

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Manejo e  
Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**PARÂMETROS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM  
CANA-DE-AÇÚCAR EM SALTO DO JACUÍ NO RIO GRANDE DO SUL**

**Renata Pinto Albert Alves**

Pelotas, 2013

RENATA PINTO ALBERT ALVES

Parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com  
cana-de-açúcar em Salto do Jacuí no Rio Grande do Sul

Dissertação 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 Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Liane Rodrigues de Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Fioravante Jaekel dos Santos

Pelotas, 2013

RENATA PINTO ALBERT ALVES

Parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com  
cana-de-açúcar em Salto do Jacuí no Rio Grande do Sul

Aprovada em ...../...../2013

**Banca examinadora:**

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Cláudia Liane Rodrigues de Lima (Presidente)  
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

---

Professor Dr. Luís Carlos Timm  
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

---

Pesquisador Dr. Adilson Luís Bamberg  
EMBRAPA – Clima Temperado

Aos pais Renato e Alice, pela educação e amor;

Ao esposo Marcelo, pelo constante incentivo;

Ao filho Lucas, minha inspiração.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por colocar pessoas especiais no meu caminho e por guiar os meus passos ao longo de mais esta etapa, agora vencida.

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

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

À professora Dra. Cláudia Liane Rodrigues de Lima, pela orientação.

Ao professor Fioravante Jaekel dos Santos, pela co-orientação, persistência, dedicação e amizade.

Ao professor Eloy Antonio Pauletto, pela grande contribuição na minha formação e pela forte e saudável amizade edificada.

À professora Cláudia Teixeira, pelas valiosas contribuições iniciais a este trabalho.

Aos professores, Vitor Tavares, Flávia Fernandes, Rodrigo Rizzi, Luiz Fernando Spinelli Pinto, Rogério Souza e Rosa Castilhos, pelos ensinamentos transmitidos, e aos demais professores que de forma direta ou indireta contribuíram para a construção deste trabalho e na minha formação profissional.

À Destilaria Grandespe e ao responsável pela unidade industrial em Salto do Jacuí, o Engenheiro Agrônomo Jair Batistella, pela disponibilidade das áreas de estudo e das informações necessárias para a realização deste trabalho.

À minha turma de ingresso e primeira turma do PPG MACSA, Aline Kath, Antony Winkler, Jacira Porto e Marta Sória, pela paciência, companheirismo, e pelos momentos agradáveis de descontração, trocas de experiências e magnífica amizade construída que ultrapassa as fronteiras da FAEM até hoje.

À Marília, minha amiga e mestre, pelo apoio, incentivo constante, convívio, compreensão, força, otimismo e por compartilhar comigo não apenas seu conhecimento agrônomo, mas também o cultural, exercendo seu dom para a docência.

Às doutoras Gláucia e Juliana, e aos futuros doutores Lizete, Roberto, Marcos, Leandro e Diony pela acolhida, amizade, incentivo, companheirismo e pela contribuição indireta neste trabalho, com a transferência de seus conhecimentos em muitos momentos agradáveis que compartilhamos.

À Jaqueline, minha colega na Química do Solo que se revelou grande amiga, tanto para os momentos alegres como para os difíceis onde sempre soube dizer uma palavra de conforto e se fazer presente.

À Roberta Kunde minha colega também de profissão e Wildon Panziera, ambos parceiros do grupo de pesquisa da cana-de-açúcar, pelos trabalhos, apoio e disponibilidade nas viagens e coletas realizados em conjunto e pelo incentivo.

Aos demais funcionários do Departamento de Solos e do Laboratório de Física do Solo, em especial o Sr. Paulo Antunes, por seu otimismo, alegria e profissionalismo, à Francine, Verônica e aos graduandos, João Roberto, Jordano, Tiago, Thiago e Leonir pelo auxílio técnico nos trabalhos e realização dos ensaios e coleta, e também à Dona Ana, que foi uma verdadeira “mãe” em vários momentos.

Aos meus irmãos Emerson e Everton, minhas cunhadas e sobrinhos, pelo amor, carinho, paciência e compreensão durante este período.

À Hermes, Luna e Felipe Alves, minha segunda família, pelo apoio e incentivo.

Aos meus afilhados João Otávio, Diogo e Maria Clara, que me fazem desejar um futuro melhor e por fazerem parte da minha vida, apesar da minha ausência física em muitos momentos.

Ao meu esposo Marcelo Alves, que soube ser paciente, compreensivo e presente em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis e nunca me deixou faltar seu amor, minha eterna gratidão.

Ao Lucas, meu filho, minha vida, meu amor maior, pela sua alegria contagiante, carinho e amor, que me incentivam na luta por um futuro melhor.

Aos meus pais Renato e Alice pela determinação e garra na minha formação e educação. Obrigada por serem a minha referência de vida e pelo amor incondicional.

Aos demais amigos e familiares e colegas, que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho, um sincero muito obrigada.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original.”*

Oliver Wendell Holmes

## RESUMO

ALVES, Renata Pinto Albert. **Parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí no Rio Grande do Sul**, 2013. 81f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura de grande importância econômica e social para o País. Áreas de cultivo tem crescido no Rio Grande do Sul (RS) e com isso também a demanda por estudos dos efeitos do manejo desta cultura sobre o solo. O objetivo deste estudo foi monitorar alguns parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho, cultivado em diferentes tempos de implantação de cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, no RS. As avaliações foram realizadas em áreas com diferentes tempos de cultivo: dois anos (C2), quatro anos (C4), seis anos (C6) e em uma área de mata nativa (MN). As amostras de solo com estrutura preservada de solo foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m para determinação da densidade (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), resistência à penetração (RP), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC) e grau de compactação (GC). Os resultados mostraram que, com o cultivo da cana-de-açúcar há um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade que ocorre principalmente pelo efeito do cultivo na macroporosidade do solo sobretudo nas áreas com mais de 2 anos de cultivo. As áreas com cultivo apresentaram maiores valores de resistência à penetração em relação à mata nativa nas três camadas avaliadas. Nas áreas com quatro e seis anos de cultivo o valor de resistência a penetração ficou acima do restritivo ao desenvolvimento das raízes. Na área com seis anos de cultivo, onde em média os valores da densidade do solo estão mais próximos aos valores de densidade na pressão de preconsolidação, existe uma maior degradação do solo. A maior capacidade de suporte de carga, nas áreas cultivadas, proporcionou menor índice de compressão, ou seja menor compressibilidade do solo na camada de 0,10 a 0,20 m.

Palavras-chave: densidade do solo, porosidade do solo, resistência à penetração, capacidade de suporte de carga e compactação do solo.

## ABSTRACT

ALVES, Renata Pinto Albert. **Physical parameters of an Oxisol cultivated with sugarcane at Salto do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brazil**, 2013. 81f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, a culture of great importance for the country both economically and socially. The increasing number of cultivated areas in the state of Rio Grande do Sul (RS) leads to an also increasing demand for studies of the effects of the sugarcane management on the soil. This study aims to observe some physical parameters of an Oxisol in different sugarcane cultivation times in the city of Salto do Jacuí, RS. The evaluations were conducted in areas with different cultivation times: two years (C2), four years (C4), six years (C6) and an area of native forest (NF). Soil samples with preserved structure were collected in soil layers from 0.00 to 0.05m; 0.05 to 0.10m; and 0.10 to 0.20m, as to determine the level of bulk density (BD), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt), penetration resistance (PR), preconsolidation pressure ( $\sigma_p$ ), the compression index (CI) and the degree of compaction (DC). The results have shown that sugarcane cultivation has increased the bulk density and reduced porosity, which occurs mainly due to the effect of this cultivation in soil macroporosity, particularly in areas cultivated for more than 2 years. In all three layers analyzed, cultivated areas have shown a higher level of penetration resistance compared to native forest areas. In the areas with four and six years of cultivation, the penetration resistance values were above the restrictive value to the roots development. There is a further degradation in the area cultivated for six years, where average values of soil bulk density are closer to the values of preconsolidation pressure density. The higher load support capacity in sugarcane-cultivated areas resulted in a lower compression index (that is, lower compressibility) in the soil layer from 0.10 to 0.20m.

Keywords: bulk density, soil porosity; penetration resistance; load support capacity; soil compaction.

## LISTA DE FIGURAS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Localização espacial das áreas de estudo.....   | 21 |
| Figura 2 | Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,00 a 0,05m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN). ..... | 27 |
| Figura 3 | Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,05 a 0,10m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN). ..... | 28 |
| Figura 4 | Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,10 a 0,20m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN). ..... | 29 |
| Figura 5 | Resistência à penetração (RP, kPa) de um Latossolo em diferentes tempos de implantação de cana-de-açúcar com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN) nas camadas de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20m.....                              | 30 |
| Figura 6 | Curvas de compressão uniaxial normalizadas da camada de 0,00 a 0,05m (a), 0,05 a 0,10m (b) e 0,10 a 0,20m (c) de um Latossolo com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo com cana-de-açúcar e em área de mata nativa (MN).....  | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|          |   |
|----------|---|
| Tabela 1 | Frações granulométricas ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas camadas de 0,00 a 0,05m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob mata nativa e cultivado com diferentes tempos de implantação de cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS. ....22   |
| Tabela 2 | Densidade inicial ( $D_{si}$ ), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação à 200KPa ( $GC_{200\text{KPa}}$ ) e grau de compactação à 1.600KPa ( $GC_{1.600\text{ kPa}}$ ) nas áreas ecamadas de um Latossolo da região de Salto do Jacuí, RS. ....32 |
| Tabela 3 | Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros físicos do solo para as três camadas de solo analisadas. ....36  |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL .....  | 12 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....   | 14 |
| 2.1 A cultura da cana-de-açúcar .....                                       | 14 |
| 2.2 Sistemas de cultivo e atributos físicos do solo sob cana-de-açúcar..... | 15 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 21 |
| 3.1 Área de estudo .....  | 21 |
| 3.2 Amostragem do solo .....  | 23 |
| 3.3 Análises físicas.....   | 23 |
| 3.4 Análise estatística .....   | 25 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 26 |
| 4.1 Densidade, porosidade e resistência mecânica à penetração .....         | 26 |
| 4.2 Parâmetros Compressivos .....   | 31 |
| 5 CONCLUSÕES .....  | 38 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 39 |
| APÊNDICE .....  | 48 |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, o Brasil tem investido na cultura da cana-de-açúcar para a produção do álcool (etanol) e do açúcar, por se tratar de uma cultura competitiva em termos de custo unitário de produção de energia, o que a torna viável em relação a outros meios de obtenção, como a indústria petrolífera, além de ser uma fonte de energia renovável.

