

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



Dissertação

**Qualidade física de um solo construído e cultivado
com diferentes plantas de cobertura na área de
mineração de Candiota – RS**

Ezequiel Cesar Carvalho Miola

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ezequiel Cesar Carvalho Miola

Qualidade física de um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura na área de mineração de Candiota – RS

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: Professor Dr. Eloy Antonio Pauletto

Co-orientadores: Professor Dr^a. Claudia Liane Rodrigues de Lima

Professor Dr. Luís Carlos Timm

Pelotas, 2010

Ezequiel Cesar Carvalho Miola

Qualidade física de um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura na área de mineração de Candiota – RS

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto (Presidente)

Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

Prof. Dr Álvaro Pires da Silva

Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ - USP

Prof. Dr^a. Flávia Fontana Fernandes

Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

Prof. Dr. Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki

Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

Prof. Dr^a. Claudia Liane Rodrigues de Lima

Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

Dedico:

A minha noiva Andressa, aos meus Pais (*in memoriam*) Antônio e Teresinha, aos meus irmãos Alessandro e Bruna e ao meu sogro Volnei e minha sogra Néia.

AGRADECIMENTOS

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

A professora Claudia Liane Rodrigues de Lima pela co-orientação, amizade, ensinamentos e discussões durante o andamento do trabalho.

Ao professor Luís Carlos Timm pela co-orientação e ensinamentos transmitidos.

Ao professor Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki pela amizade e orientação nos trabalhos desenvolvidos.

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

Aos colegas Leandro Sanzi Aquino e Roberto Carlos Doring Wolter pela amizade e paciência durante o período que estive na Universidade Federal de Pelotas.

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 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.

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

RESUMO

MIOLA, Ezequiel Cesar Carvalho. **Qualidade física de um solo construído e cultivado com diferentes plantas de cobertura na área de mineração de Candiota - RS**. 2010. 107f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As reservas brasileiras de carvão mineral atingem 32 bilhões de toneladas, sendo que aproximadamente 89% encontram-se no Estado do Rio Grande do Sul. 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 é responsável pela produção e pelo acúmulo desordenado de grandes volumes de rejeitos, tanto por ocasião da remoção do solo e das camadas geológicas subjacentes como pela posterior recomposição topográfica, a qual envolve a utilização de máquinas de grande porte que podem comprometer a qualidade física do solo. Logo, atributos como densidade, porosidade, retenção de água e resistência mecânica do solo à penetração são diretamente afetados. 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 geral do presente trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes plantas de cobertura sobre alguns parâmetros que definam a qualidade física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS. Do experimento implantado em novembro/dezembro de 2003 e delineado em blocos ao acaso com 4 repetições, foram escolhidos os seguintes tratamentos: T1 - Hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T4 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), T5 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T7 - Controle (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T8 - solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9 - Solo natural. O solo natural foi classificado como Argissolo Vermelho eutrófico típico. Como conclusões gerais pode-se dizer que: dos tratamentos cultivados com as diferentes plantas de cobertura, considerando os diferentes conceitos de θ_{CC} e θ_{PMP} , o tratamento com hemártria (T1) foi o que apresentou os valores de IHO mais próximos aos do solo natural (T9), além de apresentar um menor valor de pressão de preconsolidação e conseqüentemente uma maior susceptibilidade à compactação, o que confirma o efeito benéfico desta planta no processo de reestruturação do solo.

Palavras-chave: Recuperação do solo, atributos físicos do solo, intervalo hídrico ótimo, compressibilidade, grau de compactação.

ABSTRACT

MIOLA, Ezequiel Cesar Carvalho. **Physical quality of a soil constructed and cultivated with different cover crops in the coal mining area of Candiota-RS.** 2010. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Brazilian reserves of coal reach 32 billion tons, and approximately 89% are in the Rio Grande do Sul state. The deposit of Candiota in RS is the largest in Brazil, with 38% of all domestic coal extracted through the open mining. This type of extraction is responsible for producing and disordered accumulation of large volumes of waste, both during the removal of soil and underlying geological strata and by the subsequent restoration of topography, which involves the use of large machines that can compromise physical quality of soil. Therefore, attributes such as bulk density, porosity, water retention and soil resistance to penetration are directly affected. Revegetation has been used as a strategy for recovering these soils, and its main purpose is the restoration of the cycle of organic matter, which exerts a strong influence on physical quality of soil. The objective of this study was to evaluate the effects of different cover crops on some parameters that define the physical quality of constructed soil in the coal mining area of Candiota-RS. From the experiment established in November / December 2003 and outlined in blocks with 4 replications, were chosen the following treatments: T1 - *Hemarthria altissima* ((Poir.) Stapf & CE Hubbard), T4 - *Paspalum notatum* (Flügge), T5 - *Cynodon dactylon* ((L.) Pers.) T7 - *Brachiaria brizantha* ((Hochst.) Stapf), T8 - soil constructed without the implementation of cover crops and T9 - natural soil. The natural soil was classified as Typic Hapludalf. As general conclusions, considering the different concepts of θ_{CC} and θ_{PMP} , the *Hemarthria altissima* (T1) showed the values of Least Limiting Water Range closer to the natural soil (T9), and presents a lower value of preconsolidation pressure and therefore more susceptible to compaction, which confirms the beneficial effect of this plant in the process of soil restructuring.

Keywords: Recovery of soil, physical attributes of soil, least limiting water range, compressibility, degree of compaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização das áreas de mineração de carvão de Candiota, RS. Adaptado de CRM (2009).....	19
Figura 2.2 - Perfil geológico da formação Rio Bonito na Jazida de Candiota, RS. Adaptado de Santucci (2009).....	20
Figura 2.3 - Seqüência do processo de mineração da mina de Candiota – RS, com posterior recuperação da área. Adaptado de Santucci (2009).	21
Figura 3.1 - Localização das áreas experimentais e croqui do Experimento.	42
Figura 3.2 - Tratamentos avaliados no estudo. T1- Hemária altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.....	43
Figura 3.3 - Penetrômetro eletrônico de bancada para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração.....	46
Figura 3.4 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Hemária (T1). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.	52
Figura 3.5 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Pensacola (T4). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.	54
Figura 3.6 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Grama tifton (T5). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.	55
Figura 3.7 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP),	

porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Braquiária brizantha (T7). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.57

Figura 3.8 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.58

Figura 3.9 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo natural da frente de mineração (T9). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP...60

Figura 3.10 - Intervalo Hídrico Ótimo em diferentes níveis críticos de resistência mecânica do solo a penetração. a) T1; b) T4; c) T5; d) T7; e) T8 e f) T9.63

Figura 4.1 - Localização das áreas experimentais e croqui do Experimento.72

Figura 4.2 - Vista geral dos tratamentos avaliados no estudo. T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.74

Figura 4.3 - Consolidômetro automático utilizado na determinação dos parâmetros compressivos.75

Figura 4.4 - Curvas de compressão (a) e curvas de compressão normalizada (b) dos tratamentos de um solo construído em área de mineração de carvão, Candiota - RS. T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração, no potencial mátrico (ψ_m) -0,01 MPa. As linhas verticais separam as duas regiões na curva de compressão uniaxial (CCS = curva de compressão secundária e RCV = reta de compressão virgem).78

Figura 4.5 - Grau de compactação de um solo construído na área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura. T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.....81

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 - Granulometria, teores de carbono orgânico (CO), densidade de partículas (Dp) e classificação textural da camada superficial (0,00 a 0,05 m) de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.	45
Tabela 3.2 - Análise estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo nos diferentes tratamentos da área de mineração de carvão em Candiota – RS.	49
Tabela 3.3 - Equações da curva de resistência mecânica do solo à penetração e da curva de retenção de água no solo obtidas a partir das equações não lineares ajustadas aos dados dos seis tratamentos avaliados.	50
Tabela 3.4 - Porcentagem de redução no Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), considerando diferentes conceitos de conteúdo de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente.	61
Tabela 3.5 - Porcentagem de aumento no Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) considerando diferentes limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração (RP).	62
Tabela 4.1 - Granulometria, teores de carbono orgânico (CO), densidade de partículas (Dp) e classificação textural da camada superficial (0,0 - 0,05 m) de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.	73
Tabela 4.2 - Densidade (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura.	77
Tabela 4.3 - Pressão de preconsolidação (σ_p), índice de compressibilidade (IC), densidade crítica na pressão de preconsolidação ($Ds_{\sigma p}$) e umidade gravimétrica (Ug) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura.	79

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Histórico da mineração no Brasil e no Rio Grande do Sul.....	15
2.2 Aspectos legais da mineração de carvão	16
2.3 Características da mineração de carvão em Candiota – RS	18
2.4 Solos construídos em áreas de mineração de carvão.....	21
2.5 Impactos ambientais gerados em áreas de extração de carvão	22
2.6 Recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão	24
2.7 Qualidade do solo.....	25
2.7.1 Indicadores de qualidade física do solo	26
2.7.1.1 Densidade do solo (Ds).....	27
2.7.1.2 Porosidade do solo	28
2.7.1.3 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)	29
2.7.1.4 Água no solo	31
2.7.1.5 Intervalo Hídrico Ótimo	33
2.7.1.6 Compressibilidade de solos	35
2.7.1.7 Grau de compactação.....	37
3 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO INFLUENCIADO POR DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA	38
3.1 Resumo	38
3.2 Abstract	39
3.3 Introdução	40

3.4 Material e Métodos.....	41
3.5 Resultados e Discussão.....	48
3.6 Conclusões.....	64
3.7 Referências Bibliográficas.....	64
4 COMPRESSIBILIDADE DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO CULTIVADO COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA	68
4.1 Resumo.....	68
4.2 Abstract.....	69
4.3 Introdução.....	70
4.4 Material e Métodos.....	71
4.5 Resultados e Discussão.....	76
4.6 Conclusões.....	81
4.7 Referências Bibliográficas.....	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1. INTRODUÇÃO GERAL

O carvão mineral, de origem fóssil, foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem. Ao longo do tempo, o carvão perdeu espaço na matriz energética mundial para o petróleo e o gás natural. No entanto hoje, em consequência das crises e do alto preço cobrado pelo petróleo, o carvão está sendo a fonte mais utilizada para a geração de energia elétrica no mundo.

Em termos de participação energética mundial, o carvão é atualmente responsável por 7,9% de todo o consumo mundial de energia e por 39,1% de toda a energia gerada. No âmbito mundial, apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão ainda é uma importante fonte de energia.

No Brasil, as reservas de carvão mineral concentram-se praticamente nos Estados da Região Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), sendo o primeiro com as maiores reservas do país.

No Rio Grande do Sul a maior jazida de carvão mineral está localizada no município de Candiota. A extração de carvão nesta jazida é realizada a céu aberto, em tiras, com a remoção de grandes volumes de solo e de rocha, ocasionando uma intensa degradação na paisagem. Essa degradação é um processo inerente à atividade de mineração e sua intensidade depende da área explorada, do tipo de mineração e dos rejeitos produzidos.

A atividade da mineração de carvão aliada ao tráfego de máquinas gera impacto ao ambiente, tanto por ocasião da remoção do solo e das camadas geológicas subjacentes como pela posterior recomposição topográfica e construção do solo. Os solos construídos apresentam-se profundamente modificados em relação aos seus aspectos originais, resultando em uma série de alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos.

As modificações nos atributos físicos de solos construídos estão diretamente relacionadas com a estrutura, logo, o processo de remoção e recomposição dos materiais empilhados é de fundamental importância para que o solo tenha uma adequada qualidade física.

Para que áreas afetadas pela mineração retornem às condições anteriores, é necessário que a camada de solo superficial seja imediatamente recoberta pela vegetação, restabelecendo-se desta forma o ciclo do carbono e conseqüentemente a estrutura do solo.

A utilização de espécies vegetais visando à reabilitação e a revegetação de áreas mineradas, ainda é uma das melhores alternativas que podem auxiliar na recuperação da qualidade física de solos em áreas de mineração.

O sucesso na recuperação destas áreas baseia-se no planejamento e no manejo adequado da vegetação, a qual tem um papel essencial tanto na adição de carbono quanto no controle da erosão, recuperando assim o seu estado de agregação e conseqüentemente a sua estrutura.

Diversos estudos vêm sendo conduzidos com o intuito de incrementar o conhecimento da relação entre as propriedades físicas do solo com o crescimento de plantas. Mais recentemente, acredita-se que parâmetros físicos como, o intervalo hídrico ótimo e a pressão de preconsolidação podem auxiliar a descrever e compreender o comportamento da qualidade estrutural de um solo construído.

Neste contexto, este trabalho testou a hipótese de que a qualidade física de solos construídos em áreas de mineração de carvão pode ser recuperada utilizando diferentes espécies de plantas de coberturas.

Assim, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes plantas de cobertura sobre alguns parâmetros que definam a qualidade física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Quantificar a densidade, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração e o conteúdo de água no solo, para posteriormente determinar o intervalo hídrico ótimo de um solo construído em área de mineração de carvão, sob diferentes plantas de cobertura considerando diferentes limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração e de potenciais de água no solo.

- 2) Quantificar a pressão de pré-consolidação, o índice de compressão e o grau de compactação de um solo construído em área de mineração de carvão sob diferentes plantas de cobertura.

A dissertação é disposta em capítulos os quais compõem, além da revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, os capítulos 3 e 4. O primeiro objetivo será atendido pelo capítulo 3 e o segundo pelo capítulo 4.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da mineração no Brasil e no Rio Grande do Sul

As reservas de carvão mineral no Brasil estão concentradas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com 28,8 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, 2009). Estes 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, 2009).

No Rio Grande do Sul a principal reserva de carvão mineral foi localizada na região sudoeste, distribuindo-se entre os municípios de Bagé, Hulha Negra, Candiota, Pinheiro Machado e Herval. Data de 1801 a primeira descoberta de carvão mineral nessa região, situando-se na última metade do século passado a exploração rudimentar, executada nas encostas dos vales. A mineração ocorria a céu aberto e sob a forma subterrânea, objetivando o abastecimento às charqueadas da região (BUNSE, 1984).

A mina de Hulha Negra constituiu um marco muito importante na indústria carbonífera gaúcha. A mina operava com lavra subterrânea, tecnicamente conduzida, sob a administração da Comissão Estadual de Mineração. Os trabalhos de lavra foram suspensos em junho de 1950. O carvão produzido era destinado para a Viação Férrea e a pequena usina termelétrica própria (BUNSE, 1984).

Na década de 40, pesquisadores de diversas áreas começaram a unir esforços com a finalidade de encontrar uma reserva de carvão compatível com o abastecimento de uma usina termelétrica, com um potencial inicial de 20 Megawatt (MW).

Em 1961, o Departamento Autônomo de Carvão Mineral (DACM), que no ano de 1969 foi transformado em Companhia Riograndense de Mineração (CRM), iniciou os trabalhos de lavra a céu aberto na denominada Malha I, iniciando, também o abastecimento da Usina Termelétrica Candiota I, da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), com potência de 20 MW. Na mesma década, foi completada a pesquisa na Malha II, sendo posteriormente realizado o planejamento e a caracterização de duas novas áreas denominadas Malhas III e IV (CGTEE, 2009).

No ano de 1974 foi desativada a Usina Candiota I, entrando em operação a Fase A da nova usina. Em 1986 entrou em operação a segunda etapa dessa nova usina, denominada Fase B com uma previsão estimada de produção de 160 MW de energia. Finalmente, em 1989 entrou em operação a última máquina da Usina Candiota II, completando os 446 MW de energia previstos inicialmente. Atualmente a Usina Candiota II é denominada “Usina Termelétrica Presidente Médici” e desde a sua instalação vêm sendo cumprido um rigoroso monitoramento dos indicadores de qualidade ambiental e social (CGTEE, 2009).

2.2 Aspectos legais da mineração de carvão

Com o passar do tempo o homem vem desenvolvendo atividades econômicas, acelerando irreversivelmente o processo de transformação dos recursos naturais em bens ou utilidades, extinguindo-os ou degradando-os, em menor tempo e com mais eficiência, tendo como consequência alterações no ecossistema que podem ameaçar a própria existência da vida.

A apropriação e a transformação, muitas vezes irracional, dos bens ambientais, ao longo de dois séculos, têm causado a diminuição dos recursos minerais do planeta. Estes fatos negativos geraram a necessidade de impor limites à apropriação e uso dos recursos ambientais, instituindo-os à condição de bens de uso comum do povo, se estabelecendo, assim, uma limitação do próprio direito de propriedade. Conseqüentemente, em 1981, foi promulgada a Lei N^o 6.938 que estabeleceu diretrizes para a Política Nacional do Meio Ambiente, disciplinando os problemas decorrentes da escassez e elevando o meio ambiente a categoria de bem de uso comum do povo, atribuindo-lhe função ambiental e condicionando a atividade empresarial à proteção e preservação dos recursos naturais (TEIXEIRA, 2002).

Um dos marcos da legislação ambiental no Brasil é a Resolução CONAMA 001/86, regulamentada pela Lei N^o 6.938, que definiu os empreendimentos passíveis de Licenciamento Ambiental e instituiu a exigência de EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental) para o licenciamento de novos empreendimentos, inclusive a mineração. O licenciamento ambiental específico para as atividades de mineração foi regulamentado pelas resoluções CONAMA 009/90 e 010/90, que estabelecem as Normas e Procedimentos de Licenciamento Ambiental para o setor (KOPEZINSKI, 2000).

Conforme estabelece a Constituição Federal no parágrafo 2º do artigo 225, promulgado em 5 de outubro de 1988, “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma de lei” (LOPES, 2000).

O Decreto Nº 99.274 de 6 de junho de 1990 que regulamenta a Lei Nº 6.902, de abril de 1981 e a Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. O Art. 3º deste decreto estabelece a finalidade dos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD: “A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”.

Em decorrência destes dispositivos legais, o exercício da atividade mineradora está condicionado a três instrumentos específicos de controle do Poder Público no que tange aos riscos potenciais de danos ao meio ambiente resultante da lavra: o Estudo Prévio de Impacto Ambiental, o Licenciamento Ambiental e o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) (LOPES, 2000).

O Estudo de Impacto Ambiental, que é exigido para o licenciamento ambiental de qualquer atividade de aproveitamento de recursos minerais, tem sua definição, normas, critérios básicos e diretrizes de implementação estabelecidos pela Resolução do CONAMA Nº 001/86.

A obtenção do Licenciamento Ambiental é obrigatória para a localização, instalação ou ampliação e operação de qualquer atividade de mineração objeto dos regimes de concessão de lavra e licenciamento. Esse licenciamento está regulado pelo Decreto Nº 99.274/90, que dá competência aos órgãos estaduais de meio ambiente para expedição e controle das licenças.

De acordo com o Decreto Nº 97.632/69, os empreendimentos de mineração estão obrigados, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a submeter o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) à aprovação do órgão estadual de meio ambiente competente.

O descumprimento da legislação de proteção e preservação ambiental em áreas de mineração tem causado severos danos ao meio ambiente, tendo como consequência alterações no ecossistema que ameaçam a própria sobrevivência da

vida, com evidente carência de bens para manutenção das necessidades humanas em muitas regiões do planeta.

2.3 Características da mineração de carvão em Candiota – RS

O depósito de carvão de Candiota, onde se situa a Mina de Candiota, de propriedade da Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e vinculada à secretaria das Minas e Energia do Estado do Rio Grande do Sul, atinge reservas de $1.406,63 \times 10^6$ toneladas, dos quais $839,18 \times 10^6$ toneladas correspondem ao carvão que pode ser minerado a céu aberto (SEMC, 2009).

A mineração de carvão, realizada ininterruptamente desde 1961, tem como objetivo principal a produção de carvão termelétrico. Atualmente, o carvão extraído na mina usado como combustível, sendo britado e transportado por correias até a Usina Termoelétrica 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, 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, 2009).

Na jazida de Candiota, a CRM conta com 15 áreas concedidas para a pesquisa e lavra denominadas de “malhas” (Fig. 2.1). Destas já foram mineradas a malha I e a malha II. Atualmente estão sendo mineradas as malhas IV e VII.

Nestas áreas são mineradas as camadas de carvão denominadas de Candiota Inferior (CI) e Candiota Superior (CS), de características constantes em termos de espessura e qualidade. As camadas de carvão, os folhelhos carbonosos, folhelhos, arenitos e conglomerados que ocorrem nessa região pertencem à Formação Rio Bonito. Esta formação é localmente dividida em três intervalos faciológicos: fácies inferior, fácies intermediária e fácies superior. As camadas CI e CS estão alojadas na fácies intermediária, juntamente com siltitos e arenitos. Esses dois leitos totalizam uma espessura média de 5m intercalados por uma camada de argilito com espessura média de 0,7m (Fig. 2.2) (KOPPE; COSTA, 2002).

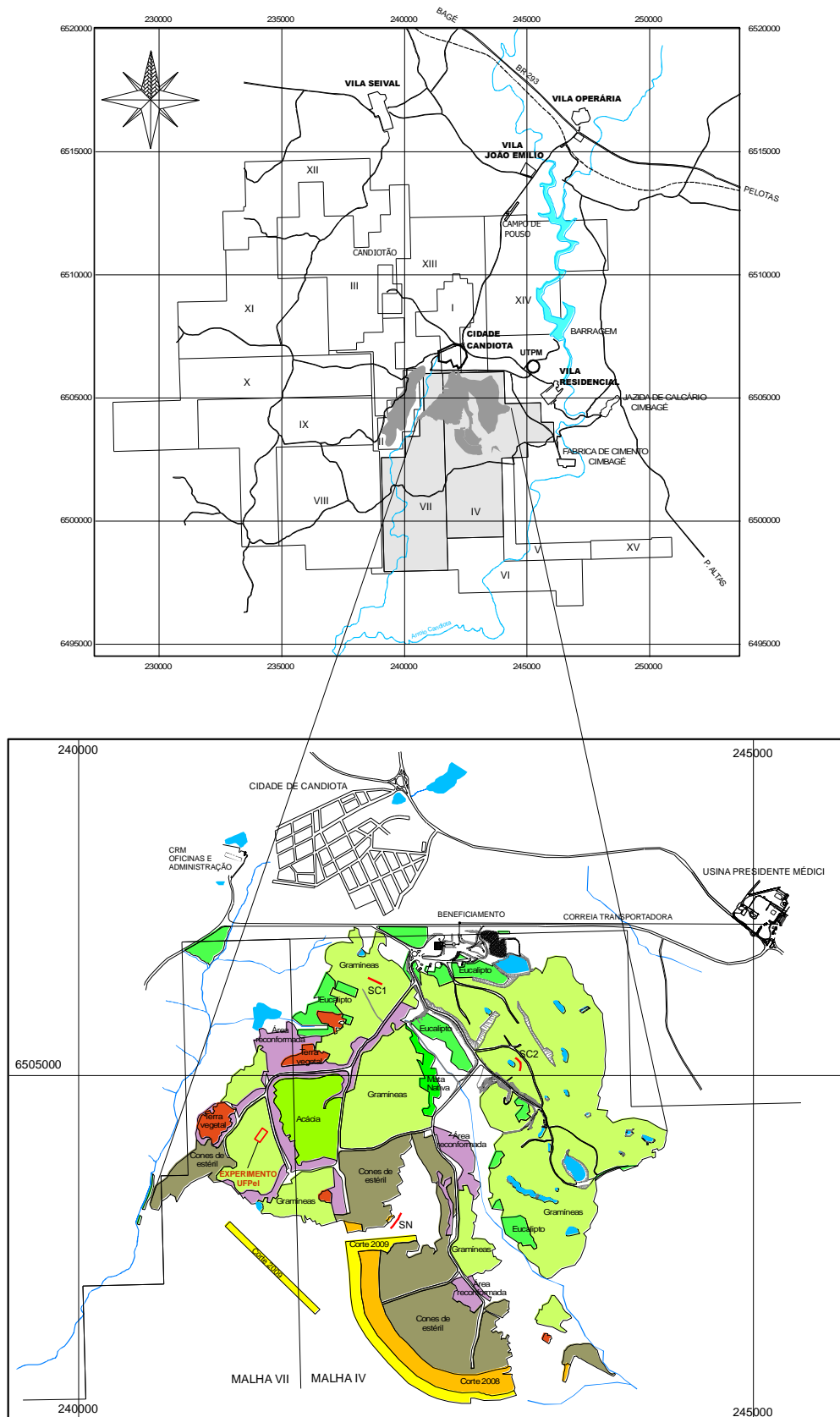


Figura 2.1 - Localização das áreas de mineração de carvão de Candiota, RS. Adaptado de CRM (2009).

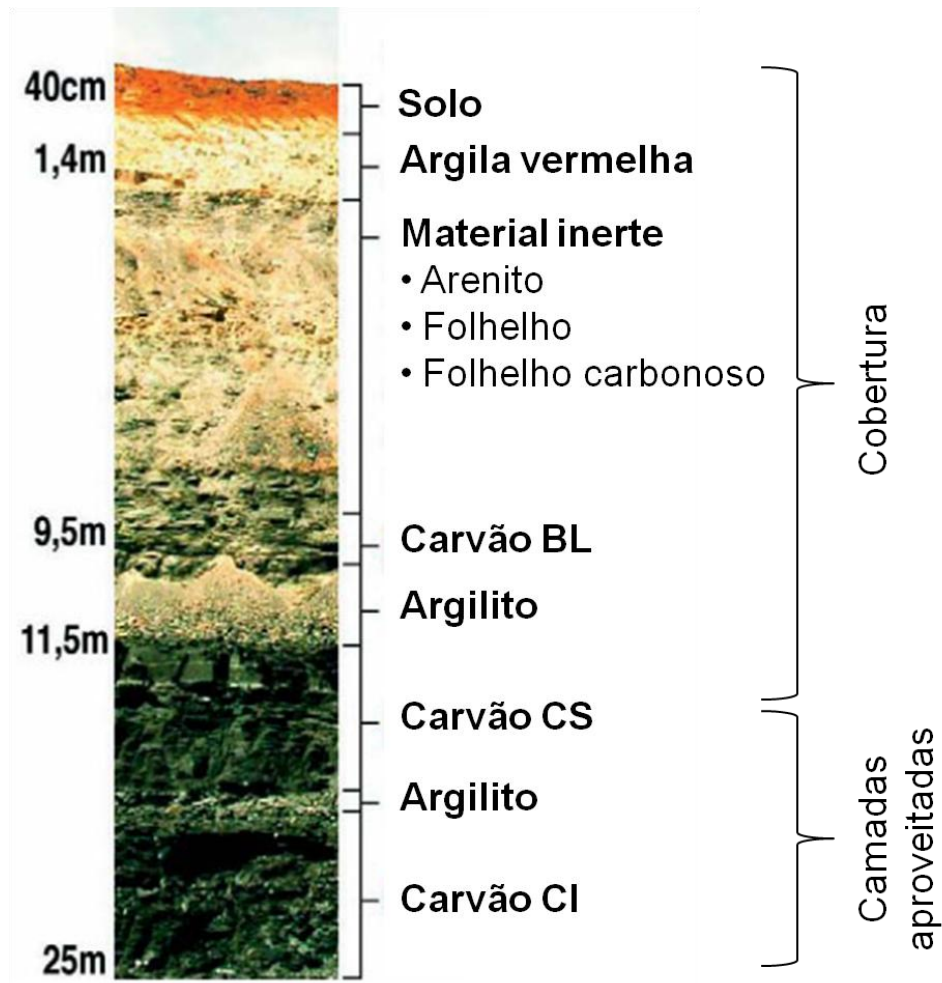


Figura 2.2 - Perfil geológico da formação Rio Bonito na Jazida de Candiota, RS. Adaptado de Santucci (2009).

