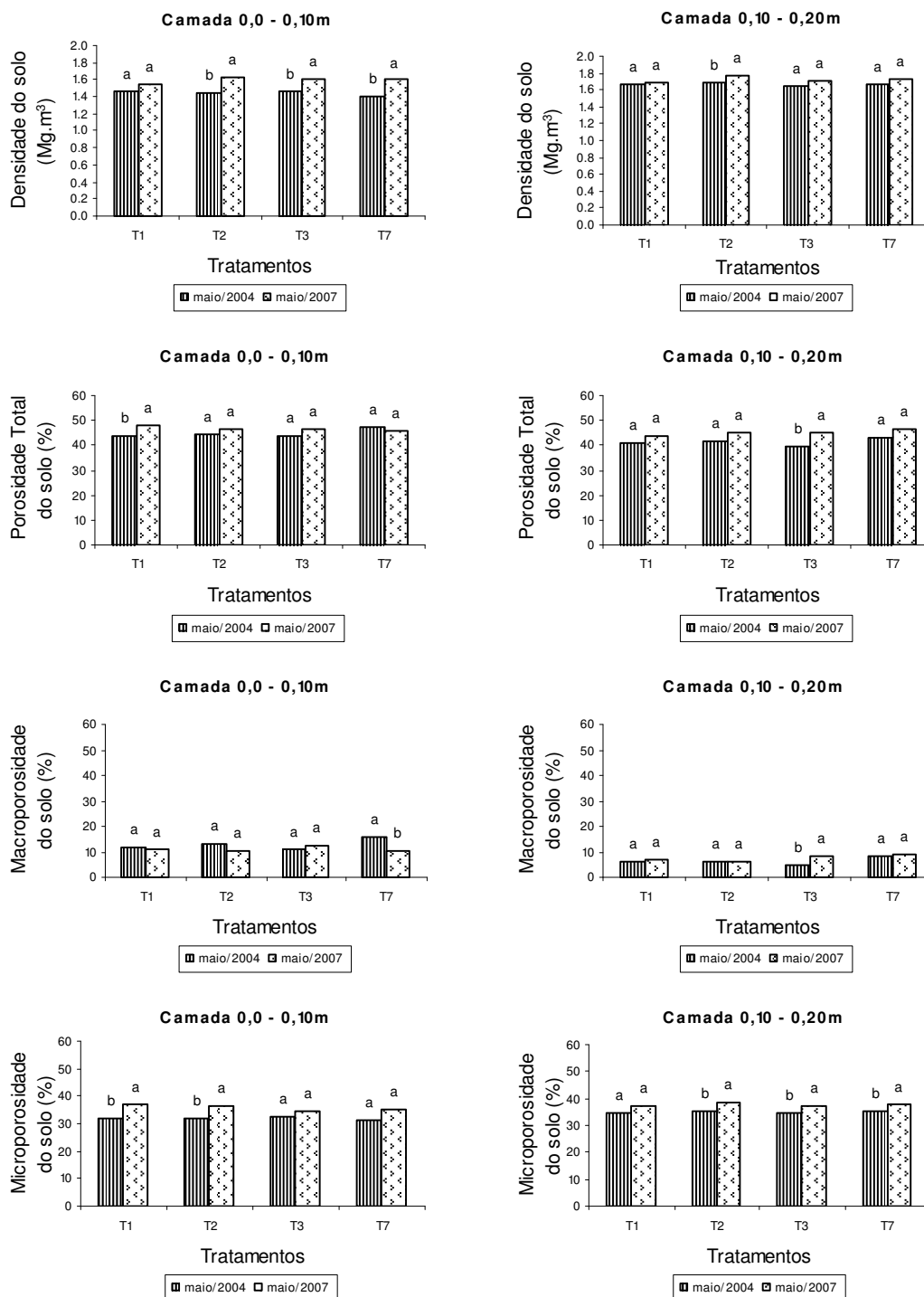
Trat.	Ds Mg m ⁻³	Pt -----%	Ma -----%	Mi -----%	Ds Mg m ⁻³	Pt -----%	Ma -----%	Mi -----%
camada 0,0 - 0,10 m				camada 0,10 - 0,20 m				
T1	1,55 a	47,73 a	11,02 a	36,72 ab	1,69 a	44,09 ab	7,10 a	36,99 ab
T2	1,63 a	46,47 a	10,06 a	36,41 ab	1,77 a	45,08 a	6,31 a	38,77 a
T3	1,60 a	46,84 a	12,16 a	34,67 b	1,71 a	45,44 a	8,39 a	37,05 ab
T4	1,61 a	45,74 a	10,37 a	35,37 b	1,73 a	46,27 a	8,64 a	37,63 ab
T5*	1,42 b	40,42 b	1,20 b	39,23 a	1,48 b	39,88 b	5,46 a	34,42 b

As médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5%. T1 – Hemária; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta; T5 – Solo Natural.

* Dados adaptados de NUNES (2002).

Comparando-se os dados obtidos na avaliação de 2007 com os da caracterização inicial realizada em maio de 2004 (FRANCO, 2006) para verificar os efeitos dos tratamentos ao longo do tempo, constata-se que (Fig. 4.1) a densidade do solo, a porosidade total e a microporosidade aumentaram após três anos de condução do experimento, porém não significativamente para alguns tratamentos.

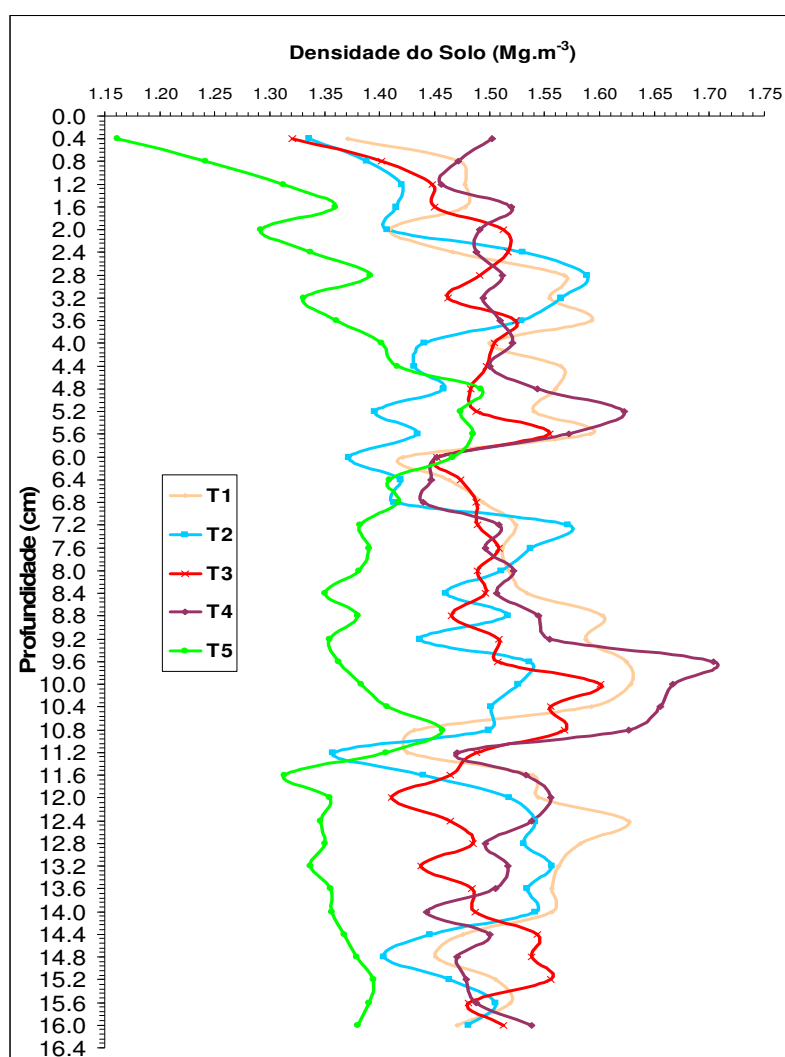
Este fato pode estar relacionado ao tempo insuficiente para as diferentes plantas de cobertura mostrar efeito positivo sobre estes atributos físicos e ao revolvimento inicial do solo (escarificação e implantação das culturas) por ocasião da instalação do experimento. Os maiores reflexos neste sentido são observados na macroporosidade, onde ocorreu uma significativa redução, principalmente no T4.



Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada tratamento, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5%. T1 – Hemátria; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 - Braquiária brizanta.

Figura 4.1 - Comparações de médias de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota em duas épocas de avaliação.

O comportamento dos valores de densidade dos tratamentos estudados e do solo natural em função da profundidade do perfil, obtidos após três anos de condução do experimento, através do método da tomografia computadorizada, pode ser observado na Fig. 4.2. Essa figura, de uma maneira geral, mostra que os valores obtidos para os diferentes tratamentos são maiores que os valores obtidos para o solo natural, fato também observado na determinação pelo método do anel volumétrico (tab. 4.3).



T1 – Hemátria; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta; T5 – Solo natural.

Figura 4.2 – Densidade do solo obtida pelo método da Tomografia Computadorizada de um solo construído e do solo natural da área de mineração de Candiota-RS.

No detalhamento obtido pelo método da tomografia computadorizada verificam-se dois pontos de maior densidade: um na camada de 0,05 – 0,06m de profundidade e o outro na camada de 0,09 – 0,11m, com maior ênfase para o T7, como valores de $1,62\text{Mg m}^{-3}$ e $1,70\text{Mg m}^{-3}$, respectivamente.

