

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”  
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do  
Solo e da Água



Tese

**Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão**

Fabício da Silva Barboza

Pelotas, Março de 2016

Fabrício da Silva Barboza

**Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da água, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientador: Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto -UFPel

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Liane Rodrigues de Lima - UFPel

Pelotas, Março de 2016.

Catálogo na fonte  
Gabriela Machado Lopes CRB: 10/184

B238p Barboza, Fabrício da Silva

Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão / Fabrício da Silva Barboza ; Eloy Antonio Pauletto, orientador ; Cláudia Liane Rodrigues de Lima, coorientadora. — Pelotas, 2016

95 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água , Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Compactação do solo. 2. Qualidade física do solo. 3. Degradação do solo. I. Pauletto, Eloy Antonio, orient. II. Lima, Cláudia Liane Rodrigues de, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

Fabrcio da Silva Barboza

**Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão**

Data da defesa: 11/03/2016

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto  
(Presidente/Orientador)  
Universidade Federal de Pelotas/RS

---

Prof. Dr. Ezequiel Cesar Carvalho Miola  
Fundação Universidade Federal do Rio Grande/RS

---

Profª. Drª. Lizete Stumpf  
Fundação Universidade Federal do Rio Grande/RS

---

Prof. Dr. Luis Carlos Timm  
Universidade Federal de Pelotas/RS

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto  
Universidade Federal de Pelotas/RS

Ao meu pequeno-grande Murilo, que nasceu no meio de meus estudos de doutorado, completando minha vida, trazendo mais alegria e sendo um estímulo para sempre continuar em frente.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (PPGMACSA), da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, pela oportunidade de realização do curso.

A Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e ao Engenheiro Marcel Fróes pela disponibilização do local de realização do experimento, bem como constante ajuda na realização das práticas relativas a este.

Ao professor Eloy Antonio Pauletto pela orientação, pela amizade, pelo companheirismo e pela paciência ao longo dos 3 anos de formação. À professora Cláudia Liane Rodrigues de Lima pela coorientação e ajuda na realização do trabalho.

Aos professores Luiz Fernando Spinelli Pinto e Pablo Miguel pela contribuição nos trabalhos desenvolvidos.

Ao professor Alfredo Mendes D'Ávila e ao Engenheiro Agrícola Plínio Corral pela ajuda na execução e discussão de estudos complementares.

A todos os professores do PPG-MACSA pelos conhecimentos e experiências repassadas.

Aos estagiários Leonir Dutra Junior, Thaís Murias e Jeferson Pimentel pela ajuda prestada durante a realização deste trabalho.

Aos colegas Renata Albert e Wildon Panziera pela colaboração na realização dos ensaios.

Ao Paulo Luis Antunes pela colaboração na realização dos ensaios e amizade cultivada.

À Dona Ana Maria Fucolo pela amizade carinho e cuidado.

Aos colegas do Departamento de Solos pelo convívio e troca de experiências nos trabalhos realizados.

À minha esposa Gisele Aparecida Vivan pela paciência, flexibilidade, companheirismo e pelas trocas de ideia ao longo desses três anos.

A todos os meus familiares, em especial a minha mãe Claudete Barros da Silva por acreditarem em meus sonhos e anseios.

## Resumo

BARBOZA, F. da S. **Parâmetros físico-hídricos de um solo construído submetido a eventos de tráfego de máquinas em área de mineração de carvão.** 2016. 95f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

O carvão mineral apresenta-se como fonte energética estratégica para o País, visto que não é dependente das adversidades climáticas como a energia hidrelétrica, principal fonte energética atual do Brasil. O município de Candiota-RS destaca-se como detentora de 38% do carvão mineral nacional, tendo portanto, elevado potencial de geração energética. No entanto, salienta-se que a atividade minerária apresenta elevado potencial de degradação ambiental. A extração do carvão envolve a retirada de grandes volumes de solo e de rochas, sendo que após a mineração, os rejeitos retornam a cava aberta, sendo nivelados por trator de esteira, com deposição de camadas do solo original, finalizando o processo de construção do solo. Até a década de 90, na mina de Candiota, não era realizado o processo de recuperação das áreas para extração do carvão, desta forma, a mina de Candiota conta com área de aproximadamente 200 hectares, com passivos ambientais a serem contornados. O processo de inserção de “topsoil substitute” sobre a camada de material remanescentes envolve intenso tráfego de máquinas, o que acarreta em alteração nas propriedades físicas e hídricas do local. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tráfego de máquinas utilizando atributos físicos e hídricos do solo e recomendar o mínimo de tráfego na recomposição topográfica da área após mineração. Os tratamentos utilizados foram constituídos de 0, 1, 3, 5, 8 e 12 passadas do trator de esteira, caracterizados como: T0, T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, sendo determinada a granulometria, a densidade, a porosidade total, os agregados estáveis em água, a condutividade hidráulica do solo saturado, a curva de retenção de água, a água disponível, a resistência mecânica à penetração a campo e os parâmetros compressivos do solo. Observou-se que os atributos densidade, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, resistência mecânica à penetração e condutividade hidráulica foram os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade à variação dos eventos de tráfego de máquinas. Observou-se ainda que ocorreu aumento da densidade e da resistência à penetração do solo com o incremento do número de passadas do trator, com maiores valores na camada subsuperficial, situação inversa à porosidade total, visto que com a compactação houve conversão de parte dos macroporos em microporos do solo. A condutividade hidráulica do solo apresentou elevada variabilidade sendo de forma geral

superior na camada superficial. As curvas de retenção de água nos diferentes eventos de tráfego apresentaram comportamento semelhante e com maior conteúdo de água disponível. A pressão de preconsolidação e o grau de compactação foram pouco influenciados pelos eventos de tráfego. A formação de agregados maiores (macroagregados) esteve possivelmente relacionada ao efeito da compressão da máquina no solo, visto a maior compactação do mesmo (aumento da DS e RP, redução da Pt). No entanto cabem novos estudos à respeito. As condições do estudo demonstraram que o efeito da máquina no processo de recomposição da camada superficial do solo resultou em atributos físicos do solo (Ma, Mi Pt e Ds) próximos aos observados no horizonte B do perfil de extração. A partir do ensaio de Proctor verificou-se que o tráfego de máquinas deve ser realizado sempre com umidade inferior à umidade ótima de compactação (19,75 %). O aumento da intensidade de tráfego de máquinas ocasionou redução da qualidade física do solo, sendo recomendado o emprego de um evento de tráfego na recomposição da camada superficial quando a umidade gravimétrica do solo estiver próxima à do estudo.

Palavras-chave: compactação do solo; qualidade física do solo; degradação do solo.

## Abstract

BARBOZA, F. da S. **Physic-hydraulic parameters of a constructed soil subjected to machine traffic events in coal mining area.** 2016. 95p Thesis (Doctorate) - Post Graduate Program in Management and Conservation of Soil and Water. Federal University of Pelotas, Pelotas - Brazil.

The mineral coal presents as a strategic energy source for the country, since it is not dependent on climatic adversities as well as hydroelectric power, current principal energy source in Brazil. The Candiota-RS stands out as owner of 38% of national mineral coal, and therefore high potential for energy generation. However, is pointed out that the mining activity has a high potential for environmental degradation. The extraction of coal involves the removal of large volumes of soil and rocks, and after mining, the tailings return the open pit, being leveled by track-type tractor, with deposition of layers of the original soil, finishing the construction soil process. Until the 90s, the Candiota mine, was not performed recovery process of the areas used for coal extraction, thus the Candiota mine has an area of approximately 200 hectares, with environmental liabilities to be reversed. The process of inserting "topsoil substitute" on the remaining material layer involves heavy machinery traffic, resulting in changes in the physical and hydraulic properties of the site. The objective of this study was to evaluate the effect of machines traffic on soil physical and water attributes and recommend minimal traffic topographic recomposition of the area after mining. The treatments consisted of 0, 1, 3, 5, 8 and 12 past the track-type tractor, characterized as: T0, T1, T2, T3, T4 and T5, respectively, which was determined grain size, density, total porosity, the water stable aggregates, hydraulic conductivity of saturated soil, water retention curve, available water, penetration resistance field and compressive soil parameters. It was observed that the attributes density, microporosity, macroporosity, total porosity, mechanical resistance and hydraulic conductivity were the parameters that showed greater sensitivity to changes in machine traffic events. It has been observed that there was an increase of density and soil penetration resistance with the increment of tractor number of passes, with higher values in the subsurface layer, the opposite situation of total porosity, as soil compaction, where part of the macropores were converted in the micropores. The soil hydraulic conductivity showed high variability and higher general in the surface layer. Water retention curves in soil treatments involving traffic events showed similar behavior, with higher water content available associated with events with traffic. The preconsolidation pressure and the degree of compaction were little

influenced by the increase in traffic events. The formation of larger aggregates (macroaggregates) was possibly related to the effect of compression of the machine on the soil, since the greater compression of the same (the DS and RP, reduction of Pt). However, further studies are needed to respect. The conditions of the study showed that the effect of the machine in the process of restoration of topsoil resulted in soil physical attributes (Ma, Mi Pt and Ds) close to those observed in the B horizon extraction profile. From the Proctor test we found that the machinery traffic should always be performed with humidity lower than the optimum moisture content (19.75%). Increased traffic intensity machines caused reduction of soil physical quality, and recommended the use of a traffic event in the recovery of the surface layer when the gravimetric soil moisture is near to the study.

Keywords: soil compaction; physical quality of the soil, soil degradation.

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> - Perfil geológico na malha IV da jazida de Candiota-RS (Extraído de Pinto, 1999).....	12
<b>Figura 2</b> - Processo de mineração e recomposição topográfica da mina de Candiota-RS.....	16
<b>Figura 3</b> - Localização da área de mineração de Candiota-RS, com destaque para o local que representa a área de estudo na malha II.....	30
<b>Figura 4</b> - Ilustrações da condição anterior (a e b) e a de construção (c e d) da área experimental (malha II).....	31
<b>Figura 5</b> - Trator de esteira utilizado no processo de construção do solo (a) e detalhe do efeito da garra da esteira ao solo (b).....	32
<b>Figura 6</b> - Croqui da localização das coletas das amostras deformadas e indeformadas na área experimental em Candiota-RS.....	33
<b>Figura 7</b> - Resistência mecânica à penetração (MPa) obtida à campo de um solo construído sob eventos de tráfego, em Candiota-RS.....	43
<b>Figura 8</b> - Curva correlacionando umidades e densidade do solo correspondente ao ensaio de Proctor a energia normal.....	45
<b>Figura 9</b> - Curvas de compressão uniaxial normalizadas para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m (a) e 0,10 a 0,20 m (b), em Candiota-RS.....	56

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> – Valores médios de densidade ( $D_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ), microporosidade ( $M_i$ ), macroporosidade ( $M_a$ ) e seus respectivos desvios padrão, de um solo construído submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.....	37
<b>Tabela 2</b> – Comparação entre os valores médios de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de um solo não submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS, em duas datas.....	40
<b>Tabela 3</b> – Valores médios de densidade ( $D_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ), microporosidade ( $M_i$ ), macroporosidade ( $M_a$ ) dos horizontes do perfil natural de extração do solo, em Candiota-RS.....	41
<b>Tabela 4</b> - Umidade gravimétrica ( $U_g$ ) de um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m, em Candiota- RS.....	44
<b>Tabela 5</b> - Condutividade hidráulica de solo saturado $K_0$ ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) de solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.....	47
<b>Tabela 6</b> - Umidade volumétrica para as tensões de água no solo e água disponível (AD) de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m (a) e 0,10 a 0,20 m (b), em Candiota.....	49
<b>Tabela 7</b> - Macroagregados ( $\text{Macro}_a$ ), microagregados ( $\text{Micro}_a$ ) e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) e seus respectivos desvios padrão (DP), de um solo construído submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.....	51
<b>Tabela 8</b> - Tensões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), densidade do solo na tensão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), índice de compressão (IC) e densidade do solo inicial ( $D_{si}$ ) e seus respectivos desvios padrão, para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.....	54
<b>Tabela 9</b> - Grau de compactação na pressão de 200kPa (GC200) e grau de compactação na pressão de 1.600kPa (GC1.600), no potencial de 10 kPa, para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.....	57

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	9
2. Revisão de Literatura .....	11
2.1. Mineração de carvão para geração de energia .....	11
2.2. Aspectos legais do processo de mineração .....	13
2.3. O processo de mineração e construção do solo.....	14
2.4. Alterações físicas de solos construídos em áreas de mineração .....	17
2.4.1. Densidade e porosidade do solo.....	18
2.4.2. Agregação do solo .....	20
2.4.3. Condutividade hidráulica de solo saturado .....	21
2.4.4. Curva de retenção e água disponível .....	21
2.4.5. Resistência à penetração.....	22
2.4.6. Grau de compactação e compressibilidade do solo.....	24
2.5. Recuperação e utilização de áreas pós-mineração.....	27
3. Material e métodos .....	30
3.1. Área de estudo .....	30
3.2. Tratamentos e coleta das amostras .....	32
3.2.1. Tratamentos.....	32
3.2.2. Análises físicas e hídricas do solo .....	33
3.2.3. Análises complementares .....	35
3.2.4. Análises estatísticas.....	36
4. Resultados e Discussão .....	37
4.1. Densidade e Porosidade do solo.....	37
4.2. Resistência à penetração determinada a campo.....	41
4.3. Condutividade hidráulica de solo saturado .....	46
4.4. Curva de retenção de água no solo e água disponível.....	48
4.5. Macroagregados, Microagregados e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água.....	50
4.6. Compressibilidade do solo.....	53
5. Conclusões.....	58
6. Referências .....	59
APÊNDICES.....	74

## 1. Introdução

A geração de energia elétrica é fator estratégico para o desenvolvimento econômico do Brasil, sendo a principal fonte de geração, as usinas hidrelétricas, as quais são afetadas em períodos de escassez hídrica. Atualmente com a pressão global pela geração de energética contínua, sem cortes ou falhas de abastecimento, fontes “alternativas” são fundamentais para suprir as demandas do País. Salienta-se que entre o período 2015 e 2016, ocorreu a ligação das usinas termoelétricas no Brasil, em especial devido à variabilidade climática, o que resultou em maiores valores nas contas de energia, visto que o custo de geração destas ser superior às das usinas hidrelétricas. Dentre as usinas termoelétricas do País está a usina Presidente Médici, em Candiota-RS, que tem como fonte de energia, a queima de carvão mineral, sendo responsável por significativa parcela da energia termoelétrica do País.

O carvão utilizado no processo de queima para geração de energia é extraído do subsolo no processo de lavra a céu aberto, gerando profundos impactos ambientais, como: modificações na paisagem, degradação do solo e da água, conflitos de uso, depreciação de imóveis circunvizinhos, dentre outros. Estes impactos podem ser minimizados com a adoção de técnicas de controle no processo de extração do carvão bem como na posterior construção do solo de áreas mineradas.

Na mina de Candiota, até o advento da normatização ambiental específica, não era realizado o processo de recuperação das áreas utilizadas para extração do carvão. Atualmente, o processo de recuperação das áreas de mineração é realizado concomitantemente à extração do carvão. Por conseguinte, na mina de Candiota foi formada uma área de aproximadamente 200 hectares, com data de exploração anterior à década de 90, denominada malha II, na qual não foi reservado e utilizado o solo superficial para recobrir as pilhas de material estéril. Na falta deste a recuperação inicial constou da reconformação topográfica das pilhas de material estéril e o plantio de espécies arbóreas, principalmente eucaliptos.

Em vista do desenvolvimento insatisfatório da vegetação instalada devido à baixa qualidade física e química do material estéril, a área passou a ser recuperada, pela retirada da vegetação anteriormente instalada (eucaliptos) e reposição de uma camada de solo (horizonte B) da frente da lavra do carvão originando o chamado

“solo construído”, à semelhança do que é feito na recomposição topográfica das áreas recentemente mineradas. Em média, é possível recuperar 1 hectare da área antiga, a cada 30 hectares da atual minerada em face da baixa disponibilidade de material.

Atualmente o processo de extração do carvão envolve a retirada dos horizontes A, B e ou C do solo original, seguida de remoção das rochas através de escavadeiras de grande porte e extração do carvão levado para a termoelétrica. Após a extração do carvão, os rejeitos (rochas e camadas de carvão não aproveitáveis) provenientes deste processo retornam à cava aberta, sendo depositados em forma de cones, que, posteriormente são nivelados por trator de esteira. Finalizando o processo da recomposição topográfica repõe-se sobre os rejeitos aplainados uma camada de solo original, retirado da frente de mineração, o que não ocorria na década de 90.

Todo este processo de remoção e reposição do solo, afeta suas propriedades físicas, degradando a sua qualidade estrutural destas áreas. Dentre as propriedades físicas normalmente afetadas pelo processo de construção do solo estão a densidade, a porosidade, a agregação, a condutividade hidráulica, a resistência à penetração e a compressibilidade do solo. Independente da forma como o processo de recuperação ocorre, a camada superficial do solo é a mais susceptível às alterações estruturais.

Neste contexto, em um experimento envolvendo eventos de tráfego de máquina no momento da recomposição da camada superficial do solo utilizando um “topsoil substitute”, definiu-se como hipótese: que a intensidade e existência do tráfego de máquinas no processo da recomposição da camada superficial do solo afeta os atributos físicos e hídricos do solo, influenciando no processo de recuperação destas áreas. O objetivo geral foi avaliar o efeito do tráfego de máquinas em atributos físicos e hídricos do solo, após eventos de tráfego para recomposição da camada superficial do solo, em área de mineração de carvão de Candiota-RS. E os objetivos específicos foram: (a) determinar quais os parâmetros físicos e hídricos apresentaram maior sensibilidade às alterações impostas por diferentes eventos de tráfego de máquina no processo da recomposição da camada superficial do solo e (b) indicar o processo adequado para a deposição e espalhamento da camada de argila, a fim de reduzir os danos decorrentes dos eventos de tráfego aos atributos físico-hídricos deste solo.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Mineração de carvão para geração de energia

No mundo, cerca de 40% da energia gerada é produzida através do carvão mineral (WEC, 2013). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEM, 2010), o carvão mineral, até 2030, será a segunda maior fonte de energia do mundo, sendo superado somente pelas fontes de energia renováveis.

Segundo Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2015) a geração total de energia elétrica, no ano de 2014, no Brasil, foi de 590 TWh, correspondendo a um aumento de 3,6% do montante gerado em 2013. Deste total, a geração hidroelétrica respondeu por 373 TWh (63,2%), queda de 4,5% em relação à 2013, em decorrência da estiagem prolongada. Esta queda foi compensada por um aumento na geração termelétrica, sobretudo proveniente de derivados de petróleo, carvão e gás natural, que expandiram respectivamente 43,4%, 24,2% e 17,5% em relação a 2013, totalizando 131 TWh, atingindo 22,2% de participação na matriz elétrica.

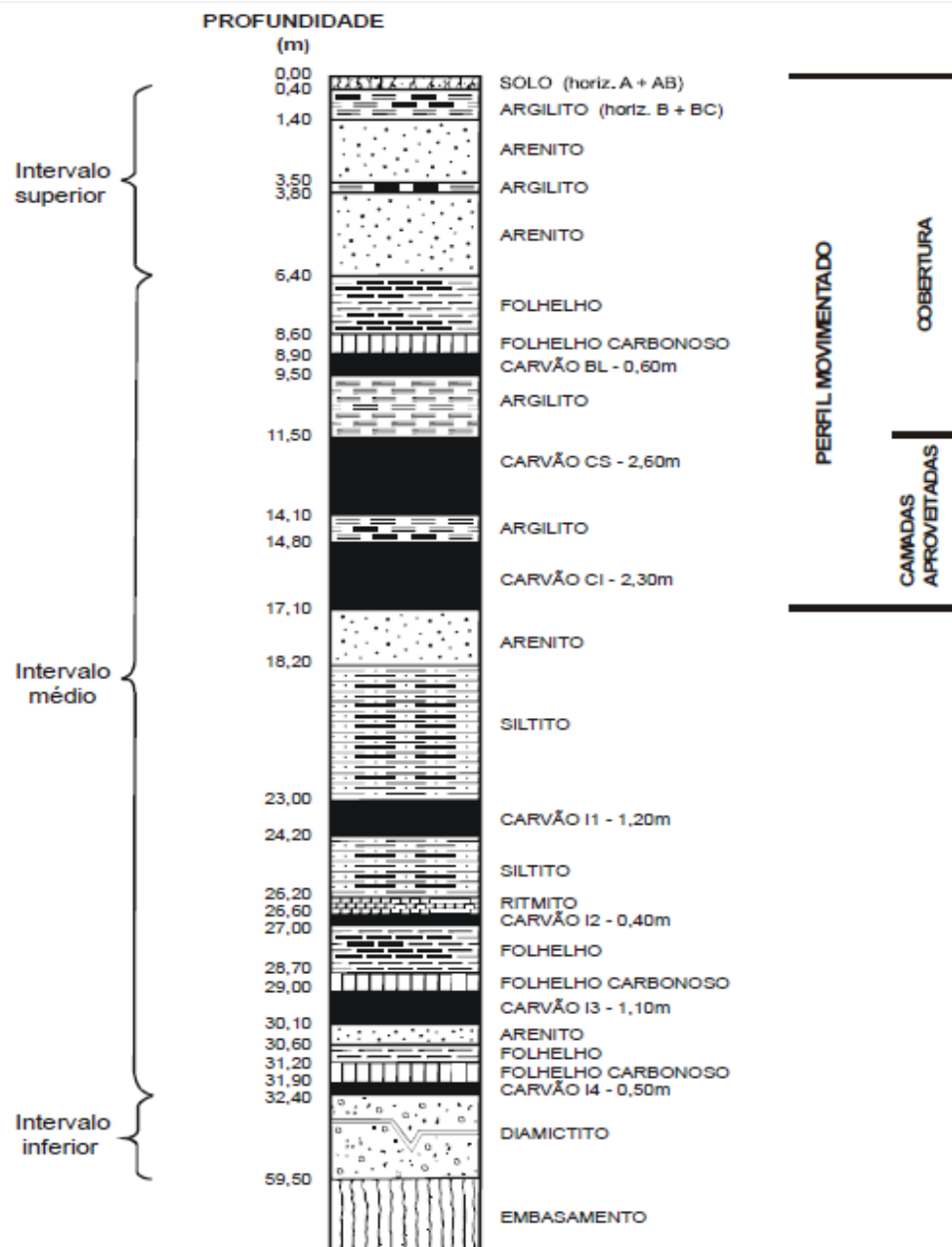
O carvão mineral é um importante recurso para a composição da matriz energética do Brasil, sendo que o País possui uma das maiores reservas de carvão mineral da América Latina. Entretanto, vem ocupando a 26ª posição na geração de energia via carvão mineral, não se encontrando entre os maiores produtores mundiais (CGEE, 2013).

Pires (2016) cita que a demanda por energia a nível mundial até 2035 exigirá o crescimento da operação de usinas em cerca de 25%. No Brasil, o crescimento da demanda por energia nos próximos anos será inferior apenas ao da Índia, demonstrando a importância de se considerar a utilização de usinas que usam o carvão como fonte energética (PIRES & HOLTZ, 2012).

As principais reservas de carvão mineral no País encontram-se no Rio Grande do Sul (RS), que apresenta em torno de 28,56 bilhões de toneladas seguido de Santa Catarina com 3,33 bilhões de toneladas. Somente a Jazida de Candiota, no RS, possui 38% de todo o carvão nacional (CRM, 2013).

A CRM possui, na jazida de Candiota, 20 áreas concedidas para pesquisa e lavra, as quais são denominadas de “malhas”, sendo que as malhas I e II já foram mineradas e, atualmente as malhas IV e VII estão sendo exploradas (CRM, 2016).