A mineração de carvão realizada na jazida de Candiota é a céu aberto, e a recomposição das áreas é feita paralelamente à extração do minério. Durante esse processo, são realizados cortes sucessivos em sistema “vaivém” na seguinte seqüência: 1) remoção do solo superficial (horizonte A) e da argila vermelha (horizontes B e C) com posterior perfuração e detonação do arenito; 2) remoção do arenito através da “walking-drag-line”; 3) perfuração, detonação e extração do carvão da camada superior (CS) e da camada inferior (BI), com separação do argilito intermediário; 4) recomposição topográfica, constituída pelos materiais de cobertura, com ou sem o aproveitamento de vazios para deposição de cinzas; 5) deposição da “terra vegetal” sobre a área recomposta topograficamente e estabelecimento de práticas agrônômicas de preparo, conservação e correção do solo com posterior plantio de espécies vegetais (Fig. 2.3).

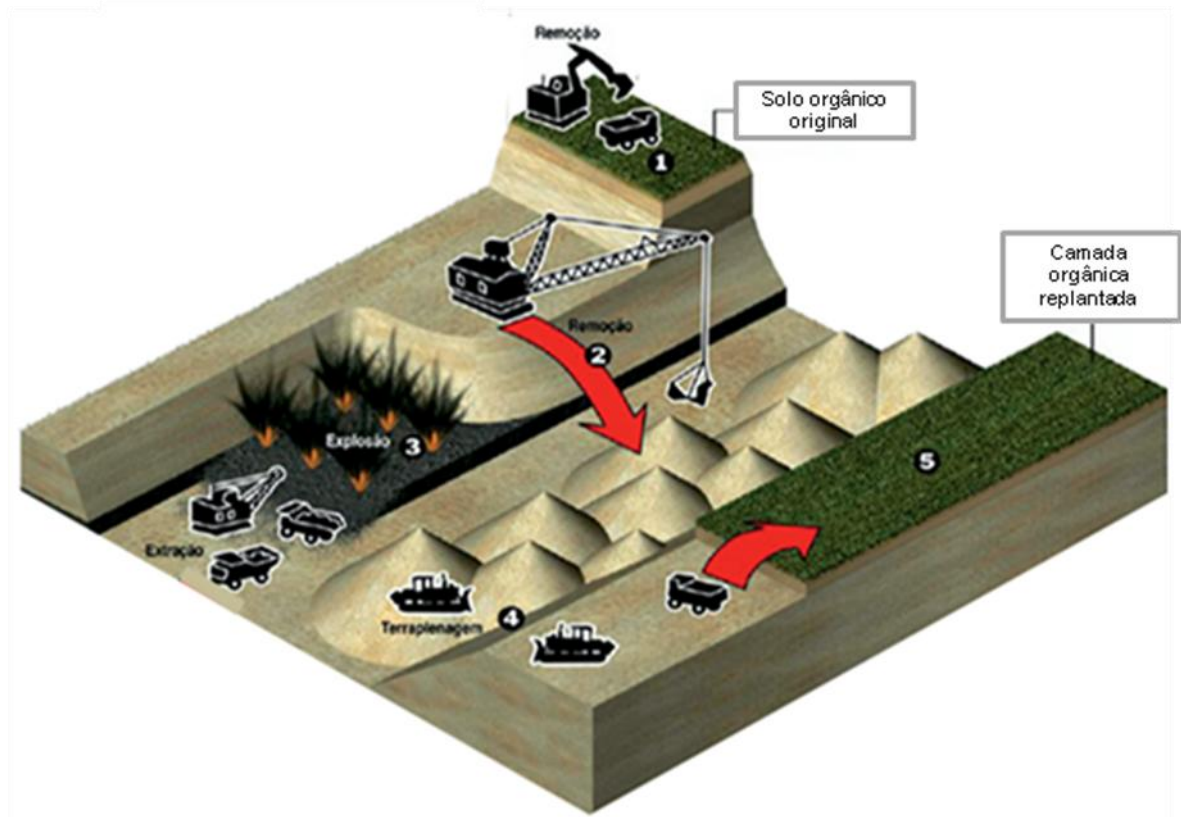


Figura 2.3 - Seqüência do processo de mineração da mina de Candiota – RS, com posterior recuperação da área. Adaptado de Santucci (2009).

2.4 Solos construídos em áreas de mineração de carvão

Na recomposição de áreas de mineração de carvão a céu aberto são utilizados o solo e as litologias sobrejacentes as camadas de carvão (“estéril”) para preencher a cava e recompor topograficamente a paisagem. Esse empilhamento e, freqüentemente, mistura de solo e de rochas constituem os solos construídos, 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 (PINTO; KÄMPF, 2002).

Autores como Schafer et al. (1980), Indorante et al. (1981), McSweeney e Jansen (1984), Kämpf et al. (1997) e Kämpf et al. (2000) indicam que os solos construídos, além da variabilidade herdada dos materiais geológicos e dos solos naturais, possuem uma grande diversidade de características, que podem ser criadas pelos diferentes processos construtivos, bem como por diferentes disposições dos materiais de construção, como ordem de empilhamento e grau de

mistura (KÄMPF et al., 1997; KÄMPF et al., 2000). Entende-se por solo natural aquele que ainda não foi perturbado pela mineração de carvão a céu aberto, também mencionado como solo pré-mineração, no caso de encontrar-se em áreas passíveis de mineração.

Idealmente, a reposição dos materiais utilizados na construção deverá ser feita na seqüência original (KÄMPF et al., 2000), deixando o solo natural, constituído pelo horizonte A, espalhado superficialmente na área reconstituída topograficamente.

A mineração de carvão a céu aberto e a reabilitação das áreas mineradas originam, portanto, solos construídos reorganizados topograficamente, compostos por camadas superficiais constituídas pelo solo natural, onde os horizontes A, B e/ou C freqüentemente encontram-se misturados, assim como por camadas sub-superficiais compostas pelos materiais estéreis removidos durante o processo de lavra (QUINOÑES, 2004).

Após a finalização do processo de construção do solo e posterior recomposição topográfica da paisagem, implementam-se práticas conservacionistas tais como o terraceamento, o preparo do solo e a correção da fertilidade do solo, seguida da implantação de gramíneas e espécies arbóreas, visando não somente a recuperação paisagística, mas também o controle dos processos erosivos e a recuperação dos atributos físicos do solo (BUGIN, 2002).

2.5 Impactos ambientais gerados em áreas de extração de carvão

Os recursos minerais são bens esgotáveis, não renováveis. Por esse fato, tendem à escassez à medida que ocorre a sua exploração. Assim como toda exploração de recurso natural, a atividade de mineração provoca impactos ao meio ambiente, seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos (SILVA, 2007).

Tanto a mineração de carvão a céu aberto como em subsolo podem causar irreversíveis danos ao ecossistema. As alterações físicas decorrentes dos processos de lavra e construção variam em intensidade segundo as características do local, da qualidade do carvão, do método de lavra executado, do tipo de máquinas utilizadas e do conhecimento técnico dos operários. A desconsideração de alguns destes fatores na reposição da paisagem, pode levar ao fracasso da restauração destas

áreas, devido aos altos custos de manutenção a longo prazo, ocasionados pela falta de planejamento na fase pré-mineração (TERRENCE; BLACK, 2000).

Para Bugin (2002) as operações de descobertura e preenchimento da cava já minerada são os principais determinantes do grau de impacto ambiental de uma mina de carvão. Já para Bacci (2006), os efeitos ambientais estão associados, de um modo geral, não somente com a abertura da cava, mas também com uso de explosivos no desmonte da rocha (sobrepresão atmosférica, vibração do terreno, ultralançamento de fragmentos, gases, poeira, ruído) e com o transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando assim a qualidade de vida da população local.

Para Rigotti (2002) as principais fontes poluidoras originadas pela mineração, são oriundas da emissão de poeira nas estradas de acesso; dos efeitos provocados pelo arraste eólico nas pilhas de estéréis e produtos, dos processos de perfuração e detonação e das cargas e descargas dos produtos. Os efeitos deletérios causados pela poluição atmosférica podem prejudicar tanto a flora, através da obstrução dos sistemas de trocas gasosas, como a fauna, incluindo o homem e os animais, por meio de doenças respiratórias.

Sanches e 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 no ecossistema.

Segundo Stahl et al. (2002) dentre os impactos causados pelo processo de mineração, 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 conseqüentemente resultando alterações na qualidade do solo. Além disso, o tráfego freqüente de veículos contribui para modificar a estrutura do solo, causando a compactação do solo e, conseqüentemente, a redução do volume do espaço poroso, o aumento da densidade do solo e alterações nas propriedades hidráulicas, afetando o movimento de água no solo e, também, o desenvolvimento das plantas.

Em conseqüência 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 prejuízos no desenvolvimento da vegetação, fontes pontuais de poluição e aparecimento de um rápido e intenso processo erosivo (PINTO; KÄMPF, 2002).

Guadagnin et al. (2007) mediu a taxa de infiltração estável (TIE) da água ao longo de transeções em solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS e verificou que a TIE nos solos construídos foi baixa a média, sendo superior a do solo natural utilizado como referência, a qual foi muito baixa.

Nesse sentido, o planejamento e o controle dos processos envolvidos na mineração de carvão são fundamentais para reduzir problemas de poluição ambiental e preservação dos recursos naturais.

2.6 Recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão

A recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como um conjunto de ações, idealizadas e executadas por profissionais de diferentes áreas, que restabeleçam as condições de equilíbrio e sustentabilidade em um sistema natural (DIAS; GRIFFITH, 1998).

Os objetivos da recuperação prevêm basicamente o surgimento de sucessão vegetal, de modo que essa revegetação promova a diminuição da ocorrência do processo erosivo nas áreas degradadas (BUGIN, 2002).

A revegetação dos solos construídos em áreas mineradas é uma prática recomendada porque tem a finalidade de recompor suas características químicas, físicas e biológicas em um nível mínimo que permita o desenvolvimento de espécies vegetais e a atividade microbiana, tão importante no estabelecimento e sucessão da microbiota (MENDES, 2004).

Mendes (2004) avaliando o potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano, constatou que na revegetação do rejeito de mineração é fundamental a adição de matéria orgânica, como fonte de N, P e outros nutrientes essenciais ao estabelecimento de uma microbiota e de uma comunidade de espécies vegetais. O emprego de leguminosas arbóreas, nodulíferas e de crescimento rápido mostrou ser o mais indicado para um estabelecimento sustentável e com baixo aporte de insumos.

Existem diferenças quanto ao comportamento e ação das plantas utilizadas para cobertura do solo. Conforme Mesquita et al. (1992) as gramíneas reúnem todas as características protetoras de solo. Estas espécies por apresentarem maior

densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecem as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais, contribuindo para a formação e estabilidade de agregados, podendo ser utilizadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Gonçalves (2008) mostrou que a maior concentração de agregados estáveis em água de um solo construído cultivado com diferentes plantas de cobertura por um período de cinco anos está distribuída na classe de 1,00 a 0,25mm. Esta maior concentração de agregados nas classes de menor diâmetro na camada superficial do solo construído pode ser devido à maior exposição à ação de fatores externos que causam desagregação, principalmente pela ação erosiva da chuva, falta de cobertura do solo e baixa concentração de carbono orgânico, agente agregador das partículas do solo.

2.7 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo é muito amplo e vem sendo discutido ao longo dos anos, com enfoque para a qualidade ambiental, segurança e a qualidade dos alimentos.

A Sociedade Americana de Ciência do solo (SSSA) definiu qualidade do solo como a “capacidade de um tipo específico de solo funcionar nos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentando a produtividade vegetal e animal, promovendo a qualidade da água, do ar, a saúde humana e condições de habitação” (KARLEN et al., 1997). Para fundamentar esta definição é preciso avaliar cinco funções: (1) promover a atividade biológica, diversidade e produtividade; (2) regular o fluxo de água e solutos; (3) filtragem, tamponamento, degradação, imobilização e desintoxicação de materiais orgânicos e inorgânicos, incluindo resíduos industriais e municipais; (4) manutenção da estrutura socioeconômica e (5) proteção ao tesouro arqueológico, vinculado à habitação humana.

Larson e Pierce (1991) definiram qualidade do solo como “a capacidade do mesmo funcionar nos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo”. Para estes autores três funções do solo são consideradas essenciais: promover o crescimento de plantas, regular o fluxo de água no ambiente e servir de filtro ambiental.

De acordo com Arshad e Coen (1992) qualidade do solo é a “capacidade do solo de receber, armazenar e reciclar água, minerais e energia para produção de culturas em níveis elevados de produtividade preservando a saúde ambiental”. Esses autores discutem a terra, o clima e a hidrologia como fatores que contribuem para prover a qualidade do solo e sugerem incluir fatores sócio-econômicos, como o uso e o manejo da terra, na análise de qualidade do solo.

No mesmo ano, Karlen et al. (1992) definiram qualidade do solo como a “habilidade do solo em servir como meio natural para o crescimento de plantas para sustentar a vida humana e animal”. Logo depois, Doran e Parkin (1994) definiram como a “capacidade do solo de funcionar nos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana e animal”. Para Gregorich et al. (1994) a qualidade do solo nada mais é que a “habilidade de funcionar bem para cada função relativa a um uso específico” ou o grau de aptidão do solo para um uso específico.

Tendo em vista que a qualidade do solo envolve uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas que fornecem meios para o funcionamento do solo, o monitoramento adequado da qualidade do solo somente poderá ser feito utilizando-se atributos que reflitam a capacidade de produção do solo e a sua sustentabilidade ao longo do tempo. Para isso é necessário definir funções do solo e identificar atributos associados a estas propriedades (DORAN; PARKIN, 1994). Estes atributos devem representar indicadores capazes de mostrar mudanças na qualidade do solo, refletindo alterações frente ao uso da terra e sistemas de manejo.

Para ser de utilidade prática, os indicadores de qualidade devem ser sensíveis as variações de manejo, correlacionar-se com as funções do solo, ser de fácil mensuração e de baixo custo, que possibilitem o entendimento dos processos do ecossistema e que sejam úteis para o agricultor (DORAN; ZEISS, 2000).

2.7.1 Indicadores de qualidade física do solo

Indicadores físicos representam relevância no monitoramento da qualidade do solo. Até o momento, a qualidade física “ideal” para um solo ainda não é conhecida. A dependência desta definição está na grande variedade de solos e na adoção de determinado sistema de cultura e manejo. Para tanto, é necessária a determinação de referenciais que possam servir de base para a interpretação e sua comparação.

O critério de referência pode ser um local específico que represente uma área natural ou experimental com tipo de solo e condições climáticas similares. Tem sido sugerido adotar como critério de referência as condições de solos que suportam uma vegetação nativa e ou que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (DORAN; PARKIN, 1994).

Uma estratégia comumente sugerida para se avaliar um conjunto de indicadores da qualidade é o estabelecimento de um índice de qualidade, o qual poderá ser útil no monitoramento do estado físico do solo e para a identificação de práticas de manejo adequadas, constituindo uma ferramenta de medição da capacidade do solo em exercer funções ambientais e de produtividade (LIMA et al., 2007).

Atributos como densidade, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração e conteúdo de água têm sido utilizados como indicadores físicos da qualidade do solo, pois influenciam diretamente a capacidade de uso do solo. Dexter (2004) concorda que os indicadores da qualidade física do solo sejam essenciais para identificar a capacidade de uso do solo, e ressalta que os indicadores da qualidade do solo abrangem não somente os atributos físicos como também os atributos químicos e biológicos do solo. Apesar de que o primeiro exerce forte influência sobre os processos químicos e biológicos do solo.

2.7.1.1 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo é uma das mais importantes propriedades do solo. Atualmente, está sendo considerada como um dos indicadores da qualidade física do solo mais utilizados na ciência do solo (CHAN, 2006).

A densidade do solo é definida pela razão entre a massa de sólidos e o volume do solo (volume de sólidos mais o espaço poroso).

Para Warrick e Nielsen (1980) a Ds é uma propriedade dinâmica que é conhecida por exibir baixa variabilidade espacial. Os coeficientes de variação para medidas de Ds, em horizontes de uma determinada classe de solo, são em torno de 10% e geralmente não excedem a este valor. Assim, poucas amostragens de solo podem ser suficientes para estimar a Ds média dentro da margem de aproximadamente 10% do valor real (CULLEY, 1993).

Os solos construídos de uma área de mineração possuem, em média, maior densidade e menor porosidade total do que o solo não minerado, provavelmente

devido a uma excessiva movimentação do solo por equipamentos de grande porte durante as fases de lavra e recomposição topográfica (NUNES, 2002).

Conforme o mesmo autor, o tráfego de equipamentos realizado tanto na fase de descobertura como na recomposição das áreas de mineração pode degradar a qualidade física, que em uma condição de fragilidade acaba tornando o solo compactado, aumentando a resistência à penetração das raízes e conseqüentemente, dificultando o estabelecimento de plantas. 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.

2.7.1.2 Porosidade do solo

A porosidade de um solo pode ser definida como sendo o volume de vazios, o espaço do solo não ocupado pelo conjunto dos componentes orgânicos e inorgânicos, ou ainda, pelo volume não ocupado pelos componentes sólidos (KIEHL, 1979). É um índice que quantifica a fração do volume do solo ocupado pelos poros.

O tamanho do poro é definido como o diâmetro da maior esfera inscrita no interior do espaço ocupado pelo poro (LIBARDI, 2005). O espaço poroso é, em grande parte, conseqüência do arranjo das partículas sólidas do solo (BRADY, 1989) e depende principalmente da estrutura e da composição granulométrica (KIEHL, 1979).

Os poros possuem ampla variedade de tamanhos e formas, e o tamanho determina sua função no solo. Entre as partículas maiores, como de areia ou entre agregados, predominam os poros maiores chamados de macroporos e entre partículas menores, como as de argila, predominam poros menores chamados de microporos (VIEIRA et al., 1998). Os poros são classificados de acordo com seu diâmetro e, assim, podem ser separados como macroporos, aqueles que medem até 0,08 mm, e como microporos os menores que 0,08 mm como sugerido por Brady e Weill (2002) ou segundo Kiehl (1979), macroporos são aqueles com diâmetro maior que 0,05 mm e microporos aqueles com diâmetro menor que 0,05 mm.

Os macroporos permitem a livre movimentação de ar e condução de água durante o processo de infiltração, pois são grandes o suficiente para permitir o

desenvolvimento do sistema radicular e abrigar organismos de menor tamanho que habitam o solo (BRADY; WEILL, 2008).

Os microporos geralmente são caracterizados por serem ocupados por água, pois seu tamanho reduzido não permite uma movimentação adequada de ar no solo. O movimento de água é lento e parte da água retida nestes poros não está disponível às plantas (BRADY; WEILL, 2008).

Com relação à porosidade de aeração do solo, ela se torna limitante para o desenvolvimento da maioria das plantas quando for menor que 10% da porosidade total, podendo variar em relação a cada espécie vegetal cultivada. Independente da espécie vegetal, a maximização da produção é alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, que é direta ou indiretamente influenciada pela estrutura (SECCO et al., 2005).

Nos solos construídos de mineração as deficiências em termos de porosidade são de ocorrência comum. Isto pode ser verificado no trabalho de Kämpf et al. (1997), que estudaram solos construídos com idades de 2 e 5 anos em áreas de mineração de carvão a céu aberto, onde a porosidade calculada mostrou valores muito baixos, independente da idade dos solos, devido ao tráfego do equipamento utilizado na construção. Em estudos realizados por Potter et al. (1988) foi verificado um maior volume de macroporos em áreas construídas com 11 anos do que com 4 anos, mas este foi significativamente mais baixo do que no solo natural de referência. Gonçalves (2008) avaliando um solo construído com 5 anos cultivado com diferentes plantas de cobertura, observou valores de macroporos 10 vezes menores do que no solo natural. Limitações na porosidade de alguns solos construídos afetam tanto a aeração como a retenção de água, tendo como consequência uma maior erosão (BUSSLER et al., 1984). Além disso, a redução na porosidade destes solos, comparados aos solos naturais, compromete o desenvolvimento da vegetação.

2.7.1.3 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)

A resistência mecânica do solo à penetração simula a força que as raízes das plantas devem exercer para romper o solo. É influenciada diretamente pela densidade do solo, proporcionando um indicativo do estado de compactação do solo, sendo variável com o conteúdo de umidade, textura e estrutura. A resistência à penetração mostra-se útil na avaliação da qualidade física do solo por identificar

valores potencialmente limitantes ao crescimento das raízes, além de possibilitar o estabelecimento de valores críticos de umidade e de densidade (IMHOFF et al., 2000).

O valor de resistência à penetração de 2,0 MPa tem sido freqüentemente utilizado como impeditivo ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas (TAYLOR et al., 1966; TORMENA et al., 1999). Entretanto, há vários exemplos mostrando que as plantas tiveram seu desenvolvimento limitado abaixo do valor de 2 MPa (ROSOLEM et al., 1999; FOLONI et al., 2003), a taxas decrescentes desde 0 a 9 MPa (SILVA et al., 2004) e desenvolvimento normal acima de 2 MPa (MIELNICZUK et al., 1985; BEUTLER et al., 2006; KLEIN; CÂMARA, 2007). Vale destacar que plantas nativas de regiões onde predominam solos compactados podem suportar valores bem mais altos que os citados anteriormente, uma vez que estas possuem adaptações que garantem o seu desenvolvimento.

Existem vários métodos para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração, dentre eles destacam-se o penetrômetro de bancada e o penetrômetro de impacto modelo "Stolf". O primeiro é utilizado na determinação da resistência à penetração em amostras com estrutura preservada de solos em que é possível realizar a determinação com um controle do teor de água na amostra (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005). O segundo é útil para o levantamento de dados diretamente no campo, sendo necessário tomar o cuidado ao usar este tipo de equipamento em solos pedregosos, pois apenas um fragmento de rocha pode invalidar o ensaio (STOLF et al., 1998).

Os penetrômetros de bancada são equipamentos compostos por sistemas elétrico-eletrônicos complexos, como atuador linear elétrico com motor de passo, sistema para controle da velocidade e deslocamento, célula de carga para registro da força e microcomputador para a decodificação e processamento dos dados (TORMENA et al., 1998)

O princípio do penetrômetro de impacto é baseado na resistência que o solo oferece à penetração de uma haste, após o recebimento de um número conhecido de impactos repetidos, provocados pelo deslocamento vertical de um bloco de ferro de massa conhecida, colocado na parte superior da haste por uma distância conhecida. Quanto mais compactado for o solo, maior é o número de impactos para que a haste atinja determinada profundidade, devido à resistência do solo à penetração (CAMARGO; ALLEONI, 1997; STOLF et al., 1998).

Apesar dos penetrômetros serem um método rápido e prático na determinação da resistência à penetração, devem ser tomados alguns cuidados quando da sua utilização, pois a resistência do penetrômetro é influenciada pela textura do solo e a avaliação dos dados é limitada para um mesmo solo a uma mesma umidade. Outro fato a ser considerado é que a resistência do solo à penetração do sistema radicular é geralmente menor que a medida dada pelo penetrômetro, pois as raízes normalmente possuem mucilagem nas pontas, o que reduz a fricção com a superfície, além de se deformarem facilmente, diferente do que ocorre com o penetrômetro. Além destes fatores, se o solo em estudo for composto por fragmentos rochosos, às leituras podem superestimar a sua resistência, invalidando as leituras do equipamento (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Segundo Nunes (2002) os solos construídos geralmente apresentam resistência à penetração superior à do solo natural, podendo atingir valores próximos a 7,0 MPa para a profundidade de 0,10 m, implicando em sérias restrições ao desenvolvimento de vegetação. Os solos construídos possuem maior resistência mecânica à penetração na camada de 0,00 a 0,10 m, ao contrário do que ocorre com o solo natural, em função do maior estado de compactação oriundo do tráfego de máquinas.

Gonçalves (2008) comparando o efeito do cultivo de diferentes plantas de cobertura após 5 anos de condução de um experimento na área de mineração de carvão em Candiota-RS concluiu que, apenas na camada superficial do solo (0,00 a 0,10 m) ocorreu uma redução significativa da resistência à penetração a favor dos tratamentos Hemária e Grama Tifton. Neste mesmo estudo, observou-se que, nesta mesma camada os valores de resistência à penetração foram considerados baixos para o crescimento de plantas. No entanto, nas camadas subsuperficiais, a resistência à penetração foi considerada média e alta, conforme a classificação proposta por Camargo e Alleoni (1997), adaptada de Canarache (1990).

2.7.1.4 Água no solo

Desde o início do século passado diversos autores estudaram o comportamento da água no solo (BUCKINGHAM, 1907; GARDNER, 1920; RICHARDS, 1928), na tentativa de avaliar a relação entre o conteúdo de água no solo e seu potencial, bem como suas implicações no movimento e na disponibilidade de água às plantas.

Na tentativa de definir a fração da água no solo disponível para o uso das plantas, Briggs e Shabtz (1912) investigaram o coeficiente de murcha para a definição do limite inferior do teor de água no solo capaz de ser extraído pelas plantas. Este conceito foi largamente utilizado e foi nomeado como o ponto de murcha permanente, embora a determinação da murcha permanente seja, em alguns casos, difícil e ambígua.

A determinação da quantidade total de água para uso da planta também requer uma definição do limite superior de disponibilidade, normalmente conceituado como capacidade de campo. Veihmeyer e Hendrickson (1931) foram uns dos primeiros pesquisadores a introduzir o conceito de capacidade de campo. Eles definiram o termo capacidade de campo como “a quantidade de água retida no solo depois que o excesso da água gravitacional ter sido drenado e após a taxa de movimento descendente da mesma tenha diminuído significativamente”. Entretanto, ainda não foi desenvolvida nenhuma técnica precisa de laboratório para esta determinação.

Outro tópico de grande importância a disponibilidade da água no solo à medida que as plantas secavam até o limite inferior. Veihmeyer e Hendrickson (1950) revisaram parte das pesquisas iniciais e concluíram que existia pouca inibição do crescimento da planta até que o teor de água no solo diminuísse até próximo ao ponto de murcha permanente.