Para analisar a influência de cada tratamento ao longo do perfil, do ponto de vista estatístico, foram calculadas as médias dos tratamentos em camadas de 0,02m, como mostra a tab. 4.4. Observa-se, em todas as camadas, que não há diferença estatística entre tratamentos para o solo construído, confirmando o que foi observado na determinação de densidade do solo pelo método do anel volumétrico (tab. 4.3). Na comparação com o solo natural verifica-se que nas camadas 0,0 – 0,02m; 0,08 - 0,10m; 0,10 – 0,12m e 0,12 – 0,14m ocorrem diferenças estatísticas significativas, com valores menores de densidade do solo para o T5.

Comparando-se os valores de densidade do solo obtidas através dos dois métodos (anel volumétrico e tomografia computadorizada), observa-se que os valores obtidos pelo método da tomografia computadorizada são menores com relação aos obtidos pelo método do anel volumétrico. Conforme Bamberg (2007), esta diferença se deve à maneira como são obtidos os dados na Tomografia Computadorizada, pois neste método são utilizados apenas valores centrais da amostra, excluindo os valores próximos à parede do cilindro, o que não ocorre no método do anel volumétrico.

Na busca de identificar com detalhe possíveis alterações na amostra provocadas por ocasião da coleta Pires et al. (2004), verificaram que ocorre um considerável aumento de densidade junto às bordas do cilindro. Desta forma, a densidade obtida a partir do método do anel volumétrico pode apresentar valores superiores aos gerados pelo método da tomografia computadorizada, na qual os valores de densidade próximos às bordas são descartados.

Com relação à resistência mecânica à penetração (RPM) verifica-se, na Fig. 4.3 que ocorre um aumento em profundidade com maiores valores observados na profundidade de aproximadamente 0,15m, para todos os tratamentos e períodos avaliados.

Tabela 4.4 – Densidade pelo método da Tomografia Computadorizada de um solo construído e do solo natural da área de mineração de Candiota-RS.

Prof. (m)	Tratamento	Densidade (Mg m ⁻³)
0,00 - 0,02	T1	1,44 ab
	T2	1,39 ab
	T3	1,43 ab
	T4	1,49 a
	T5	1,28 b
0,02 - 0,04	T1	1,54 a
	T2	1,53 a
	T3	1,50 a
	T4	1,51 a
	T5	1,37 a
0,04 - 0,06	T1	1,54 a
	T2	1,42 a
	T3	1,50 a
	T4	1,54 a
	T5	1,47 a
0,06 - 0,08	T1	1,50 a
	T2	1,49 a
	T3	1,49 a
	T4	1,48 a
	T5	1,40 a
0,08 - 0,10	T1	1,60 a
	T2	1,50 ab
	T3	1,52 ab
	T4	1,60 a
	T5	1,37 b
0,10 - 0,12	T1	1,51 ab
	T2	1,46 ab
	T3	1,50 ab
	T4	1,57 a
	T5	1,39 b
0,12 - 0,14	T1	1,58 a
	T2	1,54 a
	T3	1,47 a
	T4	1,50 a
	T5	1,35 b
0,14 - 0,16	T1	1,49 a
	T2	1,46 a
	T3	1,53 a
	T4	1,49 a
	T5	1,39 a

Médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas dentro de cada profundidade, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5%. T1–Hemátria; T2–Grama Tifton; T3–Pensacola; T4–Braquiária brizanta; T5–Solo natural.

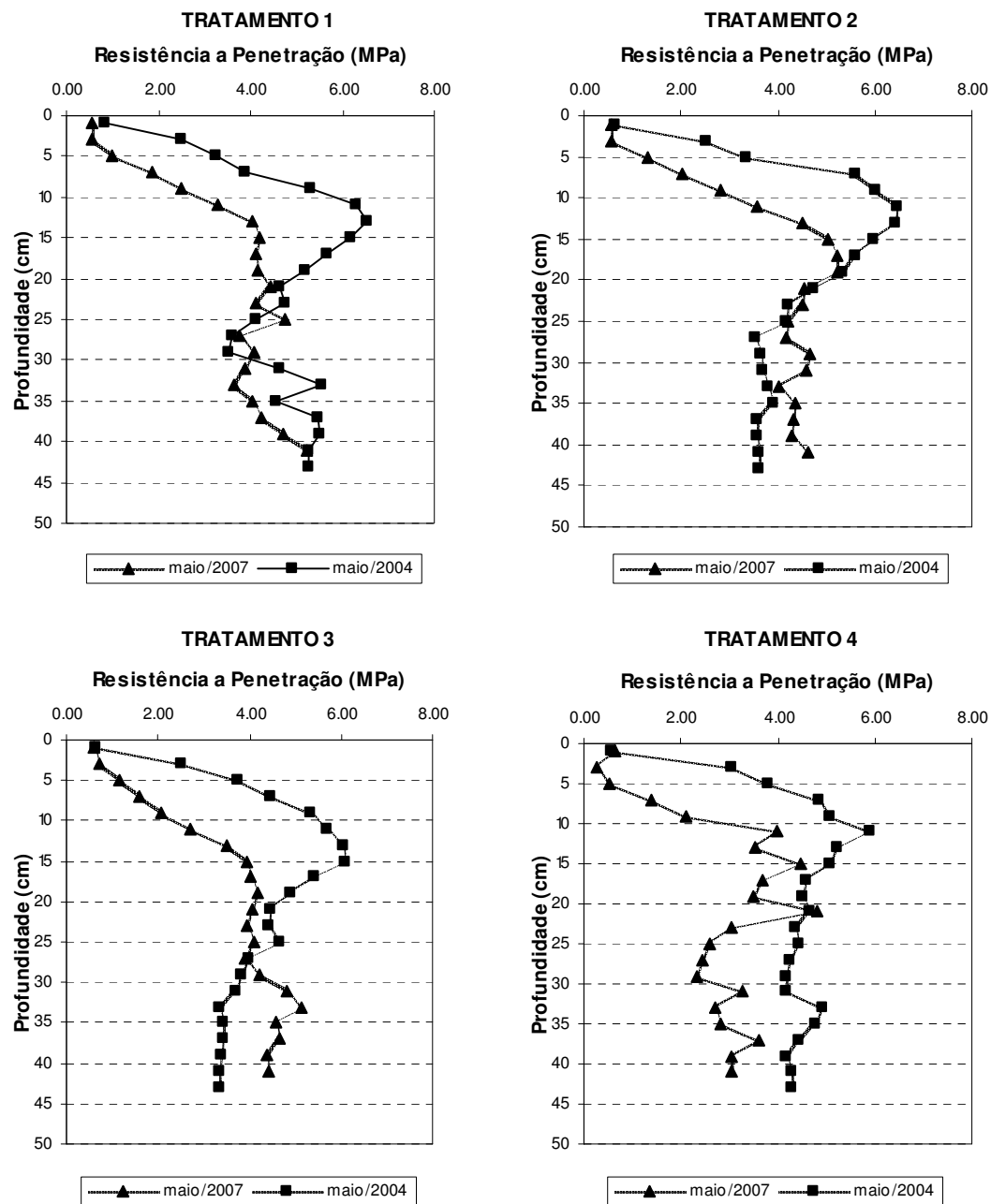
Observa-se ainda que a resistência à penetração diminuiu quando se comparam os valores obtidos entre as duas datas, principalmente até a profundidade de aproximadamente 0,20m. Este fato pode estar relacionado à diferença nas condições de umidade do solo por ocasião da determinação, sendo maior na coleta realizada em maio de 2007 (tab. 4.6). Segundo Beltrame et al. (1981) o aumento da umidade do solo causa redução na resistência à penetração, pois o teor de água modifica a coesão entre as partículas.

Quando se compara o efeito de tratamentos entre si após 3 anos de condução do experimento (tab. 4.5), verifica-se que apenas na camada superficial ocorreu uma redução significativa da resistência à penetração a favor dos tratamentos T1 (Hemária) e T2 (Grama Tifton). Verifica-se ainda que apenas nestas camadas os valores de RMP são considerados baixos para o crescimento de plantas. Nas demais camadas, a RMP é considerada média e alta, conforme a classificação proposta por Camargo & Alleoni (1997), adaptada de Canarache (1990).

Tabela 4.5 - Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) de um solo construído na área de mineração de Candiota, RS em duas épocas de avaliação (maio/2004 e maio/2007).

Trat.	Camadas analisadas (m)							
	0,0 – 0,10		0,10 – 0,20		0,20 – 0,30		0,30 – 0,40	
	2004	2007	2004	2007	2004	2007	2004	2007
T1	3,16 a A	1,29 b B	5,97 a A	3,96 a B	4,12 ab A	4,23 a A	5,14 a A	4,10 a A
T2	3,30 a A	1,24 b B	5,73 a A	4,38 a B	4,20 ab A	4,35 a A	3,80 a A	4,41 a A
T3	3,22 a A	1,61 ab B	5,74 a A	4,21 a B	3,87 ab A	4,14 a A	4,01 a A	4,02 a A
T4	3,46 a A	1,59 ab B	5,06 a A	4,86 a A	4,37 a A	4,41 a A	4,49 a A	5,01 a A
T5*	1,99 b	1,99 a	2,76 b	2,76 b	3,21 b	3,21 a	3,74 a	3,74 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula no sentido das colunas e maiúscula no sentido da linha para cada tratamento e camada, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5%. T1 – Hemária; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta; T5 – Solo natural. *Dados adaptados de NUNES (2002).



T1 – Hemátria; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

Figura 4.3 – Resistência mecânica do solo à penetração obtida um solo construído da área de mineração de carvão de Candiota, RS em duas épocas de avaliação.

Tabela 4.6 - Umidade Gravimétrica (%) de um solo construído na área de mineração de Candiota-RS, no momento da avaliação da resistência mecânica à penetração.