São conhecidos na mina de Candiota 23 leitos de carvão, dos quais somente a camada Candiota, é considerada economicamente viável pois apresenta de 2,30 a 6,17 m de espessura, sendo constituída por dois bancos de carvão, denominados de Candiota Inferior (CI) e Candiota Superior (CS), intercalados com siltitos e argilitos de coloração cinza-escura. A espessura das camadas de silito e de argilito varia em torno de 0,70 m (Figura 1) (PINTO, 1999). As litologias se repetem na estratigrafia, e sempre aparecem argilitos confinando os bancos de carvão da formação Rio Bonito, o que garante o ambiente impermeável e redutor, propício e necessário para gênese do carvão (PINTO, 1999).



**Figura 1** - Perfil geológico na malha IV da jazida de Candiota-RS (Extraído de Pinto, 1999).

Salienta-se que o minério advindo de Candiota-RS é pobre do ponto de vista energético e não admite beneficiamento e transporte, em função do elevado teor de impurezas. Isto faz com que sua utilização seja feita sem beneficiamento e próximo ao local de extração (BACCIN, 2011).

O carvão da mina de Candiota é extraído pela Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e utilizado pela Usina Termoelétrica Presidente Médici, que possui uma capacidade de geração de 126 MW na Fase A e 320 MW na Fase B, com uma demanda de carvão na faixa de 1,7 milhões de toneladas por ano. Um acordo bilateral entre Brasil e China, permitiu a construção da Fase C da Usina, que apresenta uma capacidade instalada de 350 MW, e que opera desde Outubro de 2010. A construção da Fase C significou a intensificação da utilização de carvão na produção de energia elétrica para atendimento do mercado brasileiro, duplicando o atual consumo deste combustível no Estado (CGTEE, 2015).

## 2.2. Aspectos legais do processo de mineração

A degradação causada pela mineração de carvão é um tema que vem sendo discutido. Historicamente, depois de explorados os recursos naturais das minas, eram abandonados sem que fossem tomadas providências para reduzir riscos e impactos socioambientais. Atualmente a Legislação Ambiental cobra medidas para mitigação dos impactos causados pela mineração, delegando às empresas mineradoras a responsabilidade pela reabilitação das áreas mineradas (CASTRO, 2012).

A alteração da paisagem é outro aspecto gerado pela mineração cujo impacto depende do volume de escavação em razão de sua localização (MECHI & SANCHES, 2010).

Apesar da dificuldade na recuperação dos solos construídos, as empresas mineradoras são obrigadas, de acordo com a constituição federal de 1988, a recuperar estas áreas, de forma que o solo construído tenha uma capacidade produtiva aceitável (QUIÑONES, 2004), conforme artigo 225, parágrafo 2º:

“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 da lei.”

Ainda, a teor do disposto no art. 20, § IX considera como bens da união os recursos minerais, inclusive os do subsolo, e que a pesquisa e lavra desses recursos só poderão ser feitas por autorização ou concessão.

É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos minerais em seus territórios (art. 23, § XI).

Segundo a legislação brasileira considera-se impacto ambiental "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais" (CONAMA, 1986).

Capeche et al. (2008) citam que o termo recuperação tem como significado o reestabelecimento do ambiente degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, implicando em uma condição em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Este termo inclui o planejamento e o trabalho de engenharia e de processos hidrológicos, e nem sempre, processos biológicos (MAJER, 1989; DIAS & GRIFFITH, 1998).

As áreas recuperadas podem ter diversos usos conforme objetivos e metas traçados para as áreas degradadas, levando-se em consideração o grau de impacto da atividade minerária. No caso da mina de Candiota o Plano de Controle Ambiental (o qual contempla o Plano de Recuperação das áreas e seus usos futuros) atribui que depois de recuperadas, as áreas serão destinadas à formação de pastagens que darão suporte às atividades ligadas à pecuária extensiva (CASTRO, 2012).

### 2.3. O processo de mineração e construção do solo

A mineração do carvão pode ser superficial "a céu aberto" ou subterrânea, de acordo com a localização dos depósitos de carvão. Atualmente, a mineração subterrânea é responsável pela maior produção de carvão no mundo, embora a mineração de superfície seja mais comum em vários países produtores como a

Austrália e os EUA, onde 80% e 67% da produção de carvão, respectivamente, advém desta forma de extração (MME, 2009).

O termo “solo construído” é utilizado para definir aquele formado por materiais e procedimentos determinados pela ação humana onde são fundamentalmente antropogênicos (STUMPF, 2015).

Os solos construídos ou minerados são solos pedologicamente jovens e o processo de recuperação pode ser acelerado pela adição de uma camada de solo superficial (terra vegetal) e revegetação (MUKHOPADHYAY; MAITI & MASTO, 2013). Muitas vezes, a camada de solo é retirada de áreas de empréstimo que pode elevar o custo da recuperação a níveis proibitivos, caso uma quantidade suficiente de solo a ser emprestada não esteja em área adjacente à mina, além de, em muitos casos, criar uma nova área degradada (CHEN et al., 2013).

A cobertura com terra vegetal melhora a qualidade do solo construído, mas o manuseio e a distribuição inadequada da camada pode causar compactação (BORUVKA et al., 2012) e dificultar o desenvolvimento da cobertura vegetal, sendo então necessária a recuperação de solos minerados, já que a acumulação de material orgânico resulta em mudanças positivas nas propriedades físico-químicas destes solos (ZHAO et al., 2013). A avaliação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos em áreas de mineração permite conhecer o aporte ao desenvolvimento vegetal e a resistência aos processos erosivos (VELLAR, 2012; LIMA et al., 2012).

Em Candiota, a mineração ocorre a céu aberto, pois o carvão localiza-se a 10 e 25 m da superfície (PINTO, 1997). Segundo Stumpf (2015) as principais etapas envolvidas no processo de mineração a céu aberto e na construção do solo são:

- a) remoção dos horizontes A, B e/ou C do solo original (Figura 2a), que são levados por caminhões para cobertura final de uma área topograficamente aplainada;
- b) remoção das rochas através da dragline (Figura 2b);
- c) extração dos bancos de carvão (Figura 2c);
- d) recomposição topográfica da área, com deposição de camada de solo (horizonte A e ou B) denominada de terra vegetal retirada na forma de cones, (Figura 2d);
- e) aplainamento/ nivelamento dos cones, “solo construído” finalizado (Figura 2e);
- f) revegetação do “solo construído” (Figura 2f).



**Figura 2** - Processo de mineração e recomposição topográfica da mina de Candiota-RS.

Salienta-se o aumento do número de estudos sobre processos envolvendo a construção do solo e a recuperação do solo minerado, tanto no Brasil (FRANCO, 2006; GONÇALVES, 2008; MIOLA, 2010; SILVA & CORRÊA, 2010; HOLANDA NETO, 2011; LEAL, 2011; CASTRO, 2012; BITENCOURT, 2014; STUMPF, 2015; entre outros), como no exterior (HOLL, 2002; CLAYTON; WICK & DANIELS, 2009; BORUVKA et al., 2012; KRÜMMELBEIN & RAAB, 2012; CHEN et al., 2013; MUKHOPADHYAY et al., 2013; LI et al., 2015; entre outros). No entanto, ainda há

necessidade de estudos específicos sobre os impactos decorrentes do tráfego de máquinas pesadas durante a recomposição topográfica da área minerada no intuito de entender a influência deste processo na recuperação de solos construídos.

#### 2.4. Alterações físicas de solos construídos em áreas de mineração

A principal alteração nos solos construídos em relação aos solos naturais refere-se à degradação física, pois o perfil de é movimentado durante a extração do carvão e, conseqüentemente no processo de construção tem sua condição natural modificada (CASTRO, 2012). Stumpf et al. (2014b) citam que a recuperação dos atributos físicos do solo em áreas impactadas pela mineração do carvão a céu aberto ocorre de forma lenta, principalmente na camada subsuperficial, que normalmente apresenta maior compactação. Lima et al. (2012) citam que a recomposição topográfica resulta em compactação do solo, aumento da densidade, diminuição da porosidade e possivelmente restrições ao desenvolvimento das culturas.

Durante as práticas de extração do carvão e de recomposição da paisagem ocorrem modificações não desejáveis na estrutura do solo, provocadas pela frequente mistura de horizontes com rejeitos de carvão, subsolo e pedaços de rochas, somando-se à compactação causada pelo empilhamento das camadas de solo e pelo uso de máquinas e equipamentos de grande porte (USSIRI & LAL, 2005; FRANCO, 2006; SHEORAN; SHEORAN & POONIA, 2010; STUMPF et al., 2013).

Os impactos causados pela recomposição topográfica de solos minerados, onde não há controle do tráfego de máquinas e de umidade do solo, refletem em atributos do solo inadequados, como drenagem deficiente, baixa aeração e dificuldade de desenvolvimento de raízes (SHRESTHA & LAL, 2011).

Costa & Zocche (2009) afirmam que geralmente solos construídos em locais de mineração de carvão podem apresentar restrições ao desenvolvimento de vegetação devido às restrições físicas do solo e deficiências. De acordo com Gonçalves (2008), estudos realizados mostram que os solos construídos possuem baixa estruturação, alta densidade, baixa porosidade, menor infiltração, baixa condutividade hidráulica, baixa disponibilidade e redistribuição de água e alto teor de argila e de fragmentos rochosos em relação aos solos naturais do mesmo local.

A avaliação da qualidade estrutural dos solos submetidos a manejos diferenciados tem sido realizada por meio de atributos como densidade, porosidade (NEVES; FELLER; KOUAKOUA, 2006), distribuição de tamanho de agregados estáveis em água e diâmetro médio ponderado dos agregados (SALTON et al., 2008), resistência tênsil dos agregados (IMHOFF; PIRES & DEXTER, 2002), avaliação das curvas de compressão (LIMA et al., 2004) e do grau de compactação (REICHERT et al., 2009).

Segundo Stumpf (2011) o conhecimento de parâmetros físicos como a densidade e a agregação de solos construídos em áreas de mineração deve ser considerado de grande importância na avaliação dos atributos físicos, pois modificam a porosidade, o grau de compactação, a penetração das raízes e a permeabilidade da água e do ar. Os parâmetros mecânicos como a pressão de preconsolidação e o índice de compressão podem indicar a capacidade de suporte de carga do solo, podendo evitar a compactação adicional.

#### 2.4.1. Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) tem sido utilizada como um parâmetro importante para a caracterização física da estrutura e como um indicador de sua compactação (PIRES & HOLTZ, 2011). De acordo com Lanzanova et al. (2007), a densidade está entre os parâmetros físicos mais utilizados na quantificação da qualidade física do solo.

O conhecimento da densidade de solos construídos pode indicar mudanças ocorridas em outros atributos que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas como a porosidade, a aeração, a condutividade e armazenagem de água, o calor, a disponibilidade de nutrientes e a resistência do solo à penetração. Estes fatores poderão indicar a tendência de um solo à erosão e as más condições para o desenvolvimento da vegetação (STONE & SILVEIRA, 2001; SECCO et al., 2005).

Segundo Alves; Suzuki & Suzuki (2007) a densidade do solo é provavelmente o indicador de qualidade física do solo mais comumente empregado, sendo o valor de  $1,6 \text{ Mg.m}^{-3}$  recomendado como limite crítico da densidade do solo em áreas mineradas, indicando necessidade de intervenção quando esta se encontrar acima deste valor.

Skousen et al. (1998) e Bussler et al. (1984) ressaltam que a densidade do solo em áreas reconstruídas é geralmente maior que a de solos naturais por causa da compactação, da estrutura fraca e do alto conteúdo de fragmentos de rochas. Kampf; Schneider & Giasson (1997) observaram alta densidade, com variação de 1,41 a 2,03 Mg.m<sup>-3</sup>, em solo construídos após a mineração do carvão no Rio Grande do Sul.

Stumpf (2015), em estudo realizado em Candiota-RS, com a inserção de plantas de cobertura em solos construídos, observou modificações positivas na densidade, em especial na camada 0,00 a 0,10 m, o que, seria reflexo do maior desenvolvimento radicular das espécies instaladas na área. Franco (2006), em estudo realizado na área de mineração de Candiota-RS, buscando a caracterização física de solo natural e solo construído após escarificação, observou que o solo construído na camada superficial apresenta valores de densidade semelhantes ao do solo natural, enquanto que na camada subsuperficial apresenta maiores valores que o solo natural, o que é consequência do trânsito de máquinas e equipamentos pesados utilizados durante o processo de lavra e construção do solo.

A porosidade total de um solo é subdividida em macro e microporosidade, sendo que a macroporosidade permite maior aeração, maior facilidade de crescimento das raízes, menor resistência ao preparo e maior drenagem, enquanto que a microporosidade permite maior retenção e armazenamento de água. O movimento de água nos microporos é lento e a maior parte da água retida nos poros não está disponível às plantas (BRADY & WEILL 2008). Neste mesmo sentido, Sousa (2013) cita que os solos com maior porcentagem de macroporos apresentam maior percolação de água, enquanto os com maior percentual de microporos, como os argilosos, apresentam grande número de poros.

Em melhores condições, a porosidade de um solo deve estar em torno de 50%, com 17% de macroporos, que responsáveis pela infiltração de água no solo e 33% de microporos, responsáveis pelo armazenamento de água no solo (ASSIS et al., 2009).

No processo de compactação ocorre uma concentração das partículas sólidas, decorrente da expulsão do ar contido nos poros, o que ocasiona adensamento e perda de porosidade (SOUZA et al., 2009).

Sequinato (2010) salienta que a compactação devido ao tráfego de máquinas gera aumento da densidade, interfere no armazenamento, transporte e

disponibilidade de água às plantas, bem como no fluxo de gases, já que provoca alterações na quantidade e continuidade de poros do solo.

#### 2.4.2. Agregação do solo

A classe textural, a mineralogia, a argila dispersa e suas interações são fatores que afetam a agregação e a estabilidade dos agregados (REIS et al., 2014). Para Carvalho et al. (2014), a estrutura do solo é uma das propriedades mais importantes do ponto de vista agrícola. Define-se estrutura do solo como a disposição geométrica de partículas. Essas partículas podem ser primárias, que são isoladas, ou secundárias, caracterizadas por um conjunto de primárias dentro de um agregado e mantido por agentes cimentantes (ferro, sílica, matéria orgânica, entre outros).

Vasconcelos et al. (2010) indicam que a agregação do solo controla a movimentação interna da água, ar e calor, bem como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

De acordo com Brady & Weill (2013) existem quatro níveis hierárquicos de agregação de solo agrícola: (a) aglomerados de partículas de argila, orientadas ou não, interagindo com óxidos de Fe ou Al e polímeros orgânicos; (b) um submicroagregado muito pequeno, constituído de partículas minerais, cobertas com matéria orgânica e pequenos fragmentos de restos de plantas e de microorganismos; (c) um microagregado, constituído principalmente de partículas de areia fina, pequenos aglomerados de argila e silte e substâncias orgânicas unidas por pêlos radiculares, hifas de fungos e gomas produzidas por microorganismos; e (d) um macroagregado composto por muitos microagregados unidos, principalmente, por uma rede de hifas de fungos e raízes finas.

Tisdall & Oades (1982) mostraram que a matéria orgânica exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes.

Segundo Wick & Daniels (2009) a agregação é fortemente prejudicada pelo processo de mineração. Esse processo provoca a mistura dos horizontes do solo e rompe os agregados, expondo os organominerais à ação de decompositores.

Reis et al. (2014) em estudo realizado em solo construído pós-mineração, em Candiota, com a inserção de plantas de cobertura, pressupôs que as mesmas promoveram a agregação e aumentaram o diâmetro dos agregados em razão da

exsudação de compostos orgânicos, microfauna presente na rizosfera e por causa da ação do sistema radicular no solo.

O tráfego repetido de máquinas de mineração (carregadores, transportadores e tratores) durante a recomposição da área minerada é responsável pela compactação dos solos minerados (SHEORAN et al. 2010), que tendem a apresentar agregados formados por compressão, principalmente quando o tráfego ocorre em condições de umidade inadequada (STUMPF et al., 2013).

#### 2.4.3. Condutividade hidráulica de solo saturado

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água se movimenta (GONÇALVES & LIBARDI, 2013). Associa-se com as propriedades específicas de cada solo (porosidade, estrutura e granulometria). Segundo Reichardt & Timm (2012), a condutividade hidráulica é sujeita a dependência da quantidade do espaço poroso, o que varia muito de um solo para outro, e até mesmo dentro da mesma classe destes.

Assim qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros, exercerá também influência sobre a condutividade hidráulica, sendo os macroporos responsáveis pela maior parte da movimentação da água no solo em condições saturadas (BRADY & WEIL, 2008).

Quinões et al. (2008) avaliando os efeitos físicos do processo de construção em solo pós mineração, observou que o tráfego de máquinas acarretou no aumento da densidade do solo e diminuição da condutividade hidráulica saturada e capacidade de infiltração de água no solo.

De acordo com Gonçalves (2008), Pedersen; Rogowski & Pennock (1980) e Hauser & Chichester (1989) os solos construídos são pouco estruturados, com alta densidade, baixa porosidade, menor infiltração, baixa condutividade hidráulica, baixa disponibilidade e redistribuição de água e mais alto teor de argila e de fragmentos rochosos em relação aos solos naturais.

#### 2.4.4. Curva de retenção e água disponível

A curva de retenção de água (CRA) é um atributo físico representado por um gráfico que expressa a relação entre o potencial matricial e o conteúdo de umidade do solo á base de massa ou volume (GUBIANI et al., 2012). Para altos teores de

água a curva característica depende do arranjo e das dimensões dos poros, passando a ser uma função da densidade e porosidade do solo. Para baixos teores de água, o potencial matricial praticamente independe desses fatores, dependendo mais da textura e mineralogia do solo (REICHARDT & TIMM, 2012).

A CRA tem-se revelado como um atributo físico-hídrico importante em estudos da qualidade física do solo (QFS), com vistas a nortear as práticas de uso e manejo sustentável dos sistemas agrícolas (SANTOS, 2010). As informações obtidas com a CRA possibilitam calcular valores de outros atributos como, por exemplo, a porosidade total e sua distribuição, saturação efetiva, dentre outros, podendo demonstrar através de sua forma (complexidade/sinuosidade) o estado estrutural do solo, refletindo na porosidade (STEFANOSKI et al., 2013).

Santos (2010) e Santos et al. (2011) contudo observaram que a interpretação correta dos diversos atributos físico-hídricos do solo, associada às suas inter-relações, permite avaliar com maior precisão a QFS nos mais variados sistemas de produção agropecuária, indicando o grau de degradação do solo em determinada área, quando comparada a solos sem alterações de ordem física.

A CRA mostra o aspecto dinâmico da água, pois permite calcular a quantidade de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potencial matricial e o conhecimento da CRA permite interpretar as características do armazenamento de água no solo em relação às necessidades hídricas de determinado cultivo (URACH, 2007).

Collares (2005) observou, em um Argissolo, que a compactação residual causada por quatro passadas de uma máquina de 10 t, após um ano, reduziu a retenção de água no solo até à tensão de 6 kPa, para a camada de 0,10-0,15 m e até 33 kPa, para a camada de 0,15-0,20 m, em relação ao plantio direto há doze anos e escarificação.

A escassez de água pode minimizar o potencial produtivo das culturas. Os seus efeitos são mais pronunciados e negativos às plantas, quando o solo apresenta restrições físicas de degradação estrutural, principalmente no aspecto poroso (SEQUINATTO, 2010).

#### 2.4.5. Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente a facilidade com que as

raízes penetram no solo (FUENTES et al., 2006). Conforme Cunha et al.(2009), a resistência do solo à penetração, medida por penetrômetros, se apresenta como um importante parâmetro na identificação das condições físicas do solo que determinam o crescimento e desenvolvimento das mais diversas culturas.

A penetrometria, por gerar número de observações que permite elevada resolução espacial, bem como por ser rápida, economicamente viável e apresentar significado biológico, simulando o impedimento mecânico ao crescimento radicular, tem sido proposta como uma importante metodologia para avaliar a qualidade física (TAVARES FILHO & TESSIER, 2009).

O tráfego intensivo de máquinas é o responsável pelo aumento da densidade e resistência do solo à penetração (RESENDE SILVA et al., 2011). Os solos construídos geralmente apresentam resistência superior à do solo natural, podendo atingir valores próximos a 7,0 MPa a 0,10 m (na superfície do solo), implicando em sérias restrições ao desenvolvimento da vegetação (NUNES, 2002).

Os valores de RP na faixa de 2,0 a 4,0 MPa têm sido críticos ao crescimento radicular de culturas anuais (SUZUKI et al., 2007), sendo seu efeito mais prejudicial quando o solo encontra-se com baixa umidade (TAVARES FILHO & TESSIER, 2009). No entanto, outros valores críticos são indicados para Argissolos e Latossolos (SEVERIANO et al., 2008; REICHERT et al., 2009; LIMA et al., 2010).

Franco (2006) em estudo que objetivou a caracterização física inicial de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS cultivado com diferentes sistemas de cobertura observou que os valores de resistência mecânica à penetração obtidos no solo construído (2,76 a 6,24 MPa) são superiores aos considerados limitantes (2,5 MPa) ao desenvolvimento das plantas.

Stumpf et al. (2015) em estudo objetivando analisar o desenvolvimento radicular de gramíneas perenes em solos construídos após a mineração de carvão, em Candiota-RS, verificou que em valores de resistência a penetração superiores a 4,5 MPa ocorreu crescimento de raízes das gramíneas em estudo (*Hemarthria altissima*, *Paspalum notatum* cv. Pensacola, *Cynodon dactylon* cv Tifton e *Urochloa brizantha*).

#### 2.4.6. Grau de compactação e compressibilidade do solo

A compactação consiste na aproximação das partículas do solo, com redução no volume por elas ocupado (REICHERT et al., 2010). O processo de compactação resulta de tensões aplicadas sobre o solo, causando incremento na densidade e redução do espaço poroso, da infiltração e do movimento interno de água, e maior resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes (SAMPIETRO et al., 2015).

Segundo Rosim et al. (2012), os principais efeitos da compactação são: aumento da resistência ao crescimento radicular, redução da aeração e disponibilidade de água, acarretando decréscimo de produtividade e qualidade das culturas.

Segundo Stefanoski et al. (2013) a compactação pelo tráfego de máquinas, originada da compressão do solo insaturado, é a principal causa da degradação física em áreas agrícolas. Alakukku et al. (2003) salientam que a pressão não é uniformemente distribuída sobre a área de contato do pneu e que essa distribuição é complexa e pode ampliar a variabilidade de pressão aplicada ao solo. Esses autores afirmam ainda que a distribuição do peso das máquinas durante as operações de campo pode facilmente variar entre eixos, bem como entre os rodados, num mesmo eixo, dependendo da magnitude da carga ou da transferência de massa durante as operações de preparo do solo.

De acordo com Horn et al. (2003), quanto maior o tráfego de máquinas, mais compacto é o rearranjo dos agregados ou das partículas do solo. Assim, pressões na interface pneu/rodado-solo é função das características do pneu/rodado e das características da carga aplicada, bem como das condições do solo (KELLER, 2004). Reichert et al. (2007) mencionam que a profundidade de compactação é variável com as especificações da máquina e rodado, condições do solo, intensidade de tráfego, histórico de pressões e manejo adotado.

Durante o processo de construção de solo ocorre tráfego intenso de equipamentos pesados sobre a área, ocasionando compactação da camada de solo reposta sobre os estéreis (CASTRO, 2012). Arranz-Gonzalez (2011) afirma que a compactação do solo construído pode anular os benefícios esperados pela reposição do solo superficial, podendo restringir o estabelecimento da vegetação por longos períodos.

Em sistemas mecanizados é importante o conhecimento dos valores de capacidade de suporte de carga (pressão de preconsolidação), da susceptibilidade à compactação (índice de compressão) e do grau de compactação. Estes indicadores podem auxiliar na escolha de máquinas que exerçam menores pressões e na redução do impacto causado à qualidade estrutural de solos agrícolas (KONDO & DIAS JUNIOR, 1999; MOSADDEGHI et al., 2003).

A pressão de preconsolidação pode ser considerada como um indicativo da capacidade de suporte de carga, onde a aplicação de pressões maiores que esta gera deformações plásticas, acarretando na compactação adicional do solo.