Devido à cana-de-açúcar ser uma cultura tipicamente tropical, exigindo altas temperaturas e muita luz solar para um melhor potencial produtivo, o Rio Grande do Sul não foi incluído inicialmente no projeto Pro-álcool do governo federal. No início da década de 1980 foram criadas no RS usinas piloto para a produção de etanol. Porém, nenhuma das destilarias prosperou, pois o custo não era competitivo com o obtido em outros Estados produtores. Isto se deve ao fato dessa cultura apresentar um ciclo limitado pelo frio, pois a brotação somente ocorre em setembro/outubro, apresentando pleno desenvolvimento ao longo do verão e após este período, o seu crescimento diminui com o início de períodos mais frios. Com a seleção de novas cultivares e com as melhorias tecnológicas, na última década, foi possível o avanço da produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul.

No manejo convencional dessa cultura, geralmente são utilizadas máquinas e implementos agrícolas, os quais podem degradar a qualidade estrutural e proporcionar compactação do solo devido à pressão exercida por pneus agrícolas, influenciando desta maneira, a permeabilidade hídrica, a porosidade de aeração e o crescimento radicular, diminuindo a sua produtividade.

São escassos os trabalhos que fornecem informações sobre o estudo do efeito do tempo de implantação de um canavial sobre a capacidade de suporte de carga e a susceptibilidade do solo à compactação. Assim a hipótese deste trabalho é que as práticas de manejo do solo adotadas nas operações da cultura cana-de-açúcar, por sucessivos anos, modificam os atributos físicos do solo, principalmente aqueles relacionados à compressibilidade.

Diante das alterações que podem ocorrer no solo em decorrência da implementação da cultura da cana-de-açúcar, torna-se necessária a avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas a fim de favorecer a sustentabilidade da

produção agrícola e o uso racional dos recursos naturais. No sentido de propor um manejo adequado do solo, conforme o tempo de implantação da cana-de-açúcar, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a evolução do estado de compactação de um Latossolo Vermelho, cultivado em diferentes tempos de implantação de cana-de-açúcar (dois, quatro e seis anos) em Salto do Jacuí, no Rio Grande do Sul.

Os objetivos específicos foram: i) avaliar a densidade, a porosidade e a resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho, cultivado em diferentes tempos de implantação da cultura da cana-de-açúcar na região de Salto do Jacuí, RS e ii) avaliar a pressão de preconsolidação, o índice de compressão e o grau de compactação de um Latossolo Vermelho sob cultivo com diferentes tempos de implantação da cultura da cana-de-açúcar e indicar valores de parâmetros críticos associados à capacidade de suporte de carga.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura da cana-de-açúcar

Cana-de-açúcar é o nome comum de uma herbácea, planta da família das Poaceae, pertencente ao gênero *Saccharum* L., originária da Ásia Meridional. É cultivada em países tropicais e subtropicais, onde se alternam as estações secas e úmidas, para obtenção do açúcar, do álcool e do aguardente, devido à sacarose contida em seu caule. Em geral, a sua colheita se dá no outono e em um período de 3 a 6 meses (SCHUCH, 2007).

O ciclo da cultura pode ser um ano a um ano e meio em cana-planta (CP). Após o primeiro corte, o ciclo passa a ser de um ano e o rebrote é chamado de soqueira, sendo que a nova planta passa a ser denominada de cana-soca (CS) (BARBOSA, 2010).

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção em 2010 de aproximadamente 630 milhões de toneladas, 32% a mais do que em 2005 (BRASIL, 2013), período em que a cultura retomou sua importância nos cenários econômicos, nacional e internacional com a criação do Plano Nacional de Agroenergia (BRASIL, 2005 e 2006). O País foi pioneiro ao lançar o Programa Nacional de álcool em 1975 (Proálcool). Inicialmente, a meta foi de acrescentar álcool à gasolina, mas devido uma segunda crise do petróleo, o carro a álcool foi lançado em 1978. Nos anos 80, o Brasil estava produzindo 12 bilhões de litros anuais de álcool, porém o preço baixo do petróleo desestimulou a produção e gerou crise de abastecimento, interrompendo a produção do carro a álcool no País. Em compensação, houve uma alta nos preços mundiais do açúcar, e o Brasil aumentou as suas exportações de 1 para 10 milhões de toneladas/ano na década de 90, evitando uma crise neste setor (SEPÚLVEDA et al., 2008).

O estado de São Paulo possui a maior área produtiva do País, com uma área cultivada de cana-de-açúcar de 5,2 milhões de hectares e uma produção estimada de 406 milhões de toneladas (IBGE, 2013). O Brasil desponta como líder mundial nas exportações de açúcar e na utilização da cana como fonte de energia renovável, principalmente pela crescente participação dos veículos biocombustíveis

na frota automotiva brasileira. A produção mundial totaliza quase 1,5 bilhões de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático (BARBOSA, 2010).

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no Rio Grande do Sul (RS) no início do século XVIII (SEPLAG, 2011). Os municípios que apresentam as maiores produções são Roque Gonzales, Salto do Jacuí e Porto Xavier com aproximadamente 98, 74 e 52 mil toneladas por ano, respectivamente. O município de Salto do Jacuí destaca-se por atingir produtividade média de 85 toneladas ha<sup>-1</sup>, estando cerca de 10% acima da produtividade média nacional (CONAB, 2012).

Apesar de pouco significativa em nível nacional, a produção de cana-de-açúcar no RS tem importância por estar associada às atividades desenvolvidas em áreas de pequena propriedade, relacionadas à criação de gado e ao processamento artesanal de subprodutos como o melado, a rapadura, o açúcar mascavo e a cachaça. A grande importância dessa cultura no Brasil é devido à contribuição econômica, social e ambiental, caracterizando-se como a segunda cultura relevante para o agronegócio brasileiro. Cerca de 370 unidades sucroalcooleiras que geram empregos para cerca de 1,2 milhões de pessoas, envolvendo no Brasil cerca de 16 bilhões de reais por ano, contribuindo com 2,5% do Produto Interno Bruto do País (MAGRO & LACA-BUENDIA, 2010).

## **2.2 Sistemas de cultivo e atributos físicos do solo sob cana-de-açúcar**

O preparo de solo para a implantação do canavial representa uma etapa importante à longevidade da cultura, considerando que conforme a variedade, este será revolvido somente após o quinto ou sexto corte (CARVALHO et al., 2011). Para isso, o planejamento das atividades envolvidas diretamente com a cultura da cana-de-açúcar, desde o plantio até a colheita, é importante na sua exploração econômica, definindo uma série de técnicas a serem adotadas, como, insumos, máquinas, implementos, adubações e escolha dessas variedades (SILVA JUNIOR e CARVALHO, 2010). Todos estes aspectos alteram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SOUZA et al., 2006).

No sistema de colheita mecanizada sem queima (cana crua), há um aporte das folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo que

são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduos vegetais denominada palha ou palhada (SOUZA et al., 2006), aumentando o aporte de material orgânico (LUCA et al., 2008).

O uso agrícola do solo, sobretudo em condições inadequadas de conteúdo de água/umidade ocasiona alterações nas propriedades físicas, como densidade e porosidade total do solo, decorrente da modificação da qualidade estrutural, da retenção de água (KLEIN & LIBARDI, 2002), da infiltração de água (TAVARES FILHO et al., 2001), da disponibilidade hídrica às plantas e da resistência mecânica à penetração, resultando em condições limitantes ao crescimento das culturas e decréscimo na produtividade (SILVA JUNIOR et al., 2011; CENTURION et al., 2007).

Os impactos causados na qualidade física do solo cultivado com cana-de-açúcar podem ser quantificados por meio de sua densidade ( $D_s$ ), da porosidade ( $P_t$ ) e da resistência à penetração ( $R_P$ ), que são indicadores físicos relacionados com a forma e estabilidade estrutural do solo (MACHADO et. al, 2010).

A densidade do solo ( $D_s$ ) é expressa pela relação entre a quantidade de massa de solo seco e o volume total do solo (volume de sólidos mais o volume do espaço poroso). Os cultivos alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e o volume dos poros, obtendo a  $D_s$  (KLEIN, 2012).

Solos que apresentam uma textura média, com densidade inferiores a  $1,2 \text{Mg m}^{-3}$  são geralmente adequados para o crescimento de raízes, sendo que este valor corresponde às condições do solo após operações de manejo com a utilização da grade niveladora, a qual diminui a rugosidade da superfície do solo. Porém, as raízes que se desenvolvem em um solo com textura média e com valores de densidade igual ou maior que  $1,2 \text{Mg m}^{-3}$ , possivelmente não apresentarão a formação de raízes secundárias. Sendo assim, a compactação pode aumentar a ramificação e a formação de raízes secundárias, possibilitando que as raízes explorem mais solo para a absorção de nutrientes (RICHART et al., 2005).

Ceddia et al. (1999), avaliando as propriedades físicas de um Podzólico Amarelo após seis anos de cultivo, constataram que no sistema de colheita de cana queimada houve, um aumento da densidade na camada superficial do solo (0 – 5cm).