Trat.	Profundidades (m)					
	0,0 - 0,10		0,10 - 0,20		0,20 - 0,40	
	2004	2007	2004	2007	2004	2007
	-----%					
T1	16,32 b	23,99 a	18,12 b	21,23 a	16,19 b	22,67 a
T2	16,45 b	23,48 a	18,01 b	21,48 a	18,32 b	22,40 a
T3	15,89 b	21,99 a	17,98 b	21,07 a	16,18 b	21,88 a
T4	16,63 b	21,54 a	18,69 b	21,32 a	17,74 b	22,59 a
T5*	21,90	21,90	20,06	20,06	19,89	19,89

Médias seguidas pela mesma letra no sentido da linha para cada tratamento, em cada camada, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5%. T1 – Hemária; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta; T5 – Solo Natural. *Dados adaptados de NUNES (2002).

4.6 Conclusões

Os dados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- 1) Os valores de densidade do solo, porosidade total e microporosidade aumentaram após três anos de condução do experimento, em ambas as camadas, embora este aumento não tenha sido significativo para alguns tratamentos.
- 2) Os valores de resistência mecânica do solo à penetração diminuíram na camada de 0,0 – 0,20m.
- 3) Após 3 anos de condução do experimento não há efeito positivo das plantas de cobertura nos atributos físicos estudados, à exceção da Hemária e da Grama Tifton na camada de 0,0 – 0,05m.
- 4) Os dados obtidos indicam que o efeito das culturas sobre os atributos físicos dos solos construídos ainda é muito incipiente.

4.7 Referências Bibliográficas

- ARGENTON, J., ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., WILDENER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.425-435, 2005.
- ANDREWS, J. A., JOHNSON, J.E.,TORBERT, T. L. et al. Minesoil and site properties associated with early height growth of eastern white pine. **Journal Environmental Quality** , v.27, p.192-199, 1998.
- BAMBERG,A. L. **Avaliação da compactação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo ao longo do tempo através da Tomografia Computadorizada**. Pelotas-RS, 2007. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2007.
- BELL, J. C., CONNINGHAM R. L., ANTONY, C. T. Morphological characteristics of reconstructed prime farmland soils in western Pennsylvania. **Journal Environmental Quality**, v.23, p.515-520, 1994.
- BELTRAME, L. F. S. et al. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, p.145-149, 1981.
- BERTOL, I., ALBUQUERQUE, 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 às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.
- BRADY, N. C., WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**, 13.ed. New Jersey: Prentice Hall do Brasil, USA, 2002. 960p.
- CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba-SP, 1997. 132p.
- CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, v.16, p.51-70, 1990.
- CASTRO, O. M., DIAS, H. S., Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.23, n.3, p.703-709, 1999.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; VAZ, C. M. P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciências do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 161-167, 1992.
- DIAS JÚNIOR, M. S. ; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; SILVA, A. R.; FERREIRA, D. F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.4, p.371-380, 1999.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, 1995. **Informativo anual da indústria carbonífera**. Ano base 1995, Brasília-DF, DNPM, 1995. 246p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 80p.

EMBRAPA, Embrapa Instrumentação Agrícola. **Manual de operação: Minitomógrafo® Embrapa**. 2000. 13p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [editores técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos et al.] 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

FRANCO, A.M.P. **Caracterização física de um solo construídos na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. Pelotas-RS, 2006, 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos), Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Depto de Solos, 2006.

HILLEL, D. **Enviromental soil Physics**. Ed. Academic Press, 1998, 771p.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; BOHNEN, H. et. al. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera do Baixo Jacuí. In: **Carvão e Meio Ambiente**. Centro de Biologia da UFRGS. Ed.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2000, p.596-640.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo-SP, ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262p.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Development of soil science, 13, Amsterdam, Elsevier, 1983, 228p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Editora Edusp. Piracicaba - SP. ESALQ/USP. 2005.

MACHADO, A. A. **Sistema de análise estatística para Windows (WINSTAT)**, Pelotas-RS, Universidade Federal de Pelotas, CD, 2001.

McBRIDE, R. A.; BOBER, M. L. Are-examonation of alternative test procedures for soil consistency limit determination:I. A compression-based procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.178-183, 1989.

NOVAK, L. R.; MONTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfegode trator a da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1587-1595, 1992.

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, 2002.

OLIVEIRA, G. C., DIAS JÚNIOR, M. S., CURI, N. & RESK, 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, p.473-781, 2003.

- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.709-715, 2001.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; SILVA, A. M. Tomografia Computadorizada aplicada a estudos de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p.819-826, 2003.
- PIRES, L. F.; ARTHUR, R. C. J.; CORRECHEL, V. et al. The use of gamma ray computed tomography to investigate soil compaction due to core sampling devices. **Bras. Journal of Physics**, v.34, n°3, p.728-731.2004.
- POTTER, K. N., CARTER, F. S., DOLL, E. C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1435-1438, 1988.
- POWER, J. F., RIES, R. E., SANDOVAL, L. M. Reclamation of coal-mined land the Northern Great Plains. **Journal of Soil Water Conservation**, v.143, n.2, p. 55-67, 1985.
- REICHARDT, K.; STOLF, R. Using a computed tomography miniscanner for studying tillage induced soil compaction. **Soil Technology** (Cremlingen) 23, p. 313-321, 1989.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**, 2. ed. Manole Ltda, São Paulo-SP, 1990. 188p.
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p.321-344, 2005.
- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.73-80, 2007.
- SILVA, A. P., LIBARDI, P. L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FORTANELI, R.S.; TOM, G.E. Efeito de sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.
- STAHL, P. D., PERRYMAN, B. L., SHARMASARKAR, S., MUNN, L. C. Topsoil stockpiling versus exposure to traffic: A case study on In situ Uranium wellfields. **Restoration Ecology**, v.10, n.1, p.129-137, 2002.
- STOLF, R., Teorias e testes experimentais de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v. 15, n.3, p.229-235, 1991.
- VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S.; CRUVINEL, P. E.; REICHARDT, K.; STOLF, R. Using a computed tomography miniscanner for studying tillage induced soil compaction. **Soil Technology** (Crelingen) 23, p.313-321, 1989.
- VIEIRA, L. S., SANTOS, P. C. T. C., VIEIRA, N. F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ ABEAS, 1998. Capturado na internet Fev/2006. Disponível: <http://www.agr.feis.unesp.br>

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, p.891-900, 2004.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.239-245, 1997.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam um efeito ainda incipiente das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo construído. Porém, se percebe pequenas alterações positivas na camada superficial do solo (0,0 – 0,05m), que indicam o início do processo de recuperação. Isto leva a crer que com o passar do tempo estes efeitos se tornarão mais evidentes e atingirão as demais camadas. Essa perspectiva aponta para a necessidade da continuação do experimento, com avaliações periódicas.

As plantas de cobertura Hemária (T1) e a Grama Tifton (T2) se destacaram entre as demais, mostrando-se bastante promissoras quanto aos seus efeitos sobre a melhoria da qualidade física do solo. Poder-se-ia testar outras espécies, principalmente braquiárias, solteiras e consorciadas com tifton e hemária. As braquiárias são conhecidas e amplamente usadas na regeneração das áreas mineradas, sendo muito rústicas e apresentando um crescimento vigoroso. Porém, esta planta apresenta uma arquitetura desfavorável à contenção da enxurrada pois, embora aparentemente sua cobertura proteja o solo do impacto das gotas da chuva, não é capaz de conter o escoamento superficial entre as touceiras, uma vez que não oferece barreira no nível do solo, apenas no colo da planta. O consórcio com a Hemária e com a Grama Tifton, plantas de hábito rasteiro, poderia solucionar este problema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGPC – **FAO Crop and Grassland Service**, Capturado em 20 de fevereiro de 2008, Online. Disponível na internet: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/>.

ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, p.215-345, 1973.

ALVES, M.C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: efeito nas propriedades físicas e químicas**. Piracicaba, 1992. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ANDREWS, J. A., JOHNSON, J.E., TORBERT, T. L. et al. Minesoil and site properties associated with early height growth of eastern white pine. **Journal Environmental Quality**, v.27, p.192-199, 1998.

ARGENTON, J., ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., WILDENER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.425-435, 2005.

BAMBERG, A. L. **Avaliação da compactação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo ao longo do tempo através da Tomografia Computadorizada**. Pelotas-RS, 2007. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2007.

BARNHISEL, R.I.; MASSEY, H.F. Chemical, mineralogical and physical properties of eastern Kentucky acid-forming spoil materials. **Soil Science**. v.108, p.367-372, 1969.

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.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. 4. Ed. México, Union Topográfica Hispano Americana. 1973. 529 p.

- BELL, J. C., CONNINGHAM R. L., ANTONY, C. T. Morphological characteristics of reconstructed prime farmland soils in western Pennsylvania. **Journal Environmental Quality**, v.23, p.515-520, 1994.
- BELTRAME, L. F. S. et al. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p.145-149, 1981.
- BERTOL, I., ALBUQUERQUE, 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 às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.
- BRADY, N. C., WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**, 13.ed. New Jersey: Prentice Hall do Brasil, USA, 2002. 960p.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1986. **Levantamento de recursos naturais**. v.33, Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro-RJ. 1986, 796p.
- BUGIN, A. Introdução à recuperação de áreas degradadas. In: TEIXEIRA, E. C., PIRES, M. J. R. (coord). **Meio ambiente e carvão** - Impactos da exploração e utilização. Porto Alegre, FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/FEPAM, 2002. p.93-98.
- CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba-SP, 1997. 132p.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura de vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v.24, p.459-463, 1994.
- CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, v.16, p.51-70, 1990.
- 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**, Campinas - SP, v.14, n.1, p.99-105, 1990.
- CASTRO, O. M., DIAS, H. S., Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.23, n.3, p.703-709, 1999.
- CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica, Capturado em 10 de setembro de 2006, Online, Disponível na Internet: <http://www.cgtee.gov.br/>
- COOK, B.G.; PENGELLY, B. C.; BROWN, S. D.; DONNELLY, J. L.; EAGLES, D. A.; FRANCO, M. A.; HANSON, J.; MULLEN, B. F.; PATRIDGE, I. J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. **Tropical Forages: an interactive selection tool**. CSIRO,

DPI&F (qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Austrália. Capturado em 20 de fevereiro de 2008, Online. Disponível na internet: <http://www.tropicalforages.info/>.

CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; VAZ, C. M. P.; CESAREO, R.; MASCARENHAS, S.; REICHARDT, K. Calibração e uso de um tomógrafo computadorizado em ciências do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 161-167, 1992.

CRM – Companhia Riograndense de Mineração, Capturado em novembro de 2007, Online, Disponível na Internet: <http://www.crm.rs.gov.br/>

DIAS JÚNIOR, M. S. ; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; SILVA, A. R.; FERREIRA, D. F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz-ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.4, p.371-380, 1999.

DIAS, L.E.; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (eds.) **Recuperação de áreas degradadas**. Universidade Federal de Viçosa, Depto de Solos, SOBRADE, Viçosa-MG, p.01-07, 1998.

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

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 80p.

EMBRAPA, Embrapa Instrumentação Agrícola. **Manual de operação: Minitomógrafo® Embrapa**. 2000. 13p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. [editores técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos et al.] 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

FRANCO, A.M.P. **Caracterização física de um solo construídos na área de mineração de carvão de Candiota – RS**. Pelotas-RS, 2006, 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos), Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Depto de Solos, 2006.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; et al. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.705-712, 2003.

GASSEN, D. N., GASSEN, F. R. **Plantio direto, o caminho do futuro**. Passo Fundo-RS: Aldeia Sul Editora, 1996. 207p.

GONÇALVES, P.R. **Caracterização química do solo regenerado em Candiota-RS**. Pelotas-RS. 1999, 72p. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Química e Geociências, Universidade Federal de Pelotas, 1999.

HAUSER, V.L.; CHICHESTER, F.W. Water relationships of claypan and constructed soil profiles. **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1189-1196, 1989.

HILLEL, D. **Environmental soil Physics**. Ed. Academic Press, 1998, 771p.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília-DF: IBAMA/MINTER, 1990, 96p.

- INDORANTE, S. J.; JANSEN, I. J.; BOAST, C. W. Surface mining and reclamation initial changes in soil character. **Journal of Soil and Water Conservation**, p.347-350, 1981.
- KÄMPF, N., SCHNEIDER, P., BOHNEN, H. et al. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera do Baixo Jacuí. In: **Carvão e Meio Ambiente**. Centro de Ecologia da UFRGS. ed.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2000, p.596-640.
- 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, 1986. p.425-441.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo-SP, ed. Agronômica Ceres Ltda, 1979. 262p.
- KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Development of soil science, 13, Amsterdam, Elsevier, 1983, 228p.
- KOPEZINSKI, I. **Mineração e Meio Ambiente: Considerações Legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**, Porto Alegre-RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, 103p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Editora Edusp. Piracicaba - SP. ESALQ/USP. 2005.
- LOES, R. H. Z. Ação do Ibama na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W. V. (eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, SOBRADE, Viçosa-MG, 1998. p. 247-251.
- MACHADO, A. A. **Sistema de análise estatística para Windows (WINSTAT)**, Pelotas-RS, Universidade Federal de Pelotas, CD, 2001.
- McBRIDE, R. A.; BOBER, M. L. Are-examination of alternative test procedures for soil consistency limit determination:I. A compression-based procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.178-183, 1989.
- McSWEENEY, K., JANSEN, I. J. Soil structure and associated rooting behavior in minesoils. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.607-612, 1991.
- NOER, R. Reabilitação de áreas mineradas em minas de carvão a céu aberto: Histórico, métodos e perspectivas. In: **II Congresso Brasileiro de carvão, Centro de Estudos de Carvão**, Anais. CECAR/UFRGS, Porto Alegre-RS, v.1, p.727-734, 1989.
- NOVAK, L. R.; MONTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator a da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1587-1595, 1992.
- 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, 2002.

- OLIVEIRA, G. C., DIAS JÚNIOR, M. S., CURI, N. & RESK, 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, p.473-781, 2003.
- OLIVEIRA, P.L; BALBUENO, R.A. Cobertura vegetal na região carbonífera do Baixo Rio Jacuí. In: **Carvão e Meio Ambiente**. Centro de Ecologia da UFRGS. Ed.: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre-RS, 2000, p.77-107.
- 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**, Campinas – SP, 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**, Campinas – SP, v. 23, p. 189-195, 1999
- PEDERSEN, T.A.; ROGOWSKI, A.S.; PENNOCK, R. Jr. Physical characteristics of some minesoils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.321-328, 1980.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.709-715, 2001.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; SILVA, A. M. Tomografia Computadorizada aplicada a estudos de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p.819-826, 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.
- PINTO, L. F. S. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em área de mineração de carvão**. Porto Alegre-RS, 1997, 186f. Tese (Doutorado em Solos). Faculdade de Agronomia - UFRGS, 1997.
- PINTO, L. F. S., KÄMPF, N. Contaminação dos solos construídos. In: TEIXEIRA, E. C., PIRES, M. J. R. (coord). **Meio ambiente e carvão**. Impactos da exploração e utilização. Porto Alegre, FINEP/CAPEP/PADCT/GTM/PUCRS/FEPAM, 2002. p.69-92.
- PIRES, L. F.; ARTHUR, R. C. J.; CORRECHEL, V. et al. The use of gamma ray computed tomography to investigate soil compaction due to core sampling devices. **Brasilian Journal of Physics**, v.34, n°3, p.728-731.2004.
- POTTER, K. N., CARTER, F. S., DOLL, E. C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1435-1438, 1988.
- POWER, J. F., RIES, R. E., SANDOVAL, L. M. Reclamation of coal-mined land the Northern Great Plains. **Journal of Soil Water Conservation**, v.143, n.2, p. 55-67, 1985.
- PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas-SP, 1979. 343p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**, 2. ed. Manole Ltda, São Paulo-SP, 1990. 188p.

- REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris, curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, v.4, p.25-44, 1997.
- RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p.321-344, 2005.
- RODRIGUES, G. B.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.73-80, 2007.
- ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas – SP, v.15, p.241-248, 1991.
- SANCHES, J. C. D.; FORMOSO, M. L. L. **Utilização do carvão e meio ambiente**. Porto Alegre-RS, CIENTEC (Boletim Técnico, 20), 1990, 34p.
- SARAIVA, O. F., COGO, N. P., MIELNICZUK, J. Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais.I. Solo da Unidade de Mapeamento São Jerônimo – Segunda etapa experimental. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo-RS, **Anais...**Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. p.247.
- SCHAFER, W. M, NIELSEN, G. A., NETTLETON, W. D. Minesoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.802-807, 1980.
- SCHULTZE, J. P. S. **Recuperação de áreas mineradas**. Estudo da mina de carvão de Candiota-RS. Seminário do Curso de Mestrado em Geologia, UNISINOS, São Leopoldo-RS, 1998, 23p.
- SECCO, D., DAROS, C. O., SECCO, J. K. & FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.
- SEMC – Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul, Capturado em 10 de setembro de 2006, Online, Disponível na Internet: <http://www.semc.rs.gov.br/>
- SILVA, A. P., LIBARDI, P. L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.91-95, 1986.
- SILVA, L. 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.
- SNARSKI, R. R.; FEHRENBACHER, J. B.; JANSEN, I. J. Physical and chemical characteristics of pre-mine soil and post-mine soil mixture in Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, p.806-813, 1981.

- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FORTANELI, R.S.; TOM, G.E. Efeito de sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.
- STAHL, P. D., PERRYMAN, B. L., SHARMASARKAR, S., MUNN, L. C. Topsoil stockpiling versus exposure to traffic: A case study on In situ Uranium wellfields. **Restoration Ecology**, v.10, n.1, p.129-137, 2002.
- STOLF, R., Teorias e testes experimentais de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas-SP, v. 15, n.3, p.229-235, 1991.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampliada. Porto Alegre-RS: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 1995, 174p.
- VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; MASCARENHAS, S.; CRUVINEL, P. E.; REICHARDT, K.; STOLF, R. Using a computed tomography miniscaner for studying tillage induced soil compaction. **Soil Technology** (Crelingen) 23, p.313-321, 1989.
- VIEIRA, L. S., SANTOS, P. C. T. C., VIEIRA, N. F. **Solos: propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ ABEAS, 1998. Capturado na internet Fev/2006. Disponível: <http://www.agr.feis.unesp.br>
- 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, p.891-900, 2004.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society Agronomy** v.28, p.337-351, 1936.
- ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.239-245, 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Distribuição de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,0 – 0,05m.