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

É através da inclinação da reta de compressão virgem que se obtêm o IC. Este índice representa um indicativo da suscetibilidade 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 ( $\sigma_p$ ), a pressão máxima aplicada ao solo para que a compactação adicional seja evitada. Desse modo, a  $\sigma_p$  e o IC são indicadores quantitativos da sustentabilidade estrutural dos solos podendo ser utilizado como um parâmetro na avaliação da qualidade dos solos construídos (REIS, 2012).

A pressão de preconsolidação é influenciada pela umidade, textura, teor de carbono orgânico e o estado de compactação inicial do solo. Por sua associação a valores elevados de densidade e resistência mecânica do solo, elevados valores de pressão de preconsolidação implicam em condições desfavoráveis para o crescimento das raízes, mas favoráveis para o tráfego. O índice de compressão é considerado um indicativo da suscetibilidade do solo à compactação. Solos que apresentam valores elevados do índice de compressão exibem grandes mudanças na relação ar-água-matriz quando ocorre a aplicação de uma pressão.

A estimativa é que as pressões médias aplicadas aos solos pelas máquinas agrícolas se situem entre 50 e 300 kPa (LEBERT & HORN, 1991; CARPENEDO, 1994; SILVA et al., 2000) e os reboques e caminhões podem exercer pressões entre 300 e 600 kPa (CARPENEDO, 1994; SILVA et al., 2000).

Suzuki et al. (2007) relatam que o estudo da compactação dos solos pode ser facilitado pelo conhecimento do grau de compactação. Comparações entre solos são facilitadas quando a densidade ou porosidade do solo é relacionada à densidade ou à porosidade de um solo referência (HÄKANSSON, 1990).

O grau de compactação considera a densidade atual do solo e uma densidade referência obtida em laboratório. A densidade de referência é o estado mais adensado que pode ser obtido por uma pressão estática de 200 kPa obtida no teste de compressão uniaxial (SILVA et al., 1997), para solos com estrutura não preservada. Reichert et al. (2009) também utilizaram como densidade de referência, aquela obtida na pressão de 1.600 kPa, no teste de compressão uniaxial, com amostras preservadas.

O aumento da densidade promove redução dos poros do solo e aumento do grau de compactação, o que reduz a deformação e o índice de compressão. Isso contribui para que a suscetibilidade do solo à compactação seja diminuída, aumentando sua capacidade de suporte de carga e favorecendo o tráfego de máquinas. Contudo, elevadas densidades também podem limitar o crescimento radicular das plantas (LIMA & SIRTOLI, 2006; SUZUKI et al., 2008).

Vellar (2012), em estudo realizado em área de mineração de carvão, com diferente intensidade de tráfego de máquinas na construção do solo, apontou que a densidade na pressão de preconsolidação, nas camadas de 0,00 a 0,05 m e de 0,10 a 0,15 m, foi sensível para indicar diferenças em um solo construído sob diferentes eventos de tráfego, observando ainda que a pressão de preconsolidação, em todos os potenciais estudados (6, 10, 33 e 1500 kPa) aumentou conforme ocorreu incremento de eventos de tráfego de máquinas de 0 para 8 eventos (56 para 322 kPa; 117 para 322 kPa, 334 para 800 kPa e 708 para 822 kPa, respectivamente).

Segundo Reichert et al. (2009), o grau de compactação expressa a compactação relativa do solo e é útil para indicar mudanças em vários parâmetros físicos, bem como a condutividade hidráulica de solo saturado e a macroporosidade.

Segundo Lima et al. (2012) a inserção de culturas de cobertura diminuiu a pressão de preconsolidação de solos construídos após mineração de carvão e a maior recuperação do solo foi obtida com a planta de cobertura Hemartria.

Stumpf (2011), em experimento realizado com a implantação de plantas de cobertura em solo construído pós mineração, em Candiota-RS com amostragem em 2 anos consecutivos, percebeu que a utilização de plantas de cobertura, de modo

geral, aumentou os valores da pressão de preconsolidação do solo em relação à testemunha e que o índice de compressão (IC), não apresentou diferença significativa entre tratamentos quando comparado com a testemunha, o que pode estar relacionado ao pouco tempo de condução do experimento.

## 2.5. Recuperação e utilização de áreas pós-mineração

Os processos de mineração tendem a alterar radicalmente os solos, bem como o ambiente onde ocorrem e o seu entorno (ALBUQUERQUE et al., 2011). Franco & Marimon (2008) ressaltam que a recuperação de áreas degradadas através da recomposição da paisagem e do monitoramento da qualidade da água no solo, permite propor novos usos às áreas, devendo a escolha considerar o tempo e o grau atingido da qualidade ambiental especificada no projeto.

Em um planejamento de recuperação de área degradada pela mineração, o grande desafio a ser alcançado é o estabelecimento de um horizonte A, para que, a partir daí, o processo seja catalisado pela biosfera, podendo surgir outros horizontes, conforme o condicionamento natural (KITAMURA et al., 2008).

Em áreas degradadas pela remoção da vegetação e do solo ou de parte de suas camadas, levando à exposição do horizonte C ou, ainda, do subsolo, tem-se buscado a recuperação por meio da revegetação, pois é de amplo conhecimento a inter-relação da vegetação com a morfologia, a química e a biologia do solo (ALVES & SOUZA, 2008).

Segundo Chodak & Niklinska (2010) na recuperação de solos afetados pela minerados o uso de materiais com maior teor de argila favorece o acúmulo de carbono orgânico no solo e pode aumentar a atividade e a biomassa microbiana.

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

Segundo Haynes & Beare (1997), solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares

que adicionam material orgânico de quantidade e composição variada. A diferença entre espécies pode estar na qualidade do material orgânico sintetizado pelas raízes das diversas culturas ou na configuração das raízes, especialmente na proporção das raízes laterais (BASSO & REINERT, 1998).

Santos (2006), estudando solos construídos em áreas de mineração de carvão mineral na região Sudoeste do RS, enfatizou que as gramíneas proporcionam condições de proteção do solo, sendo que o tapete formado pela parte aérea e o sistema radicular fasciculado garantem proteção da superfície do solo, o que atenua os danos causados por chuvas torrenciais, e impedindo o escoamento superficial das partículas do solo, nutrientes e matéria orgânica, anulando quase que totalmente a erosão do solo.

Em estudo realizado na área de recuperação da mina de carvão de Candiota-RS, Holanda Neto (2011) constatou que a correção do solo através da calagem e adubações, bem como os cultivos resultaram em aumento nos valores de pH, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, manganês, zinco, cobre e sódio trocável do solo construído após a mineração de carvão. O autor também salienta que as diferentes espécies usadas para vegetação do solo aumentaram os teores de carbono orgânico total e a respiração basal do solo em relação ao mesmo solo não vegetado e que os maiores teores de carbono da biomassa microbiana no solo, constatados nos cultivos com *Hemátria* e *Urochloa humidícola*+*Hemátria*, indicam possíveis alternativas para a recuperação da área em estudo.

Stumpf et al. (2014a) observaram que, após 24 meses de condução de experimento implantado na área de mineração de carvão da CRM em Candiota-RS, todos os tratamentos estudados ( T1 - *Cynodon dactylon* cv vaquero; T2 - *Urochloa brizantha*; T3 - *Panicum maximun*; T4 - *Urochloa humidicola*; T5 - *Hemarthria altissima*; e T6 - *Cynodon dactylon* cv tifton 85), apresentaram melhorias na agregação do solo, quando comparados ao solo construído sem plantas de cobertura (testemunha), principalmente na camada de 0,00-0,05 m, com destaque para as *Urochloa* (T2 e T4) e a *Hemarthria altissima* (T5). No entanto, os autores salientam que as diferenças na agregação do solo entre os tratamentos com gramíneas e o solo natural (referência) sugerem um tempo muito longo para a recuperação das condições estruturais do solo anteriores à mineração.

Reis et al. (2014) em estudo semelhante ao de Stumpf et al. (2014a) concluíram que plantas de crescimento rápido como as poáceas, que têm sistema

radicular diferenciado e que proporcionam melhores índices de cobertura do solo, podem favorecer o processo de recuperação de áreas degradadas, impedindo a desagregação do solo, pois reduzem a densidade do solo, aumentam a macroporosidade, a porosidade total, o diâmetro dos agregados, o teor de carbono orgânico total, reduzindo desta forma a compactação dos solos construídos.

Em pesquisa conduzida na recuperação de solos no Centro-Oeste dos Estados Unidos, Darmody; Dunker & Barnhisel (2002) verificaram que a recuperação da condição física do solo é o fator mais importante para a inserção de culturas com sucesso, sendo fundamental para sua construção a seleção dos melhores materiais (solos) disponíveis e um método de manuseio destes que minimize a compactação. Na Republica Checa Boruvka et al. (2012), avaliando o efeito da cobertura com terra vegetal como uma medida de recuperação sob estéreis de mineração de carvão, observaram um aumento do conteúdo de carbono orgânico e da qualidade do húmus do solo minerado. Em áreas mineradas de carvão a céu aberto na China, Zhang et al. (2015) analisaram os efeitos da vegetação no escoamento superficial e na erosão do solo e observaram que após 5 anos, a vegetação aumentou o conteúdo de matéria orgânica, melhorou as propriedades físicas do solo e reduziu o escoamento superficial e a erosão.

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Área de estudo

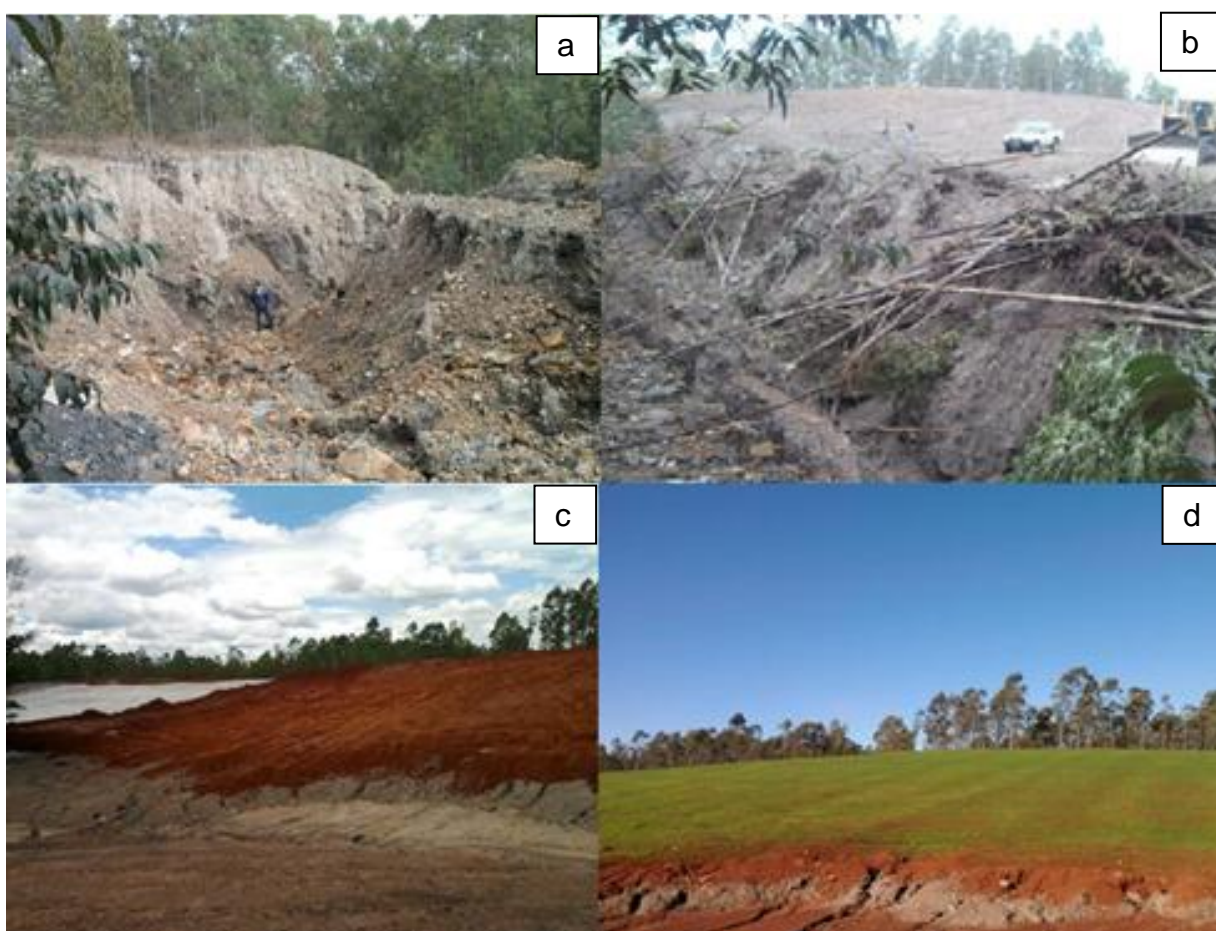
O estudo foi realizado em área de mineração de carvão, localizada na região da Campanha no Rio Grande do Sul (RS), pertencente à Companhia Rio-grandense de Mineração (CRM), em Candiota-RS. O município de Candiota, cujas coordenadas geográficas são 31,55° de latitude Sul e 53,67° de longitude Oeste, está situado a 400 km da cidade de Porto Alegre. O clima da região é classificado como sendo do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido (KÖPPEN, 1948)

A área de realização do estudo está inserida na malha II (Figura 3), com aproximadamente 10 hectares de solo construído. Na totalidade a malha II possui aproximadamente 200 hectares e data de exploração anterior à década de 90, período no qual a construção do solo era realizada de forma desordenada, o solo era retirado e depositado nas áreas já mineradas sem controle o que resultou em uma área com cobertura por terra vegetal (solo com baixa aptidão agrícola e com alta erodibilidade).

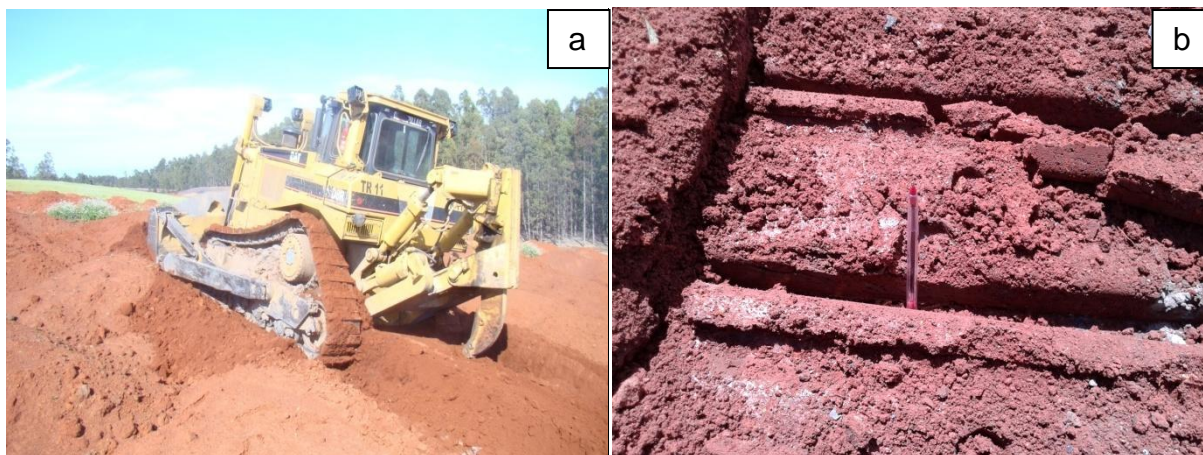


**Figura 3** – Localização da área de mineração de Candiota-RS, com destaque para o local que representa a área de estudo na malha II.

O processo de recuperação da malha II realizado pela CRM e empregado nesse trabalho, baseia-se na retirada da vegetação antiga (Eucaliptos) (Figura 4a e 4b), retirada de solo remanescente de outras áreas de mineração atual [horizonte B (B1, B2 e B3) de um solo classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico Típico (Apêndice 9)], transporte por caminhão caçamba e deposição deste material na área em forma de cones, nivelamento com trator de esteira, modelo D8T da Caterpillar® [peso de 38 T, potência de 259 kW, comprimento da esteira sobre o solo de 3,20 m, largura da esteira de 0,56 m, área de contato das esteiras com o solo de 3,6 m<sup>2</sup>, pressão aplicada ao solo de 103,5 kPa, (Figura 5)] para formação de camada uniforme de 0,70 m pós nivelação (Figura 4c), finalizando com a inserção de cobertura vegetal na área (Figura 4d). É importante ressaltar que as coletas de solo realizadas no presente estudo foram executadas anteriormente à inserção da cobertura vegetal.



**Figura 4** – Ilustrações da condição anterior (a e b) e a de construção (c e d) da área experimental (malha II).



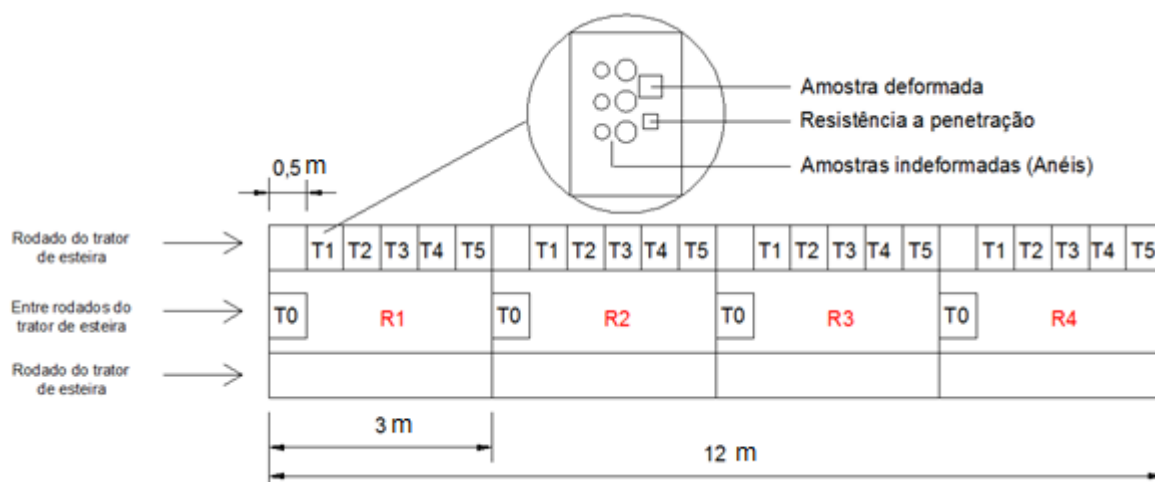
**Figura 5** - Trator de esteira utilizado no processo de construção do solo (a) e detalhe do efeito da garra da esteira no solo (b).

## 3.2. Tratamentos e coleta das amostras

### 3.2.1. Tratamentos

No presente estudo, foram avaliados 6 tratamentos baseados em diferentes eventos de tráfego ocorridos durante a construção do solo. Os tratamentos foram: 0, 1, 3, 5, 8 e 12 passadas, caracterizados como: T0, T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, sendo que no tratamento T0 ocorre somente o efeito da lâmina de espalhamento de solo do trator de esteira. O solo construído foi classificado a partir de sua composição granulométrica: 47,3 % de argila, 22,5 % de silte e 30,2 % de areia (Apêndices 1a e 1b), como argiloso.

As coletas das amostras de solo para realização dos ensaios foram realizadas em 5 pontos na linha (T1, T2, T3, T4 e T5) e 1 ponto fora da linha das passadas do trator (T0), ao longo de uma transecção de 12 m (Figura 6). Foram realizadas 4 amostragens (R1, R2, R3 e R4) a cada 3 m nas camadas de 0,00 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, totalizando 48 amostras de solo deformadas e 288 amostras de solo com estrutura preservada (três repetições por amostragem). Estas últimas foram coletadas em dois tipos de anéis (144 anéis com 7 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura e 144 anéis com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura).



**Figura 6** - Croqui da localização das coletas das amostras deformadas e indeformadas na área experimental, em Candiota-RS.

### 3.2.2. Análises físicas e hídricas do solo

As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação da distribuição das partículas do solo por tamanho (granulometria), utilizando o método da pipeta descrito por Gee & Bauder (1986). A distribuição de agregados estáveis em água, em diferentes classes de tamanho e do diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) foi realizada utilizando o método de Kemper & Rosenau (1986), adaptado por Palmeira et al. (1999), com o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936). Os intervalos das classes dos agregados foram: C1: 9,52- 4,76 mm; C2: 4,76-2,0 mm; C3: 2,00-1,00 mm; C4: 1,00-0,25 mm; C5: 0,25-0,105 mm e C6: <0,105 mm. A partir dessas classes, os agregados foram separados em macroagregados (maiores que 0,25 mm), e microagregados, (menores que 0,25 mm), de acordo com Tisdal & Oades (1982).

As amostras indeformadas, coletadas com anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, foram utilizadas para as avaliações da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado e água disponível (AD), e as coletadas com anéis de 7 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura foram utilizadas para a avaliação da tensão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), densidade do solo na tensão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), índice de compressão (IC) e densidade inicial do solo ( $D_{si}$ ), sendo essa utilizada no ensaio de compressibilidade.

As amostras coletadas em anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura foram saturadas por capilaridade por um período mínimo de 24 horas, pesadas e equilibradas na tensão de 6 kPa em mesa de tensão para a determinação da macroporosidade (Ma) (EMBRAPA, 2011). Após, estas foram secas em estufa a 105° C por 24 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds). A porosidade total (Pt) foi determinada baseando-se nos valores da densidade do solo e da densidade de partículas.

Para a elaboração das curvas de retenção de água no solo foram utilizadas as câmaras de pressão de Richards para altas tensões (10, 33; 100 e 1.500 kPa) e a mesa de tensão para as baixas tensões (1 e 6 kPa), segundo metodologia descrita por Embrapa (2011). Os dados da relação umidade volumétrica e potencial mátrico foram ajustados pelo programa computacional Soil Water Retention Curve,- SWRC desenvolvido por Dourado Neto et al. (1995), que utiliza o modelo de Van Genuchten (1980), dentre outros. Os parâmetros empíricos foram ajustados partindo-se de valores iniciais de 0,015; 2,0 e 0,50, para  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ ; respectivamente, e calculados considerando sua independência (Van GENUCHTEN & NIELSEN, 1985). A capacidade de água disponível (CAD) foi calculada conforme Reichardt & Timm (2012), onde esta foi obtida pela diferença entre a umidade na capacidade de campo considerando a tensão de 10 kPa e a umidade no ponto de murcha permanente na tensão de 1.500 kPa.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada utilizando permeâmetro de carga constante, segundo procedimentos descritos em Libardi (2012).

Foi medida também a resistência mecânica do solo à penetração à campo, utilizando o Penetrômetro de Impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF (STOLF; FERNANDES & FURLANI NETO, 1983), sendo realizadas quatro repetições em cada tratamento e quatro repetições em cada ponto de amostragem. Esta determinação foi acompanhada da determinação da umidade gravimétrica do solo nas camadas de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m.

Para o ensaio de compressibilidade, as amostras de solo coletadas em anéis de 7 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, foram saturadas por capilaridade, durante 48 h, sendo posteriormente submetidas à tensão de 10 kPa (Apêndice 13) e equilibradas em câmaras de pressão de Richards (EMBRAPA, 2011). Após o equilíbrio, cada amostra foi pesada e submetida ao ensaio de compressão uniaxial,

em consolidômetro automático Modelo CNTA-IHM/BR (Masquetto Automação Agrícola), sendo aplicadas as pressões sucessivas e estáticas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa (SILVA; MASQUETTO & LANÇAS, 2007). Desta forma, foram elaboradas as curvas de compressão do solo relacionando o logaritmo da pressão aplicada (eixo das ordenadas) *versus* a densidade do solo (eixo das abscissas) para avaliação da pressão de preconsolidação (DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1995) e do índice de compressão, conforme Casagrande (1936). Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, os valores de densidade foram normalizados, dividindo-se a densidade obtida ao final da aplicação de cada carga ( $D_s$ ) pela densidade inicial do solo ( $D_{si}$ ).