Num esforço para definir o limite inferior, Richards e Weaver (1943) descobriram que dos 119 solos estudados 102 apresentavam um valor inferior a 2% de umidade gravimétrica quando equilibrados no potencial mátrico de -1,5 MPa. Uma definição termodinâmica da capacidade de campo para o limite superior foi proposto por Colman (1947) como sendo a água retida a um potencial mátrico de -0,033 MPa. Entretanto, para muitos solos, seus dados mostraram considerável desvio entre a capacidade de campo e a determinação de umidade a -0,033 MPa. Para solos de textura arenosa a capacidade de campo comumente ocorre a um potencial mais alto, ou seja, de -0,010 MPa (CASSEL; NIELSEN, 1986). No entanto, Rivers e Shipp (1978) determinaram que para solos arenosos a capacidade de campo ocorreria num potencial de água maior, ou seja, igual a -0,006 MPa.

Muitos fatores interferem na capacidade de retenção de água de um solo, Reichardt e Timm (2004) consideram como o principal deles a textura do solo, pois esta define a área de contato entre as partículas sólidas. Para Mesquita e Moraes

(2004), o fluxo e a retenção de água no solo dependem, além da textura, da profundidade, da estrutura e da distribuição de tamanho de poros.

Conforme Libardi (2005), dois processos, basicamente, explicam a retenção de água pelo solo: a capilaridade e a adsorção. Na capilaridade, a retenção ocorre nos microporos dos agregados, o qual está sempre associada a uma interface ar – água. Na adsorção, a retenção ocorre na superfície dos sólidos do solo como filmes presos a esse. Nestas condições, a energia de retenção é maior do que no caso da capilaridade, o que aumenta o grau de dificuldade para retirada de água pelas plantas (GAVANDE, 1973; REICHARDT; TIMM, 2004).

No solo, a energia de retenção da água e seu conteúdo, em base de volume, são expressos pela curva característica de retenção de água, que apresenta formato diferenciado entre os processos de secagem e umedecimento (HILLEL, 1998).

A curva de retenção de água (CRA) é considerada um bom indicador da qualidade física do solo, permitindo através dela conhecer o limite superior (capacidade de campo - θ_{cc}) e inferior (ponto de murcha permanente - θ_{pmp}) de disponibilidade de água para as plantas, essencial para a realização de práticas de manejo sustentável entre os sistemas de produção agrícola.

2.7.1.5 Intervalo Hídrico Ótimo

A partir da contribuição de Eavis (1972) e Phene e Beale (1976) na distinção dos fatores relacionados ao crescimento de plantas, Letey (1985) desenvolveu o conceito de “Non Limiting Water Range” (NLWR), com a finalidade de reunir em um único parâmetro as limitações relacionadas com o crescimento de plantas (conteúdo de água, aeração e resistência à penetração). O NLWR é um parâmetro que descreve uma faixa de água que incorpora limitações do conteúdo de água ao crescimento de plantas, relacionado com a aeração, resistência à penetração e água disponível. Os limites do NLWR, mencionados por Letey (1985), foram os conteúdos de água associados à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente, bem como a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração, nas quais, o crescimento das plantas poderia cessar ou ser drasticamente reduzido (SILVA et al., 1994).

Entretanto Silva et al. (1994) aprimoraram os conceitos de Letey (1985) e definiram o “Least Limiting Water Range” (LLWR) como sendo um único parâmetro que descreve a amplitude hídrica do solo incorporando as limitações de

desenvolvimento das plantas que são relacionadas com a aeração, resistência do solo à penetração e ao potencial matricial do solo. Sua quantificação foi realizada por Topp et al. (1994) e Silva et al. (1994), propondo-o como índice de qualidade estrutural do solo para o crescimento das plantas, considerando que os impactos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo modificam os atributos do solo na zona radicular, promovendo alterações no LLWR. No Brasil, o parâmetro LLWR foi denominada de intervalo hídrico ótimo, ou IHO, por Tormena et al. (1998).

Para a determinação do IHO, Silva et al. (1994) propuseram a retirada de amostras indeformadas a partir de anéis volumétricos no perfil superficial do solo, sendo, então, levadas ao laboratório para determinação da curva de retenção da água, obtida também em função da densidade do solo, bem como da curva de resistência à penetração, que depende ainda da densidade do solo e do conteúdo de água. Essas curvas são definidas, respectivamente, segundo metodologia desenvolvida por Silva et al. (1994) e utilizando modelo proposto por Busscher (1990).

O IHO é um índice que está diretamente relacionado com a estrutura do solo, integrando condições do solo relacionadas ao crescimento das plantas. O crescimento das plantas nos diferentes estádios de desenvolvimento é afetado diretamente pelo conteúdo de água e pela resistência mecânica do solo à penetração de raízes. As plantas demandam oxigênio e água para seu crescimento. No entanto, a saturação em água e a aeração são inversamente proporcionais, ou seja, excesso de água pode resultar em taxa de difusão e conteúdo de oxigênio reduzido. Além disso, o teor de água controla, juntamente com a densidade e textura, a resistência que o solo irá exercer a penetração das raízes. Assim, o aumento no teor de água reduz a aeração e a resistência do solo à penetração.

A dinâmica destes fatores provoca interações que regulam o crescimento e funcionamento das raízes (REICHERT et al., 2003), sendo necessário o entendimento de suas relações. Desta forma, o IHO procura delimitar a faixa de umidade não limitante ao crescimento das plantas, relacionando aeração, resistência à penetração, densidade do solo e água disponível, representando em uma ferramenta indicativa de qualidade do solo.

O IHO é calculado pela diferença entre o limite superior e o inferior de umidade. O limite superior é determinado pelo menor valor do conteúdo de água comparando-se a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) com a umidade na

porosidade de aeração de 10% (θ_{PA}), enquanto o limite inferior é o maior valor entre a umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e a umidade no valor crítico de resistência mecânica à penetração (θ_{RP}). Dentre esses atributos físicos, a RP é o que mais freqüentemente compromete o IHO, pois aumenta com a compactação do solo (IMHOFF et al., 2001; BEUTLER et al., 2006).

A primeira quantificação do IHO foi feita por Silva et al. (1994) em dois solos com texturas contrastantes. Em ambos os solos, o IHO foi bastante sensível às variações da densidade do solo.

No Brasil, Tormena et al. (1998) foram os pioneiros na aplicação da metodologia proposta por Silva et al. (1994). Nesse trabalho foi utilizado um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa, cultivado com milho, em sistema de plantio direto. Destacou-se neste estudo que tanto a θ_{CC} como a θ_{PMP} são positivamente relacionados com a D_s , ou seja, a água disponível aumenta com a densidade.

Alguns trabalhos, como os de Araújo et al. (2004), Leão et al. (2004), Tormena et al. (2007), Kaiser et al. (2009), Freddi et al. (2009) e Blainski et al. (2009) foram desenvolvidos para se avaliar a qualidade física dos solos sob diferentes usos e manejos, através da determinação do IHO. Em todos os estudos, o IHO apresentou-se eficaz na identificação dos solos cujos atributos físicos, relacionados ao crescimento vegetal, encontraram-se mais preservados, sendo útil para avaliar o impacto de diferentes formas de uso e manejo no solo. A metodologia do IHO também permite o reconhecimento dos atributos que são restritivos ao desenvolvimento das plantas.

2.7.1.6 Compressibilidade de solos

O efeito do intenso tráfego de máquinas no processo de construção de um solo após a mineração de carvão tem provocado alterações na estrutura do solo, que são desfavoráveis ao crescimento de plantas.

A qualidade física de um solo construído é afetada pela sua compactação, sendo uma das mais importantes causas da degradação destes solos. No entanto, nos últimos anos novas técnicas e métodos de campo e de laboratório têm auxiliado na avaliação da compactação do solo. A densidade, atributo muito utilizado como indicador da compactação, tem dado lugar a outros métodos, sendo um deles a predição da sua capacidade de suporte de carga ou compressibilidade do solo.

A compressão refere-se a um processo em que há aumento da massa do solo por unidade de volume, ou seja, aumento de densidade, devido à aplicação de cargas externas (SÖHNE, 1958; HILLEL, 1980; HORN; LEBERT, 1994). Em solos saturados, a compressão é chamada de “consolidação”, enquanto que em solos não saturados é chamada de “compactação”. A consolidação depende da drenagem do excesso de água, sendo dependente da condutividade hidráulica do gradiente hidráulico. Da mesma forma, durante a compactação o ar do solo pode ser perdido para a atmosfera de acordo com a permeabilidade do ar, continuidade de poros e saturação de água em todo o perfil.

A compressibilidade é definida como a resistência do solo a um decréscimo de volume, quando o solo é submetido a uma carga (BRADFORD; GUPTA, 1986; HORN; LEBERT, 1994). O volume total de um solo é o resultado do somatório do espaço preenchido pelas partículas sólidas e do volume de vazios. O volume de vazios se divide em volume preenchido pela água e pelo ar.

O entendimento do processo de compressão envolve a avaliação das curvas de compressão uniaxial. Conforme Dias Junior e Pierce (1996), a curva de compressão tem sido utilizada para simular as reduções de volume do solo, representando graficamente a relação entre o logaritmo da tensão aplicada e algum parâmetro relacionado com o arranjo das partículas, como o índice de vazios ou a densidade do solo. A pressão de preconsolidação divide essa curva em duas partes, sendo uma região de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária, e uma de deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de curva de compressão virgem. É através da inclinação da reta de compressão virgem que se obtêm o índice de compressão. Este índice representa um indicativo da susceptibilidade do solo à compactação, o que proporciona normalmente condições desfavoráveis ao crescimento das plantas. Por outro lado, é na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser trafegado, sendo a pressão de preconsolidação a pressão máxima aplicada ao solo para que a compactação adicional seja evitada. Desse modo, a pressão de preconsolidação e o índice de compressão são indicadores quantitativo da sustentabilidade estrutural dos solos (KONDO; DIAS JUNIOR, 1999), podendo ser utilizado como um parâmetro na avaliação da qualidade estrutural dos solos construídos.

2.7.1.7 Grau de compactação

Segundo Hakansson (1990) comparações entre solos são facilitadas quando a densidade ou porosidade é relacionada à densidade ou porosidade do solo em algum estado de referência. De acordo com esse autor, em estudos geotécnicos, diferentes métodos têm sido utilizados para caracterizar o estado de compactação do solo. Um deles é o cálculo da “compactação relativa”, que implica no índice de vazios de um solo em relação ao índice de vazios do mesmo solo em um estado de referência compactado. O estudo do “grau de compactação” ou “compactação relativa” surgiu da necessidade de se encontrar um parâmetro para caracterizar o estado de compactação do solo que fosse simples o suficiente para ser usado em extensivas experimentações de campo e capaz de formar uma ligação entre estudos de resposta do solo ao tráfego de máquinas e estudos de resposta das culturas à compactação do solo.

Alguns estudos (CARTER, 1990; TWERDOFF, et al., 1999) utilizam o teste de Proctor para obter o estado máximo de compactação ou estado de referência, mas de acordo com Hakansson (1990), o estado de referência ou densidade máxima do solo pode ser obtido por uma pressão estática obtida no teste de compressão uniaxial. A utilização do teste de compressão uniaxial parece ser muito reproduzível e menos trabalhoso que o teste de Proctor.

De acordo com Hakansson e Lipiec (2000), o grau de compactação pode formar uma ligação no estudo da cadeia tráfego de máquinas - compactação do solo - propriedades do solo - crescimento de culturas. Klein et al. (2004) observaram que a densidade relativa ou grau de compactação do solo depende do manejo adotado e é um bom parâmetro para indicar a qualidade física do solo.

3 INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO INFLUENCIADO POR DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA

3.1 Resumo - Apesar de importante recurso energético, a extração, o beneficiamento e a utilização do carvão mineral são atividades que originam transformações no solo, principalmente quando a mineração é realizada a céu aberto, causando alterações em suas propriedades físicas. A revegetação tenta restabelecer as características originais da área e evita processos erosivos, permitindo assim a reestruturação do solo. O objetivo deste trabalho foi quantificar o intervalo hídrico ótimo (IHO) de um solo construído na área de mineração de carvão sob diferentes plantas de cobertura considerando diferentes limites críticos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e resistência mecânica à penetração (RP). O experimento foi realizado na área de mineração de carvão de Candiota (RS), em um delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos testados foram: T1 - Hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T4 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), T5 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T7 - Controle (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T8 - solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9 - Solo natural. O solo natural foi classificado como Argissolo Vermelho eutrófico típico. Foram coletadas em cada tratamento 56 amostras de solo com estrutura preservada na camada de 0,00 a 0,05 m, nas quais se determinou a curva de retenção de água, a curva de resistência mecânica do solo à penetração e a densidade do solo, necessárias para a obtenção dos limites superior e inferior do IHO. Os resultados demonstram que: 1) o tratamento Hemártria (T1) é o que apresenta os valores de IHO mais próximos aos do solo natural (T9), quando se considera os diferentes conceitos de θ_{CC} e θ_{PMP} . 2) ocorre uma redução média de 25, 65, 55 % nos valores de IHO, quando se altera os potenciais de água no solo na capacidade de campo de -0,006 para -0,01 MPa; -0,006 para -0,033 MPa e -0,01 para -0,033 MPa, respectivamente. 3) mudanças dos potenciais no ponto de murcha permanente de -0,5 MPa; -1,0 MPa e -1,5 MPa praticamente não alteram os valores de IHO. 4) as maiores variações do IHO, em relação às mudanças nos limites críticos de RP ocorrem no tratamento T9 (solo natural), sendo que, a Hemártria (T1) apresenta os menores aumentos, já a Grama tifton (T5) e a Pensacola (T4) os maiores aumentos. 5) para uma condição de plantas mais resistentes a compactação (RP de 3 MPa), os tratamentos Hemártria (T1) e Grama tifton (T5) apresentam os menores valores de D_{sc} . Na situação de plantas menos resistentes (RP igual a 1,5 MPa), a menor D_{sc} é observada no tratamento Controle (T7).

Palavras chave: densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração, conteúdo de água no solo, porosidade de aeração do solo.

LEAST LIMITING WATER RANGE OF A CONSTRUCTED SOIL IN A COAL MINING AREA INFLUENCED BY DIFFERENT COVER CROPS

3.2 Abstract - Despite the important energy resource, extraction, processing and use of coal are activities that produce large changes in soil, especially when the mining is carried out under open sky, causing deep changes in its physical properties. Revegetation restores the original characteristics of the area and prevent erosion, allowing the restructuring of the soil. The objective of this study was to quantify the optimal water retention in the constructed soil in the mining of coal under different cover crops considering different critical values of field capacity, permanent wilting point and resistance to penetration. The experiment was conducted in the coal mining Candiota (RS) in a randomized block design with 4 replications. The treatments were: T1 - *Hemarthria altissima* ((Poir.) Stapf & CE Hubbard), T4 - *Paspalum notatum* (Flügge), T5 - *Cynodon dactylon* ((L.) Pers.) T7 - *Brachiaria brizantha* ((Hochst.) Stapf), T8 - constructed soil without the implementation of cover crops and T9 - natural soil. The natural soil was classified as Typic Hapludalf. For each treatment were collected 56 preserved soil samples in the layer of 0,00 to 0,05 m; soil retention curve, soil penetration resistance and bulk density, required to obtain the upper and lower limits of the least limiting water range were determined. The results show that: 1) *Hemarthria altissima* (T1) showed the values of least limiting water range closer to the natural soil (T9), when considering the different concepts of θ_{CC} and θ_{PMP} . 2) there is 25, 65, 55% of decrease of least limiting water range, when changing the soil water potential at field capacity respectively from 0,006 to 0,01; 0,006 to 0,033 and 0,01 for 0,033; 3) potential changes in the permanent wilting point of 0,5, 1,0 and 1,5 practically does not change the values of least limiting water range. 4) the major changes in the least limiting water range in relation to changes in critical values of RP occurred in the treatment T9 (natural soil), and the *Hemarthria altissima* (T1) had the lower increase in *Cynodon dactylon* (T5) and *Paspalum notatum* (T4) the largest increases. 5) for a condition of plants more resistant to compression, the penetration resistance of 3 MPa, the *Hemarthria altissima* (T1) and *Cynodon dactylon* (T5) had the lowest values of critical bulk density. In the situation of plants less resistant, with penetration resistance equal to 1,5 MPa, the lowest value of critical bulk density was observed in the control treatment (T7).

Key words: soil bulk density, soil resistance to penetration, soil water content, porosity of soil aeration.

3.3 Introdução

A atividade da mineração de carvão, de relevância para a economia nacional, gera um grande impacto ao ambiente, tanto por ocasião da remoção do solo e das camadas geológicas subjacentes como pela posterior recomposição topográfica, a qual envolve a utilização de máquinas de grande porte que podem comprometer a qualidade do solo.

Nestas áreas, onde ocorre à extração de carvão mineral através da remoção de camadas superiores de solo e rochas, surgem os chamados solos construídos. Originados a partir da recomposição ambiental e topográfica do terreno, são compostos por uma camada superficial formada pelo horizonte A, freqüentemente misturado com os horizontes B e C, e por uma camada subsuperficial composta por um material que recebe o nome de “estéril”. Este é resultado de uma camada formada por uma mistura heterogênea de materiais com litologias e graus de intemperização variados (PINTO, 1999).

As alterações causadas estão diretamente relacionadas com a estrutura física do solo. Atributos como densidade (D_s), porosidade (PT), conteúdo de água e resistência mecânica do solo à penetração (RP) são parâmetros que podem ser utilizados no monitoramento da qualidade destes solos. Nestas condições, encontram-se baixos percentuais de macroporos e altos valores de D_s (GUEBERT; GARDNER, 2001). Kämpf et al. (1997) observaram valores de D_s variando de 1,41 a 2,03 $Mg\ m^{-3}$, em um solo construído após a mineração do carvão no Estado Rio Grande do Sul. Em função disto, é necessário adotar medidas de recuperação que deixem o solo o mais próximo das condições de solo natural.

Em locais minerados, a vegetação original é inevitavelmente destruída, e os resíduos são perdidos ou enterrados juntamente com o solo. Entretanto para que áreas afetadas pela mineração sejam reabilitadas é necessário que o solo tenha um abundante banco de sementes e o mínimo de condições físicas adequadas ao crescimento das plantas. Desta forma, a avaliação e o monitoramento da qualidade física do solo têm sido intensificados e realizados por meio de parâmetros que integrem atributos do solo relacionados com o crescimento de plantas.

Tentando analisar de forma integrada os vários fatores que afetam o desenvolvimento de plantas, Letey (1985) propôs o termo “Non-Limiting Water Range”. Com base neste trabalho, Silva et al. (1994) desenvolveram o “Least

Limiting Water Range”, traduzido por Tormena et al. (1998) como intervalo hídrico ótimo (IHO), que integra os atributos água, aeração e RP em função da D_s .

O IHO é definido pelo limite superior e inferior dos conteúdos de água no solo (θ), considerados limitantes ao crescimento radicular. O limite superior é o menor valor entre o conteúdo de água na porosidade de aeração (θ_{PA}) de 10% (GRABLE; SIEMER, 1968; ZOU et al., 2000) e o conteúdo de água retida na capacidade de campo (θ_{CC}), potencial de -0,006; -0,01 ou -0,033 MPa (REICHARDT, 1988). O limite inferior é o maior valor entre o conteúdo de água retido no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), no potencial de -0,5; -1,0 ou -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996) e o conteúdo de água a partir do qual a resistência mecânica do solo à penetração (θ_{RP}), no valor de 1,5; 2; 2,5 e 3 MPa, for crítica ao crescimento radicular.

O IHO aprimora o conceito de água disponível (AD) entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), adicionando as limitações associadas com a aeração e a RP. Nos solos em que os sistemas de manejo propiciam melhoria da sua qualidade estrutural, o IHO é numericamente igual à AD. Por outro lado, em situações de degradação estrutural, observam-se reduções na porosidade do solo, bem como alterações na distribuição do tamanho de poros. Isto implica que valores de porosidade com ar de pelo menos 10 % ocorrem em teores de água inferiores a CC, enquanto valores não restritivos de RP exigem teores de água superiores ao PMP. Nestes casos, os limites, superior e inferior do IHO são determinados, respectivamente, pelo θ_{PA} e pelo θ_{RP} (CAVALIERI et al., 2006).

Existem poucas informações a respeito dos efeitos produzidos pelas plantas de cobertura em solos construídos. É de se esperar que diferentes plantas de cobertura afetem diferentemente os atributos físicos destes, dentre eles o intervalo hídrico ótimo. Este trabalho tem como objetivo principal quantificar o intervalo hídrico ótimo em um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota – RS, sob diferentes plantas de cobertura, considerando diferentes limites críticos de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e resistência mecânica do solo à penetração.

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 - RS,

pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM). O município de Candiota, cujas coordenadas geográficas são 31° 33' 51,8" de latitude sul e 53° 43' 28,1" 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 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 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) + Amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*); T3 - Hemátria + Amendoim forrageiro; T4 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge); T5 - Grama Tifton T6 - Pensacola + Amendoim forrageiro; T7 - Controle (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), (Fig. 3.1).

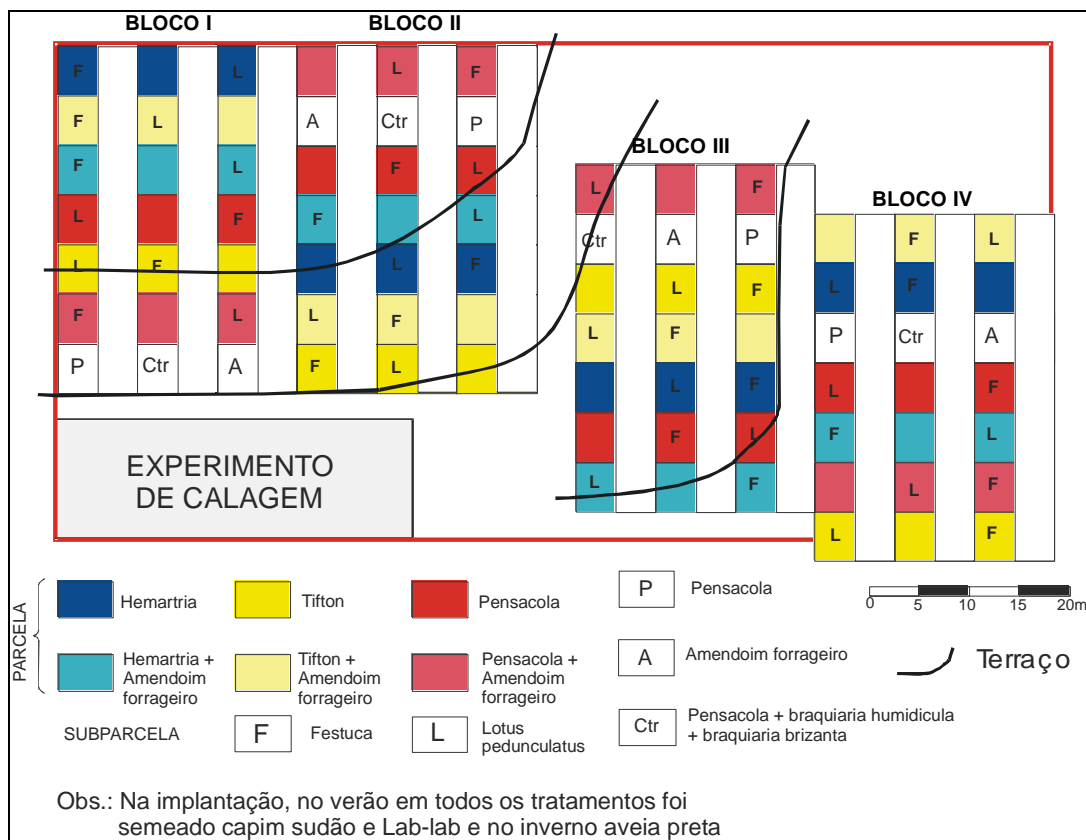


Figura 3.1 - Localização das áreas experimentais e croqui do Experimento.

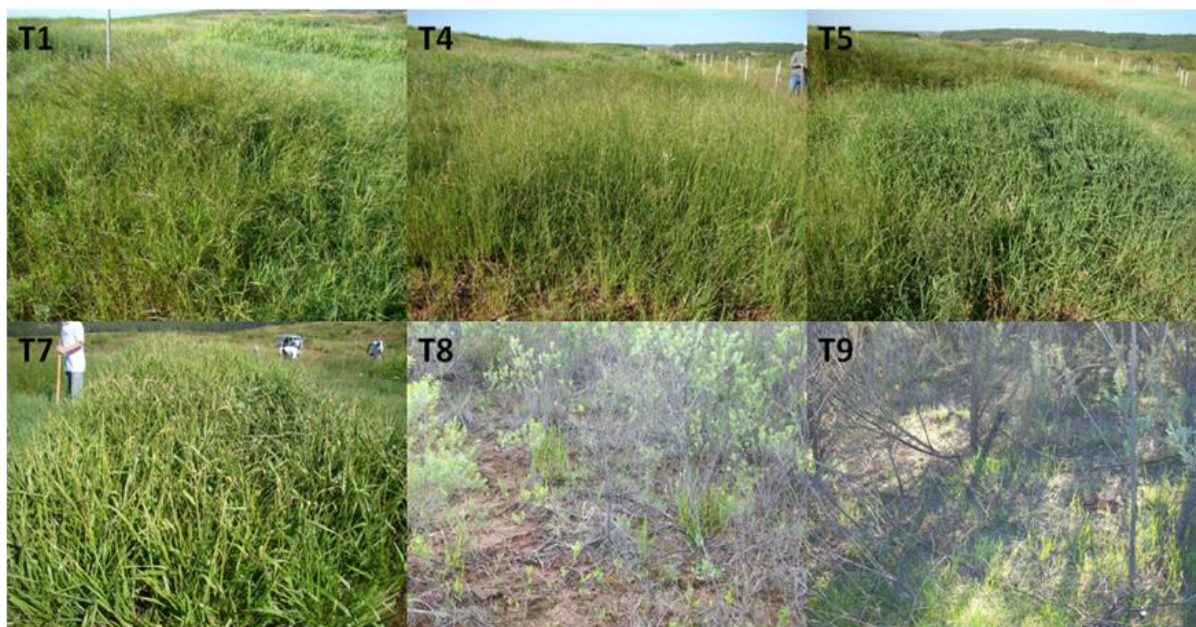


Figura 3.2 - Tratamentos avaliados no estudo. T1- Hemártria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.