Trat.	Rep.	Bloco I - 0,00-0,05								Rep.	Bloco II - 0,00-0,05							
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.
T1	1	10,95	18,09	16,34	39,98	5,02	9,62	1,90	5,06	1	5,77	13,63	13,75	40,77	9,14	16,95	1,36	8,75
	2	3,16	10,89	14,27	43,82	10,17	17,69	1,17	7,27	2	5,31	10,48	14,67	42,33	11,03	16,18	1,25	8,29
	média	7,06	14,49	15,30	41,90	7,59	13,66	1,53	6,17	média	5,54	12,06	14,21	41,55	10,09	16,56	1,31	8,52
T2	1	5,21	11,94	16,74	39,66	9,62	16,82	1,30	7,40	1	2,72	11,25	13,35	45,57	8,83	18,28	1,09	6,81
	2	7,81	12,91	11,93	44,33	9,42	13,60	1,47	8,11	2	2,68	11,52	12,97	44,72	11,81	16,30	1,08	7,65
	média	6,51	12,43	14,34	41,99	9,52	15,21	1,39	7,75	média	2,70	11,39	13,16	45,14	10,32	17,29	1,09	7,23
T3	1	3,75	12,50	16,18	42,70	7,54	15,83	1,26	6,11	1	3,37	11,96	14,46	32,26	9,17	13,82	1,19	6,35
	2	5,12	8,63	13,56	49,20	5,56	17,92	1,19	8,80	2	2,86	11,67	13,83	45,79	9,47	16,38	1,12	8,20
	média	4,44	10,56	14,87	45,95	6,55	16,87	1,23	7,46	média	3,11	11,81	14,14	39,02	9,32	15,10	1,15	7,27
T4	1	6,31	8,34	11,86	40,07	11,17	22,25	1,19	7,55	1	5,29	12,10	16,55	41,40	8,05	16,53	1,32	7,92
	média	6,31	8,34	11,86	40,07	11,17	22,25	1,19	7,55	média	5,29	12,10	16,55	41,40	8,05	16,53	1,32	7,92
Trat.	Rep.	Bloco III - 0,00-0,05								Rep.	Bloco IV - 0,00-0,05							
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.
T1	1	12,04	14,34	14,52	37,32	6,80	15,05	1,81	8,90	1	8,05	11,83	11,17	37,23	11,77	19,96	1,41	9,40
	2	8,89	12,24	13,43	39,76	10,26	15,42	1,52	10,00	2	3,86	13,88	14,81	42,48	10,51	14,39	1,26	8,20
	Média	10,47	13,29	13,97	38,54	8,53	15,24	1,67	9,45	Média	5,96	12,85	12,99	39,85	11,14	17,18	1,33	8,80
T2	1	5,93	15,36	12,03	36,10	8,50	22,08	1,37	9,80	1	1,88	7,41	13,10	44,78	8,82	24,02	0,97	6,40
	2	9,81	13,32	15,11	39,70	8,26	13,80	1,65	9,30	2	4,41	12,66	12,78	37,58	11,84	20,73	1,20	8,10
	Média	7,87	14,34	13,57	37,90	8,38	17,94	1,51	9,55	Média	3,14	10,04	12,94	41,18	10,33	22,37	1,08	7,25
T3	1	3,75	6,96	10,61	41,78	13,48	23,43	0,96	7,30	1	7,03	11,07	11,71	42,82	11,32	16,05	1,35	8,60
	2	1,87	9,41	12,49	49,25	9,43	17,55	0,97	7,70	2	5,28	8,24	10,28	43,59	11,14	21,46	1,11	8,30
	Média	2,81	8,18	11,55	45,51	11,46	20,49	0,97	7,50	Média	6,16	9,66	10,99	43,21	11,23	18,76	1,23	8,45
T4	1	6,21	13,19	15,23	42,81	8,50	14,06	1,41	8,70	1	3,82	10,65	10,70	40,16	9,06	25,51	1,08	7,75
	Média	6,21	13,19	15,23	42,81	8,50	14,06	1,41	8,70	Média	3,82	10,65	10,70	40,16	9,06	25,51	1,08	7,75

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE B – Distribuição de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,05 – 0,10m.

Trat.	Rep.	Bloco I - 0,05-0,10								Rep.	Bloco II - 0,05-0,10							
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.
T1	1	15,04	28,84	23,45	25,59	3,26	3,83	2,57	4,96	1	9,69	23,28	28,22	30,31	3,45	5,04	2,10	6,99
	2	2,43	20,58	30,44	36,28	4,18	6,09	1,56	5,23	2	3,64	9,11	11,51	47,63	10,94	17,18	1,06	8,01
	média	8,74	24,71	26,95	30,93	3,72	4,96	2,07	5,10	média	6,67	16,19	19,86	38,97	7,20	11,11	1,58	7,50
T2	1	6,75	19,81	22,37	37,95	5,61	7,51	1,74	6,50	1	7,36	17,89	22,00	36,25	6,47	10,02	1,70	7,27
	2	2,47	17,53	25,01	39,87	5,13	9,99	1,44	5,61	2	4,32	11,23	17,58	42,47	8,10	16,30	1,24	6,90
	média	4,61	18,67	23,69	38,91	5,37	8,75	1,59	6,05	média	5,84	14,56	19,79	39,36	7,28	13,16	1,47	7,09
T3	1	6,82	21,99	27,54	33,76	3,33	6,56	1,86	7,19	1	11,80	22,36	22,28	32,10	4,34	7,12	2,14	6,90
	2	11,90	17,99	25,76	35,93	3,62	4,79	2,08	8,00	2	7,36	14,59	20,02	39,15	7,28	11,60	1,59	7,83
	média	9,36	19,99	26,65	34,85	3,48	5,68	1,97	7,59	média	9,58	18,47	21,15	35,62	5,81	9,36	1,87	7,36
T4	1	6,22	11,65	13,99	45,23	9,18	13,73	1,36	6,40	1	7,01	21,10	24,05	36,09	5,33	6,43	1,81	6,35
	média	6,22	11,65	13,99	45,23	9,18	13,73	1,36	6,40	média	7,01	21,10	24,05	36,09	5,33	6,43	1,81	6,35
Trat.	Rep.	Bloco III - 0,05-0,10								Rep.	Bloco IV - 0,05-0,10							
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	< 0,105	DMP	C.O.
T1	1	9,30	16,17	19,99	37,98	7,43	9,13	1,77	8,80	1	2,06	11,33	16,33	45,63	9,82	14,82	1,08	6,10
	2	4,13	20,68	26,30	34,86	4,17	9,86	1,62	7,90	2	5,04	18,65	26,08	37,03	4,80	8,40	1,65	8,40
	Média	6,71	18,42	23,15	36,42	5,80	9,49	1,69	8,35	Média	3,55	14,99	21,20	41,33	7,31	11,61	1,37	7,25
T2	1	4,27	18,06	29,60	35,10	4,86	8,11	1,59	5,50	1	6,41	19,31	25,68	36,48	4,81	7,30	1,74	6,70
	2	6,52	16,76	22,93	38,03	6,79	8,97	1,63	8,40	2	1,73	24,31	17,94	36,79	6,65	12,58	1,46	6,80
	Média	5,40	17,41	26,26	36,56	5,83	8,54	1,61	6,95	Média	4,07	21,81	21,81	36,63	5,73	9,94	1,60	6,75
T3	1	1,24	6,98	13,04	45,10	10,91	22,74	0,83	6,70	1	2,23	14,63	22,29	43,89	6,05	10,90	1,28	6,90
	2	3,96	22,58	30,15	32,99	4,30	6,01	1,72	6,60	2	1,74	11,32	15,81	45,40	10,32	15,40	1,05	5,80
	Média	2,60	14,78	21,60	39,05	7,60	14,37	1,27	6,65	Média	1,98	12,98	19,05	44,65	8,19	13,15	1,17	6,35
T4	1	6,52	13,57	25,87	41,68	5,08	7,28	1,58	6,30	1	2,31	13,43	17,00	41,59	11,77	13,91	1,16	6,60
	Média	6,52	13,57	25,87	41,68	5,08	7,28	1,58	6,30	Média	2,31	13,43	17,00	41,59	11,77	13,91	1,16	6,60

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE C – Distribuição de agregados estáveis em água nas diferentes classes de tamanho, diâmetro médio ponderado (DMP) e carbono orgânico (C.O.) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,10 – 0,20m.