### 3.2.3. Análises complementares

Como análises complementares foi realizado o ensaio de proctor bem como a descrição e classificação do solo do local de extração, a análise química do solo do local de extração e do solo construído e a verificação do efeito do tempo/clima no tratamento (T0).

O ensaio de Proctor foi realizado com amostra deformada de solo oriundo do local do experimento (solo construído), conforme a norma rodoviária DNER-ME 228/94 (DNER, 1994), no Laboratório de Mecânica do Solo da UFPel, em equipamento miniatura, com 4 pontos de umidade e 3 repetições por ponto.

A descrição morfológica e a separação dos horizontes do perfil de solo do local de extração foram realizadas conforme Santos et al. (2015), sendo ainda coletadas 6 amostras no horizonte B (2 em B1, 2 em B2 e 2 em B3), para determinação da densidade, macroporosidade, microporosidade e curva de retenção de água, conforme procedimentos já descritos.

As análises químicas do perfil de extração e do solo construído foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas de Solos da UFPel, onde foi determinado o pH, conteúdo de matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes, conforme Embrapa (2011).

Para a avaliação do efeito do tempo/clima na reestruturação do solo foi realizada a recomposição da camada superficial do solo, seguindo procedimento semelhante ao realizado no experimento, onde foram realizadas duas amostragens: uma logo após a recomposição da camada superficial (em 11/12/15, considerado

tempo zero) e a outra 32 dias depois (12/01/2016) utilizando anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m) totalizando 16 anéis. Nessas amostras, foi determinada a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade.

#### 3.2.4. Análises estatísticas

O conjunto de dados foi submetido ao teste de Shapiro-Wilk para verificar se as variáveis seguem uma distribuição normal de probabilidade, e posteriormente realizada a análise de box-plot para verificar a presença de valores discrepantes, sendo estes eliminados.

Os valores referentes a cada parâmetro foram submetidos à ANOVA, considerando o delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 4 repetições, sendo testada a hipótese  $H_0$  a 5% de probabilidade de erro. Posteriormente, o teste de Duncan foi realizado para identificar diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Densidade e Porosidade do solo

Observa-se na Tabela 1, que a partir do primeiro evento de tráfego (T1) os atributos físicos do solo foram afetados negativamente, em ambas as camadas, com os maiores valores de densidade, dentre os tratamentos testados, associados aos tratamentos T5 (1,54 Mg.m<sup>-3</sup>) na camada de 0,00 a 0,10 m e T4 (1,61 Mg.m<sup>-3</sup>), na camada de 0,10 a 0,20 m. Os valores de densidade encontrados estão de acordo com os apresentados por Power; Ries; Sandoval (1978), que citam ser comum encontrar valores de densidade entre 1,40 e 1,70 Mg.m<sup>-3</sup> em áreas de mineração, principalmente devido à utilização de máquinas pesadas.

**Tabela 1** – Valores médios de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e seus respectivos desvios padrão, de um solo construído submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Ds (Mg.m <sup>-3</sup> )		Pt (%)		Mi (%)		Ma (%)	
Camada 0,00 a 0,10 m								
T0	1,19	c	55,67	a	30,10	b	25,58	a
	(0,08)*		(2,23)		(2,27)		(4,83)	
T1	1,50	ab	44,19	b	37,35	a	6,84	bc
	(0,06)		(1,31)		(0,89)		(1,19)	
T2	1,50	ab	44,68	b	36,25	a	8,43	b
	(0,05)		(1,29)		(0,85)		(1,94)	
T3	1,47	b	44,17	b	36,49	a	7,68	bc
	(0,07)		(2,27)		(1,96)		(3,70)	
T4	1,53	ab	41,89	b	37,09	a	4,80	bc
	(0,04)		(1,31)		(1,10)		(1,24)	
T5	1,54	a	41,94	b	37,95	a	4,00	c
	(0,05)		(1,78)		(0,84)		(1,79)	
Camada 0,10 a 0,20 m								
T0	1,28	c	52,44	a	29,71	c	22,72	a
	(0,07)		(1,40)		(1,20)		(1,49)	
T1	1,49	b	44,45	b	35,31	ab	9,14	b
	(0,12)		(2,88)		(1,65)		(4,64)	
T2	1,54	ab	42,39	b	34,72	b	7,67	b
	(0,07)		(1,79)		(0,71)		(0,88)	
T3	1,53	b	41,62	b	36,44	a	5,18	bc
	(0,08)		(2,93)		(1,69)		(4,50)	
T4	1,61	a	38,54	c	36,21	ab	2,33	c
	(0,03)		(0,89)		(1,06)		(1,03)	
T5	1,54	ab	42,31	b	36,70	a	5,61	bc
	(0,04)		(1,65)		(1,35)		(2,65)	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

\* Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão de cada tratamento.

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Observa-se ainda que, comparando o tratamento T0 com os demais tratamentos, verifica-se um aumento significativo de densidade com o aumento do número de passadas, chegando a 29,41% na camada de 0,00 a 0,10 m (de 1,19 para 1,54  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) e, 25,78% na camada de 0,10 a 0,20 m (de 1,28 para 1,61  $\text{Mg.m}^{-3}$ ). Vellar (2012) estudando a influência do número de passadas do trator de esteira sobre as propriedades físicas do solo, em Candiota-RS, observou um incremento de 15 % nos valores de densidade do solo com 5 passadas do trator de esteira quando comparado a 1 passada, sendo que esta elevação deve-se ao aumento da pressão da máquina sobre o solo construído.

Comparando as duas camadas (0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m) nota-se que os valores de densidade do solo apresentaram pequeno incremento em profundidade. Ressalta-se que na camada superficial a partir de uma passada do trator de esteira (T1) o solo atingiu 97,40 % da maior densidade encontrada. Na camada subsuperficial o tratamento (T1) atingiu 92,54 % da maior densidade do solo, indicando que um evento somente já propicia elevado acréscimo da sua densidade.

A elevação da densidade em profundidade também foi observada por Stumpf (2015) que, em trabalho objetivando analisar o desenvolvimento radicular de gramíneas perenes em solos construídos após a mineração de carvão e relacionar seus resultados com os atributos físicos e químicos, observou que a densidade do solo foi menor na camada 0,00-0,10 m (1,22  $\text{Mg.m}^{-3}$  a 1,45  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) em relação às camadas 0,10-0,20 m (1,36  $\text{Mg.m}^{-3}$  a 1,59  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) e 0,20-0,30 m (1,54  $\text{Mg.m}^{-3}$  a 1,46  $\text{Mg.m}^{-3}$ ).

Cabe salientar que valores superiores de densidade encontrados em tratamentos com menor número de eventos de tráfego, tratamento (T4) em relação ao (T5) na camada subsuperficial, pode ser consequência do maior número de amostras afetadas pela garra da esteira, visto que possui maior penetrabilidade no solo (Figura 5b) ocasionando assim maior compactação.

De forma oposta aos valores de densidade, os maiores valores de porosidade total (Pt), em ambas as camadas, encontram-se associados ao T0 (0 passadas), sendo que do percentual total desta, 30,10% e 29,71% está associado à microporosidade, para as camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente. A partir do aumento do número de eventos de tráfego a Pt

apresenta redução para ambas as camadas, entretanto sem diferenças estatisticamente significativas.

Quando se compara os valores de porosidade total entre as camadas, observa-se que os tratamentos T0, T2, T3 e T4, apresentaram valores superiores na camada superficial, em relação à subsuperficial. Fato semelhante foi observado por Franco (2006) onde a camada superficial apresentou porosidade total maior que a subsuperficial, tanto para o solo construído como para o solo natural.

Quanto à microporosidade (Tabela 1) verifica-se que a maior variação no percentual de microporos ocorreu entre os tratamentos T0 e T5, sendo de 7,85% na camada de 0,00 a 0,10 e de 6,99% na camada de 0,10 a 0,20 m. No entanto, de forma semelhante à densidade, a microporosidade para o tratamento T1 atingiu 98,41% e 96,21% do (T5) nas camadas superficial e subsuperficial, respectivamente, indicando que o aumento do número de passadas do trator de esteira apresentou baixa influência no acréscimo do percentual de microporos.

Nota-se ainda que os valores médios de microporosidade são superiores aos valores de macroporosidade em todos os tratamentos e camadas, o que evidencia a potencialidade do solo para maior retenção de água a maiores tensões. Segundo Reichert & Reinert (2006) os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água e os macroporos pela aeração e infiltração de água no solo.

A macroporosidade (Tabela 1) apresentou redução de seus valores com o aumento dos eventos de tráfego, sendo o maior valor encontrado em T0, para ambas as camadas e o menor em T5 e T4 para as camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente, a redução foi de 21,58% para a camada superficial e de 20,39% para a camada subsuperficial. Observou-se também que os tratamentos T0, T2, T3, T4 e T5 apresentaram redução da macroporosidade em profundidade.

Stumpf (2015), analisando o desenvolvimento radicular de gramíneas perenes em solos construídos após a mineração de carvão e relacionando seus resultados com os atributos físicos e químicos do solo, também observou uma maior porosidade total (PT) ( $0,41 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e macroporosidade (Ma) ( $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) na camada superficial em relação às camadas subjacentes, onde a PT variou de  $0,37 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  e a Ma variou de  $0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  na camada 0,10-0,20 m, enquanto que na camada 0,20- 0,30 m a PT variou de  $0,38 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  e a Ma variou e de  $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  a  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ .

Genro Júnior et al. (2009) citam que a relação considerada adequada de macroporos em relação à porosidade total é de 33%, para uma adequada capacidade de aeração. Assim, considerando que a etapa final do processo de construção adotado pela CRM consiste na inserção de cobertura vegetal (pastagem), nota-se que no presente trabalho esta relação só ocorreu para T0 (0 passadas). Logo com as passadas do trator de esteira sobre o solo (T1 a T5) as condições ideais de aeração e retenção de água possivelmente ficaram comprometidas, visto que o percentual de macroporos ficou abaixo de 10%, considerado valor mínimo adequado para o desenvolvimento das plantas.

Analisando os valores do desvio padrão (Tabela 1), nota-se que a densidade do solo, porosidade total e microporosidade são inferiores a 8% da média dos tratamentos, já para a macroporosidade os valores de desvio padrão encontram-se superiores, chegando a aproximadamente 87% da média dos tratamentos (T3, camada de 0,10 a 0,20 m), o que indica maior variabilidade dos valores nas repetições.

Buscando verificar o efeito do clima e do tempo sobre os atributos físicos de solo construído sem eventos de tráfego (T0), na Tabela 2 é apresentada a comparação dos valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

**Tabela 2** – Comparação entre os valores médios de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de um solo não submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS, em duas datas.

Prof. (m)	Densidade (Mg.m <sup>-3</sup> )		Macroporosidade (%)		Microporosidade (%)		Porosidade total (%)	
	11/12**	12/01***	11/12	12/01	11/12	12/01	11/12	12/01
0-10	1,21*	1,16*	24,18*	28,53*	29,32*	26,99*	53,50*	55,52*
10-20	1,23 <sub>-</sub>	1,24 <sub>-</sub>	23,21 <sub>-</sub>	23,10 <sub>-</sub>	29,57 <sub>-</sub>	29,40 <sub>-</sub>	52,78 <sub>-</sub>	52,51 <sub>-</sub>

\* Não apresenta diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

\*\* 1º coleta de avaliação do T0

\*\*\* 2º coleta de avaliação do T0

Analisando a Tabela 2, nota-se que decorridos 32 dias entre coletas e com uma precipitação total ocorrida de 234,20 mm (Apêndice 12), não ocorreu diferença significativa entre os valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total entre as coletas, indicando que o efeito do tempo e clima não afetou

os atributos físicos do solo, ou seja, após aproximadamente um mês não houve acomodação do solo o suficiente para que houvesse mudanças nesses atributos.

**Tabela 3** – Valores médios de densidade (Ds), porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) dos horizontes do perfil natural de extração do solo, em Candiota-RS.

Horiz.	Prof. (cm)	Ds Mg/m <sup>3</sup>	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)
A	0 – 12	1,36	6,58	39,05	45,64
AB	12 – 25	1,43	11,44	34,12	45,56
BA	25 – 35	1,33	8,59	41,73	50,32
B1	35 – 55	1,51	4,43	38,90	43,33
B2	55 – 105	1,52	3,78	38,76	42,54
B3	105 – 170	1,59	4,72	36,54	41,26
BC	170/180 – 210/220	1,52	8,32	35,35	43,67
C	210/220 – 250 -	1,55	5,92	37,12	43,04
S1	-	1,64	1,43	37,81	39,24
Arenito	-	1,72	21,81	15,93	37,74

Analisando os dados de Ds, Ma, Mi e Pt (Tabela 3) e comparando-os com os da Tabela 1, onde se verifica a influência dos tratamentos (número de eventos de tráfego de trator de esteira), pode-se observar que estes valores encontram-se próximos, indicando que o processo de construção originou um solo com atributos físicos semelhantes ao do perfil original (Horizonte B1, B2 e B3).

Assim, cabe ressaltar que a degradação física do solo construído deve-se ao efeito da pressão exercida pela máquina, visto que, somente através de eventos de tráfego ocorreu o aumento de Ds, Mi e redução de Ma e Pt (Tabela 1). Também foi possível verificar que em ambos os experimentos realizados (Tabelas 1 e 2) os valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total no tratamento T0 são semelhantes.

#### 4.2. Resistência à penetração determinada a campo

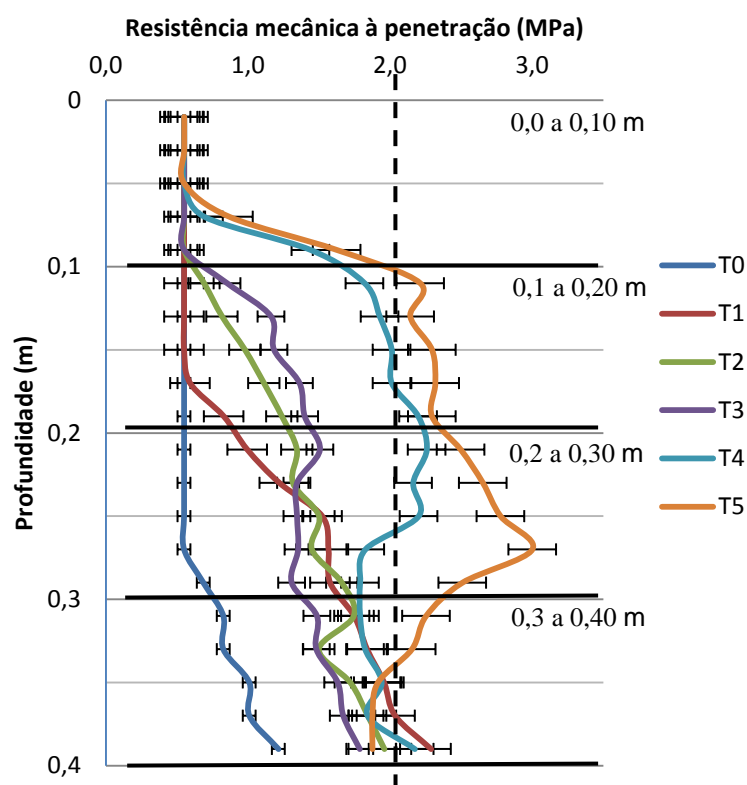
Observa-se na Figura 7 que os maiores valores de resistência à penetração (RP) encontrada a campo estão associados aos tratamentos T4 e T5 de forma semelhante à densidade do solo (Tabela 1), o que era esperado, visto que, o incremento de RP para um mesmo solo está associado a um menor espaço poroso

e maior densidade. Evidencia-se que, para a condição de umidade estudada, os tratamentos que envolveram o tráfego de máquina na construção do solo (T1, T2 e T3) apresentaram elevação dos valores de resistência à penetração, em todas as camadas estudadas (Tabela 4). Já para os tratamentos T4 e T5 ocorreu aumento de RP até 0,25 m de profundidade com posterior redução, mantendo o valor de RP na camada de 0,30 a 0,40 m próxima aos demais eventos de tráfego.

Este fato está de acordo com Jakobsen & Greacen (1985) que citam que à medida que o número de passadas de maquinários de grande porte no mesmo local aumenta, há incremento menos acentuado e de forma logarítmica da compactação e com Vellar et al. (2011) que, em estudo realizado com diferentes intensidades de tráfego na construção de solos verificaram que com o aumento da intensidade do tráfego ocorreu a redução da amplitude de resistência mecânica à penetração entre os tratamentos testados. Vellar (2012), em trabalho semelhante também observou que a compactação não se transmitiu em profundidade, no entanto, a autora verificou que a RP foi maior até a camada de 0,10 a 0,20 m, diferindo do presente trabalho, onde os maiores valores de RP foram observados até a camada de 0,20 a 0,30 m.

Foi verificado que, mesmo o solo construído apresentando aproximadamente 0,70 m de espessura de terra vegetal, o tratamento T0 apresentou aumento da RP a partir de 0,30 m, fato que pode ser explicado devido ao acréscimo de densidade que pode vir a ocorrer na base do cone do solo argiloso devido ao impacto que este sofre ao ser depositado no local de construção.

A determinação da RP a campo não mostrou sensibilidade a modificações após as passadas do trator de esteira na camada de 0,00 a 0,10 m nos tratamentos T2 e T3 e nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m para o tratamento T1, visto que os demais atributos analisados [Ds, Pt, Ma e Mi (Tabela 1)] mostram alterações expressivas quando comparados ao (T0).



**Figura 7** – Resistência mecânica à penetração (MPa) obtida a campo de um solo construído sob eventos de tráfego, em Candiota-RS.

(T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas; T5=12 passadas).

\*Barras horizontais correspondem ao erro padrão.

Observa-se que os maiores valores de RP foram obtidos no T4 de 2,26 MPa e no T5 de 3,0 MPa, ambos na camada de 0,20 a 0,30 m (Figura 7). Estes valores são superiores aos citados por Taylor; Roberson & Parker Jr (1966), Tormena; Silva & Libardi (1999) e Foloni et al. (2003) que afirmaram que valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa tem sido frequentemente utilizados como impeditivos ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas.

Stumpf (2015) observou valores de RP maiores que 2,0 MPa principalmente abaixo da camada de 0,10 m, com valores que oscilaram de 4,39 MPa a 5,92 MPa na camada 0,10-0,20 m e de 4,06 MPa a 5,36 MPa na camada 0,20-0,30 m. Mesmo com estes altos valores de RP a autora verificou desenvolvimento radicular das culturas (*Cynodon dactylon*, *Paspalum notatum*, da *Urochloa brizantha* e da *Hemarthria altíssima*) em todas as camadas analisadas.

Cabe ressaltar ainda que as umidades gravimétricas ( $U_g$ ) (Tabela 4) determinadas para as camadas de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m durante a execução das medidas de RP foram semelhantes, com exceção da  $U_g$  na

camada de 0,20 a 0,30 m (T1 e T5). Pode-se afirmar, portanto, que a umidade não interferiu nos valores de RP nas camadas avaliadas.

**Tabela 4** - Umidade gravimétrica (Ug) de um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m, em Candiota- RS.

Trat. <sup>1</sup>	Ug (%)			
	0,00 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0,20 a 0,30 m	
T0	21,89*	21,55*	22,74	ab
T1	19,90*	23,77*	23,81	a
T2	21,77*	22,36*	21,92	ab
T3	21,26*	22,24*	22,05	ab
T4	20,95*	22,40*	22,05	ab
T5	20,08*	21,41*	20,66	b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

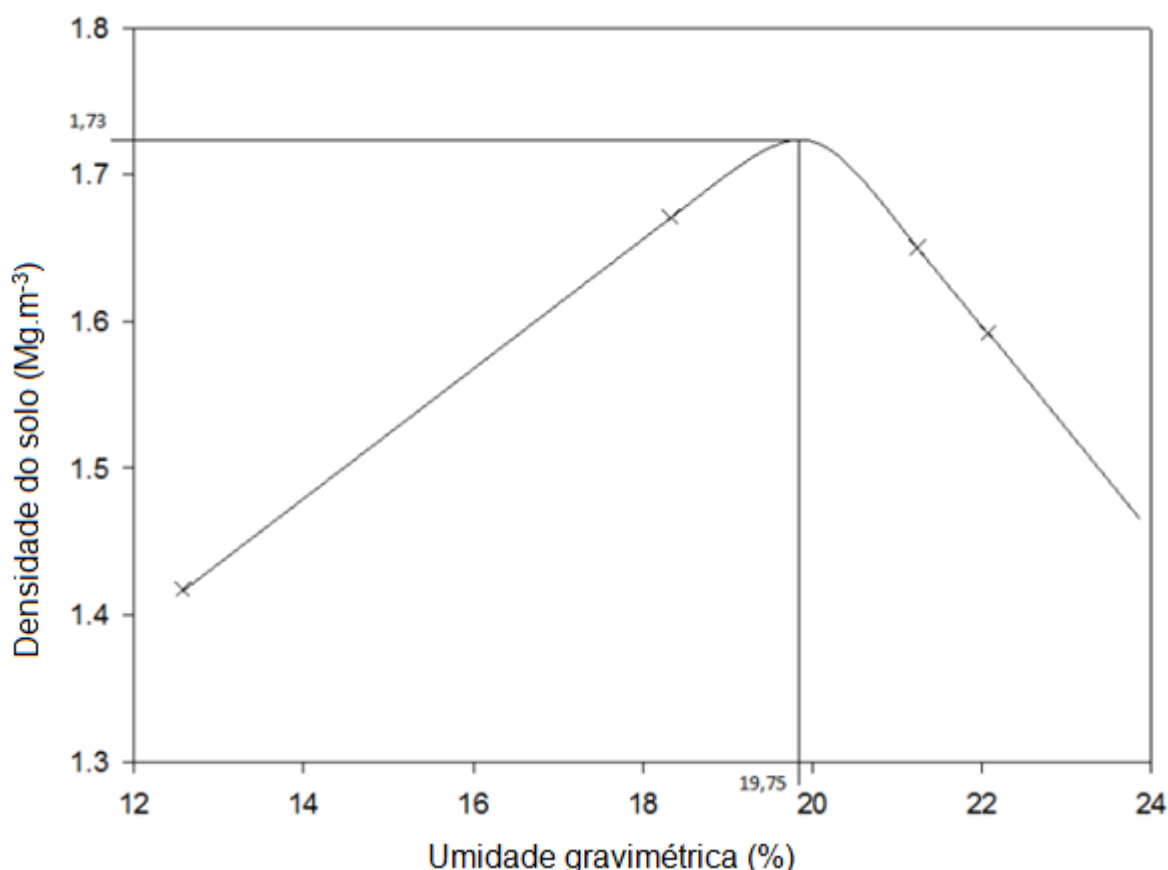
\* Não apresenta diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Relacionando os valores de umidade gravimétrica (Tabela 4) para os tratamentos T5 na camada superficial e, T4 na camada subsuperficial, com suas respectivas densidades (Tabela 1), observa-se que 73,72% e 99,6% da porosidade total do solo, respectivamente, está ocupada por água, indicando assim que a construção do solo com os percentuais de umidade apresentados na Tabela 3 originaram um solo construído com elevado conteúdo de água em seus poros.

Com o ensaio de Proctor (Figura 8) obteve-se a umidade ótima de compactação de 19,75% (máxima relação massa/volume), valor que corresponde a uma densidade de  $1,73 \text{ Mg.m}^{-3}$ .

Analisando a Tabela 4, que apresenta a umidade do solo no dia da realização do experimento com diferentes eventos de tráfego de máquinas nota-se que esta é superior à umidade ótima de compactação obtida através do ensaio de proctor indicando que o experimento com eventos de tráfego foi realizado sob condições ótimas de compactação. Este fato pode explicar a semelhança dos dados obtidos com o aumento do número de passadas do trator de esteira (Tabela 1).