Considerando que os tratamentos consorciados com o amendoim forrageiro (T2, T3 e T6), não se estabeleceram ao longo do tempo, conforme consta no Relatório Técnico do Projeto CRM (2007), estão sendo mantidos apenas os tratamentos com os cultivos solteiros, isto é, Hemártria (T1), Pensacola (T4), Grama tifton (T5) e Controle (T7). No entanto, para efeito de comparação foram acrescentados mais dois tratamentos, ou seja, T8: Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura, sendo que o mesmo não sofreu tráfego intenso de máquinas (coletas realizadas ao lado do experimento) e T9: Solo natural da frente de mineração (Fig. 3.2). Este último pode ser considerado como o solo no estado imediatamente anterior à extração de carvão.

A Hemártria 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 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 800 mm 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.

A Grama Tifton é, provavelmente, originária do Sudeste da África, sendo esta, uma gramínea de clima subtropical temperado, rizomatosa. É sensível ao sombreamento, e menos tolerante ao frio que as demais, é relativamente exigente em fertilidade. Entretanto, apresenta enraizamento a cada nó, lhe conferindo uma vantagem comparativa em termos de estabelecimento.

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.

O Amendoim Forrageiro é uma leguminosa perene, nativa, com crescimento rasteiro e estolonífero, com talo ramificado, circular, apresenta entrenós curtos e estolões fortes.

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

Para a caracterização granulométrica, densidade de partículas (D_p) e carbono orgânico (CO) dos tratamentos, foram utilizadas amostras indeformadas correspondentes a camada superficial do solo (0,00 a 0,05 m). Foram realizadas respectivamente as metodologias da pipeta segundo procedimento proposto por Embrapa (1997), metodologia do picnômetro segundo Embrapa (1997) e método da combustão úmida segundo Walkley-Black modificado por Tedesco et al. (1995) (tab. 3.1). O fato de o solo construído apresentar o dobro de argila em relação ao solo

natural está relacionado à utilização do horizonte B do solo natural na construção deste solo.

Tabela 3.1 - Granulometria, teores de carbono orgânico (CO), densidade de partículas (Dp) e classificação textural da camada superficial (0,00 a 0,05 m) de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	Argila	Areia	Silte	CO	Dp	Classe Textural
	----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³		
T1	463,67	298,08	238,30	7,60	2,60	Argilosa
T4	474,21	291,88	233,90	7,69	2,63	Argilosa
T5	469,65	283,81	246,80	8,16	2,61	Argilosa
T7	452,55	289,66	257,70	7,78	2,60	Argilosa
T8	456,66	311,70	231,50	6,98	2,63	Argilosa
T9	227,20	483,60	289,10	19,57	2,58	Franca
Média	423,99	326,46	249,55	9,63	2,61	
CV (%)	23,00	24,00	9,00	50,00	0,8	

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.

Por ocasião da instalação do experimento, o solo foi escarificado a uma profundidade de 0,10 a 0,15 m. Posterior à escarificação foi realizada uma calagem com aplicação correspondente a 10,4 ton ha⁻¹ de calcário com PRNT de 100% e uma adubação correspondente a 900 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20. Além disto, foram realizadas em todos os períodos correspondentes à estação da primavera adubações nitrogenadas utilizando sulfato de amônio na dose de 40 kg ha⁻¹ e capinas manuais com enxada, sempre que surgissem invasoras na área.

Foram coletadas amostras com estrutura preservada em abril de 2009, na camada de 0,00 a 0,05 m, com o uso de cilindros de inox de 3 cm de altura por 4,85 cm de diâmetro totalizando 56 repetições por tratamento (4 blocos x 14 repetições por parcela). Em seguida, no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) as amostras foram separadas em 7 grupos. Cada grupo de 48 amostras (8 repetições por tratamento) foi saturado por 24 horas e submetido a diferentes potenciais de

água no solo. Foram aplicados os seguintes potenciais: 0; -0,001; -0,003 e -0,006 MPa em mesa de tensão e -0,01; -0,033; -0,1 e -1,5 MPa em câmaras de Richards (KLUTE, 1986). Após o estabelecimento do equilíbrio entre o potencial aplicado e o conteúdo de água no solo, cada grupo de amostras foi pesado e em seguida determinado a RP, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA 933 fabricado pela empresa MARCONI LTDA (Fig. 3.3). A RP foi determinada em três locais distanciados igualmente do centro da amostra com uma velocidade de penetração de 10 mm min^{-1} (BRADFORD, 1980).



Figura 3.3 - Penetrômetro eletrônico de bancada para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração.

Após a determinação da RP, as amostras foram secas em estufa a 105°C , por um período mínimo de 24 horas para a determinação da D_s (BLAKE; HARTGE, 1986) e da umidade gravimétrica (U_g) (GARDNER, 1986), que posteriormente foi convertida em umidade volumétrica (θ_v).

Para a determinação do IHO, o conteúdo de água no solo (θ) foi ajustado em função do potencial matricial (ψ_m) expresso em módulo e da D_s segundo

procedimento proposto por Silva et al. (1994). Já a curva de RP foi ajustada utilizando a equação não-linear proposta por Busscher (1990).

$$\theta_v = \exp(a + bD_s) * \psi_m^c \quad (1)$$

$$RP = d\theta_v^e D_s^f \quad (2)$$

Onde:

θ_v = Conteúdo volumétrico de água no solo ($m^3 m^{-3}$);

ψ_m = Potencial matricial de água no solo (MPa);

RP = Resistência mecânica do solo à penetração (MPa);

D_s = Densidade do solo ($Mg m^{-3}$);

a, b, c, d, e, f = parâmetros de ajustes dos modelos.

Os diferentes conceitos do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}) equivalentes as tensões de 0,006; 0,01 e 0,033 MPa e do ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) de 0,5; 1,0 e 1,5 MPa, foram estimados respectivamente pelas equações (3), (4), (5), (6), (7), e (8), obtidas da equação (1).

$$\theta_{cc} = \exp(a + bD_s) * 0,006^c \quad (3)$$

$$\theta_{cc} = \exp(a + bD_s) * 0,01^c \quad (4)$$

$$\theta_{CC} = \exp(a + bD_s) * 0,033^c \quad (5)$$

$$\theta_{PMP} = \exp(a + bD_s) * 0,5^c \quad (6)$$

$$\theta_{PMP} = \exp(a + bD_s) * 1,0^c \quad (7)$$

$$\theta_{PMP} = \exp(a + bD_s) * 1,5^c \quad (8)$$

O conteúdo de água a partir do qual a RP é limitante foi estimado pelas equações (9), (10), (11) e (12) obtida da equação (2):

$$\theta_{RP} = 1,5/(d * D_s^f)^{\frac{1}{5}} \quad (9)$$

$$\theta_{RP} = 2,0/(d * D_s^f)^{\frac{1}{5}} \quad (10)$$

$$\theta_{RP} = 2,5/(d * D_s^f)^{\frac{1}{5}} \quad (11)$$

$$\theta_{RP} = 3,0/(d * D_s^f)^{\frac{1}{5}} \quad (12)$$

O conteúdo de água em que a porosidade de aeração é de 10 % foi obtido pela seguinte equação:

$$\theta_{PA} = \left(1 - \left(\frac{D_s}{D_p}\right)\right) - 0,10 \quad (13)$$

Onde:

D_p = Densidade de partículas (Mg m^{-3}).

A partir dos valores obtidos pelas equações (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12) e (13) os dados foram plotados em função dos valores de D_s com o objetivo de determinar o IHO em cada tratamento. A densidade do solo crítica (D_{sc}), que corresponde ao valor de D_s no qual o IHO é igual a zero, foi definida pela interseção das equações que determinam os limites, superior e inferior do IHO.

Os resultados das equações de ajuste foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste t ($P < 0,05$), obtidos pelos pacotes estatísticos do Microsoft Office Excel (2007) e Statistical Analysis System (SAS, 2007). O conjunto de dados também foi submetido à estatística clássica e a hipótese de normalidade testada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (LANDIM, 2003), utilizando o software Surfer 8.

3.5 Resultados e Discussão

Pela estatística descritiva das variáveis físicas do solo (Tab. 3.2), observa-se que os valores de D_s , θ_v e RP dos tratamentos avaliados são classificados

respectivamente como de baixa variabilidade ($CV < 15\%$), moderada variabilidade ($15\% < CV < 35\%$) e alta variabilidade ($CV > 35\%$), conforme Wilding e Drees (1983). O elevado coeficiente de variação encontrado na variável RP se deve à variabilidade natural da D_s e ao gradiente de umidade entre as amostras. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (1994), Tormena et al. (1998, 1999), Imhoff et al. (2001), Leão et al. (2004), Tormena et al. (2007), Kaiser et al. (2009) e Blainski et al. (2009). O teste de K-S confirma a suposição de normalidade dos dados de D_s e de θ_v em todos os tratamentos, já que o valor calculado de K-S foi inferior ao valor tabelado ao nível de confiança de 5%.

Tabela 3.2 - Análise estatística descritiva dos atributos físicos do solo nos diferentes tratamentos da área de mineração de carvão em Candiota – RS.

Trat,	Variável	Média	Mín.	Máx.	Variância	DP	CV (%)	K-S*
T1	D_s	1,32	1,05	1,57	0,01	0,11	8,10	0,093
	θ_v	0,31	0,19	0,48	0,01	0,08	26,24	0,104
	RP	1,86	0,28	7,77	2,88	1,70	91,09	0,214
T4	D_s	1,39	1,22	1,52	0,01	0,08	6,10	0,12
	θ_v	0,32	0,20	0,47	0,01	0,08	24,21	0,081
	RP	2,27	0,37	8,82	2,94	1,71	75,52	0,152
T5	D_s	1,39	1,16	1,54	0,01	0,08	5,94	0,085
	θ_v	0,33	0,20	0,49	0,01	0,08	25,00	0,122
	RP	2,25	0,27	6,91	3,57	1,89	83,86	0,213
T7	D_s	1,31	1,08	1,47	0,01	0,09	6,78	0,058
	θ_v	0,31	0,18	0,51	0,01	0,09	28,02	0,092
	RP	1,85	0,27	6,45	2,41	1,55	83,99	0,155
T8	D_s	1,36	1,14	1,61	0,02	0,14	10,27	0,110
	θ_v	0,31	0,16	0,49	0,01	0,08	27,02	0,058
	RP	2,28	0,24	9,90	5,63	2,37	104,25	0,195
T9	D_s	1,40	1,18	1,59	0,01	0,10	7,01	0,111
	θ_v	0,29	0,14	0,46	0,01	0,09	30,67	0,100
	RP	2,14	0,43	6,85	1,56	1,25	58,26	0,136

D_s : Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$); θ_v : Conteúdo volumétrico de água ($m^3\ m^{-3}$); RP: Resistência mecânica do solo a penetração (MPa); Mín.: valor mínimo da variável; Máx.: valor máximo da variável; CV: Coeficiente de variação; DP: Desvio padrão, T1- Hemártria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração. Teste K-S= teste de Kolmogorov-Smirnov, *Valor referente ao teste K-S ao nível de confiança de 5% (K-S crítico = 0,178).

As equações não lineares ajustadas explicaram 91, 87, 91, 90, 88 e 93% da variabilidade de θ_v pela curva de retenção de água no solo e 86, 66, 90, 75, 89 e 83% da variabilidade da RP pela curva de resistência mecânica do solo à penetração, referentes respectivamente aos tratamentos Hemártria (T1), Pensacola (T4), Grama tifton (T5), Controle (T7), Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) e Solo natural (T9) (Tab. 3.3). Pode-se observar também que tanto a equação adaptada de Silva et al. (1994), empregada no ajuste das equações de retenção de água no solo, como a equação proposta por Busscher (1990), utilizada no ajuste da curva de resistência mecânica do solo à penetração, estimou satisfatoriamente os valores de θ_v e de RP, não apresentando diferenças significativas em todos os tratamentos avaliados pelo teste t, o que garante identidade das equações estimadas com o comportamento dos dados experimentais.

Tabela 3.3 - Equações da curva de retenção de água no solo e da curva de resistência mecânica do solo à penetração obtidas a partir das equações não lineares ajustadas aos dados dos seis tratamentos avaliados.

Tratamentos	Equações	R ²	t _{tab.}	t _{estat.}
T1	$\theta = \exp^{(-2,126697+0,340500*D_s)} \Psi_m^{(-0,117786)}$	0,91	1,673	0,170
	$RP = 0,002116 \theta^{(-3,397979)} D_s^{(8,300832)}$	0,86	1,673	0,531
T4	$\theta = \exp^{(-1,132066-0,352219*D_s)} \Psi_m^{(-0,111878)}$	0,87	1,673	0,143
	$RP = 0,007079 \theta^{(-3,051332)} D_s^{(5,815788)}$	0,66	1,673	0,303
T5	$\theta = \exp^{(-1,941865+0,242473*D_s)} \Psi_m^{(-0,117294)}$	0,91	1,673	0,161
	$RP = 0,004603 \theta^{(-3,172034)} D_s^{(6,889176)}$	0,90	1,673	-0,170
T7	$\theta = \exp^{(-1,615354-0,102411*D_s)} \Psi_m^{(-0,133285)}$	0,90	1,673	0,219
	$RP = 0,013002 \theta^{(-2,644432)} D_s^{(5,436064)}$	0,75	1,673	-0,084
T8	$\theta = \exp^{(-1,736316+0,018103*D_s)} \Psi_m^{(-0,124140)}$	0,88	1,673	0,116
	$RP = 0,004063 \theta^{(-2,923697)} D_s^{(7,526191)}$	0,89	1,673	0,070
T9	$\theta = \exp^{(-1,885179+0,003783*D_s)} \Psi_m^{(-0,145659)}$	0,93	1,673	0,094
	$RP = 0,049982 \theta^{(-1,267736)} D_s^{(5,887081)}$	0,83	1,673	0,051

Ds: Densidade do solo (Mg m⁻³); θ_v : Conteúdo volumétrico de água (m³ m⁻³); RP: Resistência mecânica do solo a penetração (MPa); Ψ_m : Potencial de água no solo (MPa); T1- Hemártria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9- Solo natural da frente de mineração.

Em todos os tratamentos a RP foi positivamente correlacionada com a D_s e negativamente com o θ_v , concordando com os resultados de Silva et al. (1994), Tormena et al. (1999, 2007), Imhoff et al. (2001), Leão et al. (2004) e Blainski et al. (2009). Segundo Tormena et al. (2007) os maiores valores de RP observados com o aumento da D_s podem ser atribuídos ao efeito da compactação dos solos agrícolas. Com o decréscimo de θ_v , o aumento nos valores de RP pode estar associado à maior coesão entre as partículas minerais principalmente em solos de textura argilosa (KAY; ANGERS, 1999). Nos tratamentos Hemária (T1), Grama tifton (T5), solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) e solo natural (T9) o θ_v foi positivamente correlacionado com a D_s e negativamente com o Ψ_m . No entanto, nos tratamentos Pensacola (T4) e Controle (T7) o θ_v foi negativamente correlacionado com a D_s , ou seja, com o aumento da D_s ocorreu uma diminuição do conteúdo de água no solo.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) dos tratamentos avaliados foi considerado utilizando diferentes conceitos de θ_{CC} e θ_{PMP} , representados pelas áreas hachuradas das fig. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9.

No tratamento Hemária (T1), o limite inferior do IHO considerando os conceitos de θ_{PMP} (1,5 MPa), θ_{PMP} (1,0 MPa) e θ_{PMP} (0,5 MPa) é determinado respectivamente pela $D_s < 1,05$; $D_s < 1,13$ e $D_s < 1,16 \text{ Mg m}^{-3}$. A partir destes valores o limite inferior do IHO passa a ser considerado como limitante pelo θ_{RP} . Segundo Leão et al. (2004), conhecer o valor de D_s no qual o θ_{RP} substitui o θ_{PMP} é de fundamental importância na observação do IHO, pois o mesmo pode representar um valor de advertência a partir do qual devem ser tomadas maiores precauções no manejo do solo a fim de evitar o agravamento da compactação. O limite superior do IHO foi determinado por θ_{CC} em toda a extensão de D_s considerando os conceitos de θ_{CC} (0,01 MPa) e θ_{CC} (0,033 MPa). No entanto, quando se considera o conceito de θ_{CC} (0,006 MPa) o limite superior do IHO passa a ser determinado por $D_s < 1,42 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo que a partir deste valor a θ_{PA} passa a ser limitante (Fig. 3.4).

Neste tratamento, os valores de D_{s_c} iguais a 1,35 e 1,45 Mg m^{-3} corresponderam à interseção do limite superior considerando respectivamente os conceitos de θ_{CC} (0,006 MPa) e θ_{CC} (0,01; 0,033 MPa), com o θ_{RP} . Tanto o valor de 1,35 Mg m^{-3} como o de 1,45 Mg m^{-3} são maiores que a D_s média observada neste tratamento (tab. 3.2). Segundo Leão et al. (2004) valores de $D_s < D_{s_c}$ podem indicar a não restrição física do solo ao crescimento de raízes. Pode-se dizer, portanto, que

o tratamento Hemártria (T1) tem vantagens na revegetação do solo construído quando comparado aos demais tratamentos. Além da não restrição física do solo, esta gramínea possui maior velocidade de crescimento da parte vegetativa, bom desenvolvimento do sistema radicular e alto potencial de adição de biomassa quando comparada a outras espécies de cobertura (COOK et al., 2009).

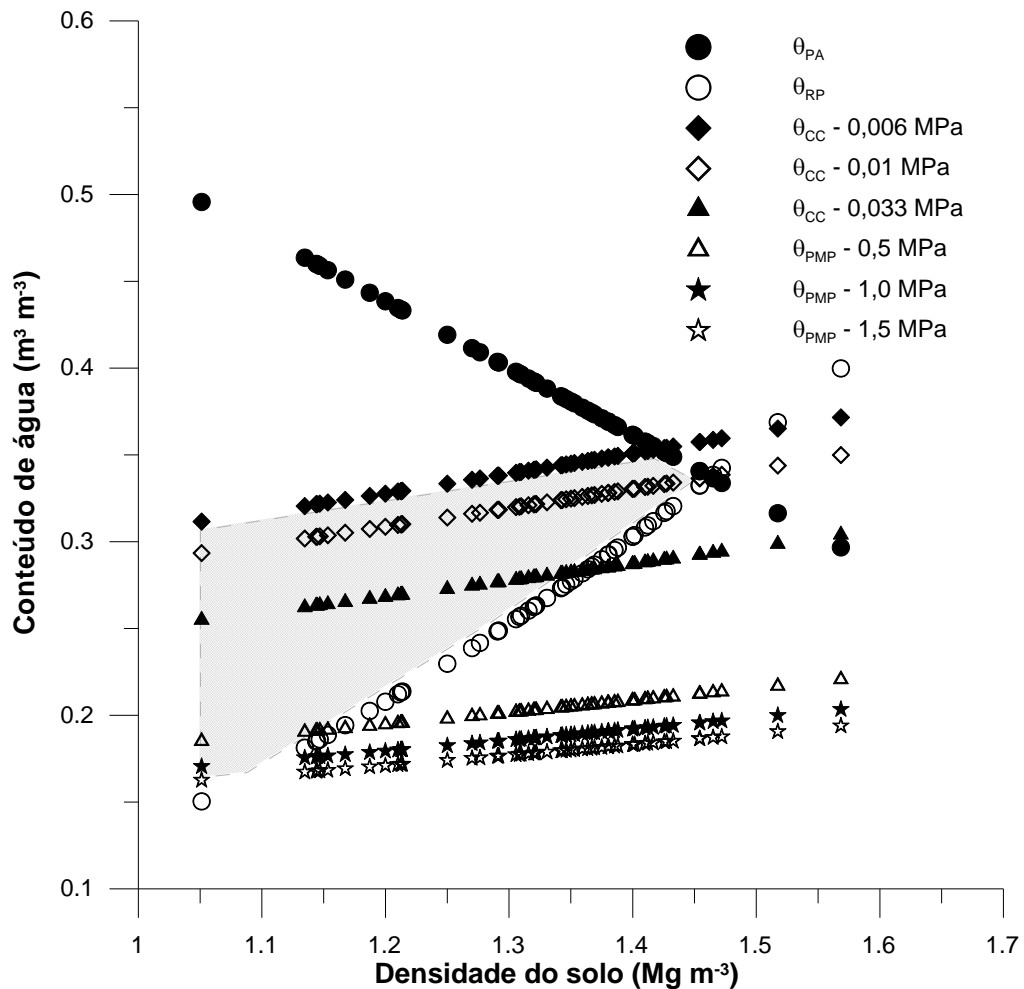


Figura 3.4 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Hemártria (T1). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

No tratamento Pensacola (T4) o limite inferior do IHO foi determinado pelo θ_{RP} em toda a extensão de D_s considerada (Fig. 3.5). Isto indica que, mesmo o solo apresentando densidades baixas, a RP pode restringir o crescimento radicular das

plantas quando a umidade do solo ficar próxima ao PMP (KAISER et al., 2009). O limite superior do IHO foi determinado considerando o conceito de θ_{CC} (0,006 MPa) para $D_s < 1,46 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo que a partir deste valor o limite superior passou a ser considerado como limitante pelo θ_{PA} . Considerando que o limite superior do IHO fosse θ_{CC} (0,01 MPa) e θ_{CC} (0,033 MPa), mesmo com a diminuição do θ_{PA} pelo aumento de D_s , não foram observados valores restritivos ao IHO, ou seja, o θ_{PA} não substituiu o θ_{CC} como fator limitante no solo. Tais resultados são similares aos obtidos por Tormena et al. (1998, 1999), Beutler (2003), Beutler et al. (2004) e Leão et al. (2004), que observaram que em solos tropicais o IHO é limitado na parte superior pelo conteúdo de água na capacidade de campo e na parte inferior, pela resistência do solo à penetração. A diminuição do θ_{CC} e do θ_{PMP} em função do aumento da D_s pode estar associado à redução da distribuição do tamanho de poros do solo.

Neste mesmo tratamento, a D_s média do solo foi maior que a D_{s_c} considerando o conceito θ_{CC} (0,033 MPa) como limite superior do IHO, isto é, valores de D_s médios iguais a $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ e D_{s_c} igual a $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$. A ocorrência de $D_s > D_{s_c}$ sinaliza para a degradação física do solo (SILVA et al., 1994). Segundo Blainski et al. (2009) valores de D_s maiores que D_{s_c} indicam que as condições físicas do solo são altamente restritivas independentemente do θ_v , pela reduzida aeração ou pela excessiva resistência mecânica do solo à penetração. Este fato pôde ser observado diretamente no campo durante o período de condução do experimento, ou seja, avaliações visuais realizadas no tratamento Pensacola (T4) mostraram um menor crescimento da planta e uma baixa produção de matéria seca durante todo o período do estudo.

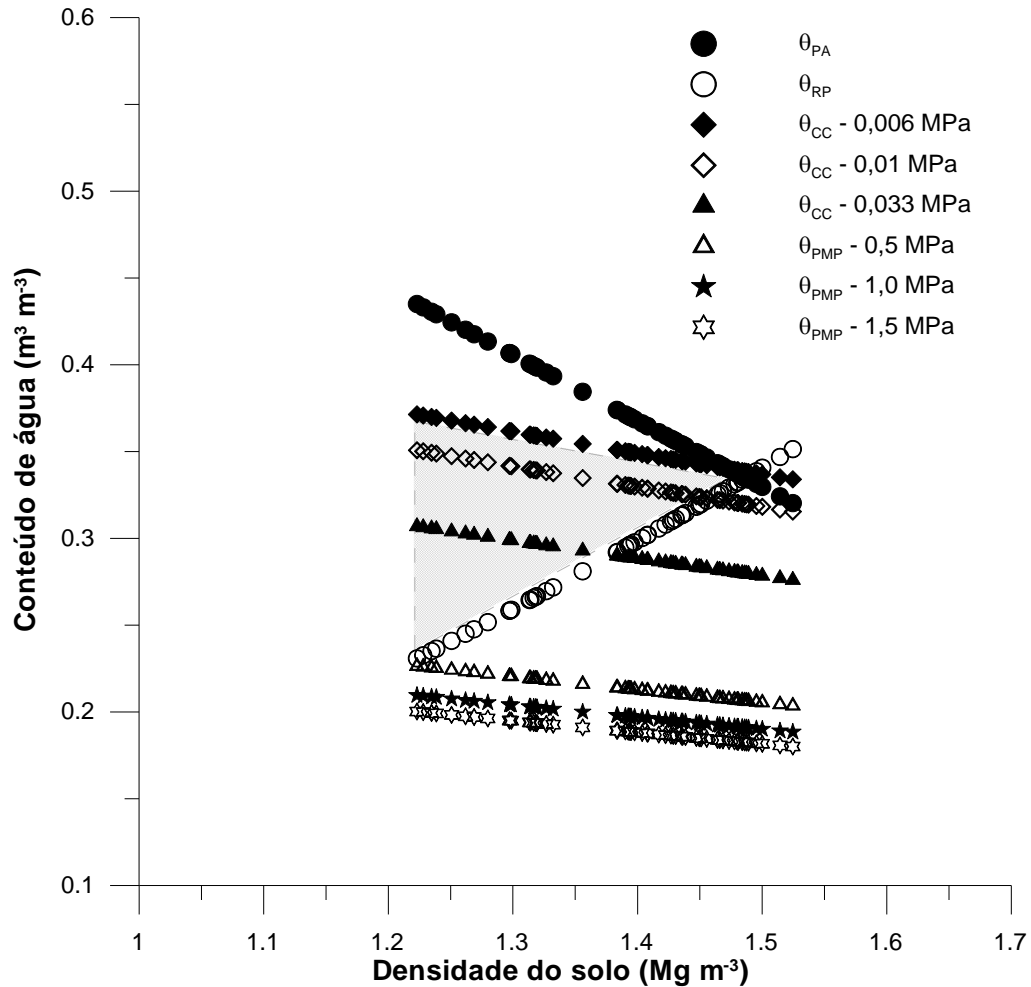


Figura 3.5 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Pensacola (T4). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

Mantendo o mesmo comportamento do tratamento Hemátria (T1), o tratamento Grama tifton (T5) apresentou um aumento da retenção de água no solo na θ_{CC} e no θ_{PMP} com o incremento de D_s (Fig. 3.6). Isto pode ser atribuído à maior quantidade de microporos para a retenção de água por unidade de volume de solo (VAN DEN BERG, 1997). O limite inferior do IHO foi delimitado em toda a extensão pelo θ_{RP} , já o limite superior considerando o conceito de θ_{CC} (0,006 MPa) e θ_{CC} (0,01 MPa) foi substituído pelo θ_{PA} a partir de D_s respectivamente maiores que 1,38 e 1,43 Mg m⁻³. Quando se utiliza o conceito de θ_{CC} (0,033 MPa), o limite superior do IHO foi delimitado, em toda a extensão de D_s considerada, pelo θ_{CC} . Dados semelhantes foram obtidos por

Magalhães et al. (2009) utilizando Grama tifton 85 cultivada em vaso sob diferentes graus de compactação. No entanto, no limite superior a aeração do solo somente começou a ser restritiva em $D_s > 1,19 \text{ Mg m}^{-3}$, contrariando os valores de D_s encontrados neste estudo. A intersecção entre o θ_{PA} e/ou θ_{CC} com o θ_{RP} foi determinada neste tratamento respectivamente pelas D_s de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ ($\theta_{PA} \times \theta_{RP}$) e $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ ($\theta_{CC} \times \theta_{RP}$).