A porosidade total do solo pode ser definida como a fração volumétrica do solo, ocupada com ar e/ou água (KIEHL, 1979) e é originada pelo arranjo aleatório das partículas sólidas (KLEIN, 2012).

Segundo Jaramillo (2002) a distribuição do espaço poroso depende da composição e arranjo da fração sólida do solo, isto é textura, teor de matéria orgânica e estrutura. A microporosidade é composta pelo volume de poros mais finos do solo e em sua maioria encontram-se no interior dos agregados. A macroporosidade, por sua vez, é o volume de poros grandes do solo os quais se encontram em maior proporção entre os agregados. Conforme Reichardt & Timm (2012) um solo bem agregado (ou estruturado) apresenta boa quantidade de poros de tamanho relativamente grande, logo possui alta macroporosidade, qualidade que afeta a penetração das raízes, a aeração do solo, as operações de cultivo e a infiltração de água.

Conforme Klein & Libardi (2002), macroporos apresentam diâmetro maior que 0,05mm e perdem água em tensões menores que 6kPa e microporos são aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002mm, que são esvaziados a tensões entre 6 e 1.500kPa.

Reynolds et al. (2007) classificaram os poros do solo em macroporos e poros da matriz. O volume de macroporos do solo é a diferença entre a umidade volumétrica do solo saturado e a umidade volumétrica do solo equilibrado ao potencial de -0,1m e por isso os macroporos do solo tem diâmetro equivalente maior que 0,3mm. O volume de poros da matriz do solo é a umidade volumétrica no potencial de -0,1m, portanto poros com diâmetro menor ou igual a 0,3mm.

A resistência do solo à penetração (RP) tem sido citada como um dos fatores restritivos ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, pois ela expressa o grau de compactação, sendo variável com o tipo de solo, com a espécie cultivada e com o tráfego de máquinas agrícolas. Entretanto é possível que raízes de plantas desenvolvam-se adequadamente mesmo que os valores de RP sejam superiores aos descritos pela literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular. Se houverem estruturas que permitam a difusão de oxigênio, condições químicas e de umidade do solo consideradas adequadas, as raízes irão procurar pontos de menor resistência para seu desenvolvimento, embora sofram alterações morfológicas (TAVARES FILHO et al., 2001).

Um solo com resistência mecânica à penetração variando de 1 a 3,5MPa poderá restringir ou mesmo impedir o crescimento das raízes (TAVARES FILHO et al., 2001). O valor de 2MPa é citado como sendo crítico ao desenvolvimento radicular das principais culturas agrícolas (BAQUERO et al., 2012). Para sistemas de produção agrícolas com preparo de solo convencional, são considerados como restritivos valores de RP superiores a 3MPa (BEUTLER et al., 2001).

Algumas propriedades são importantes para a quantificação da resistência à penetração, tais como a densidade e o conteúdo de água do solo. A densidade apresenta uma relação direta com a RP, enquanto que o conteúdo de água é inversamente proporcional. (RICHART et al., 2005).

Uma avaliação adequada das modificações no solo decorrentes do cultivo é realizada submetendo um solo sob vegetação natural às atividades agrícolas desejadas e analisando periodicamente suas propriedades. No entanto, por diferentes razões, é difícil atender a essas condições experimentais. Alternativamente, estes estudos podem ser realizados utilizando solos cultivados e sob mata nativa, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos (ARAÚJO et al., 2004).

A compactação pode ser definida como a compressão de um solo não saturado com água durante a qual existe um aumento da sua densidade em consequência da redução de seu volume (GUPTA & ALLMARAS, 1987). O processo de compactação do solo pode ser atribuído tanto à diminuição do espaço poroso entre os agregados, ocorrendo um rearranjo e nova orientação das partículas, o que resulta numa massa mais densa da matriz do solo (HORN et al., 1995).

A compactação dos solos não é um problema atual, mas se intensificou com o avanço da tecnologia na agricultura, com a utilização de máquinas maiores e mais pesadas, que facilitam o trabalho do homem no campo, porém o intenso tráfego, assim como o trato cultural e a colheita das culturas nas lavouras, expõem os solos a compactação (REICHERT et al., 2007). Contudo, a adoção do controle de tráfego permite melhorias na estrutura física do solo (ROQUE, 2010).

As propriedades físicas do solo como a densidade e a porosidade são relacionadas com a modificação no seu volume total do solo, estando diretamente relacionadas com a compactação. Geralmente ocorre um aumento na resistência do solo e uma redução no volume de macroporos, com incremento da compactação, que são os primeiros a serem destruídos neste processo, e os responsáveis pela

infiltração de água e aeração do solo, resultando em redução da porosidade total (REICHERT et al., 2007).

As consequências da compactação se manifestam no solo e na planta. No solo, ocorre a presença de camadas endurecidas, empoçamento de água, erosão hídrica e assoreamento de mananciais. Na planta, ocorre redução da penetração das raízes pela excessiva resistência do solo à penetração, deficiência de oxigênio, menor desenvolvimento vegetativo da parte aérea e redução da produtividade (HAKANSSON & VOORHEES, 1998).

O termo compressibilidade indica a resistência do solo ao decréscimo de volume quando submetido a uma carga mecânica externa, sendo definido como a facilidade com que o solo diminui de volume quando uma determinada pressão é aplicada ao solo (GUPTA & ALLMARAS, 1987).

A compressibilidade depende de fatores internos e externos. Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da carga aplicada, que podem ser naturais, pela ação do impacto das gotas de chuva, ou artificial por meio de pisoteio ou pelo uso de equipamentos agrícolas. Os fatores internos correspondem ao histórico de tensão, composição mineralógica, textura, umidade, densidade inicial e, teor de carbono do solo. No entanto, para uma mesma condição desses fatores é a umidade que governa a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo (LEBERT & HORN, 1991; BENNIE & KRYNAUW, 1985). Quando os solos estão mais secos, sua capacidade de suporte de carga pode ser suficiente para suportar as pressões aplicadas sem que haja compactação significativa (PACHECO, 2010).

A caracterização do processo de compressão do solo contribui para definir ações do manejo ou técnicas que evitem ou minimizem a degradação da qualidade física dos solos. Indicadores relacionados à compressibilidade, obtidos a partir do ensaio de compressão uniaxial, também conhecido por ensaio de adensamento unidimensional, têm sido utilizados para estabelecer condições adequadas ao desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2006; PACHECO, 2010). Como exemplo, a curva de compressão uniaxial (CC) que representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão vertical aplicada ao solo e um parâmetro relacionado com a estrutura, como índice de vazios, a porosidade ou a densidade do solo (CASAGRANDE, 1936).

A partir da curva de compressão uniaxial do solo é obtido um indicador que expressa a máxima pressão que pode ser aplicada ao solo antes da ocorrência de um incremento na compactação (KONDO & DIAS JÚNIOR, 1999). Esse indicador é chamado de pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), sendo considerado um valor crítico, já que pressões inferiores podem causar pouca compactação adicional, enquanto estresses maiores provocam considerável compactação adicional, originando a degradação irreversível da estrutura do solo. Por esse motivo, é considerada uma estimativa da história do estresse ao qual o solo foi submetido e de sua capacidade de suporte de carga (DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1996).

O grau de compactação (GC) é definido como a relação entre a densidade inicial e uma densidade de referência para o mesmo solo, sendo expressa em porcentagem. A densidade de referência ( $D_{s_{ref}}$ ) é obtida através de um teste laboratorial de compressão uniaxial, padronizado sob uma pressão estática (HAKANSSON, 1990).

O manejo da cultura da cana-de-açúcar exige um intensivo uso de máquinas agrícolas, desde o preparo inicial até as operações de colheita, que em condições desfavoráveis tem contribuído para a compactação do solo, estando relacionada com os processos de degradação das propriedades estruturais, comprometendo a qualidade física e a produtividade agrícola dos solos (ALAKUKKU et al., 2003; OLIVEIRA, 2008).

Silva & Cabeda (2006) concluíram que sistemas de manejo para implantação da cana-de-açúcar influenciaram os parâmetros de compressibilidade do solo. Nos sistemas sequeiro e irrigado, a pressão de preconsolidação aumentou enquanto o índice de compressão, que é um indicador da susceptibilidade de compactação (LARSON et al., 1980), diminuiu em relação ao solo de mata, refletindo o maior grau de compactação do solo e a maior resistência dos agregados à ruptura nesses sistemas de manejo.

Severiano et al. (2010), avaliando o efeito das operações de colheita de cana-de-açúcar em dois tipos de solos concluíram que o Cambissolo foi mais resistente à compactação que o Latossolo e ainda que, a colheita mecanizada realizada em condições de friabilidade causou compactação do solo.

Pacheco & Cantalice (2011), indicaram que o conhecimento da capacidade de suporte de carga em solo sob cultivo de cana-de-açúcar pode ser relevante no planejamento de operações mecanizadas nessas lavouras.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Fazenda Grandespe, no município de Salto do Jacuí no RS, sendo o ponto central da área experimental a coordenada de referência com Latitude 28°57'34,87"S e Longitude 53°11'12,30"O. As coletas de solo foram realizadas em áreas com 2, 4 e 6 anos de cultivo de cana-de-açúcar e em área de mata nativa (MN) (Fig.1).



Figura 1 - Localização espacial das áreas de estudo: C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 –cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é subtropical úmido do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 e 18°C; f: em nenhum mês a média de precipitação é inferior a 60 mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22°C).

O solo predominante na região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (STRECK et al., 2008), com textura argilosa na camada superficial (0,00 a 0,20m) (tab. 1).