**Figura 8** – Curva correlacionando umidades e densidade do solo correspondente ao ensaio de proctor a energia normal.

Segundo Proctor (1933) no ramo seco da curva de compactação, forças de atrito entre partículas criadas por tensões capilares existentes opõem resistência aos esforços de compactação, resultando em índices de vazios relativamente elevados e valores baixos de densidades; porém, na medida em que se acrescenta água ao solo ocorrem efeitos de lubrificação entre suas partículas que produzem arranjos mais compactos. Incrementos sucessivos no teor de umidade implicam em diminuição de vazios até um ponto em que os mesmos são mínimos e a densidade é máxima para o método de compactação utilizado, alcançando-se o par de valores densidade máxima e umidade ótima.

Cabe enfatizar que em solos argilosos, como o estudado (47,26% de argila) ocorre decréscimo da densidade máxima e aumento na umidade crítica de compactação, quando comparados a solos arenosos.

Mentges et al. (2006) em trabalho realizado objetivando avaliar a suscetibilidade à compactação do solo, através da relação entre densidade ótima e umidade crítica pelo ensaio de Proctor, em diferentes solos e diferentes estados de

desagregação, observaram que a densidade máxima reduziu e a umidade ótima aumentou com o aumento do teor de argila. Isso provavelmente se deve ao fato da argila apresentar uma capacidade de troca de cátion (CTC) entre 0 e 150  $\text{cmol}_c$  e área superficial específica (ASE) variando de 7 a 800  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ , enquanto que a areia tem CTC nula e ASE inferior a 0,10  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$  (MEURER; RHEINHEIMER & BISSANI, 2006). Essas características tornam a argila muito mais reativa que a areia, sendo capaz de interagir mais com a água, diminuindo seu efeito lubrificante entre as partículas minerais, sendo capaz de apresentar maior coesão, diminuindo a suscetibilidade à compactação do solo (BRAIDA, 2004).

Quanto mais próxima a umidade do solo à campo da umidade ótima (ensaio de proctor), maior será o nível de compactação obtido. Assim, quando desejados menores níveis de compactação deve-se realizar os procedimentos de construção com umidade abaixo da umidade ótima, no ramo seco da curva de compactação, haja visto que neste a atração face-aresta das partículas do solo não é vencida pela energia de compactação. Reichert et al. (2010) mencionam que a compactação é máxima quando a umidade do solo é crítica para esse processo, sendo a umidade crítica próxima à capacidade de campo. Com alta umidade, o solo se torna mais susceptível devido à redução da capacidade de suporte (BRAIDA et al., 2010).

#### 4.3. Condutividade hidráulica de solo saturado

A condutividade hidráulica do solo para ambas as camadas (Tabela 5) apresentou variabilidade entre os tratamentos, com coeficiente de variação entre 36,54 e 79,13%, para a camada de 0,00 a 0,10 m e, entre 45,60 e 77,37% para a camada de 0,10 a 0,20 m. Estes valores de CV estão de acordo com os apresentados por Genro Junior (2002) e Abreu et al. (2004) que obtiveram, respectivamente, um coeficiente de variação de 104% e 52,8 % para a condutividade hidráulica do solo saturado. Por sua vez Lima & Sirtoli (2006) também obtiveram coeficientes de variação que variaram de 111,5% e 247,9% para a condutividade hidráulica do solo saturado determinada em laboratório.

Dada a grande variabilidade dos dados da condutividade hidráulica Lal (1999) e Lima & Sirtoli (2006) afirmam ser comum não encontrar diferenças significativas entre os tratamentos. Silva et al. (2003) citam que a condutividade hidráulica do solo,

de modo geral, apresenta alta variabilidade, acusando elevado coeficiente de variação.

O maior valor de condutividade hidráulica ( $K_0$ ) foi obtido no T0, sendo de  $119,32 \text{ mm.h}^{-1}$  e  $154,03 \text{ mm.h}^{-1}$  para a camada superficial e subsuperficial, respectivamente. A maior diferença nos valores de condutividade hidráulica entre os tratamentos foi de  $-87,85 \%$  ( $\Delta\text{ref.}$  entre T0 e T5) na camada de 0,00 a 0,10 m e de  $-82,32 \%$  ( $\Delta\text{ref.}$  entre T0 e T3), para a camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 5). Nota-se ainda que ocorreram reduções expressivas de  $K_0$  comparando T0 com os demais tratamentos. Isso está de acordo com a elevação da densidade do solo, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade com o aumento de eventos de tráfego (Tabela 1), visto que a movimentação vertical de água é facilitada pela continuidade, tamanho e volume de poros.

**Tabela 5** – Condutividade hidráulica de solo saturado  $K_0$  ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) de solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	$K_0$ ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	* $\Delta\text{ref.}$ (%)	CV (%)
Camada 0,00 a 0,10 m			
T0	119,32 a	0	44,9
T1	36,46 cd	-69,44	63,0
T2	63,03 bc	-47,17	36,5
T3	47,72 cd	-60,01	56,6
T4	95,68 ab	-19,81	56,0
T5	14,55 d	-87,85	79,1
Camada 0,10 a 0,20 m			
T0	154,03 a	0	50,7
T1	73,39 b	-52,35	77,4
T2	51,96 b	-66,26	45,6
T3	27,24 b	-82,32	51,5
T4	60,76 B	-60,56	60,9
T5	43,98 B	-71,45	49,3

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

\* $\Delta\text{ref.}$  representam a porcentagem de aumento (+) ou redução (-) do valor da condutividade hidráulica em relação ao T0, considerando como de referência.

<sup>1</sup> T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Analisando os valores da condutividade hidráulica do solo (Apêndice 12) para o horizonte B (solo natural do local de extração), nota-se que o valor médio desta é de  $36,92 \text{ mm.h}^{-1}$ . Este valor está próximo aos encontrados quando o solo é submetido a eventos de tráfego (Tabela 5). Assim, pode-se afirmar que o processo

construtivo do solo envolvendo o tráfego de máquinas proporcionou condições de movimentação de água semelhantes às do horizonte B do solo natural. O que pode ser considerado fator positivo, visto o solo, mesmo com a máxima condição de tráfego (T5) está próximo à condição do solo natural utilizado no processo de reconstituição da camada superficial.

Quando se realiza o teste de Duncan para comparação das médias, observa-se que houve diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos T0 e os demais (exceto para o T4, na camada superficial).

Cabe salientar que valores não esperados de  $K_0$  (comportamento de T3 na camada subsuperficial e T4 em ambas as camadas, que não seguiram a tendência de redução da  $K_0$  com aumento de eventos de tráfego) podem ser explicados devido a um maior número de amostras coletadas ao longo da transeção de 12 m afetadas provavelmente pela garra da esteira, visto que esta possui maior penetrabilidade no solo (Figura 5b) ocasionando maior densidade, ou ainda mesmo devido a rachaduras no solo e/ou espaço existente entre o anel volumétrico e o solo amostrado devido ao ciclo de umedecimento e secagem que ocasiona caminho preferencial de água no ensaio de condutividade hidráulica.

#### 4.4. Curva de retenção de água no solo e água disponível

Observa-se na Tabela 6 que para ambas as camadas o maior conteúdo de água na condição de solo saturado está associado ao T0, e o menor ao T5, sendo que a medida que são aplicadas tensões, o T0 apresenta redução de grande parte do seu volume de água, o que se deve ao menor percentual de microporos (Tabela 1).

Comparando o conteúdo de água correspondente a cada tensão entre as camadas (Tabela 6), nota-se que na camada superficial os valores são superiores para todos os tratamentos até a tensão de 6 kPa (correspondente ao ponto de separação entre macroporos e microporos), passando então a ficarem próximos nas duas camadas, o que enfatiza que a camada superficial possui um maior teor de água total, e que esta se encontra nos macroporos.

Quando se analisa os valores de água disponível (AD) nota-se que à medida que aumentou o número de eventos de tráfego ocorreu acréscimo da AD, exceto para o tratamento T2, em ambas as camadas (Tabela 6), o que pode ser explicado

pelo aumento da microporosidade do solo com o incremento dos eventos de tráfego (Tabela 1).

**Tabela 6** – Umidade volumétrica em  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ , para as tensões de água no solo e água disponível (AD) de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m (a) e 0,10 a 0,20 m (b), em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Tensão da água no solo (kPa)							AD (%)	* $\Delta$ ref. (%) AD
	0	1	6	10	33	102	1.500		
Camada 0,00 a 0,10 m									
T0	0,49	0,37	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	5,00 bc	-
T1	0,45	0,41	0,37	0,36	0,33	0,32	0,31	5,00 bc	-
T2	0,48	0,41	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	4,00 c	-20,00
T3	0,46	0,42	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	5,00 bc	-
T4	0,47	0,42	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	6,00 ab	20,00
T5	0,42	0,41	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	7,00 a	40,00
Camada 0,10 a 0,20 m									
T0	0,46	0,37	0,30	0,28	0,28	0,25	0,23	5,00 bc	-
T1	0,45	0,40	0,35	0,34	0,31	0,30	0,28	6,00 ab	20,00
T2	0,45	0,39	0,34	0,33	0,31	0,31	0,29	4,00 c	-20,00
T3	0,44	0,40	0,35	0,34	0,31	0,30	0,28	6,00 ab	20,00
T4	0,43	0,39	0,36	0,35	0,32	0,31	0,29	6,00 ab	20,00
T5	0,42	0,40	0,35	0,34	0,31	0,29	0,27	7,00 a	40,00

\* $\Delta$ ref. representam a porcentagem de aumento (+) ou redução (-) do valor da condutividade hidráulica em relação ao T0, considerando como de referência.

<sup>1</sup> T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Silva; Maia & Bianchini (2006) enfatizam que os efeitos da compactação sobre os atributos físicos de dois solos (Latosolo Vermelho-Amarelo (LVA) oxidico-gibbsítico, e um Latossolo Amarelo (LA) caulinítico), submetidos a oito pressões de compactação (0, 60, 120, 240, 360, 540, 720 e 900 kPa) proporcionou aumento da retenção de água entre 10 e 1.500 kPa de tensão, indicando que a modificação do sistema poroso pela compactação beneficiou especialmente a formação de poros capilares menores, onde a água é retida com maior energia.

Avaliando o comportamento das curvas de retenção de água no solo construído (Apêndice 6), observa-se que as curvas referentes aos tratamentos que envolveram passadas do trator de esteira (T1, T2, T3, T4 e T5) permaneceram próximas, o que evidencia que os macroporos foram reduzidos substancialmente com os eventos de tráfego e que o aumento do número de passadas do trator não causou reflexo na retenção à maiores tensões.

No Apêndice 13 é apresentada a relação umidade versus potencial para os horizontes B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> e B<sub>3</sub> do solo do perfil de extração. Observar-se que os valores de umidade correspondente a cada potencial para o horizonte B são semelhantes aos do solo construído submetido a eventos de tráfego (Tabela 4), o que evidencia que a capacidade de retenção de água dos horizontes B do solo permaneceu semelhante após a construção com eventos de tráfego.

4.5. Macroagregados, Microagregados e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água.

Analisando o percentual de macroagregados, em ambas as camadas (Tabela 6), percebe-se que houve aumento destes com os eventos de tráfego, obtendo-se o maior valor nos tratamentos T5 e T4, onde ocorreu um incremento de 14,02% (T0 para T5) e 10,61% (T0 para T4), para a camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Embora na camada subsuperficial não tenha ocorrido diferenças estatísticas entre os tratamentos, o incremento de 10,61% no valor de macroagregados, quando se compara os tratamentos T0 e T5, evidencia a possível formação de agregados maiores pelo efeito da compressão da máquina, visto a maior compactação do solo no T4 [aumento da DS, redução da Pt (Tabela 1), e aumento da RP (Figura 7)].

Ragassi (2009) cita que o que confere maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos de raízes e crescimento e morte das raízes.

No sentido de avaliar a possibilidade de formação de agregados através da ação química do solo foi realizada análise química básica do perfil original e do solo construído (Apêndice 9). É possível perceber que em ambos os solos o conteúdo de matéria orgânica é baixo, provavelmente tendo pouca influência no processo de agregação. Segundo Hénin; Gras & Monnier (1976) a matéria orgânica age como condicionador do solo mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais, formando agregados estáveis e persistentes no solo.

**Tabela 7** – Macroagregados (Macro<sub>a</sub>), microagregados (Micro<sub>a</sub>) e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP) e seus respectivos desvios padrão (DP), de um solo construído submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Macro <sub>a</sub> (%) (DP)	Micro <sub>a</sub> (%) (DP)	DMP (mm) (DP)
Camada 0,00 a 0,10 m			
T0	22,56 b (5,70)*	77,44 a (5,70)	0,84** (0,14)
T1	25,22 ab (7,91)	74,78 ab (7,91)	0,82** (0,16)
T2	25,59 ab (6,80)	74,41 ab (6,80)	0,82** (0,14)
T3	28,50 ab (6,34)	71,50 ab (6,34)	0,90** (0,14)
T4	28,22 ab (10,75)	71,78 ab (10,75)	0,83** (0,25)
T5	36,58 a (4,37)	63,42 b (4,37)	1,04** (0,11)
Camada 0,10 a 0,20 m			
T0	21,59** (4,58)	78,41** (4,58)	0,86** (0,09)
T1	22,22** (6,90)	79,47** (6,90)	0,80** (0,11)
T2	27,56** (9,71)	72,44** (9,71)	0,91** (0,22)
T3	29,08** (7,22)	70,92** (7,22)	0,85** (0,11)
T4	32,20** (1,88)	67,80** (1,88)	0,99** (0,08)
T5	30,75** (10,09)	69,25** (10,09)	0,89** (0,18)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

\*Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão de cada tratamento.

\*\* Não apresenta diferença significativa em nível de 5% de probabilidade.

<sup>1</sup> T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

A análise química ainda indicou altos teores de Alumínio, Cálcio e Magnésio, o que pode ser um ponto positivo para a reagregação do solo, visto que os íons de Ca e Mg adsorvidos são altamente desejáveis, uma vez que se ligam as partículas de argila, de matéria orgânica e de óxidos, para dar início à formação de agregados (CARPENEDO, 1985), e que os microagregados tendem a ser estabilizados pelos óxidos de Alumínio (OADES, 1984).

A fração argila, presente no solo construído oriundo do horizonte B do solo original, pode também ter contribuído no processo de agregação, visto o solo possuir percentual de argila em torno de 47%, considerado médio a alto, e quanto maior o

teor de argila maior a área superficial específica, com provável maior CTC (potencial químico do solo). Russel (1973) cita que a fração argila exerce domínio sobre o comportamento do solo em virtude de sua pequena dimensão, o que aumenta de maneira significativa sua superfície específica, e da presença de cargas negativas permanentes, que favorecem a formação e estabilidade de agregados.

Quanto ao DMP (Tabela 7) os maiores valores são observados nos tratamentos T5 (1,04 mm), na camada de 0,00 a 0,10 m e, T4 (0,99 mm), para a camada de 0,10 a 0,20 m. No entanto quando se realiza o teste de comparação de médias observa-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Cabe salientar que quanto maior for o percentual de agregados retidos nas peneiras de maior tamanho, maior será o diâmetro médio ponderado (DMP).

Do mesmo modo que o percentual de macroagregados, os valores de DMP apresentaram tendência de elevação com o tráfego de máquina (Tabela 7), ressaltando o possível efeito da agregação pela compressão mecânica. Bergamin et al. (2010) relataram aumento do DMP com o aumento do número de passadas de trator em um solo argiloso ( $644 \text{ g.kg}^{-1}$ ), e explicaram este resultado por uma agregação mecânica provavelmente causada pelo efeito da pressão da máquina sob o solo com alta umidade. Para Salton et al. (2008), o aporte de carbono ao solo via raízes, é fundamental para formação de macroagregados. No entanto, os autores destacam que estes também podem ser formados por processos físicos, através do uso intensivo de máquinas e equipamentos, gerando macroagregados não estáveis. Stumpf et al. (2014b) em trabalho realizado com solo construído pós mineração, analisados 05, 41 e 78 meses após a construção, em Candiota-RS, citam que a agregação, em especial na camada de 0,10 a 0,15m resultou da compactação provocada pelo tráfego de máquinas pesadas na camada de solo argiloso.

Stumpf et al. (2013) mencionam ainda que a maior porcentagem de macroagregados na subsuperfície do solo construído deve-se provavelmente à presença de agregados formados por compressão, ocasionados pelo trânsito intenso de máquinas durante a recomposição da área minerada, e que possivelmente o maior desenvolvimento radicular das plantas na superfície do solo pode ocasionar a quebra dos agregados coesos, na tentativa das espécies se estabelecerem no local. Este comportamento foi confirmado por Stumpf (2015) através da retirada dos monólitos de solo, nos quais se observaram agregados

menores, mais grumosos, mais friáveis e, que muitas vezes, estavam emaranhados por raízes na camada 0,00-0,10 m.

Conforme Kämpf et al. (2000), uma estrutura não favorável é uma das principais consequências de solos com pouco tempo de construção, implicando na suscetibilidade à erosão, devido à pouca estabilidade dos materiais utilizados na sua construção. Schafer; Nielsen & Nettleton (1980) salientaram, que ao longo do tempo, os solos construídos tendem a desenvolver estrutura. No entanto, Quiñones et al. (2008) em estudo realizado comparando solos com 2 e 24 anos de construção observaram que ambas as áreas apresentavam sérias limitações para o desenvolvimento de cobertura.

#### 4.6. Compressibilidade do solo

Observa-se na Tabela 8 que os valores médios da tensão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), de modo geral, aumentaram com o incremento dos eventos de tráfego de máquina. Comparando os valores do T0 com os do T1, nota-se que a  $\sigma_p$  elevou-se em 115 kPa, na camada de 0,00 a 0,10 m e em 92,88 kPa na camada de 0,10 a 0,20 m., não ocorrendo entretanto diferenças significativas entre os seus valores nos tratamentos T1 a T5 para a camada superficial e T2 a T5 para a camada subsuperficial.

Utilizando a classificação de Horn & Fleige (2003), que propuseram estratificar a pressão de preconsolidação em muito baixa (<30 kPa), baixa (30-60 kPa), média (60-90 kPa), alta (90-120 kPa), muito alta (120-150 kPa) e extremamente alta (>150 kPa), é possível apontar que para o solo reconstruído em estudo, a  $\sigma_p$  no tratamento T0 enquadra-se como baixa a média, enquanto que para os demais tratamentos a  $\sigma_p$  se enquadra como extremamente alta, possivelmente pelo histórico de tensão que o solo foi submetido.

Quanto aos valores do desvio padrão, para a camada superficial o maior desvio está associado ao T5, sendo este 23,85% e, para a camada subsuperficial ao T3, sendo de 24,54%.

A densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), que representa a densidade limite que o solo pode apresentar sem que haja incremento de compactação, apresentou comportamento semelhante à  $\sigma_p$ , onde, na camada superficial, ocorreu um aumento de 0,28 Mg.m<sup>-3</sup> (T0 para T1). Nos demais

tratamentos não ocorreram diferenças significativas entre seus valores (T1 a T5). Para a camada subsuperficial houve um aumento de  $0,25 \text{ Mg.m}^{-3}$  do T0 para o T1. Nesta camada ocorreu uma elevação significativa dos valores de  $D_{s\sigma_p}$  do T1 para o T2 ( $0,07 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) não existindo diferenças significativas entre os tratamentos T2 a T5. Os desvios padrão em ambas as camadas foram inferiores a 12%. Os resultados de  $D_{s\sigma_p}$  encontrados estão de acordo com os apresentados por Vellar (2012), que, em estudo semelhante, constatou que a  $D_{s\sigma_p}$  aumentou conforme ocorreu aumento do número de eventos de tráfego.

**Tabela 8** - Tensões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), densidade do solo na tensão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), índice de compressão (IC) e densidade do solo inicial ( $D_{si}$ ) e seus respectivos desvios padrão, para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	$\sigma_p$ (kPa)	$D_{s\sigma_p}$ ( $\text{Mg.m}^{-3}$ )	IC	$D_{si}$ ( $\text{Mg.m}^{-3}$ )
Camada 0,10 a 0,20 m				
T0	70,33 b (24,95)*	1,33 b (0,09)	0,35 a (0,04)	1,22
T1	185,33 a (22,66)	1,61 a (0,06)	0,32 ab (0,03)	1,50
T2	189,04 a (36,13)	1,61 a (0,04)	0,28 b (0,03)	1,50
T3	171,42 a (35,99)	1,56 a (0,10)	0,30 b (0,04)	1,48
T4	192,83 a (25,73)	1,65 a (0,03)	0,28 b (0,04)	1,57
T5	204,67 a (48,83)	1,61 a (0,06)	0,30 b (0,02)	1,51
Camada 0,10 a 0,20 m				
T0	54,04 c (15,08)	1,33 c (0,07)	0,33 a (0,02)	1,22
T1	146,92 b (34,09)	1,58 b (0,06)	0,35 a (0,03)	1,47
T2	185,08 a (30,43)	1,65 a (0,06)	0,30 ab (0,03)	1,50
T3	188,08 a (46,17)	1,66 a (0,19)	0,30 ab (0,06)	1,51
T4	198,33 a (23,30)	1,77 a (0,14)	0,31 ab (0,08)	1,60
T5	192,25 a (28,96)	1,66 a (0,04)	0,26 b (0,03)	1,57

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5%.

\*Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão de cada tratamento.

<sup>1</sup> T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

A faixa de valores entre a  $D_{si}$  e  $D_{s\sigma_p}$ , refere-se aos valores de densidade do solo correspondentes à curva de compressão secundária do solo, na qual não ocorre compactação adicional. Nesse sentido, os tratamentos que apresentaram maior faixa foram os T0, T1 e T2 na camada superficial e o T4 na camada subsuperficial, indicando assim, que para esses tratamentos ocorre maior intervalo de acréscimo de densidade.

Com relação ao índice de compressão (Tabela 8) verifica-se que os valores são maiores em T0 e T1, indicando maior suscetibilidade de compactação neste tratamento. Resultado semelhante ao de Vellar (2012) que constatou tendência do IC diminuir com o aumento do número de eventos.

Para a camada superficial o IC não diferiu estatisticamente entre T0 e T1 e o T1 não diferiu significativamente dos demais tratamentos. Para a camada subsuperficial o valor de T0 somente difere do T5. Os maiores valores de desvio em relação à média foram de 14,28% e 25,80%, ambos no T4, para as camadas superficial e subsuperficial, respectivamente.

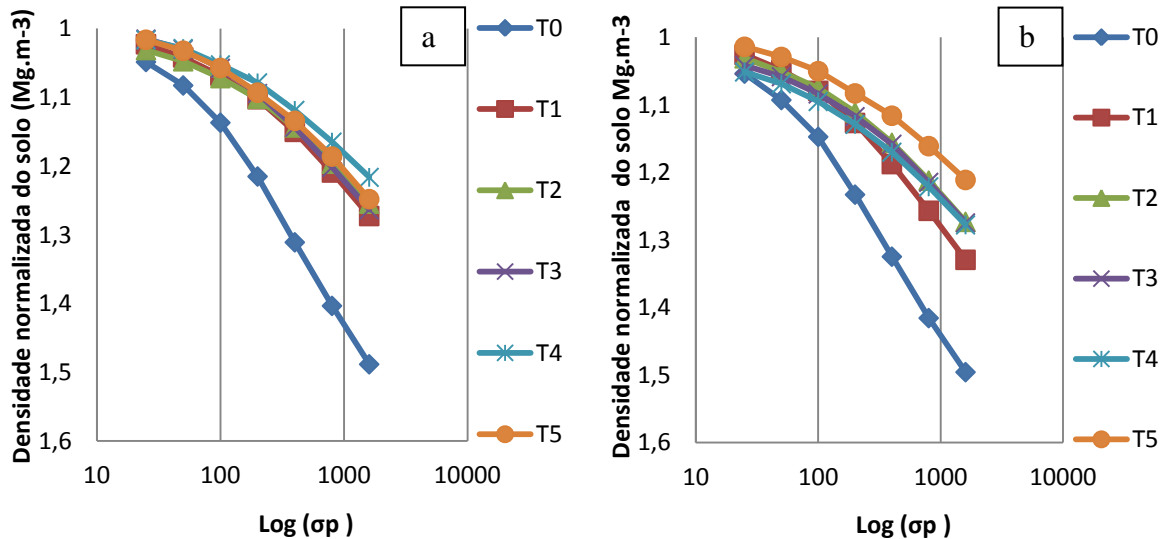
O tratamento T0 apresentou menor densidade inicial (Tabela 1), maior suscetibilidade à compactação ( $>IC$ ) e menor capacidade de suporte de carga ( $\sigma_p$ ) (Tabela 8). A menor densidade do solo ( $D_s$ ), a maior porosidade total ( $P_t$ ) (Tabela 1), e conseqüentemente o menor suporte de carga apresentado (menor  $\sigma_p$  e maior IC) deve-se ao solo neste tratamento ter sido exposto a menores cargas externas.