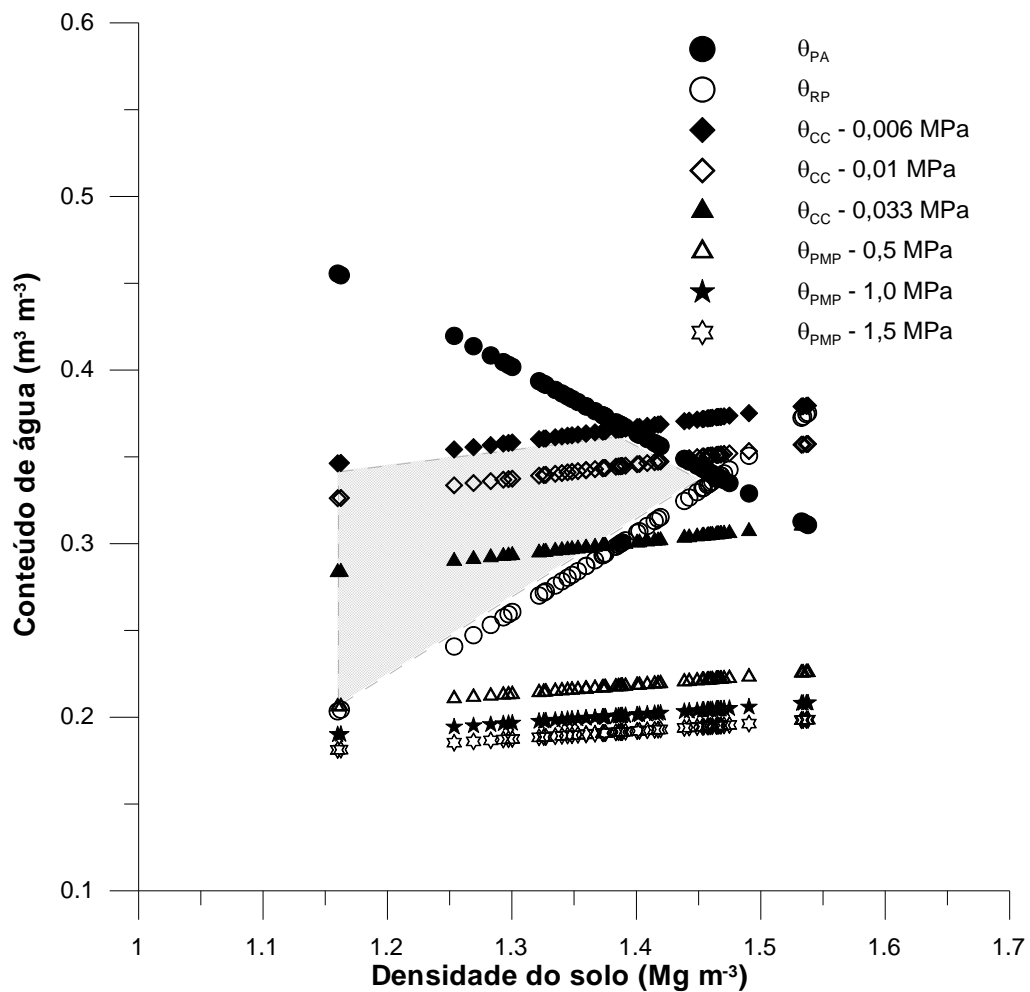


Figura 3.6 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Grama tifton (T5). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

Magalhães et al. (2009) observaram que o incremento na disponibilidade de água à Grama tifton em diferentes graus de compactação do solo, deve ter favorecido o maior desenvolvimento de raízes metabolicamente ativas que, por sua vez, contribuiu sucessivamente com o aumento da descompactação do solo. Assim, sugere-se que a Grama tifton, cultivada em solos com camada de impedimento mecânico, tende a sofrer alterações morfofisiológicas das raízes, o que, associado à alta densidade e à periódica renovação radicular (SILVA; MIELNICZUK, 1997), resulta na recuperação da qualidade estrutural do solo, de modo a beneficiar o crescimento das plantas por reduzir as restrições físicas ao seu desenvolvimento.

Em relação ao tratamento Controle (T7) os valores de Ds_c foram iguais a 1,49; 1,44 e 1,34 $Mg\ m^{-3}$ quando se considerou respectivamente os conceitos de θ_{CC} 0,006; 0,01 e 0,033 MPa (Fig. 3.7). Estes valores foram maiores que a Ds média do solo ($Ds = 1,31\ Mg\ m^{-3}$), isto é, valores de $Ds < Ds_c$ indicam o efeito positivo da planta na melhoria da qualidade física do solo. O limite inferior do IHO considerando os conceitos de θ_{PMP} (1,5 MPa) e de θ_{PMP} (1,0 MPa), foi definido pelo θ_{RP} em toda a extensão de Ds observada. Somente quando se considerou o conceito de θ_{PMP} (0,5 MPa) é que o θ_{RP} substituiu o θ_{PMP} no limite inferior do IHO ($Ds > 1,13\ Mg\ m^{-3}$). A partir de $Ds > 1,44\ Mg\ m^{-3}$ o limite superior do IHO foi substituído pelo θ_{PA} no θ_{CC} (0,006 MPa), ou seja, problemas de aeração começam a ser limitantes ao crescimento de plantas. Em outros conceitos de potenciais o θ_{CC} é limitante em toda a extensão do IHO.

Segundo Crusciol et al. (2009) a *Brachiaria brizantha* é amplamente utilizada na recuperação de áreas degradadas, pois, é considerada muito rústica e apresenta um crescimento vigoroso mesmo em condições de deficiência hídrica. Desenvolve-se em condições ambientais nas quais a maioria das culturas produtoras de grãos e de espécies utilizadas para cobertura do solo não apresentam desempenho satisfatório. No entanto, 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 ao nível do solo, apenas no colo da planta (GONÇALVES, 2008).

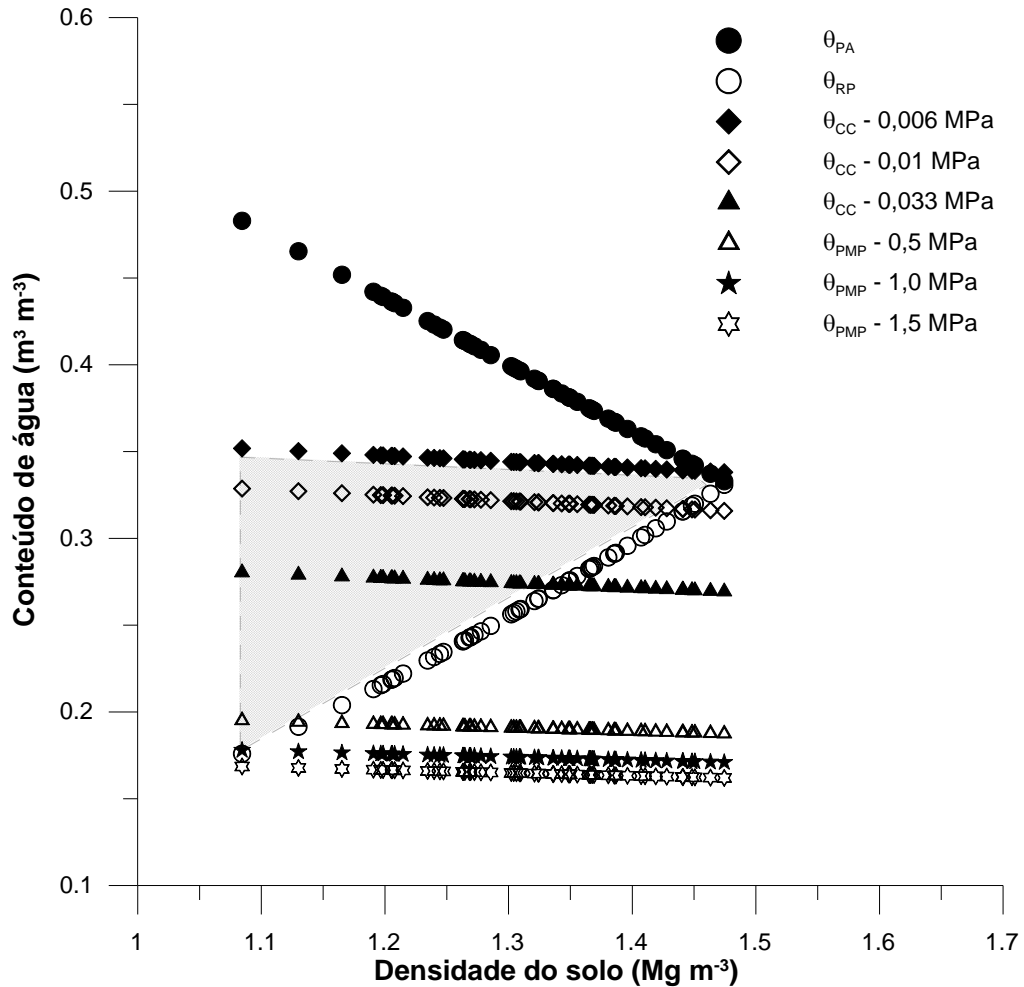


Figura 3.7 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído de mineração cultivado com Braquiária brizantha (T7). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

O limite superior do IHO no tratamento sem a implantação de plantas de cobertura (T8) foi determinado pelo θ_{CC} (0,006 MPa) para $D_s < 1,46 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo que, a partir deste valor o limite superior passou a ser considerado como limitante pelo θ_{PA} . No entanto, quando se considerou como limite superior o θ_{CC} (0,01 MPa) e θ_{CC} (0,033 MPa), esse limite foi determinado em toda a extensão do IHO pelo θ_{CC} . Os valores de θ_{RP} substituem os de θ_{PMP} em D_s maiores que 1,15; 1,18 e 1,23 Mg m^{-3} considerando respectivamente os conceitos de θ_{PMP} (0,5 MPa), θ_{PMP} (1,0 MPa) e θ_{PMP} (1,5 MPa) (Fig. 3.8).

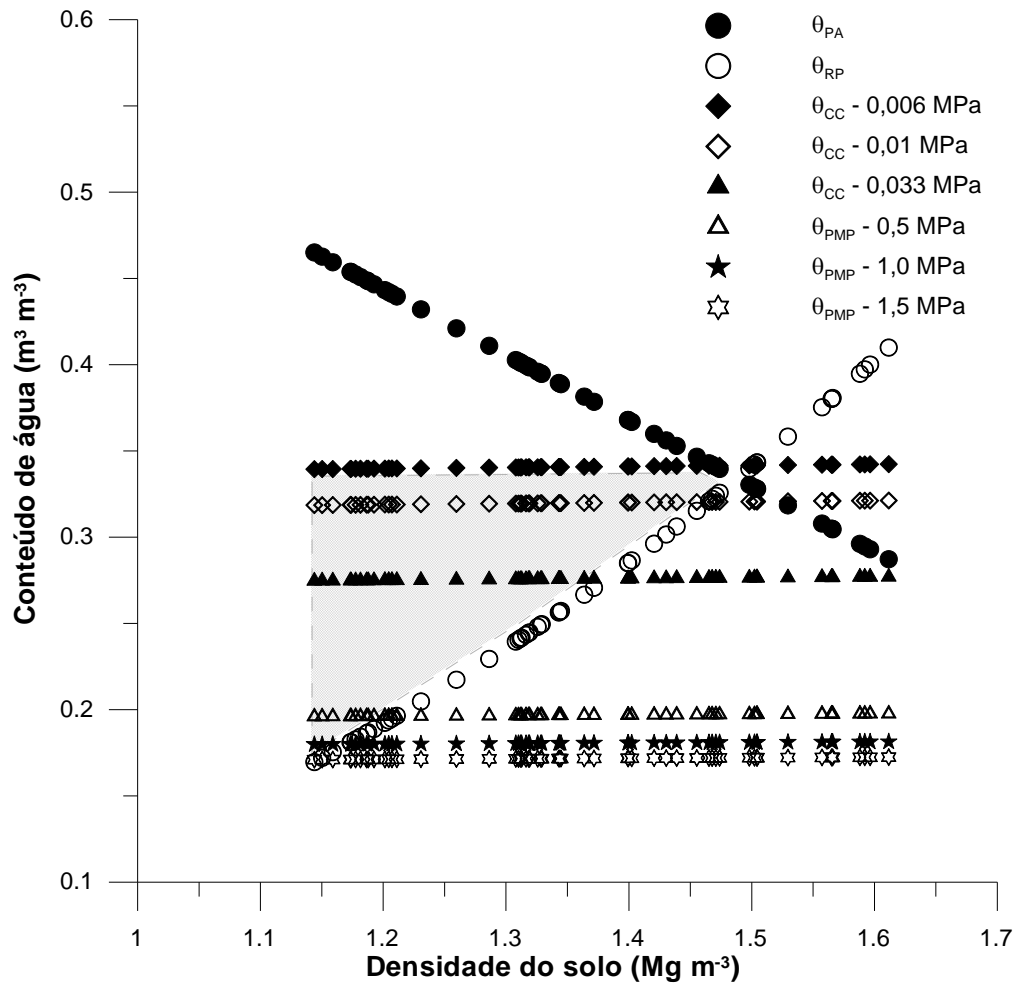


Figura 3.8 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

Apesar do tratamento solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) apresentar uma D_s média relativamente intermediária ($1,36 \text{ Mg m}^{-3}$) quando comparado aos demais tratamentos, o mesmo apresentou além do maior coeficiente de variação ($CV = 10,27\%$), o maior valor de D_s máxima ($1,61 \text{ Mg m}^{-3}$). Quiñones et al. (2008) caracterizando um solo construído com idade de 2 e 24 anos nas Minas do Leão - RS, observaram valores médios de D_s iguais a $2,04$ e $1,90 \text{ Mg m}^{-3}$ e valores de coeficiente de variação respectivamente de $10,8$ e $7,9\%$, indicando compactação dos solos, causada pelo intenso tráfego de máquinas durante o

processo de remoção, transporte e construção. Como o solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) apresentou valores de D_s intermediários, pode-se dizer que a área avaliada sofreu um menor tráfego de máquinas e conseqüentemente uma menor compactação durante o processo de construção. Essa condição de melhor estruturação do solo refletiu-se em um intervalo hídrico ótimo semelhante ao do solo cultivado com as espécies de cobertura.

Verificou-se no tratamento solo natural (T9) que com o aumento da D_s a θ_{RP} é a principal variável física que restringe a disponibilidade de água às plantas, e, portanto, o conhecimento desta variável é determinante para a melhoria da qualidade física deste solo (Fig. 3.9). A porosidade de aeração não se tornou restritiva às plantas, mantendo-se o θ_{CC} como limite superior de disponibilidade de água, exceto em D_s superiores a 1,47; 1,44 e 1,39 $Mg\ m^{-3}$ para θ_{CC} 0,006; θ_{CC} 0,01 e θ_{CC} 0,033 MPa, respectivamente, que se constitui a D_{s_c} .

Neste tratamento o aumento de D_s pode ter provocado uma redução dos macroporos do solo, por isso, dependendo do estado inicial de compactação, pode-se esperar um aumento da θ_{CC} com o aumento da D_s . Este comportamento é oriundo do aumento de microporos que retêm água em menores potenciais. Silva (2003) determinando o IHO de um Argissolo Vermelho-Amarelo da região central do RS, observou correlações negativas entre os θ_{CC} e θ_{PMP} com a D_s , indicando que o aumento da D_s provocou diminuições no conteúdo de água do solo.

Muitas tentativas têm sido feitas para associar os diferentes conceitos do potencial de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente com o conteúdo de água no solo disponível para as plantas. Contudo, ainda não há um consenso, entre os pesquisadores quanto ao correto potencial associado a estes limites nos solos agrícolas, muito menos nos solos construídos oriundos após a mineração de carvão. Dessa forma, são apresentados na tab. 3.4, os valores percentuais da redução do IHO quando se comparam os diferentes conceitos de θ_{CC} e de θ_{PMP} . Observou-se pequenas variações entre os tratamentos quando são comparados os diferentes conceitos de θ_{PMP} . No entanto, quando se modificou os conceitos de θ_{CC} , ou seja, do θ_{CC} 0,006 para θ_{CC} 0,01; do θ_{CC} 0,006 para θ_{CC} 0,033 e do θ_{CC} 0,01 para θ_{CC} 0,033, observou-se reduções médias na ordem de respectivamente 25, 65 e 55 % para os diferentes tratamentos.

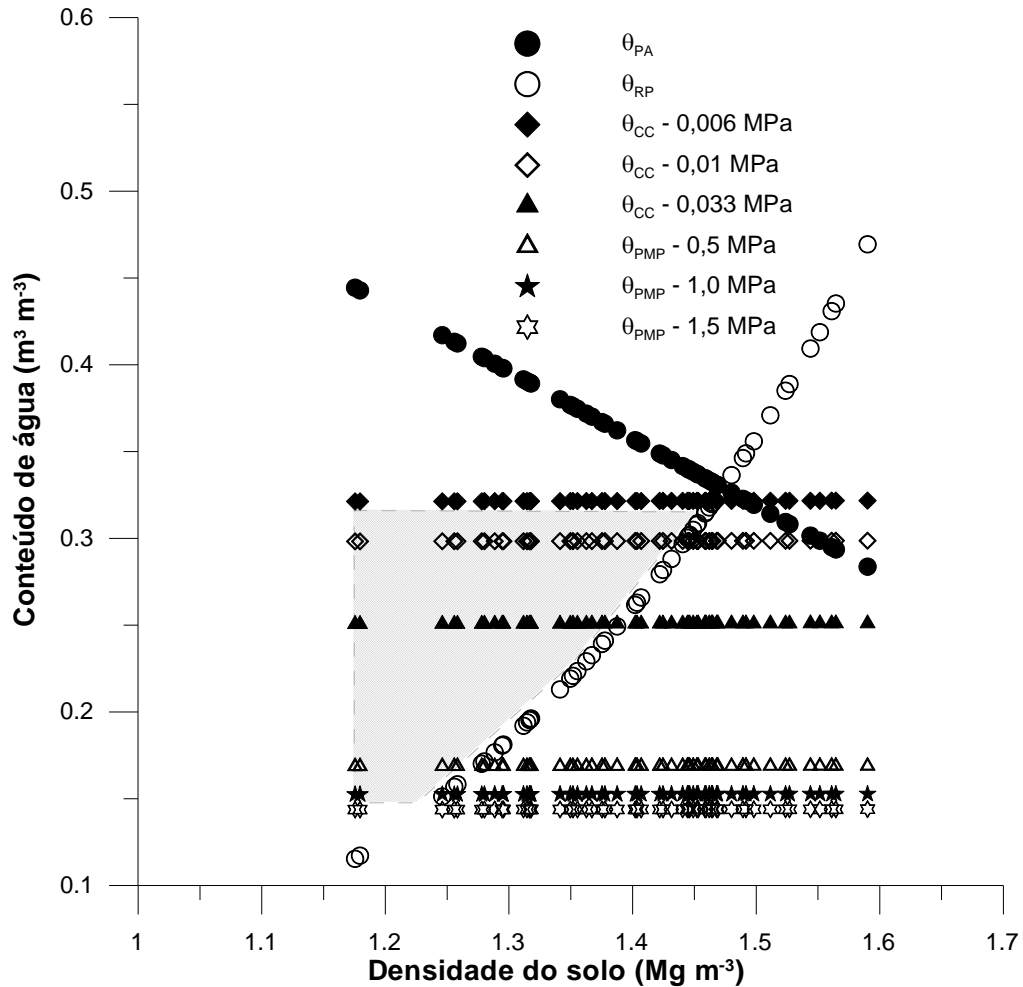


Figura 3.9 - Variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência mecânica à penetração de 2 MPa (RP) em solo natural da frente de mineração (T9). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do solo (IHO) para diferentes conceitos de CC e de PMP.

Considerando o conceito do limite superior do IHO, modificado de θ_{CC} (0,006 MPa) para θ_{CC} (0,01 MPa), se observa que dos 4 tratamentos cultivados com as plantas de cobertura, o que apresentou a menor redução foi o tratamento Grama tifton (T5). No entanto quando esse conceito foi alterado de θ_{CC} (0,006 e 0,01 MPa) para θ_{CC} (0,033 MPa), este tratamento apresentou as maiores reduções do IHO.

Neste mesmo contexto, devido a incertezas de quais são os valores de RP que restringem o crescimento das plantas e sabendo-se que diferentes plantas respondem de maneira diferente aos limites críticos, realizaram-se simulações considerando (a) uma condição de planta mais resistente à compactação (limites

críticos de RP iguais a 3 MPa), (b) uma condição intermediária de resistência à compactação (limites críticos de RP iguais a 2,0 e 2,5 MPa) e (c) uma condição de planta mais sensível à compactação (limites críticos de RP iguais a 1,5 MPa). O valor da porosidade de aeração foi mantido a 10 % e o conceito de θ_{CC} e θ_{PMP} foi respectivamente de 0,01 e 1,5 MPa (Tab. 3.5 e Fig. 3.10).

Tabela 3.4 - Porcentagem de redução no Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), considerando diferentes conceitos de conteúdo de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente.

IHO	T1	T4	T5	T7	T8	T9
	-----%-----					
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,01$ ($\theta_{PMP} 1,5$ MPa)	23,9	29,1	23,7	27,1	20,7	24,1
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 1,5$ MPa)	69,1	71,7	79,4	73,0	57,4	61,4
$\theta_{CC} 0,01 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 1,5$ MPa)	59,3	60,1	72,9	63,0	46,3	49,1
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,01$ ($\theta_{PMP} 1,0$ MPa)	24,0	29,1	23,7	27,1	20,8	24,2
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 1,0$ MPa)	69,2	71,7	79,4	73,0	57,7	61,7
$\theta_{CC} 0,01 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 1,0$ MPa)	59,4	60,1	72,9	63,0	46,6	49,4
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,01$ ($\theta_{PMP} 0,5$ MPa)	24,3	29,1	23,8	27,3	21,5	24,7
$\theta_{CC} 0,006 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 0,5$ MPa)	69,9	71,7	79,5	73,4	59,7	63,0
$\theta_{CC} 0,01 - \theta_{CC} 0,033$ ($\theta_{PMP} 0,5$ MPa)	60,3	60,1	73,1	63,4	48,6	50,8

θ_{CC} : Conteúdo de água no solo correspondente a capacidade de campo; θ_{PMP} : Conteúdo de água no solo correspondente ao ponto de murcha permanente; T1- Hemária altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9- Solo natural da frente de mineração.

A Hemária (T1) apresentou os menores aumentos do IHO considerando os diferentes limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração quando comparado aos demais tratamentos cultivados com as plantas de cobertura. A Grama tifton (T5) apresentou os maiores aumentos do IHO considerando como limite crítico de resistência mecânica do solo à penetração os valores de 1,5 para 2,0; 1,5 para 2,5; 1,5 para 3,0 e 2,0 para 2,5. No entanto, quando estes limites passam a ser 2,0 para 3,0 e 2,5 para 3,0 a Pensacola (T4) apresentou os maiores aumentos nos valores de IHO (Tab. 3.5). Convém ressaltar, entretanto, que o tratamento T9 (solo natural) é o que apresenta os maiores aumentos do IHO com relação às mudanças dos limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração.

Na situação hipotética de plantas mais resistentes à compactação, com a RP crítica igual a 3 MPa, a D_{sc} observada para cada tratamento foi de 1,51; 1,54; 1,51; 1,55; 1,55 e 1,55 $Mg\ m^{-3}$, respectivamente para os tratamentos T1, T4, T5, T7, T8 e T9. Nesta mesma condição, Silva (2003) encontrou valores de D_{sc} semelhantes para um Latossolo Vermelho distrófico com 500 $g\ Kg^{-1}$ de argila. No entanto, avaliando um Argissolo Vermelho-Amarelo com 120 $g\ Kg^{-1}$ de argila, este mesmo autor observou valores de D_{sc} iguais a 1,88 e 1,90 $Mg\ m^{-3}$, discordando do valor observado no tratamento T9.

Simulando uma condição de planta mais sensível a compactação, com RP crítica igual a 1,5 MPa, a D_{sc} observada para cada tratamento foi menor do que aquela em uma condição de RP igual a 3 MPa. Valores de D_{sc} iguais a 1,40; 1,40; 1,42; 1,37; 1,41 e 1,37 $Mg\ m^{-3}$, respectivamente para os tratamentos T1, T4, T5, T7, T8 e T9, quando se considerou a RP de 1,5 MPa foram 7,28; 9,09; 5,96; 11,61; 9,03 e 11,61% inferiores aquela de 3 MPa.

Observou-se também na fig. 2.10, que em uma condição de plantas mais sensíveis à compactação, os valores de IHO para os seis tratamentos avaliados foram menores que na situação de plantas mais resistentes à compactação.

Tabela 3.5 - Porcentagem de aumento no Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) considerando diferentes limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração (RP).

RP	T1	T4	T5	T7	T8	T9
	----- % -----					
1,5 - 2,0	52,2	73,3	90,3	69,5	34,6	90,7
1,5 - 2,5	95,0	151,4	178,4	128,8	63,3	198,1
1,5 - 3,0	127,5	222,5	248,1	174,4	85,5	288,1
2,0 - 2,5	28,1	45,0	46,3	35,0	21,3	56,3
2,0 - 3,0	49,4	86,1	83,0	61,9	37,9	103,5
2,5 - 3,0	16,7	28,3	25,0	19,9	13,6	30,2

RP: Resistência mecânica do solo à penetração; T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9- Solo natural da frente de mineração.