Trat.	Rep.	Bloco I - 0,10-0,20										Rep.	Bloco II - 0,10-0,20									
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	<0,105	DMP	C.O.	9,52-4,76	4,76-2,00		2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	<0,105	DMP	C.O.				
T1	1	4,16	29,64	29,98	27,72	3,05	5,45	1,93	4,86		1	10,68	21,31	26,56	32,41	4,00	5,04	2,09	6,90			
	2	5,47	18,54	35,41	30,53	3,15	6,90	1,75	5,61		2	2,64	13,55	20,87	45,27	7,88	9,81	1,30	6,53			
	média	4,81	24,09	32,70	29,12	3,10	6,18	1,84	5,23		média	6,66	17,43	23,72	38,84	5,94	7,42	1,69	6,72			
T2	1	3,35	14,16	32,37	38,08	4,72	7,31	1,46	5,70		1	11,06	17,95	25,24	33,40	4,89	7,46	1,99	6,99			
	2	5,55	26,79	28,58	29,40	3,47	6,20	1,92	5,61		2	19,94	10,90	0,00	38,75	5,15	8,82	2,30	7,55			
	média	4,45	20,48	30,48	33,74	4,10	6,75	1,69	5,65		média	15,50	14,42	12,62	36,08	5,02	8,14	2,15	7,27			
T3	1	2,57	13,96	26,67	43,81	4,67	8,32	1,34	5,50		1	18,43	27,85	21,58	23,81	3,72	4,61	2,74	5,85			
	2	20,58	22,79	20,85	28,64	3,16	3,98	2,74	6,80		2	5,21	18,31	27,67	38,20	3,58	7,04	1,66	7,17			
	média	11,57	18,37	23,76	36,23	3,91	6,15	2,04	6,15		média	11,82	23,08	24,62	31,00	3,65	5,82	2,20	6,51			
T4	1	4,52	19,52	30,07	29,07	3,76	8,07	1,67	6,65		1	13,83	30,08	22,40	25,16	3,48	5,05	2,51	4,86			
	média	4,52	19,52	30,07	29,07	3,76	8,07	1,67	6,65		média	13,83	30,08	22,40	25,16	3,48	5,05	2,51	4,86			
Trat.	Rep.	Bloco III - 0,10-0,20										Rep.	Bloco IV - 0,10-0,20									
		9,52-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	<0,105	DMP	C.O.	9,52-4,76	4,76-2,00		2,00-1,00	1,00-0,25	0,25-0,105	<0,105	DMP	C.O.				
T1	1	4,58	13,26	22,30	44,17	5,91	9,79	1,40	7,70		1	5,99	19,50	19,89	34,40	7,40	12,82	1,62	7,20			
	2	11,07	20,13	28,81	29,42	3,94	6,64	2,09	7,10		2	10,56	16,42	27,09	34,75	4,25	6,92	1,94	7,50			
	média	7,82	16,69	25,55	36,80	4,93	8,21	1,75	7,40		média	8,27	17,96	23,49	34,57	5,82	9,87	1,78	7,35			
T2	1	2,16	14,64	28,85	40,21	5,83	8,31	1,35	5,50		1	5,95	24,39	29,85	31,10	2,89	5,82	1,90	3,40			
	2	5,55	16,96	30,11	37,07	4,72	5,58	1,67	6,70		2	1,72	9,86	19,84	52,06	4,89	11,63	1,13	6,20			
	média	3,86	15,80	29,48	38,64	5,28	6,94	1,51	6,10		média	3,84	17,13	24,84	41,58	3,89	8,72	1,51	4,80			
T3	1	1,63	15,41	21,63	42,77	6,38	12,21	1,28	6,30		1	6,77	18,62	23,84	33,76	6,41	10,60	1,70	5,10			
	2	10,20	25,86	30,16	25,68	3,25	4,85	2,23	6,70		2	2,67	13,01	30,43	40,14	4,92	8,83	1,35	5,30			
	média	5,92	20,64	25,89	34,22	4,81	8,53	1,76	6,50		média	4,72	15,82	27,14	36,95	5,66	9,71	1,53	5,20			
T4	1	2,02	12,19	20,72	49,98	7,66	7,44	1,22	6,20		1	1,64	14,21	28,64	39,72	6,19	9,59	1,29	6,55			
	média	2,02	12,19	20,72	49,98	7,66	7,44	1,22	6,20		média	1,64	14,21	28,64	39,72	6,19	9,59	1,29	6,55			

T1 – Hemárria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

T1 – Hemátria; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE D – Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,0 – 0,05m.

Trat.	Rep.	Bloco I				Bloco II				Bloco III				Bloco IV			
		Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi
T1	1	1,37	50,30	17,81	32,49	1,61	44,13	11,44	32,69	1,53	46,80	9,04	37,76	1,59	41,72	7,22	34,50
	2	1,39	48,22	16,65	31,57	1,62	47,73	14,61	33,12	1,54	47,34	8,81	38,53	1,63	42,94	6,78	36,16
	3	1,30	60,82	16,78	44,04	1,54	46,09	10,25	35,84	1,35	48,96	17,24	31,72	1,44	48,98	14,07	34,91
	4	1,52	45,77	10,07	35,70	1,50	43,53	9,12	34,41	1,16	81,36	8,93	72,43	1,48	48,96	13,67	35,29
	Média	1,40	51,28	15,33	35,95	1,57	45,37	11,36	34,02	1,40	56,12	11,01	45,11	1,54	45,65	10,44	35,22
T2	1	1,40	47,41	15,75	31,66	1,45	50,36	13,76	36,60	1,49	46,75	12,71	34,04	1,58	47,95	7,89	40,06
	2	1,41	51,22	19,21	32,01	1,49	46,27	6,87	39,40	1,60	43,29	7,74	35,55	1,48	46,40	6,25	40,15
	3	1,40	54,30	20,74	33,56	1,59	46,68	11,33	35,35	1,32	50,62	18,75	31,87	1,63	45,59	4,99	40,60
	4	1,39	50,65	19,48	31,17	1,50	50,97	10,80	40,17	1,55	44,83	7,84	36,99	1,69	43,43	4,93	38,50
	Média	1,40	50,90	18,80	32,10	1,51	48,57	10,69	37,88	1,49	46,37	11,76	34,61	1,60	45,84	6,02	39,83
T3	1	1,57	43,25	9,19	34,06	1,59	52,68	18,31	34,37	1,57	45,15	7,48	37,67	1,65	45,81	10,17	35,64
	2	1,39	47,71	15,83	31,88	1,59	47,76	14,48	33,28	1,54	45,55	9,34	36,21	1,54	44,81	9,68	35,13
	3	1,46	48,83	15,42	33,41	1,51	43,89	13,26	30,63	1,56	47,23	11,09	36,14	1,59	48,52	10,30	38,22
	4	1,55	49,33	13,34	35,99	1,59	43,01	8,36	34,65	1,57	49,07	13,06	36,01	1,62	48,15	9,51	38,64
	Média	1,49	47,28	13,45	33,84	1,57	46,84	13,60	33,23	1,56	46,75	10,24	36,51	1,60	46,82	9,92	36,91
T4	1	1,71	46,51	10,65	35,86	1,64	48,04	17,10	30,94	1,63	42,48	4,55	37,93	1,58	44,46	9,24	35,22
	2	1,63	45,92	10,66	35,26	1,66	46,18	13,17	33,01	1,69	44,65	6,65	38,00	1,52	45,70	12,45	33,25
	Média	1,67	46,22	10,66	35,56	1,65	47,11	15,14	31,98	1,66	43,57	5,60	37,97	1,55	45,08	10,85	34,24

T1 – Hemária; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE E – Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt). Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,05 – 0,10m.

Trat.	Rep.	Bloco I				Bloco II				Bloco III				Bloco IV			
		Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi
T1	1	1,51	46,88	12,95	33,93	1,79	39,10	4,71	34,39	1,61	46,66	8,05	38,61	1,54	47,84	13,05	34,79
	2	1,55	45,22	10,74	34,48	1,78	42,49	7,49	35,00	1,69	45,79	5,21	40,58	1,64	44,48	10,96	33,52
	3	1,71	45,94	8,92	37,02	1,65	46,07	10,08	35,99	1,59	49,14	12,23	36,91	1,60	46,33	11,48	34,85
	4	1,61	44,59	7,62	36,97	1,60	44,58	10,06	34,52	1,64	51,34	15,03	36,31	1,60	47,32	11,55	35,77
	Média	1,60	45,66	10,06	35,60	1,71	43,06	8,09	34,98	1,63	48,23	10,13	38,10	1,60	46,49	11,76	34,73
T2	1	1,59	45,22	12,23	32,99	1,79	40,85	5,02	35,83	1,75	45,35	6,78	38,57	1,71	43,25	5,73	37,52
	2	1,53	43,80	7,29	36,51	1,67	45,50	10,08	35,42	1,64	45,20	9,21	35,99	1,75	41,44	5,34	36,10
	3	1,57	46,12	8,05	38,07	1,70	47,89	7,51	40,38	1,68	42,84	7,35	35,49	1,76	41,50	4,97	36,53
	4	1,59	52,35	15,07	37,28	1,66	54,82	13,34	41,48	1,73	43,80	7,72	36,08	1,79	40,39	7,11	33,28
	Média	1,57	46,87	10,66	36,21	1,71	47,27	8,99	38,28	1,70	44,30	7,77	36,53	1,75	41,65	5,79	35,86
T3	1	1,84	42,77	6,94	35,83	1,75	47,87	12,74	35,13	1,53	46,97	8,34	38,63	1,56	48,41	13,17	35,24
	2	1,59	40,91	5,69	35,22	1,58	51,91	19,73	32,18	1,59	46,27	7,20	39,07	1,54	48,63	13,32	35,31
	3	1,29	53,77	23,75	30,02	1,53	50,91	20,06	30,85	1,78	44,24	8,03	36,21	1,72	44,21	7,35	36,86
	4	1,46	51,74	18,38	33,36	1,69	45,16	12,15	33,01	1,75	36,60	15,45	21,15	1,68	47,52	7,99	39,53
	Média	1,55	47,30	13,69	33,61	1,64	48,96	16,17	32,79	1,66	43,52	9,76	33,77	1,63	47,19	10,46	36,74
T4	1	1,69	47,50	10,27	37,23	1,69	46,82	13,08	33,74	1,73	45,64	9,22	36,42	1,63	45,72	8,62	37,10
	2	1,75	52,64	16,10	36,54	1,74	44,43	11,57	32,86	1,62	43,34	4,64	38,70	1,61	41,79	7,95	33,84
	Média	1,72	50,07	13,19	36,89	1,72	45,63	12,33	33,30	1,68	44,49	6,93	37,56	1,62	43,76	8,29	35,47

T1 – Hemária; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE F – Densidade do solo (Ds), Porosidade total (Pt), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi) para 4 tratamentos dos blocos I, II, III e IV para a camada 0,10 – 0,20m.