Tabela 1 - Frações granulométricas (g kg<sup>-1</sup>) nas camadas de 0,00 a 0,05m, de 0,05 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob mata nativa e cultivado com diferentes tempos de implantação de cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| Tratamentos <sup>1</sup> | Areia | Silte        | Argila |
|--------------------------|-------|--------------|--------|
|                          |       | 0,00 a 0,05m |        |
| C2                       | 318,3 | 228,4        | 453,3  |
| C4                       | 239,0 | 254,6        | 506,4  |
| C6                       | 356,6 | 179,0        | 464,4  |
| MN                       | 285,8 | 235,9        | 478,3  |
|                          |       | 0,05 a 0,10m |        |
| C2                       | 310,7 | 228,9        | 460,4  |
| C4                       | 234,3 | 271,2        | 494,5  |
| C6                       | 310,6 | 216,8        | 472,6  |
| MN                       | 265,6 | 267,9        | 466,5  |
|                          |       | 0,10 a 0,20m |        |
| C2                       | 321,9 | 188,0        | 490,1  |
| C4                       | 221,6 | 266,0        | 512,4  |
| C6                       | 318,0 | 208,3        | 473,7  |
| MN                       | 258,8 | 269,5        | 471,6  |

<sup>1</sup>C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

No início da década de 80, as áreas pertencentes a Fazenda Grandespe encontravam-se sob campo nativo. A partir do ano de 1983, as áreas foram cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e, alternadamente com soja e milho.

A implantação dos canaviais com cana-planta ocorreram no outono (março – junho) de 2010, 2008 e 2006 nas áreas com 2, 4 e 6 anos respectivamente e utilizou-se o sistema de preparo convencional, que consistiu em subsolagem a 0,50 m de profundidade, duas gradagens pesadas e abertura de sulcos de 0,25 m de

profundidade com um sulcador.

O espaçamento entre linhas da cultura nas áreas experimentais foi de 1,40 m. A adubação utilizada foi de 500kg/ha de NPK (5-25-25), sendo 350kg/ha aplicados na linha de plantio a uma profundidade de 0,30m e 150kg/ha a lanço. Nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar, foi realizada uma adubação de manutenção com 100kg/ha de uréia. As colheitas de cana planta e de cana soca foram realizadas manualmente com auxílio de facão mediante queima prévia da palhada. As variedades plantadas foram SP 801842 e RB 835089.

Anteriormente ao cultivo da cana-de-açúcar, a área que abrange o tratamento de segundo ano (C2), foi cultivada com soja (2007 à 2009) e milho (2009 a 2010). Nas áreas de quarto (C4) e sexto ano (C6), a cultura que antecedeu foi a soja. Como referência utilizou-se uma área de mata nativa (MN) com solo e relevo similares às demais áreas amostradas.

### **3.2 Amostragem do solo**

A amostragem de solo com estrutura preservada, utilizando anéis volumétricos (0,025m de altura e 0,070m de diâmetro), foi realizada em janeiro de 2012. Em cada área foram distribuídos aleatoriamente 18 pontos de coleta e em cada ponto a amostragem foi realizada nas camadas 0,00 a 0,05m, 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20m, obtendo-se 54 amostras por área, totalizando 216 amostras. Nas áreas C2, C4 e C6 as coletas foram feitas nas linhas de cultivo da cana de açúcar.

### **3.3 Análises físicas**

As amostras foram pesadas, saturadas com água por capilaridade durante um período mínimo de 24 horas e submetidas à uma altura de sucção de coluna de água de 0,60m para a determinação da macroporosidade (EMBRAPA, 2011). Posteriormente, as amostras de solo foram saturadas novamente por um período mínimo de 24 horas e submetidas ao potencial ( $\psi$ ) de - 10kPa, em câmaras de pressão de Richards (KLUTE,1986). Este potencial ( $\psi$ ) de - 10kPa foi adotado por representar uma condição de umidade normalmente encontrada no campo. Após serem equilibradas a este potencial, as amostras foram pesadas e avaliadas quanto a resistência à penetração (RP), com leituras a cada 0,015m, utilizando o

penetrômetro digital de bancada (MA 933), fabricado pela empresa MARCONI LTDA, com haste de 0,003 m de diâmetro, a uma velocidade de penetração de 10 mm min<sup>-1</sup>. A RP foi determinada em três pontos equidistantes do centro de cada amostra. Os resultados foram registrados em um sistema de aquisição de dados acoplado ao penetrômetro.

Em cada amostra foram aplicadas pressões sucessivas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600kPa, conforme Silva et al. (2007), no Consolidômetro Automático com IHM (Interface Homem Máquina), de modelo CNTA-IHM/BR (Masquetto Automação Agrícola) - CA 007/09 com auxílio do software CA-Linker v.1.41. Posteriormente, para cada amostra de solo foram elaboradas as curvas de compressão uniaxial do solo (CCS), que relaciona o logaritmo da pressão aplicada (eixo x) versus a densidade do solo (eixo y).

Após este procedimento as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas para avaliação da microporosidade e densidade do solo. A porosidade total foi obtida a partir da soma da macro e da microporosidade (EMBRAPA, 2011).

A partir das curvas de compressão, foram obtidos os valores de pressão de preconsolidação ( $\sigma_P$ ) através da intersecção entre a bissetriz e o prolongamento da reta de compressão virgem (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1995), e o índice de compressão (IC), obtido pela tangente do ângulo de inclinação da reta de compressão virgem, conforme proposto por Larson et al. (1980).

Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, as curvas de compressão foram normalizadas, dividindo o valor da densidade do solo ao final de cada carga aplicada ( $D_s$ ) pelo valor da densidade inicial do solo ( $D_{s_i}$ ).

O grau de compactação (GC) foi obtido pela relação entre a  $D_{s_i}$  e a densidade de referência ( $D_{s_{ref}}$ ), que foi determinada na pressão de preconsolidação ( $D_{s_{\sigma P}}$ ), após a aplicação de 200kPa ( $GC_{200}$ ) (HAKANSSON, 1990) e de 1.600kPa ( $GC_{1.600}$ ) conforme proposto por Suzuki (2005).

$$GC = 100 \left( \frac{D_{s_i}}{D_{s_{ref}}} \right)$$

Onde:

GC = Grau de compactação (%);

$D_{s_i}$  = Densidade atual do solo (Mg m<sup>-3</sup>);

$D_{s_{ref}}$  = Densidade do solo no estado de referência obtido em laboratório (Mg m<sup>-3</sup>).

### 3.4 Análise estatística

Por tratar-se de populações independentes, os dados podem não apresentar distribuição normal e igualdade das variâncias que são pressuposições da análise da variância paramétrica (ANOVA). O teste de Kruskal-Wallis ou análise de variância pelos números de ordem (“ranks”) pode ser utilizado nos casos em que a ANOVA paramétrica não pode ser utilizada, nomeadamente quando as k amostras não provêm de populações normais, ou quando as variâncias não são homogêneas (GUIMARÃES, 2008).

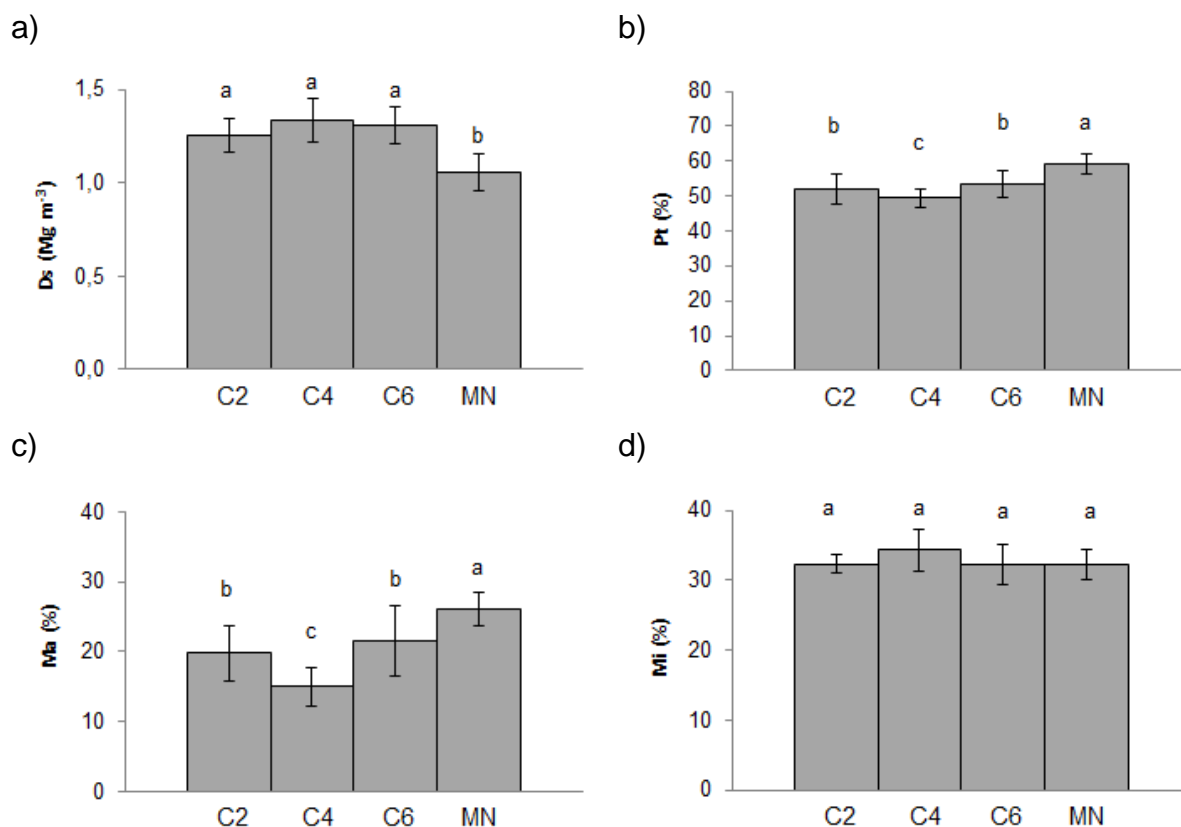
Portanto quando o conjunto de dados atendia as pressuposições da análise paramétrica foi feita a análise da variância pelo teste F ao nível de significância de 5% e a comparação entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Quando uma ou ambas pressuposições da análise paramétrica não foi atendida a análise da variância foi realizada pelo teste não-paramétrico de Kruskal – Wallis ao nível de significância de 5% e a comparação entre as áreas foi feita pelo teste de Dunn ao nível de significância de 5%. Para análise da relação entre as variáveis utilizou-se a correlação de Pearson. Todas as análises foram feitas utilizando o software Sigmaplot (SIGMAPLOT, 2004).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Densidade, porosidade e resistência mecânica à penetração