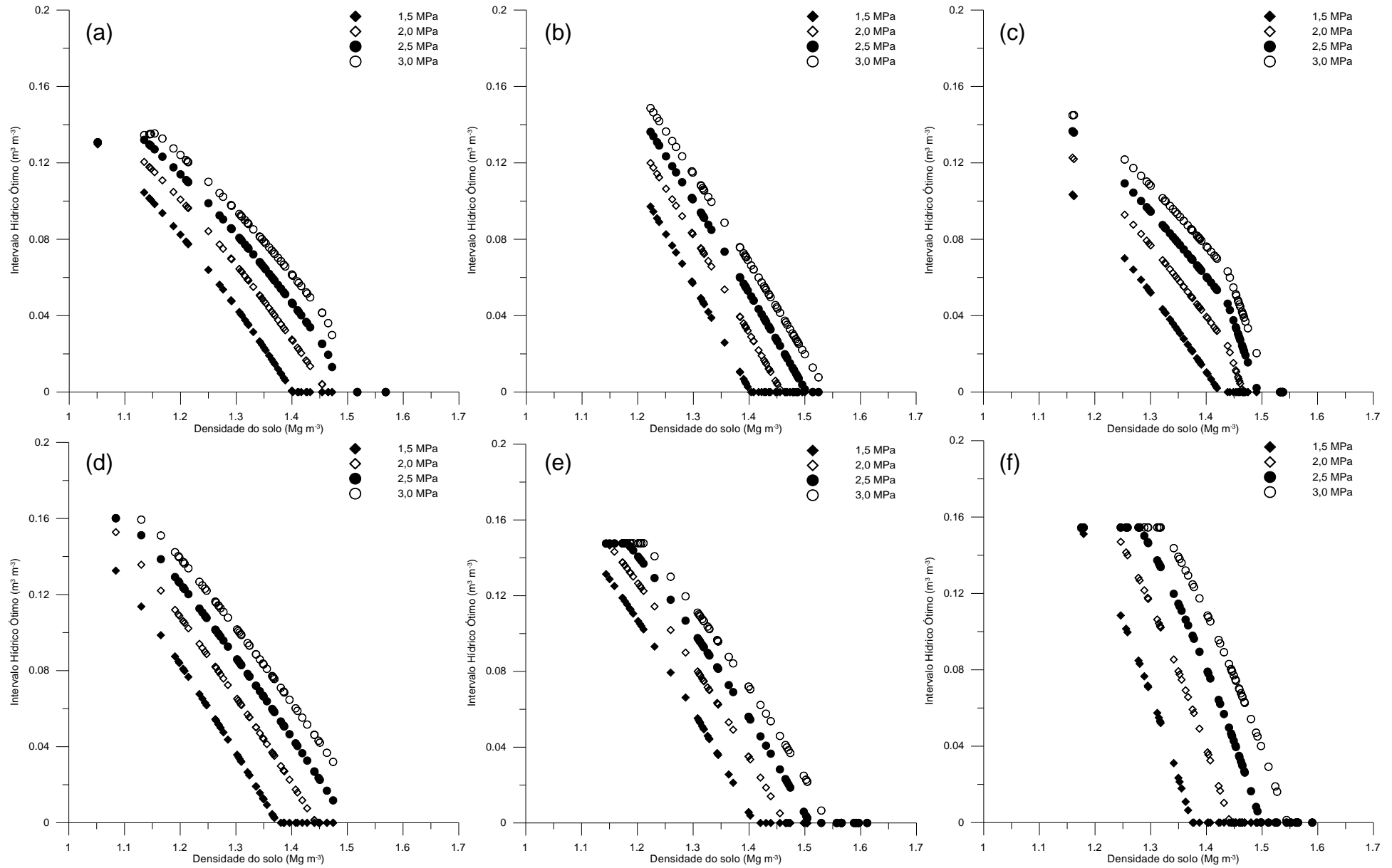


Figura 3.10 - Intervalo Hídrico Ótimo em diferentes níveis críticos de resistência mecânica do solo a penetração. a) T1; b) T4; c) T5; d) T7; e) T8 e f) T9.

3.6 Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

1. Dos tratamentos cultivados com as diferentes plantas de cobertura, considerando os diferentes conceitos de θ_{CC} e θ_{PMP} , o tratamento com hemária (T1) apresenta valores de IHO próximos aos do solo natural (T9).

2. Há uma redução média nos valores de IHO de 25, 65 e 55 % quando se altera os potenciais de água no solo na capacidade de campo de, respectivamente, -0,006 para -0,01 MPa; -0,006 para -0,033 MPa e -0,01 para -0,033 MPa. Mudanças dos potenciais no ponto de murcha permanente de -0,5 MPa; -1,0 MPa e -1,5 MPa praticamente não alteram os valores de IHO.

3. As maiores variações do IHO, em relação às mudanças nos limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração ocorreram no tratamento T9 (solo natural). Com relação às plantas de cobertura, a Hemária apresentou os menores aumentos enquanto que a Grama tifton (T5) e a Pensacola (T4) os maiores.

4. Os valores médios de densidade do solo (D_s) foram menores que os da densidade considerando o IHO (D_{s_c}) em todos os tratamentos considerando os conceitos de θ_{PMP} (0,5; 1,0 e 1,5 MPa), θ_{RP} de 2 MPa, θ_{CC} (0,006 e 0,01 MPa) e θ_{PA} de 10 %. No entanto, quando o conceito de θ_{CC} é modificado para 0,033 MPa, os valores médios de D_s são maiores do que os da D_{s_c} nos tratamentos Pensacola (T4) e Solo natural (T9).

5. Para uma condição de plantas mais resistentes a compactação (resistência mecânica do solo à penetração de 3 MPa), os tratamentos Hemária (T1) e Grama tifton (T5) apresentam os menores valores de D_{s_c} . Na situação de plantas menos resistentes (resistência mecânica do solo à penetração igual a 1,5 MPa), a menor D_{s_c} foi observada no tratamento Controle (T7).

3.7 Referências Bibliográficas

BEUTLER, Amauri Nelson. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agronômicas de soja e arroz de sequeiro**. 2003. 126f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de ciências agrárias e veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num Latossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.273-281, 2009.

BLAKE, G. R., HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.

BRADFORD, J. M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.601-606, 1980.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.33, p.519-523, 1990.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.137-147, 2006.

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. Disponível em: <http://www.tropicalforages.info/>. Acesso em: 15 jan. 2010.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P.; Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. Informações agropecuárias n.125 – Março/2009. Disponível em: <http://www.manah.com.br>. Acesso em 22 dez. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**, 2 ed, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**, 2 ed, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.

GARDNER, W. H. Water content. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.493-544.

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**. Pelotas-RS, 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em

Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2008.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. F. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.32, p.180-6, 1968.

GUEBERT, M. D.; GARDNER, T. W. Macropore flow on a reclaimed surface mine: infiltration and hillslope hydrology. **Geomorphology**, v.39, p.151-169, 2001.

IMHOFF, S.; PIRES, A. P.; JUNIOR, D. M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um solo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.845-855, 2009.

KÄMPF, N. et al. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do baixo Jacuí (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.79-88, 1997.

KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil structure. In: SUMNER, M.E., ed. **Handbook of soil science**. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American
LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Ed. UNESP, P.253, 2003.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.415-423, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**, v.1, p.277-294. 1985.

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

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.

QUINÕES, O. R. G.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A.; DICK, D. P.; Características de solos construídos após mineração de carvão relacionadas ao

processo de construção e à composição do material utilizado. **Ciência Rural**, v.38, n.6, p.1564-1571, 2008.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

SAVAGE, M. J.; RITCHIE, J. T.; BLAND, W. L.; DUGAS, W. A. Lower limit of soil water availability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 844-851, 1996.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1775- 1781, 1994.

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.

SILVA, Vanderlei Rodrigues. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Santa Maria-RS, 2003. 192f. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:211-219, 2007.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Tillage Research**, v.52; p.223-232, 1999.

VAN DEN BERG, B. P. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a shrotgrass praire site. **Journal of Range Management**, v. 35, p. 586-588, 1997.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P., SMECK, N.E., HALL, G.F., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy: 1. concepts and interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.83-116.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal Soil Research**, v.28, p.947-958, 2000.

4 COMPRESSIBILIDADE DE UM SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE CARVÃO CULTIVADO COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA

4.1 Resumo - Uma das estratégias para a prevenção da compactação em solos construídos em áreas de mineração de carvão envolve a utilização de plantas de cobertura e a aplicação de pressões externas que não excedam a capacidade de suporte de carga do solo. Objetivou-se quantificar a pressão de preconsolidação (σ_p), o índice de compressão (IC) e o grau de compactação (GC) de um solo construído na área de mineração de carvão sob diferentes plantas de cobertura. O experimento foi realizado na área de mineração de carvão de Candiota (RS), em um delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos testados foram: T1 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T4 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flügge), T5 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), T7 - Controle (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), T8 - solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e T9 - Solo natural. O solo natural foi classificado como Argissolo Vermelho eutrófico típico. Após saturadas com água e equilibradas no potencial mátrico (ψ_m) de -0,01 MPa, as amostras foram pesadas e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial com a aplicação sucessiva e contínua de pressões de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Os valores de σ_p encontrados foram de: 71, 120, 120, 118, 146 e 151 kPa, respectivamente para os tratamentos T1, T4, T5, T7, T8 e T9. A maior variação encontrada nos valores de σ_p pode ser explicada pela redução da densidade e aumento da porosidade total destes solos devido à utilização de diferentes espécies de plantas de cobertura. No entanto, sugere-se que o maior valor de σ_p do T9 deve-se ao histórico de utilização agrícola da área. A utilização de plantas de cobertura de um modo geral reduz a pressão de preconsolidação do solo em relação ao solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e ao solo natural.

Palavras chave: pressão de preconsolidação, índice de compressão, densidade do solo.

COMPRESSIBILITY OF A CONSTRUCTED SOIL IN COAL MINING AREA CULTIVATED WITH DIFFERENT COVER CROPS

4.2 Abstract - One of the strategies for the prevention of soil compaction of constructed soil in coal mining area involves the use of cover crops and application of external pressure that do not exceed the load capacity of the soil. The objective was to quantify the pre-consolidation pressure (σ_p), the compression index (CI) and the degree of compaction of soil built in the area of coal mining under different cover crops. The experiment was conducted in the coal mining of Candiota (RS) in a randomized block design with 4 replications. The treatments were: T1 - *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & CE Hubbard, T4 - *Paspalum notatum* Flügge, T5 - *Cynodon dactylon* (L.) Pers. T7 - *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf, T8 - constructed soil without the implementation of cover crops and T9 - natural soil. The natural soil was classified as Typic Hapludalf. The samples were saturated with water and equilibrated at matric potential (ψ_m) of -0,01 MPa, after they were weighed and subjected to a uniaxial compression test with repeated application and continuous pressures of 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa. The values found were: 71, 120, 120, 118, 146 and 151 kPa, respectively for T1, T4, T5, T7, T8 and T9. The greatest variation found in σ_p values can be explained by the reduction in the bulk density and increased porosity of soil through the use of different species of cover crops. However, it is suggested that the greatest value of σ_p for T9 is due to historical agricultural use of the area. The use of cover crops in general reduces the pre-consolidation pressure of the soil compared with the soil constructed and without the implementation of cover crops, and the natural soil

Key words: pre-consolidation pressure, compression index, bulk density soil.

4.3 Introdução

As reservas brasileiras de carvão mineral atingem 32 bilhões de toneladas, sendo que aproximadamente 89% encontram-se no Estado do Rio Grande do Sul (SEMC, 2009). Apesar de importante recurso energético, a exploração do carvão mineral é responsável pela produção e pelo acúmulo desordenado de grandes volumes de rejeitos, tanto por ocasião da remoção do solo e das camadas geológicas subjacentes como pela posterior recomposição topográfica, a qual envolve a utilização de máquinas de grande porte que podem comprometer a qualidade física do solo tornando-o compactado.

A compactação excessiva destes solos foi constatada por Torbert et al. (1990), Bell et al. (1994) e Andrews et al. (1998) como sendo um dos fatores mais determinantes para o crescimento das plantas nestas áreas. Por outro lado, o uso de plantas que atuam como descompactadoras constitui-se uma importante estratégia de manejo em sistemas intensivos de produção (JIMENEZ et al., 2008), fazendo-se oportuno o conhecimento a respeito da adaptabilidade e eficiência de recuperação da qualidade estrutural do solo por parte da espécie vegetal utilizada (HAMZA; ANDERSON, 2005). Espécies de plantas com sistema radicular agressivo, além de oferecerem proteção da superfície do solo formam poros responsáveis pelo aumento do movimento de água e a difusão de gases (MÜLLER et al., 2001). As plantas descompactadoras apresentam potencial de rompimento de camadas de impedimento mecânico, além de contribuírem para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). A manutenção de condições físicas adequadas ao crescimento das plantas está relacionada com a preservação da estrutura do solo e pode ser alcançada por meio do conhecimento do comportamento compressivo e do monitoramento das operações mecanizadas (SEVERIANO et al., 2008).

A quantificação da compactação de um solo construído em área de mineração pode ser incrementada a partir da utilização de medidas de compressão, obtidas por meio de ensaios de compressão uniaxial, como a pressão de preconsolidação (σ_p) que é um parâmetro indicativo da capacidade de suporte de carga do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), e o índice de compressão (IC) (CASAGRANDE, 1936; LARSON et al., 1980; HOLTZ; KOVACS, 1981) que juntamente com o grau de compactação (GC) são parâmetros considerados indicadores da suscetibilidade do solo à compactação. Estas medidas, além de

auxiliarem na análise do processo de compactação (GUPTA; ALLMARAS, 1987; FRITTON, 2001) têm sido utilizadas na adequação de máquinas que exerçam menores pressões sobre o solo (PYTKA; DABROWSKI, 2001).

Vários trabalhos (LARSON; GUPTA, 1980; REINERT, 1990; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999; SILVA et al., 2000; IMHOFF et al., 2001) têm utilizado a pressão de preconsolidação como estimativa da capacidade de suporte de carga do solo. A aplicação de pressões menores que a pressão de preconsolidação causa deformações elásticas (recuperáveis) no solo, enquanto que a aplicação de pressões mais elevadas causa deformações plásticas, não recuperáveis (HOLTZ; KOVACS, 1981).

Existem poucas informações a respeito dos efeitos produzidos pelas plantas de cobertura sobre a capacidade de suporte de carga e a susceptibilidade do solo à compactação, especialmente em áreas de mineração. É possível que esta prática influencie a σ_p , o IC e o GC, uma vez que, plantas de cobertura atuam na agregação e na estrutura do solo (WOHLENBERG et al., 2004). Este fato deve-se ao aporte de resíduos orgânicos e exsudatos radiculares e à ação mecânica das raízes (OADES, 1993). A resistência à deformação tende a ser menor em solos agregados (VEIGA et al., 2007), assim como a resistência dos agregados à ruptura pode aumentar com o incremento do teor de matéria orgânica do solo (IMHOFF, 2002). Em contrapartida, a formação de agregados maiores, ao aumentar os macroporos e reduzir a densidade do solo (D_s), pode diminuir a capacidade de suporte de carga do solo (RÜCKNAGEL et al., 2007).

É de se esperar que diferentes plantas de cobertura afetem diferentemente os atributos físicos de solos construídos em área de mineração de carvão, principalmente os relacionados com a compactação do solo. Assim, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a pressão de preconsolidação, o índice de compressão e o grau de compactação em um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.

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 - RS, pertencente à Companhia Riograndense de Mineração (CRM). O município de Candiota, cujas coordenadas geográficas são 31° 33' 51,8" de latitude sul e 53° 43'

28,1" 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 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 - Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C. E. Hubbard), T2 - Grama Tifton (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) + Amendoim forrageiro (*Arachis pinto*); T3 - Hemátria + Amendoim forrageiro; T4 - Pensacola (*Paspalum notatum* Flüggé), T5 - Grama Tifton T6 - Pensacola + Amendoim forrageiro; T7 - Controle (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf), (Fig. 4.1).

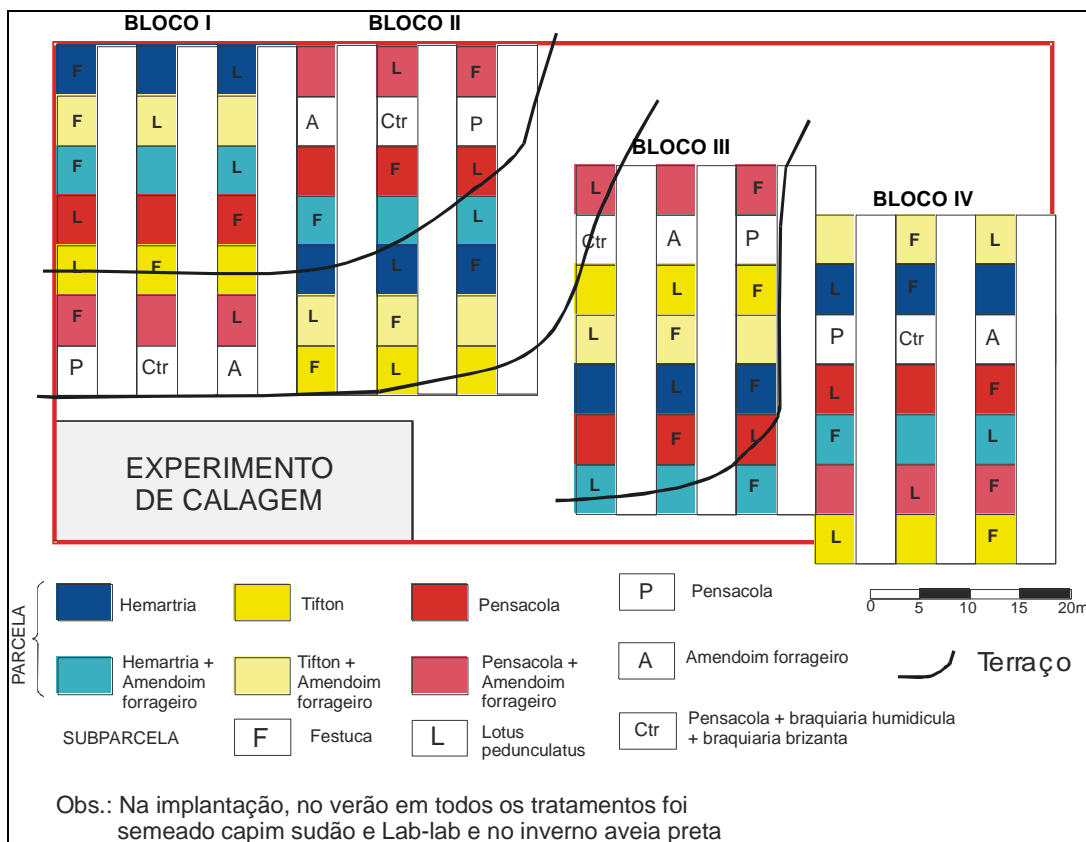


Figura 4.1 - Localização das áreas experimentais e croqui do Experimento.

Os tratamentos consorciados com o amendoim forrageiro (T2, T3 e T6), não se estabeleceram ao longo do tempo, conforme consta no Relatório Técnico do Projeto CRM (2007). Assim, estão sendo mantidos apenas os tratamentos com os cultivos solteiros, isto é, Hemária (T1), Pensacola (T4), Grama tifton (T5) e Controle (T7). No entanto, para efeito de comparação foram acrescentados mais dois tratamentos, ou seja, T8 - Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura, sendo que o mesmo não sofreu tráfego intenso de máquinas (coletas realizadas ao lado do experimento) e T9 - Solo natural da frente de mineração (Fig. 4.2). Este último pode ser considerado como o solo no estado imediatamente anterior à extração de carvão.

A caracterização granulométrica com a respectiva classe textural, a análise de carbono orgânico e a densidade de partículas dos tratamentos são apresentados na tab. 4.1. O fato de o solo construído apresentar o dobro de argila em relação ao solo natural está relacionado à utilização do horizonte B do solo natural na construção deste solo.

Tabela 4.1 - Granulometria, teores de carbono orgânico (CO), densidade de partículas (Dp) e classificação textural da camada superficial (0,0 - 0,05 m) de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	Argila	Areia	Silte	CO	Dp	Classe Textural
	----- g kg ⁻¹ -----				Mg m ⁻³	
T1	463,67	298,08	238,30	7,60	2,60	Argilosa
T4	474,21	291,88	233,90	7,69	2,63	Argilosa
T5	469,65	283,81	246,80	8,16	2,61	Argilosa
T7	452,55	289,66	257,70	7,78	2,60	Argilosa
T8	456,66	311,70	231,50	6,98	2,63	Argilosa
T9	227,20	483,60	289,10	19,57	2,58	Franca
Média	423,99	326,46	249,55	9,63	2,61	
CV (%)	23,00	24,00	9,00	50,00	0,8	

T1- Hemária altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.

Por ocasião da instalação do experimento, o solo foi escarificado 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⁻¹ de calcário com PRNT de 100% e uma adubação correspondente a 900 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20. Além disto, foram realizadas em todos os períodos correspondentes à estação da primavera (outubro/novembro) adubações nitrogenadas utilizando sulfato de amônio na dose de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio e capinas manuais com enxada, sempre que surgissem invasoras na área.

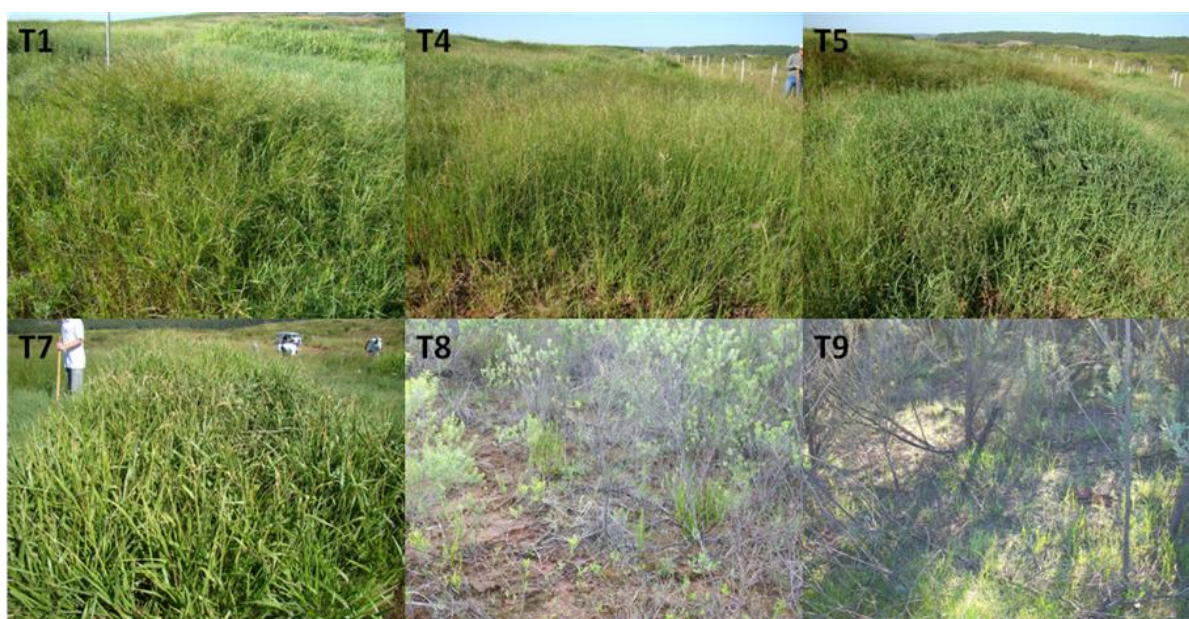


Figura 4.2 - Vista geral dos tratamentos avaliados no estudo. T1- Hemártria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.

Foram coletadas amostras indeformadas em abril de 2009, na camada de 0,00 a 0,05 m, com o uso de cilindros de inox de 3 cm de altura por 4,85 cm (oito repetições por tratamento). No laboratório de física do solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), as amostras foram saturadas por capilaridade durante um período mínimo de 24 horas, pesadas e equilibradas ao potencial matricial de -0,006 MPa em mesa de tensão para a determinação da macroporosidade (Ma) (EMBRAPA, 1997) e, posteriormente, ao potencial matricial de -0,01 MPa, em uma câmara de Richards (KLUTE, 1986), para os ensaios de compressão uniaxial.

Os testes de compressão uniaxial foram realizados em um consolidômetro automático Modelo CNTA-IHM/BR fabricado pela Masquetto Automação Agrícola (Fig. 4.3). As amostras com estrutura preservada foram submetidas à aplicação de pressões sucessivas e estáticas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, conforme metodologia descrita por Silva et al. (2007). Encerrado o ensaio, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, para a determinação do cálculo da densidade do solo (D_s) (BLAKE & HARTGE, 1986), microporosidade (M_i) e da porosidade do solo (P_t) (EMBRAPA, 1997).



Figura 4.3 - Consolidômetro automático utilizado na determinação dos parâmetros compressivos.

As curvas de compressão foram obtidas plotando-se os valores de D_s no eixo das ordenadas (y) e o logaritmo da pressão aplicada no eixo das abscissas (x). A σ_p foi calculada por meio da metodologia descrita por Dias Junior e Pierce (1995). Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, as curvas de compressão foram normalizadas, dividindo a densidade do solo ao final da aplicação de cada carga no teste de compressão pela densidade inicial (D_s/D_{si}).

O índice de compressão (IC) correspondeu à tangente do ângulo de inclinação da reta de compressão virgem.

A normalização da densidade do solo denota o “grau de compactação” ou “compactação relativa” do solo, que foi definida conforme as equações (1), (2) e (3).

$$GC = 100D_s / D_{s_{ref.}}(D_{s_{ap}}) \quad (1)$$

$$GC = 100D_s / D_{s_{ref.}}(200kPa) \quad (2)$$

$$GC = 100D_s / D_{s_{ref.}}(1600kPa) \quad (3)$$

Onde:

GC= Grau de compactação (%);

D_s = Densidade atual do solo ($Mg\ m^{-3}$);

$D_{ref.}$ = Densidade do solo em um estado de referência obtido em laboratório ($Mg\ m^{-3}$).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%, utilizando o sistema de análise Estatística, Winstat (MACHADO et al., 2002).

4.5 Resultados e Discussão

Os atributos físicos densidade do solo (D_s), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo construído de mineração de carvão em Candiota - RS são apresentados na tab. 4.2.

Os tratamentos constituídos pelo solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) e o solo natural (T9) não foram comparados estatisticamente com os outros tratamentos, pois estão em condições diferentes dos

demais, no entanto, servem respectivamente como referência do solo construído de mineração e também da condição original do solo natural.

Tabela 4.2 - Densidade (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	Ds	Pt	Ma	Mi
	Mg m ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----		
T1- Hemártria altíssima	1,36 b	0,47 a	0,14 a	0,33 b
T4- Pensacola	1,46 a	0,45 b	0,11 ab	0,34 b
T5- Grama Tifton	1,43 a	0,47 a	0,10 b	0,37 a
T7- Controle	1,41 a	0,46 ab	0,12 ab	0,34 b
Média	1,42	0,46	0,11	0,34
CV (%)	4,18	2,07	16,75	4,89
T8 - Solo construído*	1,46	0,44	0,12	0,33
T9 - Solo natural	1,47	0,42	0,08	0,34

Médias seguidas pela mesma letra no sentido da coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5%, *Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura.

A Hemártria (T1) apresentou Ds significativamente menor quando comparado aos demais tratamentos, além de maior valor de Ma, evidenciando que as plantas de Hemártria (T1) tem efeito benéfico no processo de recuperação deste solo provavelmente devido ao sistema radicular mais agressivo atingindo maiores profundidades.