Trat.	Rep.	Bloco I				Bloco II				Bloco III				Bloco IV			
		Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi	Ds	Pt	Ma	Mi
T1	1	1,75	36,86	2,18	34,68	1,85	39,38	4,29	35,09	1,80	46,40	6,45	39,95	1,69	48,37	3,74	44,63
	2	1,72	40,21	5,08	35,13	1,76	42,11	6,78	35,33	1,74	43,16	4,85	38,31	1,56	52,48	9,32	43,16
	3	1,67	39,09	4,44	34,65	1,70	40,50	5,32	35,18	1,71	46,90	10,34	36,56	1,52	45,70	11,64	34,06
	4	1,72	42,38	5,52	36,86	1,64	45,50	9,95	35,55	1,69	49,31	10,48	38,83	1,51	47,04	13,13	33,91
	Média	1,72	39,64	4,31	35,33	1,74	41,87	6,59	35,29	1,74	46,44	8,03	38,41	1,57	48,40	9,46	38,94
T2	1	1,74	42,31	5,80	36,51	1,73	46,71	11,25	35,46	1,80	42,81	4,31	38,50	1,86	45,88	7,14	38,74
	2	1,68	40,71	4,81	35,90	1,82	44,19	5,75	38,44	1,73	46,10	6,41	39,69	1,85	44,46	4,51	39,95
	3	1,66	45,88	6,66	39,22	1,73	49,03	7,53	41,50	1,83	45,50	6,30	39,20	1,75	47,28	6,00	41,28
	4	1,86	48,72	6,80	41,92	1,59	41,54	5,44	36,10	1,81	42,84	5,74	37,10	1,80	47,23	6,50	40,73
	Média	1,74	44,41	6,02	38,39	1,72	45,37	7,49	37,88	1,79	44,31	5,69	38,62	1,82	46,21	6,04	40,18
T3	1	1,68	47,71	7,06	40,65	1,76	55,92	16,45	39,47	1,69	44,54	5,64	38,90	1,75	47,08	9,34	37,74
	2	1,66	44,45	4,79	39,66	1,66	44,46	10,60	33,86	1,70	46,44	6,78	39,66	1,84	45,50	7,00	38,50
	3	1,69	44,76	9,15	35,61	1,69	42,75	9,54	33,21	1,83	45,51	8,95	36,56	1,70	44,56	6,87	37,69
	4	1,63	43,18	7,72	35,46	1,78	43,19	9,61	33,58	1,77	41,54	4,90	36,64	1,54	45,37	9,73	35,64
	Média	1,67	45,03	7,18	37,85	1,72	46,58	11,55	35,03	1,75	44,51	6,57	37,94	1,71	45,63	8,24	37,39
T4	1	1,69	50,03	12,68	37,35	1,69	43,54	8,97	34,57	1,68	44,28	5,91	38,37	1,74	42,53	5,21	37,32
	2	1,75	52,00	13,82	38,18	1,74	45,42	10,44	34,98	1,69	46,75	5,38	41,37	1,83	45,57	6,69	38,88
	Média	1,72	51,02	13,25	37,77	1,72	44,48	9,71	34,78	1,69	45,52	5,65	39,87	1,79	44,05	5,95	38,10

T1 – Hemária; T2 – Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE G – Dados de densidade dos tratamentos T1 (Hemártria) e T2 (Tifton), obtidos pelo método da Tomografia Computadorizada.

Prof. (cm)	T1					T2				
	BI	BII	BIII	BIV	Média	BI	BII	BIII	BIV	Média
0,4	1,43	1,43	1,37	1,25	1,37	1,47	1,46	1,08	1,34	1,34
0,8	1,51	1,43	1,70	1,25	1,47	1,46	1,53	1,32	1,24	1,39
1,2	1,46	1,42	1,63	1,40	1,48	1,41	1,48	1,36	1,43	1,42
1,6	1,47	1,39	1,64	1,40	1,48	1,45	1,44	1,39	1,39	1,41
2,0	1,42	1,02	1,75	1,44	1,41	1,44	1,38	1,40	1,41	1,41
2,4	1,49	1,08	1,48	1,82	1,47	1,46	1,40	1,51	1,75	1,53
2,8	1,55	1,32	1,46	1,94	1,57	1,46	1,46	1,45	1,99	1,59
3,2	1,56	1,33	1,40	1,93	1,56	1,45	1,47	1,56	1,79	1,57
3,6	1,66	1,45	1,53	1,74	1,59	1,49	1,49	1,51	1,62	1,53
4,0	1,61	1,43	1,53	1,43	1,50	1,45	1,50	1,40	1,41	1,44
4,4	1,66	1,54	1,66	1,41	1,57	1,42	1,49	1,37	1,45	1,43
4,8	1,57	1,52	1,69	1,45	1,56	1,46	1,53	1,33	1,52	1,46
5,2	1,59	1,57	1,61	1,38	1,54	1,49	1,52	1,16	1,41	1,40
5,6	1,63	1,62	1,83	1,29	1,59	1,53	1,56	1,29	1,36	1,43
6,0	1,49	1,51	1,40	1,28	1,42	1,43	1,54	1,32	1,20	1,37
6,4	1,33	1,53	1,54	1,45	1,46	1,44	1,42	1,37	1,45	1,42
6,8	1,44	1,54	1,55	1,45	1,49	1,42	1,42	1,42	1,39	1,41
7,2	1,31	1,54	1,53	1,72	1,52	1,45	1,54	1,49	1,80	1,57
7,6	1,44	1,54	1,48	1,58	1,51	1,45	1,55	1,59	1,57	1,54
8,0	1,51	1,46	1,47	1,64	1,52	1,47	1,45	1,69	1,44	1,51
8,4	1,63	1,43	1,41	1,66	1,53	1,45	1,45	1,51	1,43	1,46
8,8	1,76	1,57	1,37	1,72	1,60	1,49	1,53	1,59	1,47	1,52
9,2	1,67	1,58	1,42	1,68	1,59	1,51	1,32	1,46	1,45	1,44
9,6	1,69	1,68	1,52	1,61	1,62	1,51	1,67	1,41	1,55	1,54
10,0	1,74	1,78	1,42	1,57	1,63	1,55	1,73	1,38	1,45	1,53
10,4	1,80	1,77	1,37	1,43	1,59	1,54	1,65	1,38	1,43	1,50
10,8	1,60	1,33	1,40	1,40	1,43	1,62	1,64	1,22	1,52	1,50
11,2	1,55	1,25	1,53	1,37	1,42	1,27	1,63	1,26	1,27	1,36
11,6	1,58	1,45	1,52	1,61	1,54	1,38	1,63	1,38	1,36	1,44
12,0	1,53	1,59	1,61	1,45	1,54	1,47	1,59	1,48	1,54	1,52
12,4	1,56	1,57	1,68	1,70	1,63	1,41	1,50	1,58	1,67	1,54
12,8	1,54	1,60	1,65	1,54	1,58	1,40	1,46	1,65	1,62	1,53
13,2	1,54	1,55	1,69	1,48	1,56	1,40	1,58	1,66	1,59	1,56
13,6	1,54	1,53	1,66	1,49	1,56	1,42	1,60	1,61	1,51	1,53
14,0	1,59	1,59	1,67	1,38	1,56	1,48	1,53	1,64	1,52	1,54
14,4	1,55	1,54	1,58	1,23	1,48	1,48	1,52	1,26	1,52	1,45
14,8	1,54	1,62	1,56	1,08	1,45	1,52	1,57	1,08	1,45	1,40
15,2	1,69	1,61	1,51	1,21	1,51	1,56	1,64	1,28	1,37	1,46
15,6	1,70	1,67	1,44	1,26	1,52	1,56	1,64	1,49	1,34	1,50
16,0	1,66	1,71	1,40	1,11	1,47	1,57	1,71	1,41	1,23	1,48

APÊNDICE H – Dados de densidade dos tratamentos T3 (Pensacola) e T4 (Braquiária brizanta), obtidos pelo método da Tomografia Computadorizada.

Prof. (cm)	T3					T4				
	BI	BII	BIII	BIV	Média	BI	BII	BIII	BIV	Média
0,4	1,41	1,52	0,88	1,48	1,32	1,51	1,18	1,63	1,69	1,50
0,8	1,42	1,48	1,21	1,50	1,40	1,53	1,33	1,52	1,51	1,47
1,2	1,44	1,50	1,32	1,52	1,45	1,51	1,40	1,47	1,44	1,46
1,6	1,50	1,52	1,42	1,36	1,45	1,46	1,61	1,50	1,51	1,52
2,0	1,50	1,52	1,60	1,43	1,51	1,44	1,68	1,40	1,45	1,49
2,4	1,48	1,54	1,54	1,51	1,52	1,45	1,60	1,49	1,42	1,49
2,8	1,41	1,58	1,47	1,51	1,49	1,58	1,56	1,47	1,44	1,51
3,2	1,43	1,61	1,41	1,40	1,46	1,46	1,60	1,50	1,42	1,49
3,6	1,48	1,64	1,47	1,52	1,52	1,50	1,54	1,61	1,39	1,51
4,0	1,54	1,55	1,52	1,40	1,50	1,46	1,54	1,59	1,49	1,52
4,4	1,57	1,49	1,49	1,44	1,50	1,55	1,46	1,51	1,47	1,50
4,8	1,57	1,55	1,31	1,49	1,48	1,63	1,41	1,64	1,50	1,54
5,2	1,56	1,58	1,29	1,52	1,49	1,68	1,37	1,67	1,77	1,62
5,6	1,59	1,72	1,35	1,57	1,55	1,67	1,28	1,67	1,67	1,57
6,0	1,50	1,62	1,25	1,44	1,45	1,45	1,47	1,54	1,35	1,45
6,4	1,45	1,58	1,47	1,39	1,47	1,49	1,37	1,44	1,49	1,45
6,8	1,61	1,53	1,47	1,35	1,49	1,45	1,37	1,42	1,52	1,44
7,2	1,63	1,43	1,60	1,30	1,49	1,67	1,47	1,45	1,44	1,51
7,6	1,64	1,52	1,54	1,33	1,51	1,47	1,57	1,53	1,41	1,50
8,0	1,62	1,46	1,55	1,33	1,49	1,62	1,50	1,57	1,41	1,52
8,4	1,65	1,43	1,58	1,32	1,50	1,58	1,48	1,48	1,49	1,51
8,8	1,61	1,47	1,51	1,28	1,47	1,66	1,49	1,53	1,49	1,54
9,2	1,80	1,58	1,51	1,14	1,51	1,63	1,51	1,61	1,47	1,55
9,6	1,71	1,52	1,60	1,19	1,51	1,66	1,84	1,82	1,49	1,70
10,0	1,86	1,62	1,62	1,30	1,60	1,71	1,90	1,59	1,47	1,67
10,4	1,73	1,71	1,41	1,37	1,56	1,74	1,77	1,56	1,55	1,66
10,8	1,73	1,73	1,37	1,43	1,57	1,74	1,68	1,61	1,48	1,63
11,2	1,52	1,62	1,31	1,50	1,49	1,58	1,45	1,60	1,25	1,47
11,6	1,47	1,54	1,33	1,52	1,46	1,48	1,60	1,68	1,38	1,53
12,0	1,59	1,41	1,16	1,49	1,41	1,45	1,64	1,78	1,35	1,56
12,4	1,59	1,43	1,35	1,49	1,46	1,50	1,54	1,66	1,45	1,54
12,8	1,55	1,68	1,28	1,43	1,48	1,51	1,45	1,56	1,47	1,50
13,2	1,51	1,54	1,29	1,42	1,44	1,58	1,40	1,56	1,54	1,52
13,6	1,56	1,51	1,43	1,43	1,48	1,54	1,49	1,53	1,46	1,50
14,0	1,56	1,54	1,35	1,49	1,49	1,49	1,51	1,32	1,45	1,44
14,4	1,57	1,58	1,54	1,48	1,54	1,57	1,52	1,43	1,49	1,50
14,8	1,57	1,55	1,55	1,50	1,54	1,60	1,44	1,40	1,45	1,47
15,2	1,55	1,62	1,46	1,59	1,56	1,56	1,43	1,54	1,39	1,48
15,6	1,59	1,61	1,23	1,49	1,48	1,60	1,48	1,57	1,31	1,49
16,0	1,63	1,70	1,29	1,44	1,51	1,60	1,56	1,61	1,39	1,54