Com relação ao efeito da vegetação, muitos autores citam a inserção de plantas de cobertura na melhoria da condição física dos solos pós-construção. Debiasi et al. (2008) observaram, em um Argissolo Vermelho Distrófico franco-argilo-arenoso que, na camada de 0,03 a 0,06m, o consórcio com aveia preta e ervilhaca diminuíram a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) e aumentaram o índice de compressão (IC). Atribuíram isto à redução da  $D_s$  e ao aumento da  $P_t$  ocasionado por suas raízes.

Stumpf et al. (2011), em estudo realizado em solo construído na área de mineração de carvão avaliando a influência de diferentes plantas de cobertura na pressão de preconsolidação e índice de compressão, observaram que, em relação à testemunha, os tratamentos estudados contribuíram na melhoria dos atributos densidade, porosidade total e carbono orgânico, com destaque para as urochoas, sendo que a utilização de plantas de cobertura, de modo geral, diminuiu os valores da pressão de preconsolidação do solo.

Considerando que nas curvas de compressão uniaxial são identificadas duas regiões clássicas: (i) uma região em que ocorrem deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária (CCS) e (ii) outra região representada pela porção onde ocorrem deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de reta de compressão virgem (RCV), estas duas são limitadas pela tensão de preconsolidação. Assim analisando a Figura 9 e Tabela 8

pode-se notar que o tratamento com maior zona de comportamento elástico é o T4 para a camada de 0,00 a 0,10 m e T5 para a camada de 0,10 a 0,20 m, pois estes apresentam maior  $\sigma_p$ .



**Figura 9** - Curvas de compressão uniaxial normalizadas para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m (a) e 0,10 a 0,20 m (b), em Candiota-RS.

T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Observa-se que, em ambas as camadas, o T0 foi o que apresentou maior variação dos valores de densidade, ou seja, para a tensão de 1600 kPa a densidade normalizada atingiu valores em torno de 1,50 Mg.m<sup>-3</sup>; enquanto que as demais densidades, para os tratamentos que foram submetidas ao tráfego de máquinas, permaneceram próximas (comportamento semelhante), com valores finais entre 1,21 a 1,33 Mg.m<sup>-3</sup> (Figura 9).

Observa-se na Tabela 9 que o menor grau de compactação na tensão de 200 kPa (GC 200) está associado ao T0, elevando-se em T1, e permanecendo praticamente constante entre T1 e T5, em ambas as camadas. Para GC 1600 o comportamento é semelhante.

O grau de compactação na tensão de 200 kPa (GC 200) em todos os tratamentos e profundidade foi superior a 82 % mostrando que a densidade inicial desse solo corresponde a 82 % da densidade na tensão de 200 kPa, sendo essa tomada como referência para simular a tensão média aplicada por maquinários agrícolas. Este fato indica que estes solos já foram submetidos a tensões próximas a correspondente a tal fenômeno. Segundo Carpenedo (1994), as pressões médias

normalmente aplicadas sobre a superfície do solo pelos pneus de tratores e colheitadeiras estão entre 100 e 200 kPa. Segundo Stumpf (2015) a tensão média aplicada pelos maquinários em Candiota-RS é de 103,5 KPa, portanto enquadrando-se na mesma faixa que o maquinário agrícola citado.

**Tabela 9** – Grau de compactação na pressão de 200 kPa (GC200) e grau de compactação na pressão de 1.600kPa (GC1.600), no potencial de 10 kPa, para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	GC 200 kPa (%)	GC 1.600 kPa (%)
0,00 a 0,10m		
T0	83 d	68 d
T1	91 c	79 c
T2	91 c	80 b
T3	92 b	79 c
T4	93 a	83 a
T5	92 b	80 b
0,10 a 0,20m		
T0	82 c	67 d
T1	89 b	75 c
T2	89 b	78 b
T3	89 b	78 b
T4	88 b	78 b
T5	92 a	82 a

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Os resultados encontrados neste estudo para GC 200 estão próximos aos de Suzuki et al. (2007) que, avaliando o rendimento das culturas em resposta ao grau de compactação, em plantio direto, encontraram valores de 92 a 94 %. No geral estes valores também se aproximam aos de Vellar (2012) que, em estudo semelhante a este, encontrou valores de GC que variaram de 87 a 96 %.

Reis, Lima & Pauletto (2014) objetivando avaliar a qualidade estrutural de um solo construído pós-mineração de carvão, submetido a diferentes plantas de cobertura, em Candiota-RS, observaram valores de GC 200 entre 88,1 a 104,5 kPa e GC 1600 kPa entre 76,0 e 97,9 kPa.

De um modo geral os valores médios de  $\sigma_p$ ,  $Ds\sigma_p$ , IC e GC encontrados no presente estudo estão em consonância com os encontrados por Suzuki et al. (2008), que citam que o aumento da densidade promove redução do diâmetro dos poros do solo e aumento do grau de compactação, o que reduz a deformação e o índice de compressão.

## 5. Conclusões

Os atributos físicos do solo densidade, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, resistência mecânica a penetração e a condutividade hidráulica foram os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade a variação dos eventos de tráfego de máquinas.

O tráfego de máquinas diminuiu a porosidade total e a macroporosidade e aumentou a densidade, a microporosidade, a resistência mecânica à penetração e o conteúdo de água disponível no solo.

A condutividade hidráulica do solo apresentou reduções maiores que 50% comparando a condição sem eventos de tráfego com as demais.

As curvas de retenção de água no solo nos tratamentos que envolveram eventos de tráfego apresentaram comportamento semelhante, ocorrendo aumento do conteúdo de água disponível com a ocorrência dos eventos de tráfego.

A pressão de preconsolidação e o grau de compactação foram pouco influenciados com o aumento dos eventos de tráfego.

A formação de agregados maiores (macroagregados) está possivelmente relacionada ao efeito da compressão da máquina no solo, visto a maior compactação do solo (aumento da DS e RP, redução da Pt). As condições do estudo demonstraram que o efeito da máquina no processo de recomposição da camada superficial do solo resultaram em atributos físicos do solo próximos aos observados no horizonte B.

Nas condições de umidade do solo (19,75%) em que foi realizado o ensaio de compactação com o aumento de eventos de tráfego conclui-se que apenas um evento é suficiente para causar a máxima compactação do solo.

Sugere-se que antes de realizar as operações da recomposição topográfica da área minerada e da construção do solo seja realizado o ensaio de proctor para estabelecer um nível de umidade que cause menores problemas de compactação. Recomenda-se que esta umidade seja inferior à da obtida no ensaio de proctor.

## 6. Referências

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519- 531, 2004.
- ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; van der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMERF, C. e SPOOR, G. Prevention strategies for field trafficinduced subsoil compaction: A review Part 1. Machine/ soil interactions. **Soil e Tillage Research**, v.73. p. 145-160, 2003.
- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p. 367- 403, 2011.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2505-2516, 2008.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.A.S. & SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.617-625, 2007.
- ARRANZ-GONZÁLEZ, J. C. Suelos mineros asociados a la minería de carbón a cielo abierto en España: una revisión. **Boletín Geológico y Minero**, v.122, n.2, p.171-186, 2011.
- ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LAZARINI, G.D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009.
- BACCIN, F. K. **As atividades de produção de carvão e suas subsequências ambientais com relação aos eventuais processos de subsidência**. 2011. 78p. Monografia (Especialização em auditoria perícia ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.
- BASSO, C.J.; REINERT, D.J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo Podzólico. **Ciência do Solo**, v.28, P.567-571, 1998.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. **Física de suelos**. Barcelona, Union Tipográfica Editorial HispanoAmericana, 529p, 1973.
- BERGAMIN, A.C. et al. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.681- 691, 2010.
- BEM - **Balanco Energético Nacional** - Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. BRASIL. 2010.

BITENCOURT, D.G.B. **Dinâmica de acidificação e metais no solo e subsolo de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. 2014. 125f. Tese (Doutorado em Solos), Programa de Pós Graduação em Agronomia - Universidade Federal de Pelotas, 2014.

BORUVKA, L.; KOZÁK, J.; MÜHLHANSELOVÁ, M.; DONÁTOVÁ, H.; NIKODEM, A.; NĚMEČEK, K. Effect of covering with natural topsoil as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. **Journal of Geochemical Exploration**, v.113, p.118–123, 2012.

BRADY, N. C.; WEILL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª Edição. Editora Bookman, 2013.

BRADY, N.; WEIL, R. **The Nature and Properties of Soils**. 14ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, p.975, 2008.

BRAIDA, J.A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 106p. Tese (Doutorado em Ciência do solo), Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.131-139, 2010.

BUSSLER, B.H. et al. Properties of minesoil reclaimed for forest land use. **Soil Science Society of America Journal**, Madison. v.48, p.178-184, 1984.

CASTRO, R.C. **Avaliação temporal de atributos físicos de um solo construído em área de mineração de carvão recuperado com gramíneas perenes**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Solos), Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas 2012.

CAPECHE, C. L.; MACEDO, J. R.; MELO, A. S. **Estratégias de recuperação de áreas degradadas**. 2008. Disponível em: [http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso\\_rad\\_2008](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/curso_rad_2008) . Acesso em jun.2015.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994 .

CARPENEDO, V. **Qualidade e estabilidade de agregados de latossolo roxo submetido a diferentes manejos**. 126p. 1985. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p.1010-1016, 2014.

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: International conference on soil mechanics and foundation engineering, D-34, 1936, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge, Harvard University, p.60-64, 1936.

CASTRO, R. C. **Avaliação temporal de atributos físicos de um solo construído em área de mineração de carvão recuperado com gramíneas perenes**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2012.

CGTEE - **Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica**. Carvão mineral 2013. Disponível em: [http://www.cgtee.org.br/comunicacao/exibir\\_destaque.php?chave=336](http://www.cgtee.org.br/comunicacao/exibir_destaque.php?chave=336) Acesso em: 10 dez. 2015

CGTEE - **Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.cgtee.gov.br/UNIDADES/CANDIOTA-III/>. Acesso em: 10 dez. 2015

CHEN, L.; TIAN, Y.; STEHOUWER, R.; KOST, D.; GUO, X.; BIGHAM, J. M.; BEEGHLY, J.; DICK, W. A. Surface coal mine land reclamation using a dry flue gas desulfurization product: Long-term biological response. **Fuel**, v.105, p.258-265, 2013.

CLAYTON, H. G.; WICK, A. F.; DANIELS, W. L. **Microbial biomass in reclaimed soils following coal mining in Virginia**, in: National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Billings, MT, Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches, R.I., p. 227–236, 2009.

COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas**. 2005. 106p. Tese (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 20**. Brasília. 1986.

CORNÉLIO, G. B. et al., Qualidade física do solo sob vegetação de Cerrado e após 12 anos de manejo. **Anais...** IX Simpósio Nacional Cerrado, 2008. Brasília – DF. Resumo apresentado. Embrapa Cerrados, 2008.

COSTA, S.; ZOCHE, J. J. Fertilidade de solos construídos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.665-674, 2009.

CRM. **Informações relativas a atual área de mineração**. [Mensagem pessoal], mensagem recebida por <f.barboza@yahoo.com.br> em 15 fev. 2016.

CRM - **Companhia Riograndense de Mineração**. Carvão [internet]. Porto Alegre; 2013 [acesso em 15 nov 2014]. Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/conteudo/858/?Mina-de-Candiota#>. UeQ2PG2NzN4

CUNHA, J.; CASCAÃO, V.; REIS, E. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p.371-375, 2009.

DARMODY, R. G.; DUNKER, E. R.; BARNHISEL, R. I.. Reclamation of prime agricultural lands after coal surface mining: the midwest experience. In **Proceedings...**, National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation. Lexington KY. p. 900-915, 2002.

DEBIASI, H. et al. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2629-2637. 2008.

DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. **DNER ME 258/94: Solos Compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV**. Rio de Janeiro, 1994.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de Áreas Degradadas**. Editora Folha de Viçosa Ltda. Viçosa. p.1-7. 1998.

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

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

DOURADO NETO, D., NIELSEN, D. R., HOPMANS, J. W., PORLANGE, M. D. **Soil Water Retention Curve – Curvaret**. Versão 1.0, 1995.

EMBRAPA - Centro nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p., 2011.

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**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado). Programa de PósGraduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2006.

FRANCO, V.A.C.; MARIMON, C.M.P. **Tecnologias de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão e Usos Futuros do Solo**. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Departamento de Geografia da UDESC, 2008.

FUENTES, R. L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (2 ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Madison, **American Society of Agronomy**. 1986.

GENRO JUNIOR, S. A. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009 .

GENRO JUNIOR, S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto**. 90f. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

GONÇALVES, F. C. **Efeito de plantas de cobertura sobre os atributos físicos de um solo construído na área de mineração de carvão de Candiota-RS após três anos**. 92f. 2008. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas. 2008.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements. **Soil Society of America Journal**, v.77, p. 19-24, 2012.

HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.105-120, 1990.

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

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

HÉNIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Os solos agrícolas**. Rio de Janeiro, Forense-Universitária; São Paulo, Universidade de São Paulo, 1976. 334p.

HOLANDA NETO, M. R. **Atributos microbiológicos de um solo construído vegetado com gramíneas após mineração de carvão em Candiota/RS**. 95f. 2011. Dissertação (Mestrado em solos) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2011.

HOLL, K. Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA. **Journal of Applied Ecology**, v.39, p.960-970, 2002.

HORN, R.; FLEIGE, H. A method for assessing the impact offload on mechanical stability and on physical properties of soils. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.89-99, 2003.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.101-106, 2003.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília IBAMA 96p. 1990.

IMHOFF, S.; PIRES da SILVA, A.; DEXTER, A. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1656-1661, 2002.

JAKOBSEN, B.F.; GREACEN, E.L. Compaction of sandy forest soils by forwarder operations. **Soil Tillage Research**, v.5, p.55-70, 1985.

KAMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da Bacia Carbonífera. In: CENTRO DE ECOLOGIA – UFRGS. **Carvão e meio ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, Cap.17, p.596-640, 2000.

KAMPF, N.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. 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.

KELLER, T. **Soil compaction and soil tillage – Studies in agricultural soil mechanics**. 201p. 2004. Tese (Doutorado), Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 2004.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.405-416, 2008.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.211-218, 1999.

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p.

KRÜMMELBEIN, J.; RAAB, T. Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. **Soil and Tillage Research**, v.125, p.109-115, 2012.

LAL, R. Soil compaction and tillage effects on soil physical properties of a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Journal of Sustainable Agriculture and the Environment**, v.14, p.53-65, 1999.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LEAL, O. A. **Frações e qualidade da matéria orgânica de um solo construído vegetado com gramíneas após a mineração de carvão**. 113f, 2011. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2011.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, p.275-286, 1991.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H, C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 6.ed. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2015. 102p.

LI, J.; ZHOU, X.; YAN, J.; LI, H. Effects of regenerating vegetation on soil enzyme activity and microbial structure in reclaimed soils on a surface coal mine site. **Applied Soil Ecology**, v.87, p. 56-62, 2015.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2 ed, 346p, 2012.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 70p. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, 2004.

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

LIMA, M. R.; SIRTOLI, A. E. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006. 341p.

LIMA, C. L. R., REINERT, D. J., REICHERT, J. M., SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.89-98. 2010.

LIMA, C. L. R.; MIOLA, E. C. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; DA SILVA, A. P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, p. 190-195, 2012.

MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: a review of the history and need for such studies. In: **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands**. Cambridge University Press. p.3-33, 1989.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M. ; REINERT, D. J. ; WILLIS, J. A. ; ROSA, D. P. da. Compactação de diferentes solos pelo ensaio de proctor. In: **Anais... XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 2006, Aracaju - SE. Anais - CD Rom, 2006

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, E. J., ed. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: Evangraf, p.117- 162, 2006.

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

MME - Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 2015.

MME - Ministério de Minas e Energia. **A economia brasileira e mundial; o setor mineral brasileiro e mundial e suas perspectivas de evolução a longo prazo**. Projeto de assistência técnica ao setor de energia. Rio de Janeiro, 2009.

MOSADDEGHI, M. R.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; ALEXANDROU, A. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v.70, p.53-64, 2003.

MUKHOPADHYAY, S., MAITI, S. K.; MASTO, R. E. Use of Reclaimed Mine Soil Index (RMSI) for screening of tree species for reclamation of coal mine degraded land. **Ecological Engineering**, v.57, p.133-142, 2013.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, v.36, p.1410-1415, 2006.

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

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, p.319-337, 1984.

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

PEDERSEN, T. A.; ROGOWSKI, A. S.; PENNOCK, R. Jr. Physical characteristics of some mine soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.321-328, 1980.

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

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, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 31f, 1999.

PINTO, L. F. S.; KÄMPF, N. Contaminação dos Solos Construídos. In: TEIXEIRA, E. C.; PIRES, M. J. R. (Org.). **Meio Ambiente e Carvão - Impactos da Exploração e Utilização**. Porto Alegre: FEPAM, p. 69-92, 2002.

PINTO, L. F. S. **Potencial de acidificação e neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão**. 186f. 1997. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

PIRES, A; HOLTZ, A. **Setor elétrico ante a demanda crescente**. 2016. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,setor-eletrico-ante-a-demanda-crescente-imp-,829857>. Acesso em: jan. 2016.

PIRES, L. F; ROSA, J. A; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

PIRES, F. L. **Avaliação econômica de termelétricas a carvão – Uma alternativa para diversificação da Matriz Energética Brasileira**. 2008. Disponível em [http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/358](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/358). Acesso em jan de 2016.

PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1868-1877, 2012.

PROCTOR, R. R. The design and construction of rolled earth dams. **Engineering News Record**, v. 3, p. 21- 28, 1933.

POWER, J. F.; RIES, R. E.; SANDOVAL, L. M. Reclamation of coal-mined land in the Northern Great Plains. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.33, p.69-74, 1978.

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**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1564-1571, 2008 .

QUIÑONES, O. R. G. **Caracterização e gênese de solos construídos após mineração de carvão na mina Boa Vista, Município de Minas do Leão, RS**. 119p. 2004. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

RAGASSI, F. C. **Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata**. 84p. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri: Manole, 2012. 524p.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do Solo. In: JONG VAN LIER, Q. Física do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 29-102, 2010.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, p. 242-254. 2009.

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

REICHERT, J. M; REINERT, D. J. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R. de; PAULETTO, E. A. Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 38, n. 2, p. 669-678, 2014 .

REIS, D. A. et al. Tensile strength and friability of an Alfisol under agricultural management systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba , v. 71, n. 2, p.163-168, 2014 .

REIS, D. A. **Resistência tênsil de agregados, friabilidade e compressibilidade de um solo construído sob plantas de cobertura na área de mineração de carvão de Candiota-RS**. 94f. 2012. Dissertação (Mestrado em Solos). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, 2012.

RESENDE SILVA, A.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, v.35, p.547-554, 2011.

ROSA, D. P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. 244p. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

ROSIM, D. C.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, Á. P. da. Compactação de um latossolo vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, 2012.

RUSSEL, E. W. **Soil conditions and plant growth**. 10.ed. London: Longman, 1973.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 1, p.11-21, 2008.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. da S., REICHERT, J. M. Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um neossolo regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 239-248, 2015.

SANTOS, D. C. **Alterações químicas e biológicas em solo de área de mineração de carvão submetido a diferentes cultivos**. 97f. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, 2006.

SANTOS, R. dos. **Propriedades de retenção e condução de água em solos, sob condições de campo e em forma de agregados, submetidos aos plantios convencional e direto**. 237 p. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008.

SANTOS, G. G. **Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo**. 2010. 122p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

SANTOS R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6ª. Ed. (Revisada e Ampliada) Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, 100p, 2013.

SCHAFFER, W. M., NIELSEN, G. A., NETTLETON, W. D. Minessoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.802-807, 1980.

SECCO, D., DAROS, C. O., SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.

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

SEVERIANO, E. C., OLIVEIRA, G. C., DIAS JUNIOR, M. S., OLIVEIRA, L. F. C., CASTRO, M. B. Pressão de pré-adensamento 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**, p.1419-1427, 2008.

SHEORAN, V.; SHEORAN, A. S.; POONIA, P. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. **International Journal of Soil, Sediment and Water**, v. 3, p.2-13, 2010.

SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. **Geoderma**, v.161, p. 168-176, 2011.

SKOUSEN J. et al. A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage. Morgantown: National Mine Land Reclamation Center, 1998. p.131.

SILVA, R. B.; MASQUETTO, B. J.; LANÇAS, K. P. Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Gramado. **Anais...** Gramado, Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, 2007.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.835-841, 2010.

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**, p.239-249, 2000.

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

SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.973-983, 2003.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.31-40, 2006.

SOARES, E.R.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, E.G.R.; COSTA, L.M. Cinza e carbonato de cálcio na mitigação de drenagem ácida em estéril de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.171-181, 2006.

SOUSA, F. A. de. **A contribuição dos solos originados sobre granitos e rochas alcalinas na condutividade hidráulica, na recarga do lençol freático e na suscetibilidade erosiva – um estudo de caso na alta bacia hidrográfica do rio dos bois em iporá-GO.** 208 f. 2013. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR. J.; PEREIRA G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.1, p. 48-56, 2009.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

STOLF, R.; FERNANDES, J. e FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. **STAB**, 1:18-23, 1983. Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 9p., 1983.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; SILVA, T. S.; SUZUKY, L. E. A. S.; FERNANDES, F. F.; TIMM, L. C.; GARCIA, G. F. Atributos físicos de um solo construído em área de mineração de carvão, cultivado com diferentes espécies vegetais. In: **Anais... III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011, Gramado. III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011.**

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; FERNANDES, F. F.; SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; TIMM, L. C.; SILVA, T. S.; HAERING, K. C. Mean weighth diameter and distribution os aggregates of constructed soil in a coal mining area in southern Brazil, cultived with different gramineae species. In: KRUMMELBEIN, J. HORN, R.; PAGLIAI, M. (Eds) **Soil Degradation. Advances in Geocology**, n.42. Catena Verlag GMBH, 35447 Reiskirchen, Germany. p. 89-103, 2013.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401, 2001.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; FERNANDES, F. F.; SUZUKI, L. E. AK. S.; SILVA, T. S.; PINTO, L. F. S.; LIMA, C. L. R. Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 327-335, 2014a.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; CASTRO, R. C. de; PINTO, L. F. S.; FERNANDES, F. F.; BARBOZA, F. da S.; FRANCO, Â. M. P.; GONÇALVES, F. C. Estrutura de um solo construído cultivado com diferentes espécies de poáceas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 12, p. 2171-2177, 2014b.

STUMPF, L. **Desenvolvimento radicular de gramíneas perenes e sua eficiência na recuperação de atributos físicos de uma área degradada pela mineração de carvão**. 2015. 130f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Solos. Universidade Federal de Pelotas, 2015.

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

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1525-1533, 2009.

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

TISDALL, J. M., OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

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 and Tillage Research**, v. 52, p.223-232, 1999.