Os tratamentos do solo construído apresentaram valores inferiores de Ds, superiores de Pt e Ma e praticamente iguais de Mi quando comparados ao solo natural (T9). O fato de o solo construído apresentar menores valores de Ds quando cultivado com as plantas de cobertura, pode estar relacionado ao efeito agressivo do sistema radicular das gramíneas utilizadas neste estudo. O menor valor de Pt e Ma do tratamento solo natural (T9) em relação ao solo construído, segundo Franco (2006) e Gonçalves (2008), 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 tratamentos T1, T7, T5 e T4 apresentaram, respectivamente, valores médios de D_s de 1,36; 1,41; 1,43 e 1,46 Mg m^{-3} . Para solos com textura argilosa, (classe textural predominante neste estudo), a densidade crítica do solo situa-se entre 1,30 e 1,40 Mg m^{-3} (REICHERT et al., 2003). Levando-se em conta a textura, os tratamentos T7, T4 e T5 apresentaram valores de D_s superiores ao limite crítico proposto por Reichert et al. (2003).

As curvas de compressão, para cada tratamento no potencial mátrico (ψ_m) - 0,01 MPa, são apresentadas na fig. 4.4 (a e b). Observou-se um maior deslocamento dos valores de densidade em função das pressões aplicadas do tratamento (T1) em relação aos demais, o que se confirma através das curvas normalizadas (Fig. 4.4 b). Cabe ressaltar que o tratamento T1 e os tratamentos T8 e T9 apresentam maior e menor suscetibilidade à compactação, respectivamente.

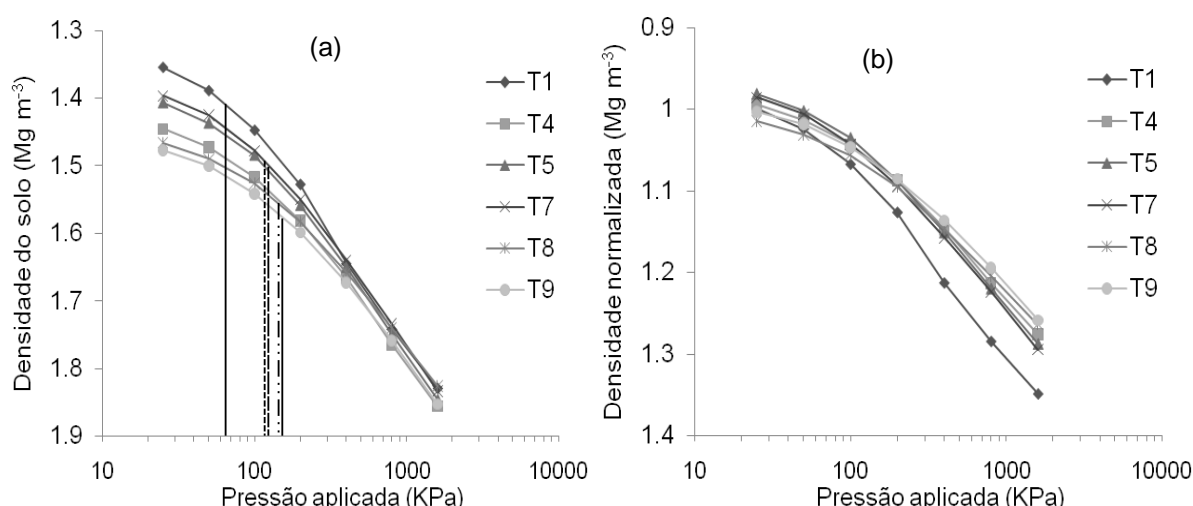


Figura 4.4 - Curvas de compressão (a) e curvas de compressão normalizada (b) dos tratamentos de um solo construído em área de mineração de carvão, Candiota - RS. T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração, no potencial mátrico (ψ_m) -0,01 MPa. As linhas verticais separam as duas regiões na curva de compressão uniaxial (CCS = curva de compressão secundária e RCV = reta de compressão virgem).

Essa maior densidade inicial e conseqüente menor deformação no tratamento solo natural (T9) é resultado do acúmulo de pressões que o solo já sofreu no passado. Os tratamentos com menor compactação apresentam maior deformação e mostram serem mais suscetíveis à compactação. Guérif (1994) afirma que a deformação do solo pode ocorrer quando as partículas são capazes de se separar e

mover em direção a outra, sendo estes movimentos limitados pela fricção e ligações entre partículas. Quanto mais denso o solo e mais arranjadas às partículas, maiores as forças de fricção, principais responsáveis pela resistência.

Os valores de pressão de preconsolidação (σ_p), índice de compressibilidade (IC), densidade crítica na pressão de preconsolidação ($D_{s\sigma p}$) e umidade gravimétrica (U_g) após seis anos de construção do solo na área de mineração de carvão em Candiota - RS são apresentados na tab. 4.3.

Tabela 4.3 - Pressão de preconsolidação (σ_p), índice de compressibilidade (IC), densidade crítica na pressão de preconsolidação ($D_{s\sigma p}$) e umidade gravimétrica (U_g) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	σ_p	IC	$D_{s\sigma p}$	U_g
	----- kPa -----	-----	Mg m ⁻³	kg kg ⁻¹
T1- Hemária	71 b	0,31 a	1,40 b	0,2240 a
T4- Pensacola	120 a	0,31 a	1,51 a	0,2260 a
T5- Grama Tifton	120 a	0,33 a	1,47 ab	0,2430 a
T7- Controle	118 a	0,33 a	1,46 ab	0,2300 a
Média	106	0,31	1,46	0,2315
CV (%)	23	6,75	3,90	7,11
T8 - Solo construído*	146	0,28	1,59	0,2168
T9 - Solo natural	151	0,32	1,51	0,2093

Médias seguidas pela mesma letra no sentido da coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan, para o nível de significância de 5%, *Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura.

Os maiores valores de σ_p obtidos nos tratamentos com solo construído sem a implantação de plantas de cobertura (T8) e solo natural (T9) podem ser atribuídos a utilização respectivamente de máquinas pesadas no processo de construção do solo e ao histórico de utilização agrícola da área antes da mineração. Segundo informações pessoais de funcionários da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), esta área era utilizada com culturas anuais em um sistema de rotação trigo-soja e eventualmente com pastagem para produção animal.

Os valores médios de σ_p dos tratamentos T1, T4, T5, e T7 foram inferiores ao do tratamento de referência (solo construído sem a implantação de plantas de

cobertura (T8)), fato que pode ser explicado ao processo de reestruturação do solo provocado pelo efeito das plantas de cobertura, principalmente no T1.

Diferentes valores de pressão de preconsolidação têm sido sugeridos na literatura. Kanali et al. (1997) indicam que a compactação pode ser crítica ao desenvolvimento das culturas a valores superiores a 121,5 kPa, para solos com umidade e densidade média, respectivamente, de 0,23 Kg Kg⁻¹ e 1,40 Mg m⁻³. Por outro lado, Soane et al. (1981) indicaram pressões inferiores a 200 kPa e, preferencialmente, a 100 kPa para um efetivo controle e redução da compactação do solo. No entanto, é importante salientar que a umidade do solo, textura e estrutura do solo podem alterar esses valores sugeridos.

A suscetibilidade do solo à compactação não apresentou diferenças entre os tratamentos com as plantas de cobertura, fato que pode estar mais associado à semelhança de textura do solo em que os tratamentos foram implantados do que propriamente à diferença de manejo do solo.

De modo geral a $D_{s_{op}}$ refletiu as diferenças obtidas nos valores de σ_p e percebeu-se que solos com D_s mais elevadas apresentaram maior σ_p .

Para a determinação do grau de compactação de um solo construído em área de mineração de carvão foram utilizados diferentes conceitos de densidade de referência. Essa simulação teve como objetivo obter valores de referência o mais próximo da condição real. Dentre as três pressões pré-estabelecidas anteriormente, a pressão de 200 kPa foi escolhida pois, observou-se que se fossem utilizados os valores de referência da $D_{s_{op}}$, os resultados do grau de compactação seriam muito elevados. O contrário foi observado quando foram utilizadas D_s de referência em pressão elevadas (Fig. 4.5). Sendo assim, a pressão de 200 kPa foi escolhida, uma vez que limitados volumes de solo são submetidos a pressões acima desse valor pela maioria dos veículos agrícolas.

Observou-se que o grau de compactação do tratamento cultivado com Hemátria (T1) na $D_{s_{ref}}$ de 200 kPa foi inferior aos tratamentos considerados como referência (T8 e T9) (Fig. 4.5). De modo geral as plantas de cobertura reduziram o grau de compactação, ou seja, os tratamentos que apresentaram o menor grau de compactação respectivamente serão mais eficientes na recuperação do solo, no entanto poderão ser mais susceptíveis a compactação.

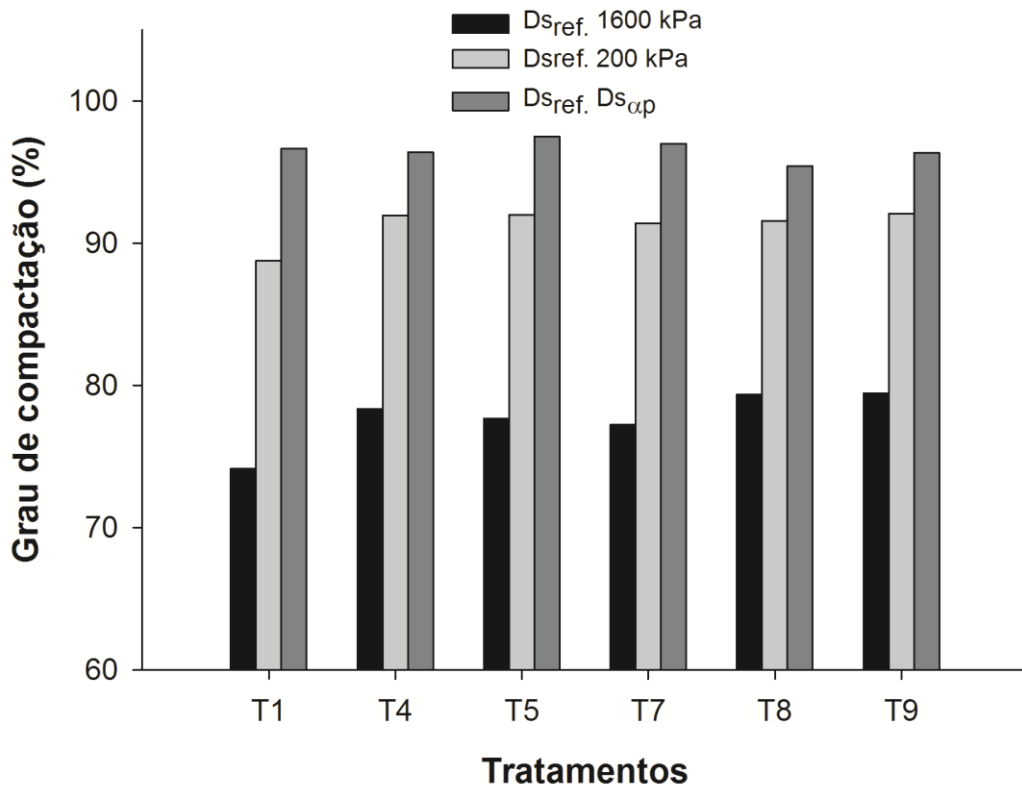


Figura 4.5 - Grau de compactação de um solo construído na área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura. T1- Hemária altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural da frente de mineração.

4.6 Conclusões

A Hemária (T1) apresenta um menor grau de compactação, um menor valor de pressão de preconsolidação e, conseqüentemente uma maior suscetibilidade à compactação, sendo confirmado o efeito benéfico desta planta no processo de reestruturação do solo.

A utilização de plantas de cobertura de um modo geral reduz à pressão de preconsolidação do solo em relação ao solo construído sem a implantação de plantas de cobertura e ao solo natural.

4.7 Referências Bibliográficas

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; VAN DER LINDEN, J. P.; PIRES, S.; SOMMERF, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field

traffic induced subsoil compaction: A review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.145-160, 2003.

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

BELL, J. C.; CONNINGHAM, R. L.; ANTONY, C. T. Morphological characteristics of reconstructed prime farmland soils in western Pennsylvania. **Journal of Environmental Quality**, v.23, p.515-520, 1994.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. Madison : ASA, 1986. p.363-375.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CASAGRANDE, A. **The determination of the pre-consolidation load and its practical significance**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1936, Cambridge. Proceedings... Cambridge: MA Harvard University, 1936. p.60-64.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, v.8, p.139-151, 1995.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), **Manual de métodos de análise de solos**, 2 ed, Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**, 2, ed, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.

FRANCO, Ândrea Machado Pereira. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. Pelotas-RS, 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2006.

FRITTON, D. D. An improved empirical equation for uniaxial soil compression for a wide range of applied stresses. **Soil Science Society of America Journal**, V.65, p.678-684, 2001.

GUÉRIF, J. Effects of compaction on soil strength parameters. In: SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. (Eds.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 191-214.

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**. Pelotas-RS, 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2008.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advanced Soil Science**, v.6, p.5-10, 1987.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 733p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

IMHOFF, Silvia. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002, 94p, (Tese de Doutorado)

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V. de; ASSIS, R. L. de; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.116-121, 2008.

KANALI, C. L.; KAUMBUTHO, P. G.; MAENDE, C. M.; KAMAU, J. The use of soil compaction levels in the selection of the field-safe sugarcane transport vehicles, **Journal of Terramechanics**, v,34, p,127-140, 1997.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.211-218, 1999.

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

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.1127-1132, 1980.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.450-457, 1980.

MACHADO, A. A. et al. **Sistema de Análises Estatísticas para Windows – WINSTAT** (Versão 2.11), Pelotas: Núcleo de Informação Aplicada UFPel, 2002.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v.56, p.337-400, 1993.

PYTKA, J.; DABROWSKI, J. Determination of stress-strain relationship for sandy soil in field experiments. **Journal of Terramechanics**, v.38, p.185-200, 2001.

REINERT, Dalvan José. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf**. 1990. 128f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Michigan State University, Michigan, 1990.

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

RÜCKNAGEL, J.; HOFMANN, B.; PAUL, R.; CHRISTEN, O.; HÜLSBERGEN, K. J. Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. **Soil and Tillage Research**, v.92, p.213-220, 2007.

SEMC – Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/>. Acesso em: 23 dez. 2009.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1419-1427, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.239-249, 2000.

SILVA, R. B.; MASQUETTO, B. J.; LANÇAS, K. P. Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2007, Gramado. Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira. Viçosa: SBCS, 2007. V 1.

SOANE, B. D.; BLACKWELL, P. S.; DICKSON, J. W.; PAINTER, D. J. Compaction by agricultural vehicles: A review, II, Compaction under tyres and other running gear. **Soil and Tillage Research**, v.1, p.373-400, 1981.

SOANE, B. D. et al. Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear. **Soil and Tillage Research**, v.1, p.373-400, 1981.

TAYLOR, H. M. **Effects of soil strength on seedling emergence, root growth, and crop yield**. In: BARNES, K.K., org, Compaction of Agricultural Soils, St, Joseph, ASAE, 1971, p.292-305.

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

TORBERT, J. L.; BURGER, J. A.; DANIELS, W. L. Pine growth variation associated with overburden rock type on a reclaimed surface mine in Virginia. **Journal of Environmental Quality**, v.19, p.88-92, 1990.

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

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.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que a Hemátria (T1) é a planta de cobertura mais indicada para ser utilizada no processo de reestruturação de um solo construído em área de mineração de carvão, mostrando-se bastante promissora na melhoria da qualidade física do solo.

Espera-se com este resultado, contribuir aos avanços técnicos e científicos relacionados aos problemas físicos do solo, melhorando assim, o entendimento e a tomada de decisão na escolha da melhor espécie vegetal a ser utilizada na área.

Como sugestão de pesquisas, faz-se necessário avaliar camadas de solo subsuperficiais, com o intuito de entender melhor o comportamento das plantas de cobertura avaliando periodicamente os tratamentos e relacionando-os com a produção vegetal.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, Maria Ivanilda de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Viçosa-MG, 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- ANDREWS, J. A., JOHNSON, J. E., TORBERT, T. L. Minesoil and site properties associated with early height growth of eastern white pine. **Journal Environmental Quality**, v.27, p.192-199, 1998.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.
- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, p.25-31, 1992
- BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. *Revista Escola de Minas*, v.59, n.1, 2006.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure - evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. Ch.5, p.178-223.
- 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.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2005. 611 p
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.639-45, 2006.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; GUIMARÃES, R. M. L. Intervalo hídrico ótimo num Latossolo Vermelho distroférrico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 273-281, 2009.
- BLAKE, G. R., HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13.ed. New Jersey, Pearson Education, 2002. 960p.

BRADY, N. C.; WEILL, R. R. **The nature and properties of soil**. (14 ed.) Harlow: Prentice Hall, 2008. 980 p.

BRADFORD, J.M. & GUPTA, S.C. Compressibility. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.279-492.

BRIGGS, L. J. & SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. p. 7-83. In: USDA Bureau of Plant Industry Bull. 1912.

BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Bur. Soils., 38:1-61, 1907.

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

BUNSE, H. A. W. **A mineração de carvão no Rio Grande do Sul** – Secretaria de Minas Energia e Comunicações do RS. Porto Alegre – RS, 111 p, 1984.

BUSSLER, B. H., BYRNES, W. R.; POPE, P. E. Properties of minesoil reclaimed for forest land use. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.178-184, 1984.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.3, p.519-524, 1990.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, v.16, p.51-70, 1990.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132 p.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: Klute, A. (ed.) **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: SSSA, 1986. p.901-926.

COLMAN, E. A. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. **Soil Science**, v.63, p.277-283, 1947.

CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.cgtee.gov.br>. Acesso e: 11 dez. 2009.

CHAN, K. Y. Bulk density. In: LAL, R. (Ed.) **Encyclopedia of Soil Science**. 2 ed. New York: Taylor & Francis, 2006. p. 128-130.

CRM - Companhia Riograndense de Mineração. Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2009.

CRESSWELL, H. P.; HAMILTON, G. J. Bulk density and pore space relations. In: **Soil physical measurement and interpretation for land evaluation**. (eds. McKenzie, N., Coughlan, K., and Cresswell, H.) CSIRO, Australia, p. 3-58, 2002.

CULLEY, J. L. B. Density and compressibility. In CARTER, M. R. (Ed.) **Soil Sampling and Methods of Analysis**, Boca Raton; Ann Arbor; London: Lewis Publishers, 1993, p. 529-539.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120:201-214, 2004.

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

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.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al., (Ed.). **Defining Soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of American/American Society of Agronomy, 1994. p.3-21. (SSSA special publication,35).

EAVIS, B. W. Soil physical condition affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant Soil**, v.36, p.613-622, 1972.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.947-953, 2003.

FRANCO, A. M. P. **Caracterização física de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota,- RS**. Pelotas-RS, 2006. 124f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2006.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; PERES, F. S. C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II – Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.805-818, 2009.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos: principios y aplicaciones**. México: 1973. 351p.

GARDNER, W. The capillarity potential and its relation to soil-moisture constants. **Soil Science**, v.10, p.357-359, 1920.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, n.2, p.367-375,1994.

GUADAGNIN, C. A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Taxa de infiltração estável da água ao longo de transeções em solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**. V.13, p. 337-342, 2007.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego : Academic Press, 1998. 771p.

HORN, H.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: Soane, B.D.; Ouwkerk van. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. 662 p.

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.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p.1493-1500, jul. 2000.

IMHOFF, S.; PIRES, A. P.; DIAS JUNIOR, M.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um solo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.845-855, 2009.

KÄMPF, N. et al. Propriedades, pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na bacia carbonífera do baixo Jacuí (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.79-88, 1997.

KAMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da Bacia Carbonífera In: Centro de Ecologia – UFRGS. **Carvão e Meio Ambiente**. Porto Alegre: Ed. Universidade, 2000. p. 596-640.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G., HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; EASH, N. S.; UNGER, P. W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. **American Journal. Alternative Agriculture**, n.7, p. 48-55, 1992.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.497-506, 1999.

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

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.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.

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

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **Conservation and enhancement of soil quality**. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., 1991, Bangkok. Proceedings... Bangkok: [s.e.], 1991. v.2. p.

LEÃO, Tairone Paiva. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Física do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.415-423, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**, v.1, p.277-294. 1985.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A.C.R. **Qualidade física do solo: Indicadores quantitativos** (n. 196). Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2007

LOPES, M. A. R. **Código Civil**. 5 ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000, 69p.

MENDES FILHO, Paulo Furtado. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004. 89f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

MESQUITA, B. A.; PORTO, M. P.; ALVES, F. A. R. **Cobertura vegetal x erosão**. Informe Agropecuário. EPAMIG, v.16. n.176, p.57-61, 1992.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963–969, maio/jun. 2004.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. **Desenvolvimento de raízes em solos compactados**. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.38, n.357, p.42-43, 1985.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L.; DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção. **Scientia Agrícola**, v.50, p.383-392, 1993.

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.

NUNES, Maria Candida Duarte. **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.

PHENE, C. J.; BEALE, O. W. High-frequency irrigation for water nutrient management in humid regions. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, p.430-436, 1976.

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., 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, RS: FEPAM, 2002. p.69-92.

POTTER, K.N., CARTER, F. S.; DOLL, E. C. Physical properties of constructed and undisturbed soils. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.1453-1438, 1988.

QUINOÑES, OSCAR Rafael Gadea. **Caracterização e gênese de solos construídos após mineração de carvão na mina Boa Vista, Município de Minas do Leão, RS**. Porto Alegre – RS, 2004, 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 2004.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORT, H. Effect of soil carbon on soil water retention. **Geoderma**, 116:61-76, 2003.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

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

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

RICHARDS, L. A. The usefulness of capilarity potential to soil moisture and plant investigators. **J. Agric. Res.**, 37:719-742, 1928.

RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. Fitten-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. **Soil Science**, v.56, p.331-339, 1943.

RIGOTTI, N. A. Recuperação de áreas degradadas: estudo de caso. In: TEIXEIRA, E. C. (coord). **Meio ambiente e carvão. Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre, RS: FEPAM, 2002. p.99-113.

RIVERS, E. D.; SHIPP, R. F. Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands. **Soil Science**, v.126, p.94-100, 1978.

ROSOLEM, C. A.; FERNADEZ, E. M.; ANDREOTTI, M. & CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

ROSS, P. J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to drynees. **Soil Science Society America Journal**, v.55, p.923-927, 1991.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: conseqüências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005 (Documentos, 136).

SANCHES, J. C. D.; FORMOSO, M. L. L. **Utilização do carvão e meio ambiente**. Porto Alegre-RS, CIENTEC (Boletim Técnico, 20), 1990, 34p.

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

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.; DA ROS, C.O.; SECO, 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. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/>. Acesso em: 11 dez. 2009.

SEMC – Secretaria de Energia, Minas e Comunicação do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2009

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.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, 58:1775- 1781, 1994.

SILVA, A. P. ; IMHOFF, S.; KAY, K. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 4, p. 451-456, jul./ago., 2004.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, Nº 8, Novembro de 2007.

SOEHNE, W. H. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractors tires. **Journal of Agricultural Engineering Research**, p.276-291, 1958.

SNAKIN V. V.; VREEDE G. J; VERBRAECK A.; KRECHETOV P. P.; KUZOVNIKOVA T. A.; ALYABINA I. O.; GUROV A. F.; STEPICHEV A. V.. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v.8, p.331–343, 1996.

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.; CASSEL, D. K.; KING, L. D; REICHARDT, K. Measuring mechanical impedance in clayey gravelly soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.189-196, 1998.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p.18-22, 1966.

TEIXEIRA, O. P. B. Legislação ambiental aplicada ao carvão. In: TEIXEIRA, E. C. (Coord.) **Meio Ambiente e Carvão: impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre, RS: FEPAM, 2002. p. 473-486.

TERRENCE, J. T.; BLACK, J. P. Topographic reconstruction: the theory and practice. In: BARNHISEL, R. I. (Ed.). **Reclamation of drastically disturbed lands**. Madison: American Society of Agronomy, 2000. p. 41-75.

TOPP, G. C.; GALGANOV, Y. T.; WIRES, K. C.; CULLEY, J. L. B. **Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure**. - Soil Quality Evaluation Program. Ottawa, Agriculture and Agri-Food Canada, 1994. 36p. (Technical report, 2)

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Tillage Research**, v.52, p.223-232, 1999.

TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.211-219, 2007.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soil. **Soil Science**, v.32, p.181-193, 1931.