APÊNDICE I – Dados de densidade do solo natural (T5), obtidos pelo método da Tomografia Computadorizada.

Prof. (cm)	Solo Natural		
	Solo Natural 1	Solo Natural 2	Média
0,4	1,39	0,93	1,16
0,8	1,41	1,07	1,24
1,2	1,41	1,22	1,31
1,6	1,44	1,28	1,36
2,0	1,34	1,25	1,29
2,4	1,46	1,21	1,34
2,8	1,46	1,32	1,39
3,2	1,36	1,31	1,33
3,6	1,34	1,38	1,36
4,0	1,39	1,42	1,40
4,4	1,45	1,38	1,42
4,8	1,49	1,50	1,49
5,2	1,47	1,48	1,47
5,6	1,49	1,48	1,49
6,0	1,49	1,44	1,47
6,4	1,47	1,35	1,41
6,8	1,45	1,38	1,42
7,2	1,41	1,35	1,38
7,6	1,43	1,35	1,39
8,0	1,42	1,34	1,38
8,4	1,38	1,32	1,35
8,8	1,43	1,33	1,38
9,2	1,34	1,37	1,35
9,6	1,34	1,38	1,36
10,0	1,40	1,37	1,38
10,4	1,42	1,39	1,41
10,8	1,48	1,43	1,46
11,2	1,41	1,40	1,41
11,6	1,29	1,34	1,31
12,0	1,35	1,36	1,35
12,4	1,34	1,36	1,35
12,8	1,36	1,34	1,35
13,2	1,31	1,37	1,34
13,6	1,35	1,36	1,35
14,0	1,37	1,34	1,36
14,4	1,37	1,36	1,37
14,8	1,38	1,38	1,38
15,2	1,39	1,40	1,39
15,6	1,38	1,40	1,39
16,0	1,37	1,39	1,38

APÊNDICE J – Resistência mecânica do solo à penetração em MPa, para 4 tratamentos do solo construído dos blocos I e II (média de 3 pontos).

Resistência mecânica do solo à penetração Bloco I				
Profundidade	T1	T2	T3	T4
----- m -----	----- MPa -----			
0,00-0,02	0,55	0,55	0,55	0,55
0,02-0,04	0,55	0,55	1,74	0,61
0,04-0,06	1,35	1,11	2,29	1,42
0,06-0,08	2,12	1,70	2,61	1,86
0,08-0,10	2,95	2,00	3,61	1,86
0,10-0,12	4,13	3,16	4,25	2,73
0,12-0,14	4,74	4,00	4,62	2,78
0,14-0,16	5,33	4,88	5,54	3,15
0,16-0,18	4,74	4,39	4,78	3,41
0,18-0,20	4,26	3,96	4,65	3,55
0,20-0,22	4,28	3,98	4,55	3,44
0,22-0,24	4,15	4,23	4,05	3,12
0,24-0,26	3,93	4,33	4,30	3,19
0,26-0,28	3,50	3,81	4,03	2,74
0,28-0,30	3,26	3,62	4,57	2,71
0,30-0,32	3,46	7,03	3,82	3,12
0,32-0,34	3,96	4,04	3,86	3,33
0,34-0,36	4,62	5,36	3,86	4,89
0,36-0,38	5,81	3,66	4,19	4,03
0,38-0,40	5,88	3,78	4,39	4,41
Resistência mecânica do solo à penetração Bloco II				
Profundidade	T1	T2	T3	T4
----- m -----	----- MPa -----			
0,00-0,02	0,55	0,55	0,55	0,55
0,02-0,04	0,55	0,55	0,77	0,55
0,04-0,06	1,00	0,85	1,54	1,37
0,06-0,08	2,26	1,69	2,01	1,94
0,08-0,10	2,53	2,15	3,54	3,27
0,10-0,12	3,30	3,85	3,29	3,81
0,12-0,14	4,66	4,83	4,42	5,10
0,14-0,16	4,46	5,01	5,09	4,60
0,16-0,18	4,54	4,58	4,95	5,16
0,18-0,20	5,11	4,34	5,72	5,85
0,20-0,22	5,12	4,31	4,75	4,58
0,22-0,24	5,00	4,98	4,57	4,86
0,24-0,26	7,32	4,78	5,62	4,40
0,26-0,28	4,09	4,47	3,80	4,12
0,28-0,30	5,54	4,92	3,56	4,45
0,30-0,32	3,76	4,99	3,92	4,10
0,32-0,34	3,78	6,51	4,40	3,95
0,34-0,36	4,79	4,45	5,56	5,83
0,36-0,38	4,02	4,02	4,39	8,05
0,38-0,40	3,58	3,42	4,45	8,34

T1 – Hemátria; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.

APÊNDICE K – Resistência mecânica do solo à penetração em MPa, para 4 tratamentos do solo construído dos blocos III e IV (média de 3 pontos).

Resistência mecânica do solo à penetração Bloco III				
Profundidade	T1	T2	T3	T4
----- m -----	----- MPa -----			
0,00-0,02	0,55	0,55	0,55	0,55
0,02-0,04	0,55	0,55	0,55	0,55
0,04-0,06	0,89	1,64	1,33	1,45
0,06-0,08	1,94	1,89	1,95	3,21
0,08-0,10	2,60	3,40	2,33	5,05
0,10-0,12	3,70	3,90	2,89	7,18
0,12-0,14	3,68	5,20	3,55	7,21
0,14-0,16	3,72	5,55	3,94	7,81
0,16-0,18	3,90	5,38	3,90	7,69
0,18-0,20	3,66	4,63	3,77	6,94
0,20-0,22	4,24	3,92	3,77	7,05
0,22-0,24	3,30	3,80	3,35	6,31
0,24-0,26	3,17	4,05	3,28	5,51
0,26-0,28	3,30	3,89	2,79	5,73
0,28-0,30	3,42	3,64	3,11	5,25
0,30-0,32	3,80	3,14	3,95	4,93
0,32-0,34	3,11	2,90	4,40	4,81
0,34-0,36	3,10	2,75	2,90	4,88
0,36-0,38	3,66	2,89	3,15	6,00
0,38-0,40	6,29	3,20	2,85	9,11
Resistência mecânica do solo à penetração Bloco IV				
Profundidade	T1	T2	T3	T4
----- m -----	----- MPa -----			
0,00-0,02	0,55	0,55	0,55	0,55
0,02-0,04	0,55	0,55	0,67	0,55
0,04-0,06	0,79	0,83	0,96	1,22
0,06-0,08	1,17	1,51	1,43	2,04
0,08-0,10	1,90	1,67	2,73	2,67
0,10-0,12	2,03	2,63	2,83	3,05
0,12-0,14	3,06	3,99	3,88	3,94
0,14-0,16	3,28	4,52	3,65	4,84
0,16-0,18	3,28	4,64	4,25	4,47
0,18-0,20	3,58	4,18	4,28	3,84
0,20-0,22	4,14	3,85	4,63	4,29
0,22-0,24	3,99	3,73	4,31	4,26
0,24-0,26	4,60	5,08	5,11	4,14
0,26-0,28	4,19	5,03	4,12	4,14
0,28-0,30	4,07	6,53	4,43	3,86
0,30-0,32	4,49	5,07	4,63	3,96
0,32-0,34	3,76	6,60	4,11	4,14
0,34-0,36	3,59	5,85	4,44	4,31
0,36-0,38	3,41	4,26	3,45	4,05
0,38-0,40	3,06	4,34	3,74	3,88

T1 – Hemátria; T2 – Grama Tifton; T3 – Pensacola; T4 – Braquiária brizanta.