Na camada de 0,00 a 0,05m não houve diferença significativa da  $D_s$  entre as áreas cultivadas, mas observa-se que em valores absolutos a menor  $D_s$  do solo ocorreu em C2 (Fig. 2a). Nas demais camadas a área C2 também apresentou valores de  $D_s$  significativamente inferiores aos das áreas C4 e C6 (Fig. 3a e 4a). Os menores valores de  $D_s$  na área com 2 anos de cultivo pode ser explicado pelo efeito das raízes das culturas plantadas anteriormente nesta área, sobretudo pelo efeito das raízes do milho cujo crescimento do sistema radicular pode aumentar o número de bioporos que conseqüentemente diminui a  $D_s$ . Centurion et al. (2007), também observaram que o tempo de cultivo proporcionou o aumento da densidade do solo.

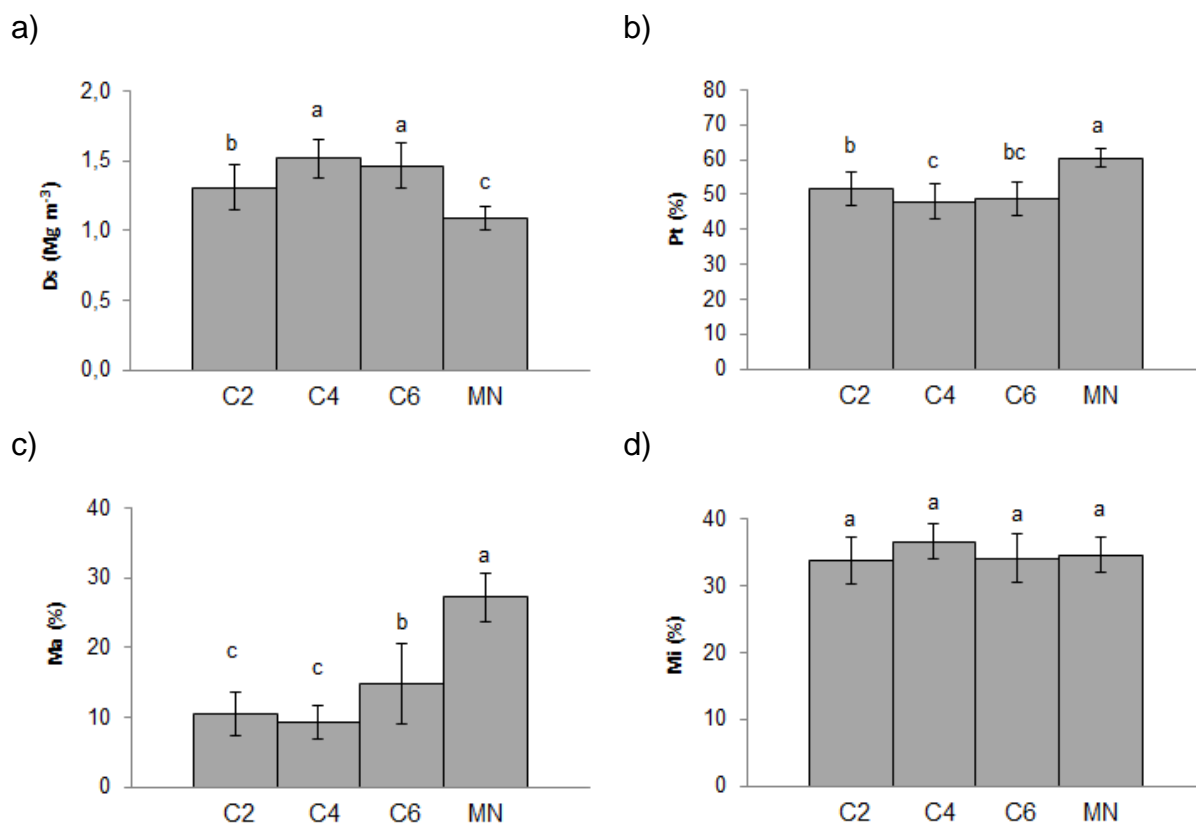
Nas camadas de 0,00 a 0,05m (Fig. 2d) e 0,05 a 0,10m (Fig. 3d) não houve diferença significativa entre a microporosidade entre as áreas estudadas. Na camada de 0,10 a 0,20m somente houve diferença estatística entre as áreas C2 e MN (Fig. 4d). O fato do cultivo pouco ter afetado a microporosidade do solo pode ter ocorrido devido à estrutura e à predominância de óxidos de ferro e alumínio do Latossolo. Segundo Brady & Weil (2002) os microporos são geralmente encontrados dentro das unidades estruturais e solos muitos intemperizados dos trópicos tem uma agregação mais estável devido ao efeito de agregação dos sesquióxidos de ferro e alumínio que são abundantes em muitos solos tropicais. Filmes de tais compostos revestem os agregados do solo, prevenindo sua rápida ruptura quando o solo é trabalhado.



Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada avaliação.

Figura 2 - Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,00 a 0,05m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN). Para as variáveis Mi, Pt e Ds, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para variável Ma, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn a 5% de significância.

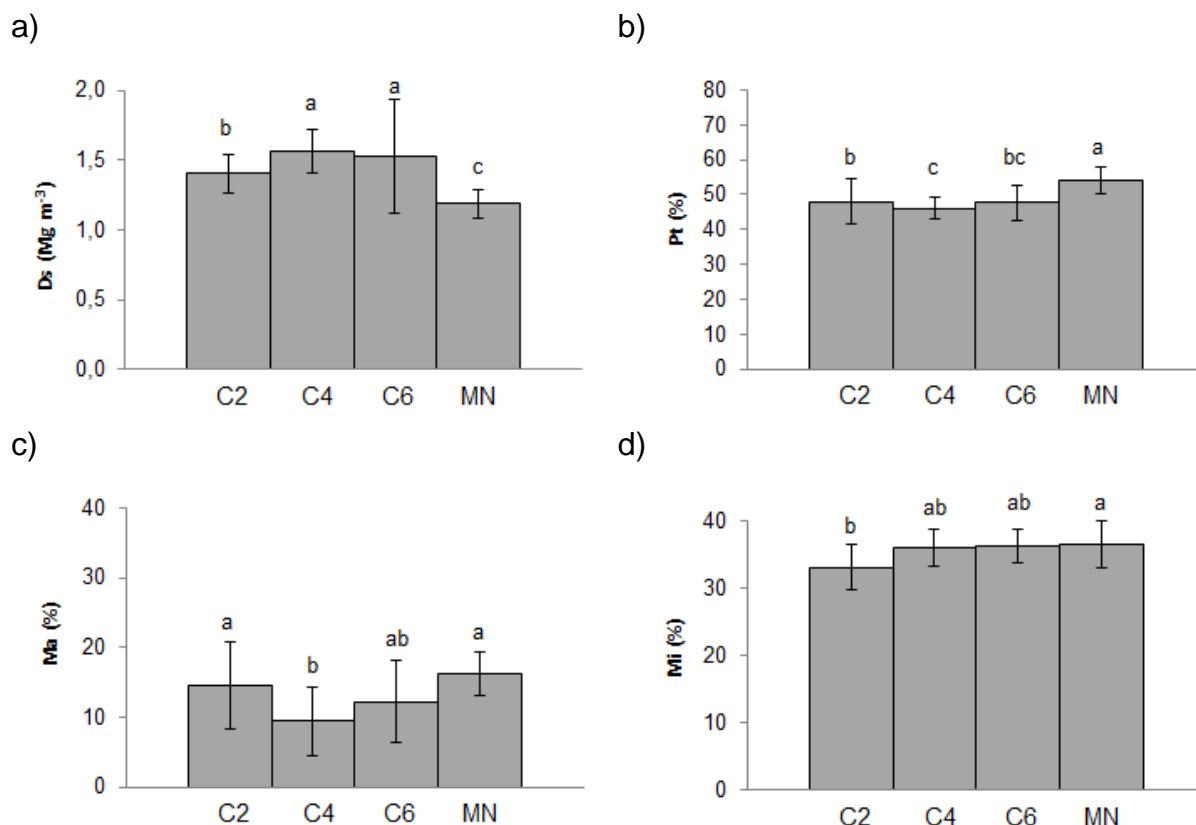
Como esperado o cultivo da cana-de-açúcar alterou os parâmetros físicos do solo. Nas áreas cultivadas a Ds foi significativamente superior e a Pt e a Ma foram inferiores quando comparados com a área de mata nativa (Fig. 2, 3 e 4). Souza et al. (2004) também verificaram redução da porosidade total e, sobretudo, da macroporosidade, o que resultou em altos valores para a densidade do solo em solo sob cultivo de cana-de-açúcar. Souza et al. (2006) atribuíram o aumento da Ds nas áreas de cultivo com cana-de-açúcar ao tráfego de máquinas pesadas durante o plantio e a colheita.



Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada avaliação.