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação**. 79 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

USSIRI, D. A.; LAL, R. Carbon sequestration in reclaimed minesols. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.24, p.151-165, 2005.

VAN GENUTCHEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of saturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VAN GENUTCHEN, M. T., NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soil. **Annales Geophysicae**, v.3, n.5, p.615-628, 1985.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distroférico de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309-316, 2010.

VELLAR, R. M. L.; LIMA, C. L. R. de; PINTO, L. F. S. Resistência mecânica à penetração de um solo construído e submetido à intensidades de um trator de esteira na área de mineração de carvão de Candiota-RS. In: **Anais...** III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, Gramado, Gramado: III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011.

VELLAR, R. M. DE L. **Tráfego de máquinas e parâmetros físicos de um solo construído na área de mineração de carvão em Candiota-RS.** 63 p., 2012 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, 2012.

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

WICK, A. F.; DANIELS, W. L. **Physical protection of organic matter in reclaimed coal mine soils of SW Virginia.** p. 1564-1582. In: R.I. Barnhisel (ed.) Proc. of National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Bridging Reclamation, Billings, MT. ASMR, 2009.

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

ZHANG, L.; JINMANWANG, W.; BAI, Z.; CHUNJUAN, L. V. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena**, v.128, p.44-53, 2015.

ZHAO, Z.; SHAHROUR, I.; BAI, Z.; FAN, W.; FENG, L.; LI, H. Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1 e 13 years in the West-Northern Loess Plateau of China. **European Journal of Soil Biology**, v.55, p.40-46, 2013.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 a – Granulometria

Granulometria de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Trat	Repetições	Granulometria (%)					
		Camada 0,00 a 0,10 m			Camada 0,10 a 0,20 m		
		Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia
T0	R1	49,85	21,22	28,93	47,45	23,52	29,03
	R2	46,55	23,85	29,60	48,84	20,56	30,60
	R3	50,87	22,46	26,67	47,97	20,60	31,43
	R4	46,36	22,77	30,87	47,42	20,81	31,77
T1	R1	43,84	35,29	20,87	36,55	25,58	37,87
	R2	49,57	20,03	30,40	49,29	22,31	28,40
	R3	46,76	20,11	33,13	47,30	21,16	31,53
	R4	44,48	24,75	30,77	46,07	22,83	31,10
T2	R1	49,96	19,34	30,70	51,57	19,37	29,07
	R2	49,26	21,37	29,37	49,00	20,03	30,97
	R3	46,98	22,99	30,03	47,34	21,03	31,63
	R4	43,96	20,97	35,07	42,78	22,32	34,90
T3	R1	30,91	40,39	28,70	51,09	18,18	30,73
	R2	50,86	20,77	28,37	51,20	20,73	28,07
	R3	50,32	21,75	27,93	50,22	21,01	28,77
	R4	45,43	22,97	31,60	44,96	24,47	30,57
T4	R1	44,62	26,74	28,63	45,16	26,17	28,67
	R2	48,49	21,31	30,20	50,65	20,65	28,70
	R3	48,38	20,18	31,43	48,32	21,31	30,37
	R4	43,22	23,54	33,23	45,94	21,92	32,13
T5	R1	50,03	20,34	29,63	49,98	21,16	28,87
	R2	48,34	22,12	29,53	50,06	20,97	28,97
	R3	46,50	20,80	32,70	48,06	19,44	32,50
	R4	46,36	23,01	30,63	46,27	22,60	31,13

## Apêndice 1 b - Granulometria e classes texturais

Granulometria e classe textural de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Granulometria (%)			Classe textural
	Argila	Silte	Areia	
	Camada 0,00 a 0,10 m			
T0	48,41	22,58	29,02	Argiloso
T1	46,16	26,09	27,00	Argiloso
T2	47,54	21,17	31,29	Argiloso
T3	44,38	26,47	29,15	Argiloso
T4	46,18	22,95	30,88	Argiloso
T5	47,81	21,57	30,63	Argiloso
	Camada 0,10 a 0,20 m			
T0	47,92	21,37	30,71	Argiloso
T1	44,80	22,97	32,23	Argiloso
T2	47,67	20,69	31,64	Argiloso
T3	49,37	21,10	29,53	Argiloso
T4	47,52	22,52	29,97	Argiloso
T5	48,59	21,04	30,37	Argiloso

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Apêndice 2 – Densidade do solo, Porosidade total, microporosidade e macroporosidade

Densidade do solo (DS), porosidade total (Pt), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma) de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Trat. 1	Rep.	Ds (Mg.m <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Mi (%)	Ma (%)	Ds (Mg.m <sup>-3</sup> )	Pt (%)	Mi (%)	Ma (%)
		Camada 0,00 a 0,10 m				Camada 0,10 a 0,20 m			
T0	R1	1,22	54,95	31,39	23,56	1,31	51,04	30,37	20,67
	R2	1,25	53,76	32,24	21,52	1,23	54,31	29,21	25,10
	R3	1,11	58,89	27,72	31,17	1,30	51,83	28,97	22,86
	R4	1,19	55,10	29,04	26,06	1,29	52,57	30,30	22,27
T1	R1	1,47	45,22	36,44	8,77	1,48	44,65	35,96	8,69
	R2	1,50	44,86	38,16	6,70	1,38	48,35	33,81	14,54
	R3	1,50	44,39	37,34	7,05	1,53	43,15	35,59	7,57
	R4	1,54	42,30	37,46	4,83	1,58	41,63	35,88	5,75
T2	R1	1,52	44,96	36,30	8,66	1,58	40,29	35,29	5,00
	R2	1,44	45,53	35,35	10,17	1,47	44,65	35,07	9,58
	R3	1,53	42,78	36,48	6,30	1,55	42,07	34,07	8,00
	R4	1,51	45,45	36,86	8,59	1,56	42,53	34,43	8,10
T3	R1	1,43	45,32	37,28	8,04	1,53	41,84	37,57	4,26
	R2	1,43	46,10	37,51	8,59	1,42	45,43	35,78	9,65
	R3	1,56	40,94	37,49	3,46	1,57	40,85	34,75	6,10
	R4	1,45	44,31	33,68	10,64	1,58	38,36	37,64	0,72
T4	R1	1,55	40,40	38,32	2,08	1,60	39,52	36,88	2,65
	R2	1,50	43,55	36,46	7,09	1,62	38,95	37,12	1,83
	R3	1,52	42,09	36,74	5,35	1,63	38,20	34,80	3,40
	R4	1,54	41,53	36,85	4,68	1,61	37,49	36,04	1,45
T5	R1	1,54	42,68	37,26	5,42	1,55	42,70	37,05	5,66
	R2	1,56	39,43	37,76	1,67	1,50	42,85	38,07	4,78
	R3	1,54	43,55	38,30	5,25	1,57	43,76	35,20	8,56
	R4	1,53	42,10	38,46	3,64	1,55	39,94	36,49	3,45

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

Apêndice 3 - Percentual de macroagregados ( $Ma_a$ ) e microagregados ( $Mi_a$ ) e diâmetro médio ponderado (DMP)

Percentual de macroagregados (Macroa) e microagregados (Microa) e diâmetro médio ponderado (DMP) de um solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Rep.	Camada 0,00 a 0,10 m			Camada 0,10 a 0,20 m		
		Macroa(%)	Microa(%)	DMP(mm)	Macroa(%)	Microa(%)	DMP(mm)
T0	R1	16,43	83,57	0,75	17,04	82,96	0,86
	R2	20,87	79,13	0,76	20,88	79,12	0,83
	R3	30,10	69,90	1,04	20,48	79,52	0,78
	R4	22,84	77,16	0,81	27,95	72,05	0,98
T1	R1	36,21	63,79	1,05	13,02	86,98	0,69
	R2	25,72	74,28	0,81	28,69	71,31	0,92
	R3	19,02	80,98	0,72	21,10	78,90	0,74
	R4	19,92	80,08	0,70	26,09	80,68	0,87
T2	R1	26,95	73,05	0,86	37,25	62,75	1,11
	R2	33,03	66,97	0,95	34,01	65,99	1,08
	R3	16,57	83,43	0,61	16,58	83,42	0,67
	R4	25,83	74,17	0,86	22,42	77,58	0,77
T3	R1	24,16	75,84	0,83	27,80	72,20	0,84
	R2	31,87	68,13	0,92	34,21	65,79	0,95
	R3	22,29	77,71	0,77	19,37	80,63	0,70
	R4	35,70	64,30	1,09	34,94	65,06	0,93
T4	R1	16,94	83,06	0,53	31,64	68,36	0,95
	R2	21,65	78,35	0,73	34,24	65,76	1,01
	R3	40,05	59,95	1,09	33,04	66,96	1,10
	R4	34,24	65,76	0,96	29,87	70,13	0,91
T5	R1	42,47	57,53	1,16	39,25	60,75	1,03
	R2	35,79	64,21	1,03	38,33	61,67	1,02
	R3	31,90	68,10	0,90	27,53	72,47	0,86
	R4	36,17	63,83	1,05	17,90	82,10	0,64

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Apêndice 4- Condutividade hidráulica

Condutividade hidráulica de solo saturado ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) de solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Repetições	$K_0$ ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	
		Camada 0,00 a 0,10 m	Camada 0,10 a 0,20 m
T0	R1	69,52	184,16
	R2	93,55	124,51
	R3	151,13	213,79
	R4	163,08	93,66
T1	R1	37,07	94,22
	R2	12,75	115,63
	R3	39,13	26,08
	R4	56,91	57,64
T2	R1	83,42	51,42
	R2	59,23	56,50
	R3	57,51	52,65
	R4	51,98	47,29
T3	R1	38,99	14,42
	R2	79,21	36,36
	R3	26,56	31,76
	R4	46,11	26,41
T4	R1	76,78	73,75
	R2	124,73	88,94
	R3	92,66	65,70
	R4	88,55	14,64
T5	R1	26,50	57,23
	R2	10,17	47,00
	R3	4,36	29,58
	R4	17,16	42,11

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

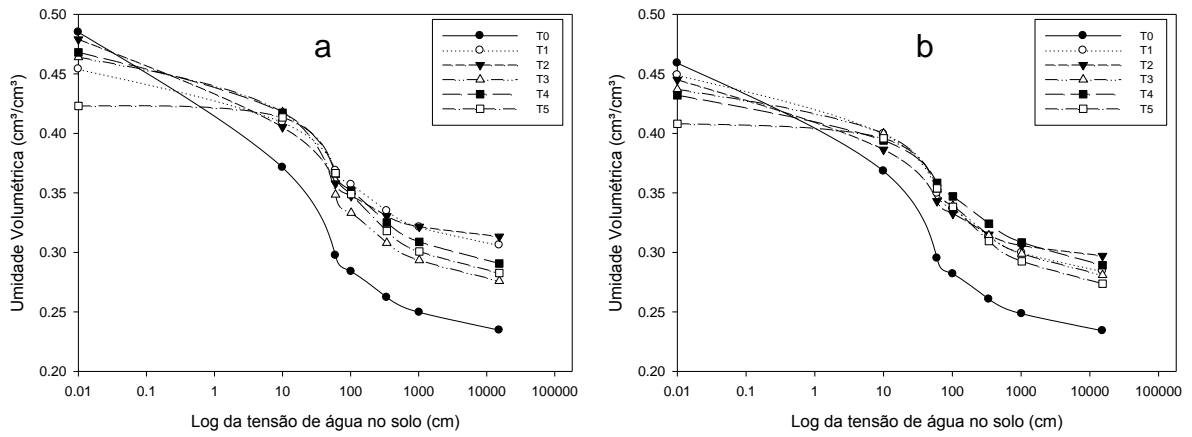
## Apêndice 5 - Umidade volumétrica

Umidade volumétrica para os potenciais matriciais em estudo e conteúdo de água disponível (AD) em solo construído submetido a eventos de tráfego na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Tensão de água no solo (kPa)								AD (%)
	0	1	6	10,2	33	102	1.530		
Camada 0,00-0,10 m									
T0	θ obs.	0,48	0,37	0,30	0,27	0,27	0,25	0,23	5,00
	θ calc.	0,49	0,37	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	
T1	θ obs.	0,45	0,41	0,37	0,35	0,35	0,32	0,30	5,00
	θ calc.	0,45	0,41	0,37	0,36	0,33	0,32	0,31	
T2	θ obs.	0,48	0,41	0,36	0,34	0,33	0,32	0,31	4,00
	θ calc.	0,48	0,41	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	
T3	θ obs.	0,46	0,42	0,36	0,31	0,31	0,31	0,27	5,00
	θ calc.	0,46	0,42	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	
T4	θ obs.	0,47	0,42	0,37	0,34	0,33	0,31	0,28	6,00
	θ calc.	0,47	0,42	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	
T5	θ obs.	0,42	0,41	0,38	0,33	0,32	0,31	0,28	7,00
	θ calc.	0,42	0,41	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	
Camada 0,10-0,20 m									
T0	θ obs.	0,46	0,37	0,30	0,27	0,27	0,25	0,23	5,00
	θ calc.	0,46	0,37	0,30	0,28	0,28	0,25	0,23	
T1	θ obs.	0,45	0,40	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	6,00
	θ calc.	0,45	0,40	0,35	0,34	0,31	0,30	0,28	
T2	θ obs.	0,44	0,39	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	4,00
	θ calc.	0,45	0,39	0,34	0,33	0,31	0,31	0,30	
T3	θ obs.	0,44	0,40	0,36	0,32	0,32	0,31	0,27	6,00
	θ calc.	0,44	0,40	0,35	0,34	0,31	0,30	0,28	
T4	θ obs.	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,32	0,28	6,00
	θ calc.	0,43	0,39	0,36	0,35	0,32	0,31	0,29	
T5	θ obs.	0,41	0,39	0,37	0,32	0,31	0,30	0,27	7,00
	θ calc.	0,42	0,40	0,35	0,34	0,31	0,29	0,27	

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Apêndice 6 - Curva de retenção de água em solo



Curva de retenção de água em solo construído submetido a eventos de tráfego nas camadas de 0,00 a 0,10 m (a) e 0,10 a 0,20 m (b), em Candiotá-RS.

Apêndice 7 - Resistência mecânica à penetração obtida a campo.

Resistência mecânica à penetração (MPa), obtida a campo, de um solo construído, submetido a eventos de tráfego, nas camadas de 0,00 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,30 m e 0,30 a 0,40m em Candiota-RS.

Profundidade (m)	Tratamento					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
0,01	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
0,03	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
0,05	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
0,07	0,55	0,55	0,55	0,55	0,69	0,87
0,09	0,55	0,55	0,55	0,55	1,44	1,62
0,11	0,55	0,55	0,69	0,85	1,82	2,21
0,13	0,55	0,55	0,82	1,16	1,93	2,14
0,15	0,55	0,55	0,98	1,18	2,01	2,29
0,17	0,55	0,59	1,11	1,36	2,01	2,32
0,19	0,55	0,83	1,24	1,40	2,20	2,29
0,21	0,55	0,99	1,34	1,51	2,26	2,50
0,23	0,55	1,22	1,31	1,34	2,16	2,65
0,25	0,55	1,52	1,50	1,34	2,20	2,78
0,27	0,55	1,57	1,45	1,35	1,83	3,00
0,29	0,68	1,58	1,66	1,31	1,79	2,51
0,31	0,83	1,75	1,74	1,48	1,79	2,25
0,33	0,83	1,84	1,50	1,48	1,82	2,15
0,35	1,01	1,96	1,72	1,63	1,94	1,91
0,37	1,01	2,03	1,84	1,67	1,84	1,87
0,39	1,21	2,29	1,96	1,79	2,17	1,87

T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Apêndice 8 - Compressibilidade

Tensão de pré-adensamento ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC) e densidade na tensão de 10 KPa (Dssp) para um solo construído, submetido a eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Trat. <sup>1</sup>	Rep.	$\sigma_p$ (kPa)	IC	Dssp	$\sigma_p$ (kPa)	IC	Ds $\sigma_p$
		Camada 0,00 a 0,10 m			Camada 0,10 a 0,20 m		
T0	R1	80,33	0,33	1,38	65,50	0,32	1,34
	R2	87,67	0,35	1,38	40,67	0,33	1,27
	R3	63,67	0,37	1,26	57,67	0,35	1,38
	R4	49,67	0,33	1,31	52,33	0,32	1,32
T1	R1	188,67	0,31	1,63	159,67	0,37	1,59
	R2	195,33	0,31	1,60	127,67	0,34	1,56
	R3	181,00	0,31	1,57	145,67	0,38	1,58
	R4	176,33	0,33	1,63	154,67	0,33	1,61
T2	R1	199,33	0,30	1,64	169,50	0,31	1,57
	R2	218,00	0,29	1,64	217,67	0,27	1,66
	R3	138,50	0,26	1,56	181,67	0,32	1,65
	R4	200,33	0,27	1,61	171,50	0,31	1,71
T3	R1	155,33	0,32	1,54	201,00	0,33	1,60
	R2	146,33	0,34	1,47	187,00	0,38	1,71
	R3	198,33	0,27	1,62	200,67	0,24	1,67
	R4	185,67	0,26	1,62	163,67	0,26	1,65
T4	R1	181,00	0,31	1,63	187,50	0,39	1,92
	R2	186,00	0,26	1,68	212,50	0,25	1,74
	R3	184,00	0,32	1,66	188,00	0,31	1,68
	R4	220,33	0,25	1,64	205,33	0,29	1,74
T5	R1	221,00	0,30	1,66	192,00	0,25	1,68
	R2	221,00	0,29	1,61	211,00	0,26	1,66
	R3	146,67	0,31	1,55	171,67	0,26	1,66
	R4	230,00	0,29	1,62	194,33	0,27	1,65

<sup>1</sup>T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Apêndice 9 - Análises químicas

## Atributos químicos do perfil original.

Horizontes	pH CaCl <sub>2</sub>	Na (cmolc/kg)	P (mg/kg)	H+Al (cmolc/kg)	Mo (%)	Mn (cmolc/kg)
A	4,36	0,03	0,65	6,65	2,36	1,75
AB	4,20	0,02	0,26	5,32	1,83	4,36
BA	4,10	0,01	0,00	6,21	1,50	1,60
B1	4,25	0,03	0,13	5,32	1,33	0,36
B2	4,37	0,02	0,07	3,99	0,62	1,09
B3	4,36	0,03	0,13	3,10	0,45	0,87
BC	4,35	0,03	0,46	3,10	0,36	0,22
C	4,45	0,04	0,00	3,10	0,26	0,29
S1	4,43	0,03	0,00	2,22	0,19	0,22
Arenito	4,62	0,00	0,00	0,44	0,06	0,07

## Atributos químicos do solo construído.

Solo	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca (cmolc/kg)	Mg (cmolc/kg)	K (cmolc/kg)	Na (cmolc/kg)	S (cmolc/kg)	Al (cmolc/kg)	H (cmolc/kg)	CTC	V%	Al (%)	P (mg/kg)	C org (%)	H+Al (cmolc/kg)	Mo (%)	Mn (cmolc/kg)
Solo construído	5,09	4,32	3,37	2,22	0,06	0,01	5,66	3,00	0,99	9,65	58,66	34,62	0,13	0,33	3,99	0,65	1,53

## Apêndice 10 - Descrição Morfológica

### Descrição geral

PERFIL: Tese Fabrício

DATA: 12/11/2015

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho Eutrófico típico

UNIDADE DE MAPEAMENTO: Alto das Canas (Brasil, 1973)

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: frente de lavra em mina de carvão, município de Candiota, Rio Grande do Sul, coordenadas 31°34'58,4" S 53°43'24"W (WGS84)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA SOBRE O PERFIL: barranco em terço superior da encosta, com 4,5% de declividade e cobertura de gramíneas

ALTITUDE: 210m

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Rio Bonito

LITOLOGIA: alternância de camadas de arenitos e siltitos

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado.

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: campo com gramíneas e arbustos nativos

USO ATUAL: pousio

CLIMA: Cfa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Luiz Fernando Spinelli Pinto, Pablo Miguel, Fabrício da Silva Barboza, Renata Albert.

### Descrição morfológica

A	0 – 12 cm; bruno a bruno-escuro (7,5 YR 3,5/3, úmida) e bruno (7,5 YR 5/3, seca); franco-argilo-arenosa; fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
AB	12 – 25 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 4/4, seca); franco-argilo-arenosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares; plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa; transição clara e plana.
BA	25 – 35 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); argila; moderada média blocos subangulares; cerosidade fraca a moderada e comum; plástica e pegajosa; transição clara e plana.
B <sub>1</sub>	35 – 55 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4/6, seca); argila; moderada média blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; plástica e pegajosa; transição clara e plana.
B <sub>2</sub>	55 – 105 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4/8, seca); argila; moderada a forte média a grande blocos subangulares; cerosidade moderada a forte e comum; plástica e pegajosa; transição clara e plana.
B <sub>3</sub>	105 – 170/180 cm; vermelho-escuro a vermelho (2,5YR 3,5/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4,5/8, seca); argila; moderada média blocos subangulares; cerosidade moderada a forte e comum; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada.
BC	170/180 – 210/220 cm; vermelho-escuro a vermelho (2,5YR 3/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4/8, seca); argila; moderada média blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada.
C	210 – 250+; vermelho (2,5YR 4/6, úmida) e vermelho (2,5YR 5/8, seca) mosqueado pouco pequeno e médio distinto bruno-avermelhado claro (2,5YR 7/4, úmida e seca); argila; plástica e pegajosa.
S <sub>1</sub>	– ; variegado composto de vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 6/6, seca) e branco (7,5YR 8/1 úmida e seca).
Arenito	– ; amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, úmida e 7,5YR 8/6, seca) mosqueado em bolsões mais argilosos vermelho-amarelados (5YR 5/6, úmida e 5YR 5/8, seca).

OBSERVAÇÕES: provavelmente o horizonte A está truncado. A camada S1 e o arenito foram amostrados num barranco lateral (profundidade não medida). O arenito encontra-se semi-intemperizado.

### Análise granulométrica

Horiz.	Prof. (cm)	Composição granulométrica da terra fina g kg <sup>-1</sup> (dispersão com NaOH)			
		Areia grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)
A	0 – 12	139,53	369,47	238,29	252,71
AB	12 – 25	106,11	373,89	225,69	294,31
BA	25 – 35	130,22	306,45	260,06	303,27
B <sub>1</sub>	35 – 55	81,39	180,61	189,37	548,63
B <sub>2</sub>	55 – 105	105,91	174,09	182,45	537,55
B <sub>3</sub>	105 – 170	95,46	191,54	219,49	493,51
BC	170/180 – 210/220	128,99	164,68	181,62	524,71
C	210/220 - 250+	90,57	101,76	224,63	583,03
S <sub>1</sub>	-	49,01	149,32	306,47	495,19
Arenito	-	795,56	58,77	121,91	23,75

### Análise química

Horiz.	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O 1:1	Complexo sortivo – cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>						
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	CTC pH7
A	0 – 12	5,07	2,73	0,91	0,26	3,93	3,84	2,81	10,58
AB	12 – 25	4,92	2,79	0,63	0,17	3,61	2,13	3,19	8,94
BA	25 – 35	4,95	2,67	0,56	0,08	3,32	2,07	4,14	9,53
B <sub>1</sub>	35 – 55	4,47	3,08	1,34	0,07	4,51	1,23	4,09	9,83
B <sub>2</sub>	55 – 105	5,22	3,25	2,26	0,07	5,60	1,09	2,90	9,59
B <sub>3</sub>	105 – 170	5,42	2,21	2,02	0,06	4,31	0,72	2,38	7,42
BC	170/180 – 210/220	5,23	2,38	2,52	0,05	4,98	0,77	2,33	8,09
C	210/220 – 250	5,42	3,19	2,42	0,07	5,72	1,68	1,43	8,82
S <sub>1</sub>	-	5,57	3,25	2,79	0,07	6,14	0,65	1,57	8,36
Arenito	-	5,58	0,58	0,18	0,03	0,79	0,16	0,29	1,23

Horiz.	Prof. (cm)	Al	Valor V (%)	C Orgânico (g Kg <sup>-1</sup> )
A	0 – 12	2,81	37,13	1,20
AB	12 – 25	3,19	40,45	0,93
BA	25 – 35	4,14	34,86	0,76
B <sub>1</sub>	35 – 55	4,09	45,88	0,68
B <sub>2</sub>	55 – 105	2,90	58,38	0,32
B <sub>3</sub>	105 – 170	2,38	58,16	0,23
BC	170/180 – 210/220	2,33	61,63	0,18
C	210/220 - 250+	1,43	64,82	0,13
S <sub>1</sub>	-	1,57	73,47	0,10
Arenito	-	0,29	64,00	0,03

## Apêndice 11 – Condições climáticas

Condições de temperatura máxima e mínima e precipitação pluviométrica para o período de comparação do efeito tempo-clima (11/12/2015 - 12/01/2016).