VEIHMEYER, F. J., HENDRICKSON, A. H. **Soil moisture in relation to plant growth**. Annual Review of Plant Physiology, v.1, p.285-304, 1950.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; VIEIRA, M. N. S. **Solos: propriedade, classificação e manejo**. Brasília, MEC/ ABEAS, 1988. p.53-61. (Programa Agricultura nos Trópicos)

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physics properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Potencial matricial (Ψ_m), Conteúdo de água volumétrico médio (θ_{vm}) e Resistência mecânica do solo à penetração média (RP_m) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura

Tratamentos	Ψ_m (Mpa)	θ_{vm} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	RP_m (Mpa)
T1 - Hemártria altíssima	-0,001	0,4458	0,4827
	-0,003	0,3740	0,8796
	-0,006	0,3348	1,0477
	-0,01	0,3146	1,3849
	-0,033	0,2688	1,4959
	-0,1	0,2257	3,5495
	-1,5	0,2075	4,2082
T4 – Pensacola	-0,001	0,4467	0,6781
	-0,003	0,3697	1,1931
	-0,006	0,3411	1,3939
	-0,01	0,3189	1,3560
	-0,033	0,2861	2,6133
	-0,1	0,2368	3,7613
	-1,5	0,2219	4,8914
T5 - Grama Tifton	-0,001	0,4621	0,6237
	-0,003	0,4081	0,7977
	-0,006	0,3607	1,1193
	-0,01	0,3322	1,5798
	-0,033	0,2943	2,4417
	-0,1	0,2349	3,8115
	-1,5	0,2284	5,4004
T7 – Controle	-0,001	0,4591	0,4416
	-0,003	0,3700	0,8772
	-0,006	0,3307	0,9679
	-0,01	0,3130	1,1022
	-0,033	0,2651	2,0128
	-0,1	0,2202	3,1426
	-1,5	0,1999	4,3847
T8 - Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura	-0,001	0,4344	0,7627
	-0,003	0,3812	0,6952
	-0,006	0,3291	1,0174
	-0,01	0,3139	1,8986
	-0,033	0,2705	2,0971
	-0,1	0,2209	3,3769
	-1,5	0,1984	6,0864
T9 - Solo Natural	-0,001	0,4165	1,0950
	-0,003	0,3682	1,2277
	-0,006	0,3140	1,9369
	-0,01	0,2973	1,8017
	-0,033	0,2531	2,2924
	-0,1	0,1934	3,0197
	-1,5	0,1609	3,6341

APÊNDICE B. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,001 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,413	0,306	1,348	0,282
T1B1	0,394	0,281	1,404	0,615
T1B2	0,434	0,329	1,318	0,422
T1B2	0,442	0,317	1,396	0,650
T1B3	0,469	0,375	1,251	0,514
T1B3	0,466	0,367	1,267	0,364
T1B4	0,464	0,337	1,375	0,561
T1B4	0,484	0,344	1,408	0,454
T4B1	0,404	0,273	1,480	0,847
T4B1	0,426	0,285	1,495	0,825
T4B2	0,461	0,318	1,451	0,732
T4B2	0,438	0,299	1,464	0,662
T4B3	0,475	0,384	1,235	0,507
T4B3	0,451	0,324	1,393	0,925
T4B4	0,473	0,360	1,314	0,368
T4B4	0,447	0,345	1,297	0,557
T5B1	0,441	0,321	1,375	0,410
T5B1	0,437	0,325	1,345	0,427
T5B2	0,493	0,380	1,297	0,873
T5B2	0,449	0,309	1,454	1,012
T5B3	0,445	0,324	1,373	0,897
T5B3	0,488	0,353	1,384	0,693
T5B4	0,467	0,344	1,360	0,341
T5B4	0,476	0,371	1,283	0,338
T7B1	0,465	0,355	1,310	0,274
T7B1	0,480	0,443	1,084	0,323
T7B2	0,507	0,401	1,265	0,304
T7B2	0,443	0,301	1,474	1,092
T7B3	0,433	0,331	1,306	0,509
T7B3	0,460	0,381	1,206	0,327
T7B4	0,374	0,277	1,350	0,286
T7B4	0,510	0,397	1,286	0,418
T8	0,490	0,359	1,364	0,341
T8	0,452	0,344	1,312	0,319
T8	0,364	0,253	1,439	0,524
T8	0,353	0,219	1,612	2,595
T8	0,476	0,340	1,399	0,382
T8	0,445	0,331	1,344	0,366
T8	0,491	0,390	1,260	0,237
T8	0,406	0,271	1,498	1,337
T9	0,410	0,274	1,498	1,312
T9	0,463	0,372	1,246	0,425
T9	0,426	0,294	1,446	0,709
T9	0,421	0,279	1,511	1,341
T9	0,346	0,223	1,552	1,291
T9	0,435	0,330	1,317	0,542
T9	0,430	0,300	1,432	0,911
T9	0,400	0,259	1,544	2,230

T1- Hemária altissima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE C. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,003 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,3821	0,2681	1,4256	0,9013
T1B1	0,3641	0,2578	1,4122	1,3612
T1B2	0,3612	0,2531	1,4274	1,1117
T1B2	0,3643	0,2680	1,3592	0,8939
T1B3	0,3993	0,3093	1,2911	0,3396
T1B3	0,3563	0,2696	1,3220	0,7085
T1B4	0,3757	0,2755	1,3637	0,6400
T1B4	0,3886	0,2743	1,4167	1,0810
T4B1	0,3423	0,2260	1,5143	1,1753
T4B1	0,3549	0,2391	1,4840	1,0505
T4B2	0,3598	0,2434	1,4779	1,3142
T4B2	0,3849	0,2524	1,5246	1,5634
T4B3	0,3807	0,3017	1,2619	1,1440
T4B3	0,3374	0,2351	1,4353	1,0502
T4B4	0,4343	0,3307	1,3133	0,9913
T4B4	0,3632	0,2506	1,4496	1,2563
T5B1	0,4141	0,3570	1,1600	0,2749
T5B1	0,4287	0,2876	1,4905	0,9969
T5B2	0,4431	0,3072	1,4425	1,0826
T5B2	0,4211	0,2869	1,4680	1,1114
T5B3	0,3877	0,2795	1,3871	1,0270
T5B3	0,4112	0,2936	1,4007	0,6390
T5B4	0,3753	0,2774	1,3530	0,6836
T5B4	0,3838	0,2875	1,3348	0,5662
T7B1	0,3744	0,2803	1,3359	0,6737
T7B1	0,3674	0,2661	1,3806	0,8220
T7B2	0,3607	0,2465	1,4633	1,1448
T7B2	0,3829	0,2824	1,3556	0,6301
T7B3	0,3995	0,2921	1,3676	1,7121
T7B3	0,3686	0,2640	1,3962	1,0614
T7B4	0,3551	0,2811	1,2630	0,5784
T7B4	0,3513	0,2781	1,2634	0,3948
T8	0,3771	0,3254	1,1589	0,3372
T8	0,3646	0,3108	1,1733	0,4243
T8	0,3968	0,2708	1,4653	1,4424
T8	0,3737	0,2665	1,4023	0,7328
T8	0,4027	0,2738	1,4709	0,8470
T8	0,3650	0,3100	1,1775	0,6526
T8	0,3787	0,2896	1,3079	0,3774
T8	0,3915	0,2737	1,4304	0,7487
T9	0,3953	0,2589	1,5270	1,8846
T9	0,3818	0,2616	1,4593	1,4631
T9	0,3663	0,2501	1,4647	1,0960
T9	0,3706	0,2606	1,4220	1,4098
T9	0,3334	0,2306	1,4461	0,9128
T9	0,3618	0,2626	1,3776	1,0194
T9	0,3690	0,2800	1,3179	0,9733
T9	0,3677	0,2531	1,4530	1,0629

T1- Hemária altissima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE D. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,006 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,3316	0,2389	1,3880	1,1064
T1B1	0,3203	0,2647	1,2100	0,3110
T1B2	0,3031	0,2597	1,1674	0,5194
T1B2	0,3376	0,2356	1,4328	1,4542
T1B3	0,3287	0,2711	1,2125	0,7904
T1B3	0,3432	0,2555	1,3431	1,1113
T1B4	0,3150	0,2291	1,3750	1,2270
T1B4	0,3991	0,2630	1,5174	1,8618
T4B1	0,3253	0,2169	1,5001	1,7018
T4B1	0,3176	0,2220	1,4306	0,9013
T4B2	0,3246	0,2322	1,3976	0,7392
T4B2	0,3208	0,2318	1,3839	0,9105
T4B3	0,3464	0,2730	1,2688	1,3806
T4B3	0,3277	0,2294	1,4286	1,8905
T4B4	0,4370	0,3529	1,2385	2,2137
T4B4	0,3295	0,2347	1,4037	1,4134
T5B1	0,3367	0,2476	1,3595	0,7544
T5B1	0,3655	0,2507	1,4582	1,2320
T5B2	0,3701	0,2517	1,4705	1,5882
T5B2	0,3805	0,2626	1,4488	1,3494
T5B3	0,3369	0,2498	1,3483	0,5999
T5B3	0,3646	0,2496	1,4611	1,1315
T5B4	0,3766	0,2455	1,5340	1,3868
T5B4	0,3551	0,2419	1,4680	0,9126
T7B1	0,3343	0,2959	1,1300	0,6037
T7B1	0,3064	0,2319	1,3209	0,5548
T7B2	0,3273	0,2260	1,4483	1,3785
T7B2	0,3212	0,2277	1,4104	1,2175
T7B3	0,3504	0,2943	1,1906	1,0150
T7B3	0,3448	0,2523	1,3664	0,8908
T7B4	0,3416	0,2370	1,4411	1,5042
T7B4	0,3199	0,2416	1,3240	0,5791
T8	0,3251	0,2685	1,2110	0,6047
T8	0,3444	0,2888	1,1925	0,5540
T8	0,3248	0,2074	1,5659	2,1804
T8	0,3434	0,2330	1,4739	1,6998
T8	0,3414	0,2570	1,3283	0,7669
T8	0,3067	0,2236	1,3716	0,5597
T8	0,3414	0,2588	1,3191	0,6561
T8	0,3062	0,2188	1,3994	1,1178
T9	0,3259	0,2287	1,4247	1,5316
T9	0,3130	0,2132	1,4681	2,1481
T9	0,3085	0,2383	1,2946	1,2378
T9	0,3138	0,2392	1,3117	1,3694
T9	0,3085	0,2193	1,4070	1,2548
T9	0,3028	0,2068	1,4640	1,8554
T9	0,3293	0,2109	1,5611	3,5655
T9	0,3105	0,2038	1,5237	2,5323

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE E. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (U_g), Densidade do solo (D_s), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,01 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	U_g ($Kg Kg^{-1}$)	D_s ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,2925	0,2119	1,3805	0,9245
T1B1	0,3284	0,2343	1,4016	1,4070
T1B2	0,3192	0,2195	1,4541	1,6813
T1B2	0,3001	0,2293	1,3083	1,3321
T1B3	0,3006	0,2327	1,2917	1,0311
T1B3	0,3093	0,2351	1,3157	0,9852
T1B4	0,3064	0,2400	1,2764	0,7545
T1B4	0,3607	0,2300	1,5685	2,9638
T4B1	0,3224	0,2241	1,4386	1,5449
T4B1	0,3087	0,2133	1,4472	1,7784
T4B2	0,3084	0,2093	1,4734	1,3867
T4B2	0,3064	0,2259	1,3559	0,4828
T4B3	0,3408	0,2589	1,3166	1,5225
T4B3	0,3560	0,2393	1,4875	1,8573
T4B4	0,2909	0,2206	1,3182	0,6792
T4B4	0,3179	0,2184	1,4555	1,5963
T5B1	0,3567	0,2433	1,4662	1,2250
T5B1	0,2979	0,2106	1,4147	2,1162
T5B2	0,3094	0,2250	1,3752	1,0051
T5B2	0,3145	0,2265	1,3888	1,2179
T5B3	0,3235	0,2220	1,4571	1,7519
T5B3	0,3553	0,2312	1,5367	2,3870
T5B4	0,3540	0,2436	1,4532	1,9602
T5B4	0,3461	0,2468	1,4025	0,9749
T7B1	0,2977	0,2217	1,3429	1,0149
T7B1	0,3100	0,2237	1,3855	1,2142
T7B2	0,3482	0,2454	1,4191	1,9666
T7B2	0,3231	0,2228	1,4506	1,6403
T7B3	0,2919	0,2204	1,3243	0,6967
T7B3	0,3333	0,2781	1,1984	1,0362
T7B4	0,3042	0,2454	1,2397	0,3918
T7B4	0,2959	0,2450	1,2078	0,8570
T8	0,3138	0,2673	1,1737	0,4795
T8	0,3275	0,2062	1,5881	2,4717
T8	0,3118	0,2038	1,5295	1,4936
T8	0,3055	0,1919	1,5921	3,7076
T8	0,3037	0,2640	1,1502	0,7632
T8	0,2986	0,2265	1,3184	0,5868
T8	0,3213	0,2013	1,5964	4,9974
T8	0,3293	0,2741	1,2013	0,6895
T9	0,3168	0,2141	1,4801	2,0366
T9	0,3038	0,1942	1,5645	3,3812
T9	0,2777	0,2143	1,2955	1,1514
T9	0,3013	0,2191	1,3752	1,6001
T9	0,2789	0,2217	1,2583	0,9552
T9	0,2997	0,2341	1,2801	1,3784
T9	0,2762	0,1968	1,4036	1,4356
T9	0,3235	0,2228	1,4521	2,4748

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE F. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,033 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,2596	0,1935	1,3420	1,4829
T1B1	0,2912	0,2188	1,3307	0,9687
T1B2	0,2660	0,2325	1,1439	1,1014
T1B2	0,2275	0,1916	1,1872	0,6925
T1B3	0,2625	0,2294	1,1446	2,0750
T1B3	0,2632	0,2295	1,1468	1,3083
T1B4	0,3167	0,2151	1,4721	3,2319
T1B4	0,2634	0,2195	1,1999	1,1068
T4B1	0,2836	0,1909	1,4860	3,1933
T4B1	0,2782	0,1996	1,3938	2,2557
T4B2	0,2822	0,1906	1,4808	3,3346
T4B2	0,2503	0,1704	1,4685	2,4939
T4B3	0,3044	0,2076	1,4660	2,7979
T4B3	0,2844	0,2155	1,3193	1,9224
T4B4	0,3109	0,2333	1,3323	2,3564
T4B4	0,2946	0,2079	1,4171	2,5523
T5B1	0,2831	0,2231	1,2691	1,2892
T5B1	0,2901	0,2189	1,3256	1,7019
T5B2	0,2972	0,2298	1,2931	1,2068
T5B2	0,2963	0,2087	1,4194	2,4214
T5B3	0,2881	0,2076	1,3882	2,4301
T5B3	0,3165	0,2146	1,4748	2,8768
T5B4	0,2827	0,2040	1,3857	3,1043
T5B4	0,3006	0,1961	1,5327	4,5034
T7B1	0,2530	0,2028	1,2473	1,6427
T7B1	0,2623	0,2067	1,2693	1,6998
T7B2	0,2710	0,1954	1,3868	2,3074
T7B2	0,2649	0,1911	1,3859	2,0954
T7B3	0,2674	0,2053	1,3022	1,3105
T7B3	0,2874	0,2013	1,4279	3,2874
T7B4	0,2522	0,1934	1,3041	1,7465
T7B4	0,2629	0,2073	1,2684	2,0127
T8	0,2602	0,2114	1,2307	1,0346
T8	0,2856	0,1899	1,5042	3,3405
T8	0,2519	0,1923	1,3101	1,2017
T8	0,2595	0,1932	1,3429	1,3033
T8	0,2649	0,2242	1,1814	1,1153
T8	0,2874	0,2190	1,3126	2,1391
T8	0,2807	0,1976	1,4205	2,8658
T8	0,2739	0,1866	1,4678	3,7767
T9	0,2660	0,1952	1,3626	2,1317
T9	0,2676	0,1983	1,3496	2,6642
T9	0,2638	0,1930	1,3671	2,5535
T9	0,2423	0,1930	1,2558	1,7452
T9	0,2521	0,1917	1,3146	2,0610
T9	0,2454	0,1920	1,2780	1,3676
T9	0,2566	0,1755	1,4620	3,1969
T9	0,2309	0,1647	1,4021	2,6195

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE G. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -0,1 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,2051	0,1571	1,3056	2,4137
T1B1	0,2216	0,1825	1,2137	2,4496
T1B2	0,2272	0,1662	1,3669	4,2199
T1B2	0,2394	0,1646	1,4544	6,1547
T1B3	0,2237	0,1694	1,3209	3,5344
T1B3	0,2246	0,1669	1,3462	4,3300
T1B4	0,2194	0,1934	1,1347	1,6940
T1B4	0,2448	0,1767	1,3853	3,5999
T4B1	0,2039	0,1660	1,2280	2,3892
T4B1	0,2540	0,1769	1,4362	4,1661
T4B2	0,2389	0,1867	1,2798	3,2589
T4B2	0,2185	0,1552	1,4082	3,1603
T4B3	0,2506	0,1812	1,3833	5,1949
T4B3	0,2663	0,2053	1,2973	3,7635
T4B4	0,2499	0,1757	1,4225	4,9619
T4B4	0,2124	0,1635	1,2987	3,1960
T5B1	0,2436	0,1729	1,4088	5,7516
T5B1	0,2243	0,1789	1,2536	2,5937
T5B2	0,2075	0,1785	1,1625	1,3047
T5B2	0,2272	0,1719	1,3218	3,3275
T5B3	0,2349	0,1753	1,3402	2,4407
T5B3	0,2427	0,1712	1,4174	5,0124
T5B4	0,2503	0,1708	1,4654	5,4475
T5B4	0,2492	0,1791	1,3913	4,6138
T7B1	0,2064	0,1699	1,2146	2,2430
T7B1	0,2225	0,1649	1,3492	3,3056
T7B2	0,2082	0,1687	1,2345	1,8286
T7B2	0,2457	0,1746	1,4072	6,4523
T7B3	0,2219	0,1905	1,1652	2,8304
T7B3	0,2277	0,1740	1,3088	4,0329
T7B4	0,2125	0,1664	1,2776	1,9350
T7B4	0,2165	0,1702	1,2724	2,5134
T8	0,1929	0,1601	1,2045	1,5393
T8	0,2153	0,1624	1,3258	3,0568
T8	0,2293	0,1524	1,5044	3,9508
T8	0,2418	0,1798	1,3447	2,4258
T8	0,2109	0,1747	1,2071	2,5628
T8	0,2207	0,1660	1,3290	3,2080
T8	0,2019	0,1702	1,1865	2,1896
T8	0,2549	0,1629	1,5652	8,0828
T9	0,1864	0,1252	1,4893	3,1276
T9	0,1763	0,1301	1,3554	1,9749
T9	0,1584	0,1348	1,1755	1,3987
T9	0,1705	0,1295	1,3166	2,5525
T9	0,1765	0,1225	1,4405	3,6466
T9	0,2416	0,1673	1,4443	3,0101
T9	0,2402	0,1646	1,4586	3,1550
T9	0,1972	0,1343	1,4689	5,2920

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE H. Conteúdo de água volumétrico (θ_v), Umidade gravimétrica (Ug), Densidade do solo (Ds), e Resistência mecânica do solo à penetração (RP) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura equilibrado a um potencial matricial de -1,5 MPa.

Tratamentos	θ_v ($m^3 m^{-3}$)	Ug ($Kg Kg^{-1}$)	Ds ($Mg m^{-3}$)	RP (MPa)
T1B1	0,2014	0,1560	1,2906	2,3485
T1B1	0,1963	0,1619	1,2128	2,5658
T1B2	0,2304	0,1573	1,4651	7,7742
T1B2	0,2118	0,1566	1,3529	4,4654
T1B3	0,2030	0,1760	1,1533	2,5614
T1B3	0,1864	0,1773	1,0512	1,9372
T1B4	0,2134	0,1630	1,3097	4,8024
T1B4	0,2172	0,1587	1,3691	7,2106
T4B1	0,2219	0,1555	1,4268	7,1032
T4B1	0,2241	0,1592	1,4079	5,2417
T4B2	0,2106	0,1510	1,3947	3,2817
T4B2	0,2322	0,1670	1,3902	5,2708
T4B3	0,2075	0,1659	1,2507	3,0826
T4B3	0,2226	0,1821	1,2229	2,5262
T4B4	0,2142	0,1614	1,3267	3,8014
T4B4	0,2425	0,1628	1,4891	8,8237
T5B1	0,2272	0,1712	1,3272	3,9775
T5B1	0,2245	0,1642	1,3667	5,7262
T5B2	0,2407	0,1565	1,5380	6,9068
T5B2	0,2429	0,1688	1,4386	6,5821
T5B3	0,2333	0,1593	1,4644	6,4215
T5B3	0,2172	0,1582	1,3729	3,1427
T5B4	0,2394	0,1640	1,4597	6,3662
T5B4	0,2017	0,1551	1,3003	4,0801
T7B1	0,1878	0,1558	1,2053	2,6733
T7B1	0,2019	0,1497	1,3485	4,2908
T7B2	0,2093	0,1453	1,4407	6,1748
T7B2	0,1925	0,1406	1,3691	4,2696
T7B3	0,2210	0,1776	1,2444	5,2113
T7B3	0,2071	0,1517	1,3651	5,5554
T7B4	0,1999	0,1496	1,3363	3,4397
T7B4	0,1799	0,1503	1,1966	3,4623
T8	0,1765	0,1341	1,3162	4,5911
T8	0,1959	0,1304	1,5022	8,5394
T8	0,1871	0,1455	1,2863	3,5139
T8	0,2140	0,1470	1,4553	8,8874
T8	0,1599	0,1397	1,1439	2,2374
T8	0,1761	0,1483	1,1878	2,9350
T8	0,2232	0,1433	1,5573	9,9043
T8	0,1438	0,1036	1,3875	3,5903
T9	0,1481	0,1150	1,2884	2,4259
T9	0,1393	0,1030	1,3518	3,0096
T9	0,1660	0,1407	1,1795	0,9596
T9	0,1582	0,1092	1,4490	4,0840
T9	0,1882	0,1183	1,5901	6,8529
T9	0,1568	0,1169	1,3413	3,3871
T9	0,1867	0,1252	1,4918	4,7631
T9	0,1972	0,1343	1,4689	5,2920

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE I. Porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) de um solo construído em área de mineração de carvão cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	Macroporosidade (%)	Microporosidade (%)	Porosidade total (%)
T1B1	11,90	33,93	45,83
T1B1	9,17	34,19	43,36
T1B2	18,75	29,75	48,50
T1B2	13,72	31,54	45,26
T1B3	15,16	33,93	49,09
T1B3	16,32	31,39	47,71
T1B4	14,31	33,21	47,53
T1B4	12,12	34,12	46,24
T2B1	15,53	29,93	45,46
T2B1	7,76	36,97	44,73
T2B2	9,86	35,17	45,02
T2B2	15,53	31,70	47,23
T2B3	12,71	33,27	45,98
T2B3	11,81	34,13	45,94
T2B4	9,43	33,03	42,46
T2B4	6,26	37,21	43,47
T3B1	0,94	36,14	37,08
T3B1	20,10	36,22	56,31
T3B2	5,10	40,45	45,55
T3B2	12,08	36,60	48,69
T3B3	8,05	37,45	45,50
T3B3	11,49	37,69	49,18
T3B4	8,57	36,90	45,46
T3B4	12,95	34,45	47,40
T4B1	15,77	31,54	47,30
T4B1	8,93	35,50	44,43
T4B2	10,39	38,17	48,56
T4B2	10,91	34,91	45,81
T4B3	18,20	29,60	47,80
T4B3	11,18	33,18	44,36
T4B4	7,90	36,29	44,19
T4B4	14,57	33,18	47,75
T5	18,38	30,44	48,83
T5	8,38	33,63	42,01
T5	13,37	31,44	44,81
T5	11,66	33,24	44,90
T5	14,16	32,30	46,47
T5	9,06	32,47	41,53
T5	14,71	31,40	46,12
T5	6,04	33,69	39,73
T6	9,76	33,77	43,53
T6	6,02	35,94	41,96
T6	3,08	36,12	39,20
T6	2,97	34,70	37,67
T6	9,93	32,24	42,17
T6	12,58	31,13	43,71
T6	11,90	31,92	43,82
T6	8,47	33,43	41,91

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE J. Granulometria e densidade de partículas de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes plantas de cobertura.

Tratamentos	Dp (Mg m ⁻³)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)
T1B1		46,05	30,06	23,89
T1B1	2,57	46,83	29,84	23,33
T1B2		46,77	29,49	23,74
T1B2	2,62	46,55	29,04	24,41
T1B3		46,43	29,35	24,22
T1B3	2,61	47,40	29,13	23,47
T1B4		44,83	31,41	23,76
T1B4	2,61	45,99	30,14	23,86
T4B1		46,08	30,17	23,76
T4B1	2,61	46,24	30,06	23,71
T4B2		48,88	27,89	23,22
T4B2	2,65	49,09	27,79	23,12
T4B3		48,28	27,92	23,80
T4B3	2,65	47,91	27,59	24,50
T4B4		46,88	30,56	22,57
T4B4	2,61	46,01	31,54	22,45
T5B1		45,83	27,23	26,94
T5B1	2,59	47,06	26,56	26,38
T5B2		48,97	29,08	21,96
T5B2	2,55	48,17	28,97	22,87
T5B3		45,93	29,47	24,59
T5B3	2,65	47,00	28,81	24,19
T5B4		46,45	28,69	24,86
T5B4	2,63	46,08	28,25	25,68
T7B1		46,70	27,06	26,24
T7B1	2,53	47,43	26,27	26,30
T7B2		42,44	31,30	26,26
T7B2	2,61	40,72	31,52	27,76
T7B3		46,49	28,58	24,94
T7B3	2,66	46,83	28,35	24,81
T7B4		45,20	29,44	25,35
T7B4	2,61	46,23	29,21	24,55
T8		44,32	31,42	24,25
T8	2,58	43,97	31,98	24,04
T8		48,70	30,75	20,55
T8	2,63	48,00	30,53	21,47
T8		43,88	30,61	25,51
T8	2,65	43,48	30,39	26,13
T8		45,82	32,45	21,73
T8	2,66	47,16	31,24	21,59
T9		22,96	49,28	27,76
T9		23,27	46,59	30,14
T9		23,04	48,63	28,33
T9	2,58	22,86	48,42	28,72
T9		22,40	48,74	28,86
T9		22,53	48,96	28,52
T9		21,85	48,31	29,84
T9		22,86	47,99	29,15

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

APÊNDICE L. Densidade do solo (D_s), Densidade do solo crítica na pressão de preconsolidação ($D_{s_{op}}$), pressão de preconsolidação (σ_p), Índice de compressão (IC).

Tratamentos	D_s ($Mg\ m^{-3}$)	D_{s_c} ($Mg\ m^{-3}$)	α_p (kPa)	IC
T1B1	1,44	1,45	99	0,30
T1B1	-	-	-	-
T1B2	1,33	1,41	88	0,31
T1B2	1,37	1,43	99	0,33
T1B3	1,26	1,29	44	0,27
T1B3	1,33	1,38	59	0,30
T1B4	1,35	1,42	61	0,33
T1B4	1,43	1,44	49	0,30
T2B1	1,49	1,56	67	0,25
T2B1	1,47	1,54	139	0,34
T2B2	1,57	1,61	117	0,32
T2B2	1,46	1,48	77	0,30
T2B3	1,42	1,51	122	0,31
T2B3	1,30	1,38	164	0,32
T2B4	1,47	1,52	134	0,32
T2B4	1,50	1,52	138	0,30
T3B1	-	-	-	-
T3B1	1,36	1,37	82	0,35
T3B2	1,47	1,52	160	0,32
T3B2	1,30	1,34	111	0,34
T3B3	1,52	1,53	156	0,30
T3B3	1,45	1,52	138	0,37
T3B4	1,52	1,57	130	0,31
T3B4	1,43	1,45	66	0,31
T4B1	-	-	-	-
T4B1	1,37	1,40	109	0,31
T4B2	1,43	1,47	97	0,31
T4B2	1,49	1,51	122	0,33
T4B3	1,31	1,43	165	0,40
T4B3	1,40	1,45	103	0,33
T4B4	1,49	1,49	115	0,29
T4B4	-	-	-	-
T5	1,38	1,77	156	0,26
T5	1,57	1,66	145	0,29
T5	1,41	1,65	186	0,28
T5	1,33	1,55	102	0,34
T5	1,41	1,33	129	0,26
T5	1,50	1,70	152	0,25
T5	1,44	1,53	140	0,31
T5	1,54	1,50	161	0,26
T6	1,47	1,53	155	0,35
T6	-	-	-	-
T6	1,52	1,53	180	0,32
T6	1,61	-	-	0,28
T6	1,44	1,52	135	0,29
T6	1,36	1,40	122	0,34
T6	1,45	1,52	120	0,33
T6	1,46	1,56	196	0,30

T1- Hemátria altíssima; T4- Pensacola; T5- Grama tifton; T7- Controle; T8- Solo construído sem a implantação de plantas de cobertura; T9- Solo natural. B1, B2, B3 e B4 são os blocos do experimento.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)