Figura 3 - Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,05 a 0,10m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN). Para as variáveis Ma, Mi e Ds, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn a 5% de significância. Para variável Pt, valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Segundo Brady & Weil (2002) em longo prazo, as operações de cultivo possuem efeitos negativos sobre a estrutura superficial do solo. Em primeiro lugar, a mistura e a movimentação do solo aceleram a oxidação da matéria orgânica, reduzindo assim, os efeitos da agregação deste componente. Segundo, operações de cultivo, especialmente se conduzidas com solo úmido, tendem a destruir os agregados estáveis do solo, resultando em redução da macroporosidade e criação de camadas compactadas.



Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada avaliação.

Figura 4 - Atributos físicos de um Latossolo Vermelho na camada de 0,10 a 0,20m. Densidade do solo – Ds (a); porosidade total – Pt (b); macroporosidade – Ma (c) e microporosidade – Mi (d), em áreas com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa(MN). Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn a 5% de significância.

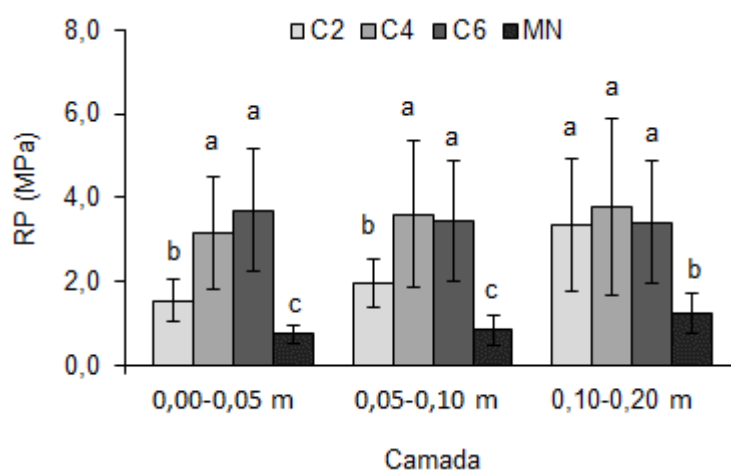
Observa-se que na camada de 0,10 a 0,20m não houve diferença entre o volume de macroporos da área com dois anos de cultivo e a área de mata nativa (Fig. 4c). A maior porcentagem de macroporos no C2 pode ser justificado pelo efeito das raízes das culturas plantadas anteriormente nesta área, sobretudo pelo efeito das raízes do milho cujo crescimento do sistema radicular pode aumentar o número de bioporos.

Pode-se observar que há um aumento nos valores de Ds conforme o aumento da profundidade, em todas as áreas de cultivo da cana-de-açúcar, assim como na mata nativa. O mesmo comportamento foi observado por Carvalho et al. (2011), estudando a densidade e a porosidade em solos cultivados com cana-de-açúcar e por Souza et al. (2005) avaliando o sistema de colheita e manejo da

palhada em cana-de-açúcar em Latossolos.

Mudanças nas relações massa/volume dos solos cultivados ocorrem principalmente pelo efeito do uso de máquinas para o preparo do solo e colheita da cana. As repetidas passadas de máquinas que ocorrem ao longo do tempo resultam em aumento de Ds e diminuição da Pt, sobretudo da Ma pois são os poros de maior diâmetro os primeiros a serem destruídos. Tormena et al. (1998) observaram que os macroporos são os menos estáveis e sofrem alterações quando submetidos aos estresses aplicados pelos sistemas de preparo e tráfego, tornando-se facilmente instáveis, mediante compressibilidade, afetando a porosidade total.

Nas três camadas avaliadas, os menores valores de resistência à penetração foram observados na MN, sendo maior, em todos os solos cultivados com cana-de-açúcar (Fig. 5). Na Fig. 5 observa-se a variação dos valores de RP obtidos na camada de 0,00 a 0,05m, onde o tempo de cultivo resultou em maiores valores de RP em relação ao solo da MN. A área com 2 anos da cultura apresentou a menor RP (1,49MPa) enquanto, que as áreas com 4 e 6 anos da cultura apresentaram RP de 3,16MPa e 3,69MPa, respectivamente. Estes valores de RP se encontram acima do valor de 2MPa, adotado por Taylor et al. (1966), como sendo restritivo ao crescimento das raízes.



Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada avaliação.

Figura 5 - Resistência à penetração (RP, kPa) de um Latossolo Vermelho em tempos de implantação de cana-de-açúcar de dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo e área de mata nativa (MN) nas camadas de 0,00 a 0,05m, 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20m. Valores seguidos pela mesma letra em cada camada não diferem entre si pelo teste de Dunn a 5% de significância.

Os maiores valores de RP encontrados nas áreas com 4 e 6 anos de cultivo podem ser atribuídos, entre outros fatores, ao maior tempo de exposição destas áreas às pressões exercidas pelas máquinas agrícolas utilizadas durante os ciclos produtivos da cultura em operações de manejo, tais como adubação e aplicações de inseticidas e herbicidas nas lavouras.

Na camada de 0,05 a 0,10m (Fig. 5) o menor valor de RP entre os tratamentos analisados foi obtido na área com 2 anos de cana-de-açúcar e não foi observada diferença significativa entre as áreas C4 e C6. Na camada de 0,10 a 0,20m não foi observada diferença significativa para a RP entre as áreas cultivadas (C2, C4 e C6). No entanto, a RP destas áreas foi significativamente superior a RP da mata nativa (Fig. 5). Similar a este estudo, Tavares Filho et al. (2001) e Baquero et al. (2012) também encontraram maiores valores de RP nos solos cultivados com cana-de-açúcar em comparação à mata nativa, sendo estes superiores, aos limitantes ao desenvolvimento radicular.

## **4.2 Parâmetros Compressivos**

As curvas de compressão uniaxial normalizadas para cada camada são apresentadas na Fig. 6 (a, b e c). Em todas as camadas, o solo de mata nativa apresentou as maiores deformações o que pode ser verificado pelos maiores valores de deslocamento de densidades. A maior deformação na MN pode estar associada à sua menor compactação inicial, indicada pela sua menor densidade. Segundo Silva et al. (2002) em sistemas de uso com menor densidade existe maior susceptibilidade à compactação, pelo maior espaço de vazios e, menor número de pontos de contato entre as partículas sólidas, resultando em menor atrito ao deslocamento e rearranjo das partículas.

Na camada de 0,00 a 0,05m, observou-se entre as áreas cultivadas com cana-de-açúcar a maior e menor deformação da curva no C2 e no C6, respectivamente (Fig. 6a). O maior tempo de cultivo da área (C6), implica no maior número de operações mecanizadas para manejo da cultura tais como adubação de manutenção do canavial, aplicações de herbicidas e de agroquímicos para o controle de pragas e doenças, com estas operações existe a aplicação de sucessivas pressões ao solo que resultam na compactação. Segundo Suzuki (2005), manejos com maior estado de compactação inicial (maior densidade do solo) ou

com histórico de acúmulo de pressões apresentam menor deformação e menor susceptibilidade à compactação. De acordo com Dias Junior & Pierce (1996) é importante conhecer os níveis de pressões que o solo suportou no passado para que a compactação adicional seja evitada. Nas demais camadas (Fig. 6b, 6c) entre as áreas cultivadas (C2, C4 e C6) foram observados comportamentos semelhantes nos deslocamentos das curvas de compressão do solo.

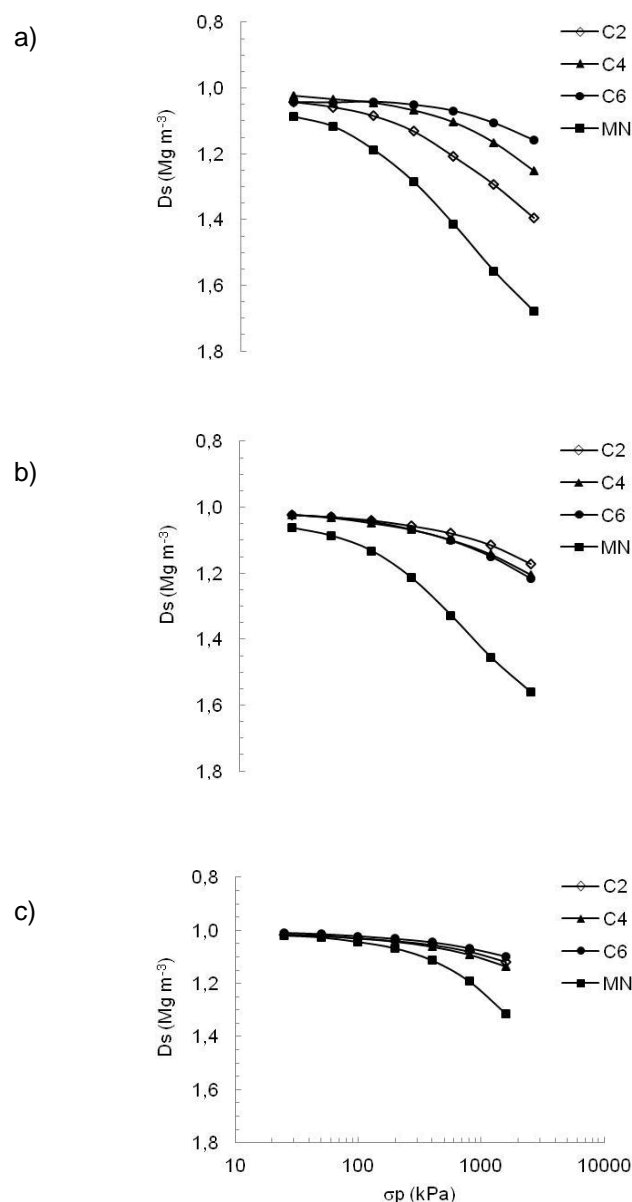


Figura 6 - Curvas de compressão uniaxial normalizadas da camada de 0,00 a 0,05m (a), 0,05 a 0,10m (b) e 0,10 a 0,20m (c) de um Latossolo Vermelho com dois (C2), quatro (C4) e seis (C6) anos de cultivo com cana-de-açúcar e em área de mata nativa (MN), em Salto do Jacuí/RS.