Dia	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Prec. (mm)
11/12			
12			20,6
13	33,3	18,9	
14	27,3	19,8	
15	29,4	15,2	
16	27,5	17,1	
17	28,0	18,9	
18	23,4	17,4	89,7
19			
20	26,4	21,0	
21	28,5	19,5	
22	20,1	18,6	27,2
23	25,9	19,9	11,6
24	29,7	17,4	0,3
25			
26			
27			
28	31,7	20,6	
29	30,2	23,0	
30			10,2
31	29,8	20,7	
1/01	29,5	22,1	
2			
3	29,8	22,0	
4	30,2	20,5	
5	28,6	19,0	73,5
6	29,4	21,5	1,1
7	26,9	15,5	
8	28,7	19,4	
9			
10	28,6	15,5	
11	32,3	23,2	
12	28,1	20,0	
<b>Somatório</b>	-	-	<b>234,20</b>

Apêndice 12 – Condutividade hidráulica do horizonte B do perfil de solo de extração (original).

Ensaio de condutividade hidráulica ( $K_0$ ), do horizonte B do solo original utilizado na recomposição topográfica, em Candiota-RS.

Anel 552	$K_0$ (mm.h <sup>-1</sup> )
R1	39,27
R2	37,95
R3	38,60
Média	38,60

Anel 711	$K_0$ (mm.h <sup>-1</sup> )
R1	37,32
R2	41,81
R3	26,56
Média	35,23

Apêndice 13 – Umidade volumétrica para os potenciais matriciais para o horizonte B do solo original.

Umidade volumétrica para os potenciais matriciais para o horizonte B (B1, B2 e B3) do solo original utilizado na construção dos solos, em Candiota-RS.

Horizonte		Tensão de água no solo (kPa)					
		0	6	10,2	33	102	1.530
B1	$\theta$ obs.	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,33
	$\theta$ calc.	0,44	0,41	0,41	0,39	0,36	0,33
B2	$\theta$ obs.	0,42	0,39	0,36	0,34	0,33	0,32
	$\theta$ calc.	0,42	0,38	0,37	0,34	0,33	0,32
B3	$\theta$ obs.	0,41	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32
	$\theta$ calc.	0,42	0,38	0,37	0,34	0,33	0,32

Apêndice 14 – Umidades correspondentes a 10 kPa.

Umidades correspondentes a 10 KPa, para um solo construído, submetido à eventos de tráfego, na camada de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em Candiota-RS.

Tratamentos	Ug (%) 10 kPa	
	0,00-0,10 m	0,10-0,20 m
T0	23,03	21,19
T1	22,10	21,99
T2	22,75	19,64
T3	21,15	21,21
T4	22,50	20,99
T5	21,60	20,84

T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Apêndice 15 – Análise de variância.

## Macroagregados camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01	16.43	20.87	30.10	22.84	22.56		
Tret. 02	36.21	25.72	19.02	19.92	25.2175		
Tret. 03	26.95	33.03	16.57	25.83	25.595		
Tret. 04	24.16	31.87	22.29	35.70	28.505		
Tret. 05	16.94	21.65	40.05	34.24	28.22		
Tret. 06	42.47	35.79	31.90	36.17	36.5825		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	467.16905	93.43381	1.77383524099456	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	948.11995	52.6733305555556				
Total	23	1415.289					
C.V.	26.13%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Macroagregados camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01	17.04	20.88	20.48	27.95	21.5875		
Tret. 02	13.02	28.69	21.10	26.09	22.225		
Tret. 03	37.25	34.01	16.58	22.42	27.565		
Tret. 04	27.80	34.21	19.37	34.94	29.08		
Tret. 05	31.64	34.24	33.04	29.87	32.1975		
Tret. 06	39.25	38.33	27.53	17.90	30.7525		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	390.025970833333	78.0051941666667	1.46185911370333	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	960.484825	53.3602680555556				
Total	23	1350.51079583333					
C.V.	26.82%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Microagregados camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01	83.57	79.13	69.90	77.16	77.44		
Tret. 02	63.79	74.28	80.98	80.08	74.7825		
Tret. 03	73.05	66.97	83.43	74.17	74.405		
Tret. 04	75.84	68.13	77.71	64.30	71.495		
Tret. 05	83.06	78.35	59.95	65.76	71.78		
Tret. 06	57.53	64.21	68.10	63.83	63.4175		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	467.16905	93.43381	1.77383524099456	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	948.11995	52.6733305555556				
Total	23	1415.289					
C.V.	10.05%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

## Microagregados camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01 "T0"	82.96	79.12	79.52	72.05	78.4125		
Tret. 02 "T1"	86.98	71.31	78.90	80.68	79.4675		
Tret. 03 "T2"	62.75	65.99	83.42	77.58	72.435		
Tret. 04 "T3"	72.20	65.79	80.63	65.06	70.92		
Tret. 05 "T4"	68.36	65.76	66.96	70.13	67.8025		
Tret. 06 "T5"	60.75	61.67	72.47	82.10	69.2475		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	467.40425	93.48085	1.78525876276912	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	942.5274	52.3626333333333				
Total	23	1409.93165					
C.V.	9.91%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Diâmetro médio ponderado camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	0.75	0.76	1.04	0.81	0.84		
Trat. 02 "T1"	1.05	0.81	0.72	0.70	0.82		
Trat. 03 "T2"	0.86	0.95	0.61	0.86	0.82		
Trat. 04 "T3"	0.83	0.92	0.77	1.09	0.9025		
Trat. 05 "T4"	0.53	0.73	1.09	0.96	0.8275		
Trat. 06 "T5"	1.16	1.03	0.90	1.05	1.035		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.143533333333333	0.0287066666666666	1.09047166824945	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	0.47385	0.026325				
Total	23	0.617383333333333					
C.V.	18.56%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Diâmetro médio ponderado camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	0.86	0.83	0.78	0.98	0.8625		
Trat. 02 "T1"	0.69	0.92	0.74	0.87	0.805		
Trat. 03 "T2"	1.11	1.08	0.67	0.77	0.9075		
Trat. 04 "T3"	0.84	0.95	0.70	0.93	0.855		
Trat. 05 "T4"	0.95	1.01	1.10	0.91	0.9925		
Trat. 06 "T5"	1.03	1.02	0.86	0.64	0.8875		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.0795	0.0159	0.790826195081514	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	0.3619	0.0201055555555555				
Total	23	0.4414					
C.V.	16.02%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Densidade do solo camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	1.22	1.25	1.11	1.19	1.1925		
Trat. 02 "T1"	1.47	1.50	1.50	1.54	1.5025		
Trat. 03 "T2"	1.52	1.44	1.53	1.51	1.5		
Trat. 04 "T3"	1.43	1.43	1.56	1.45	1.4675		
Trat. 05 "T4"	1.55	1.50	1.52	1.54	1.5275		
Trat. 06 "T5"	1.54	1.56	1.54	1.53	1.5425		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.345020833333333	0.0690041666666666	38.8451915559031	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	0.031975	0.00177638888888888				
Total	23	0.376995833333333					
C.V.	2.90%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Densidade do solo camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	1.31	1.23	1.30	1.29	1.2825		
Trat. 02 "T1"	1.48	1.38	1.53	1.58	1.4925		
Trat. 03 "T2"	1.58	1.47	1.55	1.56	1.54		
Trat. 04 "T3"	1.53	1.42	1.57	1.58	1.525		
Trat. 05 "T4"	1.60	1.62	1.63	1.61	1.615		
Trat. 06 "T5"	1.55	1.50	1.57	1.55	1.5425		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.258470833333333	0.0516941666666666	17.8855358000961	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	0.052025	0.00289027777777777				
Total	23	0.310495833333333					
C.V.	3.59%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Condutividade hidráulica saturada do solo camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	69.52	93.55	151.13	163.08	119.32		
Trat. 02 "T1"	37.07	12.75	39.13	56.91	36.465		
Trat. 03 "T2"	83.42	59.23	57.51	51.98	63.035		
Trat. 04 "T3"	38.99	79.21	26.56	46.11	47.7175		
Trat. 05 "T4"	76.78	124.73	92.66	88.55	95.68		
Trat. 06 "T5"	26.50	10.17	4.36	17.16	14.5475		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	30099.9104333333	6019.982086666667	10.1332714375262	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	10693.45455	594.080808333333				
Total	23	40793.3649833333					
C.V.	38.82%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Condutividade hidráulica saturada do solo camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	184.16	124.51	213.79	93.66	154.03		
Trat. 02 "T1"	94.22	115.63	26.08	57.64	73.3925		
Trat. 03 "T2"	51.42	56.50	52.65	47.29	51.965		
Trat. 04 "T3"	14.42	36.36	31.76	26.41	27.2375		
Trat. 05 "T4"	73.75	88.94	65.70	14.64	60.7575		
Trat. 06 "T5"	57.23	47.00	29.58	42.11	43.98		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	39905.8895708333	7981.17791416667	8.19931086584673	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	17521.131325	973.396184722222				
Total	23	57427.0208958333					
C.V.	45.51%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Água disponível do solo camada de 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	5	5	4	6	5		
Trat. 02 "T1"	5	5	4	6	5		
Trat. 03 "T2"	4	4	3	5	4		
Trat. 04 "T3"	5	5	4	6	5		
Trat. 05 "T4"	6	6	5	7	6		
Trat. 06 "T5"	7	7	6	8	7		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	21.3333333333333	4.26666666666667	6.4	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	12	0.666666666666667				
Total	23	33.3333333333333					
C.V.	15.31%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Água disponível do solo camada de 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Trat. 01 "T0"	5	5	4	6	5		
Trat. 02 "T1"	6	6	5	7	6		
Trat. 03 "T2"	4	4	3	5	4		
Trat. 04 "T3"	6	6	5	7	6		
Trat. 05 "T4"	6	6	5	7	6		
Trat. 06 "T5"	7	7	6	8	7		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	21.3333333333333	4.26666666666667	6.4	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	12	0.666666666666667				
Total	23	33.3333333333333					
C.V.	14.41%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Grau de compactação na pressão de 200 kPa camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média			
Treat. 01 "T0"	0.83	0.83	0.83	0.83			
Treat. 02 "T1"	0.91	0.91	0.91	0.91			
Treat. 03 "T2"	0.91	0.91	0.91	0.91			
Treat. 04 "T3"	0.92	0.92	0.92	0.92			
Treat. 05 "T4"	0.93	0.93	0.93	0.93			
Treat. 06 "T5"	0.92	0.92	0.92	0.92			
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.0202	0.00404	5.58936345433399E	3.10587187059761	5.06432049066299	significativo (1%)
Resíduo	12	8.67361737988404E	7.2280144832367E-2				
Total	17	0.0202					
C.V.	0.00%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Grau de compactação na pressão de 1.600 kPa camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média			
Treat. 01 "0"	0.68	0.68	0.68	0.68			
Treat. 02 "1"	0.79	0.79	0.79	0.79			
Treat. 03 "2"	0.80	0.80	0.80	0.8			
Treat. 04 "3"	0.79	0.79	0.79	0.79			
Treat. 05 "4"	0.83	0.83	0.83	0.83			
Treat. 06 "5"	0.80	0.80	0.80	0.8			
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.04045	0.00809	3.73085398890776E	3.10587187059761	5.06432049066299	significativo (1%)
Resíduo	12	2.60208521396521E	2.16840434497101E				
Total	17	0.04045					
C.V.	0.00%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Grau de compactação na pressão de 200 kPa camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média			
Treat. 01 "T0"	0.82	0.82	0.82	0.82			
Treat. 02 "T1"	0.89	0.89	0.89	0.89			
Treat. 03 "T2"	0.89	0.90	0.88	0.89			
Treat. 04 "T3"	0.90	0.88	0.89	0.89			
Treat. 05 "T4"	0.88	0.87	0.89	0.88			
Treat. 06 "T5"	0.92	0.92	0.92	0.92			
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.01645	0.00329	65.8000000000002	3.10587187059761	5.06432049066299	significativo (1%)
Resíduo	12	0.000599999999999E	4.99999999999998E				
Total	17	0.01705					
C.V.	0.80%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Grau de compactação na pressão de 1.600 kPa camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média			
Treat. 01 "T0"	0.67	0.67	0.67	0.67			
Treat. 02 "T1"	0.75	0.75	0.75	0.75			
Treat. 03 "T2"	0.79	0.78	0.77	0.78			
Treat. 04 "T3"	0.78	0.79	0.77	0.78			
Treat. 05 "T4"	0.78	0.78	0.78	0.78			
Treat. 06 "T5"	0.82	0.82	0.82	0.82			
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.0388	0.00776	232.8	3.10587187059761	5.06432049066299	significativo (1%)
Resíduo	12	0.000399999999999E	3.33333333333333E				
Total	17	0.0392					
C.V.	0.76%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Índice de compressão camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	0.33	0.35	0.37	0.33	0.345		
Treat. 02 "T1"	0.31	0.31	0.31	0.33	0.315		
Treat. 03 "T2"	0.30	0.29	0.26	0.27	0.28		
Treat. 04 "T3"	0.32	0.34	0.27	0.26	0.2975		
Treat. 05 "T4"	0.31	0.26	0.32	0.25	0.285		
Treat. 06 "T5"	0.30	0.29	0.31	0.29	0.2975		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.0112833333333333	0.0022566666666666	3.74377880184332	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (5%)
Resíduo	18	0.01085	0.0006027777777777				
Total	23	0.0221333333333333					
C.V.	8.09%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Índice de compressão camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	0.32	0.33	0.35	0.32	0.33		
Treat. 02 "T1"	0.37	0.34	0.38	0.33	0.355		
Treat. 03 "T2"	0.31	0.27	0.32	0.31	0.3025		
Treat. 04 "T3"	0.33	0.38	0.24	0.26	0.3025		
Treat. 05 "T4"	0.39	0.25	0.31	0.29	0.31		
Treat. 06 "T5"	0.25	0.26	0.26	0.27	0.26		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	0.02015	0.00403	2.70167597765363	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	0.02685	0.0014916666666666				
Total	23	0.047					
C.V.	12.46%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Macroporosidade camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	23.56	21.52	31.17	26.06	25.5775		
Treat. 02 "T1"	8.77	6.70	7.05	4.83	6.8375		
Treat. 03 "T2"	8.66	10.17	6.30	8.59	8.43		
Treat. 04 "T3"	8.04	8.59	3.46	10.64	7.6825		
Treat. 05 "T4"	2.08	7.09	5.35	4.68	4.8		
Treat. 06 "T5"	5.42	1.67	5.25	3.64	3.995		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	1289.6032375	257.9206475	39.6331749524761	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	117.138525	6.50769583333333				
Total	23	1406.7417625					
C.V.	26.70%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Macroporosidade camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	20.67	25.10	22.86	22.27	22.725		
Treat. 02 "T1"	8.69	14.54	7.57	5.75	9.1375		
Treat. 03 "T2"	5.00	9.58	8.00	8.10	7.67		
Treat. 04 "T3"	4.26	9.65	6.10	0.72	5.1825		
Treat. 05 "T4"	2.65	1.83	3.40	1.45	2.3325		
Treat. 06 "T5"	5.66	4.78	8.56	3.45	5.6125		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	1041.472733333333	208.2945466666667	30.6376584874763	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	122.3756	6.798644444444444				
Total	23	1163.848333333333					
C.V.	29.71%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Microporosidade camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	31.39	32.24	27.72	29.04	30.0975		
Treat. 02 "T1"	36.44	38.16	37.34	37.46	37.35		
Treat. 03 "T2"	36.30	35.35	36.48	36.86	36.2475		
Treat. 04 "T3"	37.28	37.51	37.49	33.68	36.49		
Treat. 05 "T4"	38.32	36.46	36.74	36.85	37.0925		
Treat. 06 "T5"	37.26	37.76	38.30	38.46	37.945		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	167.356770833333	33.4713541666667	20.5550826531926	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	29.310725	1.62837361111111				
Total	23	196.667495833333					
C.V.	3.56%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Microporosidade camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	30.37	29.21	28.97	30.30	29.7125		
Treat. 02 "T1"	35.96	33.81	35.59	35.88	35.31		
Treat. 03 "T2"	35.29	35.07	34.07	34.43	34.715		
Treat. 04 "T3"	37.57	35.78	34.75	37.64	36.435		
Treat. 05 "T4"	36.88	37.12	34.80	36.04	36.21		
Treat. 06 "T5"	37.05	38.07	35.20	36.49	36.7025		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	137.6691	27.53382	25.8036158786273	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	19.20695	1.06705277777778				
Total	23	156.87605					
C.V.	2.96%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Porosidade total camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	54.95	53.76	58.89	55.10	55.675		
Treat. 02 "T1"	45.22	44.86	44.39	42.30	44.1925		
Treat. 03 "T2"	44.96	45.53	42.78	45.45	44.68		
Treat. 04 "T3"	45.32	46.10	40.94	44.31	44.1675		
Treat. 05 "T4"	40.40	43.55	42.09	41.53	41.8925		
Treat. 06 "T5"	42.68	39.43	43.55	42.10	41.94		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	533.366670833333	106.673334166667	34.8504905762087	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	55.095925	3.06088472222222				
Total	23	588.462595833333					
C.V.	3.85%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Porosidade total camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	51.04	54.31	51.83	52.57	52.4375		
Treat. 02 "T1"	44.65	48.35	43.15	41.63	44.445		
Treat. 03 "T2"	40.29	44.65	42.07	42.53	42.385		
Treat. 04 "T3"	41.84	45.43	40.85	38.36	41.62		
Treat. 05 "T4"	39.52	38.95	38.20	37.49	38.54		
Treat. 06 "T5"	42.70	42.85	43.76	39.94	42.3125		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	445.880183333333	89.1760366666667	20.9354305691687	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	76.67235	4.259575				
Total	23	522.552533333333					
C.V.	4.73%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Resistência a penetração camada 0,0 a 0,10 m

Treatamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01 "T0"	1.50	2.45	1.70	1.64	1.8225		
Tret. 02 "T1"	6.10	4.78	7.19	7.39	6.365		
Tret. 03 "T2"	6.61	5.79	8.98	7.64	7.255		
Tret. 04 "T3"	6.44	5.68	9.88	4.51	6.6275		
Tret. 05 "T4"	4.33	3.48	4.12	3.17	3.775		
Tret. 06 "T5"	5.93	5.66	5.03	4.42	5.26		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Treatamentos	5	84.23293333333333	16.84658666666667	10.5331946222235	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	28.78885	1.59938055555556				
Total	23	113.0217833333333					
C.V.	24.39%						

Treatamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Resistência a penetração camada 0,10 a 0,20 m

Treatamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01 "T0"	2.71	2.50	3.39	2.01	2.6525		
Tret. 02 "T1"	5.71	4.71	6.39	7.54	6.0875		
Tret. 03 "T2"	9.01	7.95	6.50	6.13	7.3975		
Tret. 04 "T3"	7.91	7.55	7.04	7.26	7.44		
Tret. 05 "T4"	4.49	4.34	3.81	3.99	4.1575		
Tret. 06 "T5"	6.05	3.67	6.33	4.08	5.0325		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Treatamentos	5	71.3174875	14.2634975	15.3347352483116	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	16.742575	0.930143055555556				
Total	23	88.0600625					
C.V.	17.66%						

Treatamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Tensão de preconsolidação camada 0,0 a 0,10 m

Treatamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01 "T0"	80.33	87.67	63.67	49.67	70.335		
Tret. 02 "T1"	188.67	195.33	181.00	176.33	185.3325		
Tret. 03 "T2"	199.33	218.00	138.50	200.33	189.04		
Tret. 04 "T3"	155.33	146.33	198.33	185.67	171.415		
Tret. 05 "T4"	181.00	186.00	184.00	220.33	192.8325		
Tret. 06 "T5"	221.00	221.00	146.67	230.00	204.6675		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Treatamentos	5	48996.4058708333	9799.28117416667	14.5961857476472	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	12084.462625	671.359034722222				
Total	23	61080.8684958333					
C.V.	15.34%						

Treatamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Tensão de preconsolidação camada 0,10 a 0,20 m

Treatamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Tret. 01 "T0"	65.50	40.67	57.67	52.33	54.0425		
Tret. 02 "T1"	159.67	127.67	145.67	154.67	146.92		
Tret. 03 "T2"	169.50	217.67	181.67	171.50	185.085		
Tret. 04 "T3"	201.00	187.00	200.67	163.67	188.085		
Tret. 05 "T4"	187.50	212.50	188.00	205.33	198.3325		
Tret. 06 "T5"	192.00	211.00	171.67	194.33	192.25		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Treatamentos	5	61287.3620333333	12257.4724066667	47.9895638629842	2.77285045697788	4.24786590918854	significativo (1%)
Resíduo	18	4597.55175	255.419541666667				
Total	23	65884.9137833333					
C.V.	9.94%						

Treatamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Umidade gravimétrica camada 0,0 a 0,10 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	21.57	22.47	21.73	21.78	21.8875		
Treat. 02 "T1"	22.82	11.42	22.40	22.96	19.9		
Treat. 03 "T2"	24.29	18.46	22.69	21.62	21.765		
Treat. 04 "T3"	22.39	18.96	21.48	22.23	21.265		
Treat. 05 "T4"	23.57	21.46	22.48	16.29	20.95		
Treat. 06 "T5"	23.46	19.43	19.21	18.21	20.0775		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	14.0104333333333	2.80208666666667	0.297496607731688	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	169.53995	9.41888611111111				
Total	23	183.550383333333					
C.V.	14.63%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Umidade gravimétrica camada 0,10 a 0,20 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	23.54	20.03	20.91	21.72	21.55		
Treat. 02 "T1"	24.02	24.39	23.48	23.20	23.7725		
Treat. 03 "T2"	25.06	21.91	22.34	20.14	22.3625		
Treat. 04 "T3"	23.25	21.58	22.73	21.41	22.2425		
Treat. 05 "T4"	24.95	22.57	22.87	19.20	22.3975		
Treat. 06 "T5"	24.06	22.15	20.66	18.77	21.41		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	14.1554833333333	2.83109666666667	0.935636818304498	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	54.4653	3.02585				
Total	23	68.6207833333333					
C.V.	7.80%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.

### Umidade gravimétrica camada 0,20 a 0,30 m

Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4	Média		
Treat. 01 "T0"	25.19	22.83	20.80	22.14	22.74		
Treat. 02 "T1"	24.21	24.50	22.97	23.57	23.8125		
Treat. 03 "T2"	24.39	21.24	22.10	19.94	21.9175		
Treat. 04 "T3"	24.49	21.25	20.36	22.10	22.05		
Treat. 05 "T4"	24.90	21.06	23.12	19.10	22.045		
Treat. 06 "T5"	20.96	20.88	20.66	20.16	20.665		
Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F (5%)	F (1%)	
Tratamentos	5	21.49665	4.29933	1.52218757099486	2.77285045697788	4.24786590918854	não significativo
Resíduo	18	50.83995	2.82444166666667				
Total	23	72.3366					
C.V.	7.57%						

Tratamentos: T0= 0 passadas; T1= 1 passadas; T2=3 passadas; T3=5 passadas; T4=8 passadas ; T5=12 passadas.