Na camada de 0,00 a 0,05m, a  $\sigma_p$  foi significativamente superior nas áreas

cultivadas com cana-de-açúcar quando comparada a área de MN (tab. 2). Este resultado pode ser atribuído às pressões exercidas pelas máquinas utilizadas nas operações de manejo do canavial. Silva & Cabeda (2006) também observaram que em áreas cultivadas com cana-de-açúcar os valores de pressão de preconsolidação foram significativamente superiores aos valores encontrados na área de mata.

Observa-se na tab. 2 que entre as áreas cultivadas, na camada superficial, o valor de  $\sigma_p$  no C2 foi significativamente inferior aos valores do C4 e C6, o que pode ser justificado pelo fato de que após 2 anos ainda existe o efeito das operações de preparo do solo (aração, gradagem) para implantação do canavial. A  $\sigma_p$  na camada de 0,05 a 0,10m não diferiu entre as áreas com cultivo, no entanto assim como ocorreu na camada superficial, a  $\sigma_p$  foi significativamente menor na MN. Na camada de 0,10 a 0,20m não houve diferença entre os tratamentos (tab. 2).

Na camada de 0,00 a 0,05m o valor de IC na MN foi significativamente superior quando comparado com C4 e C6, porém essa diferença não foi observada entre MN e C2 (tab. 2). Nas demais camadas avaliadas, o IC das áreas cultivadas não diferiram entre si e foram significativamente inferiores ao da mata nativa. Scariot et al. (2009) encontraram maior índice de compressão para o solo de mata nativa quando comparada à solo com lavoura anual, e que a maior compressibilidade do solo sob mata nativa deveu-se, provavelmente, à maior porosidade e menor densidade do solo.

Nas três camadas avaliadas, a  $D_{s\sigma_p}$  não diferiu entre as áreas C2, C4 e C6, sendo os valores significativamente superiores aos da MN. Analisando-se os valores médios de  $D_s$ , verifica-se que nos diferentes tempos de cultivo de cana-de-açúcar ainda não há problemas de compactação adicional, pois todos as áreas apresentam valores inferiores à máxima permitida pela  $D_{s\sigma_p}$  (tab. 2). No entanto, os valores de  $D_s$  e  $D_{s\sigma_p}$  apresentam-se próximos, o que com a permanência do manejo adotado nestas áreas poderá futuramente degradar a estrutura física do solo.

Os valores de  $GC_{\sigma_p}$ ,  $GC_{200}$  e  $GC_{1.600}$ , na camada de 0,00 a 0,05m, das áreas C2, C4 e C6, foram significativamente superiores aos encontrados na área de mata nativa (tab. 2). Nas demais camadas analisadas, os valores de  $GC_{\sigma_p}$ ,  $GC_{200}$  e  $GC_{1.600}$ , nas áreas C2, C4 e C6 não diferiram entre si, mas foram, com exceção do  $GC_{\sigma_p}$  da camada de 0,10 a 0,20m, significativamente superiores aos valores encontrados na MN. Pacheco & Cantalice (2011) também encontraram maiores valores de GC em áreas cultivadas com cana-de-açúcar quando comparadas com

área de mata.

Tabela 2 - Densidade inicial (Dsi), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação à 200kPa ( $GC_{200kPa}$ ) e grau de compactação à 1.600kPa ( $GC_{1.600kPa}$ ) nas áreas e camadas de um Latossolo da região de Salto do Jacuí, RS.

| Variáveis   | Áreas                   |                         |                         |                        |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|   | C2                      | C4                      | C6                      | MN                     |
|   | 0,00 - 0,05m            |                         |                         |                        |
| Dsi (Mg m <sup>-3</sup> )                         | 1,26                    | 1,34                    | 1,32                    | 1,06                   |
| <sup>1</sup> $\sigma_p$ (kPa)                     | 196,4 ( $\pm 40,72$ ) c | 323,9 ( $\pm 31,05$ ) a | 282,1 ( $\pm 41,26$ ) b | 78,0 ( $\pm 27,27$ ) d |
| <sup>2</sup> IC                                   | 0,43 ( $\pm 0,05$ ) ab  | 0,33 ( $\pm 0,09$ ) b   | 0,38 ( $\pm 0,10$ ) b   | 0,44 ( $\pm 0,05$ ) a  |
| <sup>1</sup> $D_{\sigma_p}$ (Mg m <sup>-3</sup> ) | 1,40 ( $\pm 0,09$ ) a   | 1,44 ( $\pm 0,12$ ) a   | 1,44 ( $\pm 0,12$ ) a   | 1,23 ( $\pm 0,11$ ) b  |
| <sup>1</sup> $GC_{\sigma_p}$ (%)                  | 90,2 ( $\pm 0,02$ ) b   | 92,9 ( $\pm 0,02$ ) a   | 91,7 ( $\pm 0,01$ ) ab  | 86,2 ( $\pm 0,03$ ) c  |
| <sup>1</sup> $GC_{200}$ kPa (%)                   | 87,7 ( $\pm 0,03$ ) b   | 92,1 ( $\pm 0,02$ ) a   | 90,0 ( $\pm 0,02$ ) ab  | 77,6 ( $\pm 0,04$ ) c  |
| <sup>1</sup> $GC_{1.600}$ kPa (%)                 | 70,4 ( $\pm 0,04$ ) b   | 79,6 ( $\pm 0,05$ ) a   | 77,3 ( $\pm 0,04$ ) a   | 58,5 ( $\pm 0,04$ ) c  |
|   | 0,05 - 0,10m            |                         |                         |                        |
| Dsi (Mg m <sup>-3</sup> )                         | 1,48                    | 1,46                    | 1,46                    | 1,11                   |
| <sup>2</sup> $\sigma_p$ (kPa)                     | 334 ( $\pm 56,93$ ) a   | 312 ( $\pm 46,32$ ) a   | 306 ( $\pm 89,74$ ) a   | 101 ( $\pm 35,01$ ) b  |
| <sup>2</sup> IC                                   | 0,26 ( $\pm 0,05$ ) b   | 0,25 ( $\pm 0,09$ ) b   | 0,31 ( $\pm 0,10$ ) b   | 0,42 ( $\pm 0,05$ ) a  |
| <sup>2</sup> $D_{\sigma_p}$ (Mg m <sup>-3</sup> ) | 1,57 ( $\pm 0,09$ ) a   | 1,62 ( $\pm 0,14$ ) a   | 1,56 ( $\pm 0,16$ ) a   | 1,24 ( $\pm 0,08$ ) b  |
| <sup>2</sup> $GC_{\sigma_p}$ (%)                  | 93,7 ( $\pm 0,01$ ) a   | 93,2 ( $\pm 0,01$ ) a   | 93,6 ( $\pm 0,01$ ) a   | 88,5 ( $\pm 0,02$ ) b  |
| <sup>2</sup> $GC_{200}$ kPa (%)                   | 93,0 ( $\pm 0,01$ ) a   | 92,5 ( $\pm 0,02$ ) a   | 92,0 ( $\pm 0,02$ ) a   | 79,7 ( $\pm 0,04$ ) b  |
| <sup>1</sup> $GC_{1.600}$ kPa (%)                 | 83,7 ( $\pm 0,04$ ) a   | 81,7 ( $\pm 0,04$ ) a   | 80,6 ( $\pm 0,06$ ) a   | 62,7 ( $\pm 0,05$ ) b  |
|   | 0,10 - 0,20m            |                         |                         |                        |
| Dsi (Mg m <sup>-3</sup> )                         | 1,4                     | 1,51                    | 1,46                    | 1,22                   |
| <sup>2</sup> $\sigma_p$ (kPa)                     | 359 ( $\pm 40,14$ ) a   | 347 ( $\pm 34,36$ ) a   | 318 ( $\pm 38,87$ ) a   | 389 ( $\pm 82,04$ ) a  |
| <sup>2</sup> IC                                   | 0,16 ( $\pm 0,07$ ) b   | 0,23 ( $\pm 0,10$ ) b   | 0,17 ( $\pm 0,11$ ) b   | 0,49 ( $\pm 0,12$ ) a  |
| <sup>2</sup> $D_{\sigma_p}$ (Mg m <sup>-3</sup> ) | 1,53 ( $\pm 0,15$ ) a   | 1,65 ( $\pm 0,15$ ) a   | 1,57 ( $\pm 0,30$ ) a   | 1,28 ( $\pm 0,09$ ) b  |
| <sup>2</sup> $GC_{\sigma_p}$ (%)                  | 94,7 ( $\pm 0,01$ ) a   | 94,1 ( $\pm 0,01$ ) a   | 95,8 ( $\pm 0,14$ ) a   | 93,5 ( $\pm 0,01$ ) a  |
| <sup>2</sup> $GC_{200}$ kPa (%)                   | 94,1 ( $\pm 0,01$ ) a   | 93,7 ( $\pm 0,01$ ) a   | 94,9 ( $\pm 0,01$ ) a   | 92,2 ( $\pm 0,03$ ) b  |
| <sup>2</sup> $GC_{1.600}$ kPa (%)                 | 88,9 ( $\pm 0,04$ ) a   | 86,7 ( $\pm 0,04$ ) a   | 92,0 ( $\pm 0,03$ ) a   | 76,9 ( $\pm 0,07$ ) b  |

C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN - área de mata nativa. <sup>1</sup>Variável analisada pelo teste F, valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; <sup>2</sup> Variável analisada pelo teste Kruskal-Wallis, valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Dunn a 5% de significância.

Os valores de  $GC_{op}$  e  $GC_{200}$  situaram-se em torno de 90%, sendo superiores aos valores encontrados no  $GC_{1.600}$ . Reichert et al. (2009) encontraram valores de  $GC_{200}$  de aproximadamente 95%. Hakansson (1990); Suzuki (2005) e Suzuki et al. (2007) salientam que, o grau de compactação ótimo para as culturas, considerando a produtividade, encontra-se entre 77 e 88%

De maneira geral, as áreas com cultivo de cana-de-açúcar apresentaram elevada  $D_s$ , maior pressão de preconsolidação e, conseqüentemente um alto grau de compactação. O fato de um solo com elevado grau de compactação apresentar maior resistência à compressão talvez não seja favorável ao desenvolvimento das plantas, pois o impedimento físico em subsuperfície altera a distribuição do sistema radicular, impedindo que ultrapasse a camada compactada e se desenvolva em profundidade, além de reduzir o crescimento aéreo das plantas (SILVA et al., 2006).

É importante avaliar a capacidade que um solo possui de ser usado para práticas agrícolas e maneja-lo da melhor forma possível evitando sua degradação. Nesse sentido, Alakuku et al. (2003) dizem que as máquinas e equipamentos utilizados em áreas sob condições críticas deveriam ser ajustados a atual resistência do solo, por exemplo, controlando as cargas por rodado.

Na tab. 3 estão apresentados os valores da correlação de Pearson entre os atributos físicos estudados. Observou-se a correlação negativa da RP com a Pt e positiva da RP com a  $D_s$ , nas três camadas analisadas (tab. 3). O aumento da RP e conseqüência da diminuição do espaço poroso e do aumento da densidade do solo. Esses resultados estão de acordo com Melo et al. (2008) que também encontraram correlação significativa e positiva entre RP e  $D_s$  e negativa entre Pt e  $D_s$ . Nas camadas de 0,00 a 0,05m e 0,05 a 0,10m, houve uma correlação significativa e positiva entre a RP e a  $\sigma_p$ , confirmando que valores superiores de  $\sigma_p$  estão relacionados ao incremento da resistência à penetração, assim como os resultados encontrados por Lima et al. (2006) e Suzuki et al. (2008).

Houve correlação significativa e negativa entre a  $\sigma_p$  e Ma nas camadas de 0,00 a 0,05m e 0,05 a 0,10m (tab. 3). Com o processo de compactação existe uma redução do espaço poroso, sobretudo da macroporosidade. Segundo Boone & Venn (1994) durante a compactação ou compressão do solo, os poros maiores, responsáveis pela aeração do solo e este decréscimo da porosidade de aeração pode ser 1,5-2 vezes maior que o decréscimo no espaço poroso total.

A correlação entre IC e Ds foi significativa e negativa, assim como os resultados de Suzuki et al. (2008). O IC e RP também apresentaram correlação significativa e negativa, nessas camadas. Na camada de 0,10 a 0,20m apenas houve correlação significativa e positiva entre a RP e Ds e negativa entre RP e Pt, IC e Ds e IC e RP (tab. 3).

Tabela 3 - Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros físicos do solo para as três camadas de solo analisadas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar (C2, C4 e C6) e na área de mata nativa (MN).

|                                     | Ds                    | Ma                   | Mi                   | Pt                   | RP                    |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 0,00 a 0,05m                        |                       |                      |                      |                      |                       |
| RP                                  | 0,59***               | -0,71***             | 0,238*               | -0,56***             |                       |
| IC                                  | -0,385**              | 0,483***             | -0,101 <sup>ns</sup> | 0,374***             | -0,518***             |
| $\sigma_p$                          | 0,668***              | -0,702***            | 0,249*               | -0,597***            | 0,745***              |
| GC <sub><math>\sigma_p</math></sub> | 0,524***              | -0,614***            | 0,215**              | -0,522***            | 0,637***              |
| 0,05 a 0,10m                        |                       |                      |                      |                      |                       |
| RP                                  | 0,495***              | -0,476***            | 0,109 <sup>ns</sup>  | -0,49***             |                       |
| IC                                  | -0,386***             | 0,221 <sup>ns</sup>  | -0,104 <sup>ns</sup> | 0,386***             | -0,366***             |
| $\sigma_p$                          | 0,42***               | -0,668***            | 0,1 <sup>ns</sup>    | -0,45***             | 0,55***               |
| GC <sub><math>\sigma_p</math></sub> | 0,44***               | -0,606***            | 0,0793 <sup>ns</sup> | -0,478***            | 0,469***              |
| 0,10 a 0,20m                        |                       |                      |                      |                      |                       |
| RP                                  | 0,261*                | -0,182 <sup>ns</sup> | -0,148 <sup>ns</sup> | -0,319**             |                       |
| IC                                  | -0,323**              | 0,137 <sup>ns</sup>  | 0,114 <sup>ns</sup>  | 0,142 <sup>ns</sup>  | -0,478***             |
| $\sigma_p$                          | -0,151 <sup>ns</sup>  | 0,213 <sup>ns</sup>  | 0,0674 <sup>ns</sup> | 0,232 <sup>ns</sup>  | -0,16 <sup>ns</sup>   |
| GC <sub><math>\sigma_p</math></sub> | -0,0958 <sup>ns</sup> | 0,0674 <sup>ns</sup> | -0,112 <sup>ns</sup> | 0,0637 <sup>ns</sup> | -0,0281 <sup>ns</sup> |

C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa. Ds - densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ); Ma – macroporosidade (%); Mi – microporosidade (%); Pt - porosidade total (%); RP - resistência à penetração (MPa); IC - índice de compressão;  $\sigma_p$  - pressão de preconsolidação (kPa) e GC - grau de compactação. (%). \* significativo à 5%; \*\* significativo à 1% e \*\*\* significativo à 0,1%.

A compactação geralmente aumenta a densidade e a resistência à penetração do solo. O manejo do solo pode exercer uma influência decisiva na densidade e no espaço poroso do solo, o cultivo tende a diminuir o espaço poroso

do solo e esta redução é normalmente associada à diminuição no teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a diminuição da agregação (BRADY & WEIL, 2002).

## **5 CONCLUSÕES**

Com o cultivo da cana-de-açúcar há um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade que ocorre principalmente pelo efeito do cultivo na macroporosidade do solo sobretudo nas áreas com mais de 2 anos de cultivo.

As áreas com cultivo apresentaram maiores valores de resistência à penetração em relação à mata nativa nas três camadas avaliadas. Nas áreas com quatro e seis anos de cultivo o valor de resistência à penetração ficou acima do restritivo ao desenvolvimento das raízes.

Na área com seis anos de cultivo, onde em média os valores da densidade do solo estão mais próximos aos valores de densidade na pressão de preconsolidação, existe uma maior degradação do solo.

A maior capacidade de suporte de carga, nas áreas cultivadas, proporcionou menor índice de compressão, ou seja menor compressibilidade do solo na camada de 0,10 a 0,20m.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; VAN der LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review, Part 1. Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, v.73, n.1, p.145-160, 2003.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.

BAQUERO, J. E.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.63-70, 2012.

BARBOSA, Fernando da S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BENNIE, A. T. P. & KRYNAUW, G. N. Causes, adverse effects and control of soil compaction. **South African Journal of Plant and Soil**, v.2, n.3, p.109-114, 1985.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.167-177, 2001.

BOONE, F.R.; VEEN, B.W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B.D.; van OUWERKWRK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.237-264.

BRADY, Nyle. C.; WEIL, Ray. R. **The nature and properties of soils**. 13.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 960p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de agroenergia 2006-2011**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 118p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de agroenergia 2006-2011**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Anuário estatístico de agroenergia 2012**. Brasília: MAPA/ACS, 2013. 284p.

CARVALHO, L. A. de; SILVA JUNIOR, C. A.; NUNES, W. A. G. A.; MEURER, I.; SOUZA JUNIOR, W. S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias, Lisboa**, v.34, n.1, p.199-211, 2011.

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING. Cambridge, 1936. **Proceedings**. Cambridge: MA Harvard University, 1936. D-34, p. 60-64.

CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; NETO, A. R.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1467-1473, 1999.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.199-209, 2007.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.199-209, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2012/2013, Segundo Levantamento 2012. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_08\\_09\\_15\\_07\\_05\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_09_15_07_05_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf)> Acesso em: 25 fev 2013.

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

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.175-182, 1996.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos Quantitativos Estatísticos**. 1.ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. 245p.

GUPTA, S. C. & ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Advances in Soil Science*, v.6, p.65-100, 1987.

HAKANSSON, I. & VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B. A., eds. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-179.

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

HORN, R., DOMZZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v.35, n.1, p.23-36, 1995.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa.htm>> Acesso em 10 nov. 2013.

JARAMILLO D. **Introducción a la ciencia del suelo**. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 613p.

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2.ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

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

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.635-660.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.497-506, 1999.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.3, p.450-457, 1980.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, v.19, n.2, p.275-286, 1991.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.217-223, 2006.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoque de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

MACHADO, W.; TELLES, T. S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; ALVES, G. B.; BORGES, J. L. B. Physical properties of a rhodic Haplustox under two sugarcane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.6, p.1803-1809, 2010.

MAGRO, C. R.; LACA-BUENDIA, J. P. Efeito da profundidade de plantio no perfilhamento da cana-de-açúcar. **FAZU em revista**, n.7, p.48-54. 2010.

MELO, R. O., PACHECO, E. P., DE CASTRO MENEZES, J. & CANTALICE, J. R. B. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de caatinga. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.12-17, 2008.

OLIVEIRA, S. Veronildo. **Compactação em solos coesos dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. 2008. 76f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PACHECO, E. P. **Estudo da compressibilidade e qualidade de um Argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas**. 2010. 106f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência à penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana de açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.403–415, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri: Manole, 2012. 500p.

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. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. & REICHERT, J. M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p. 49-134.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009.

REYNOLDS, W. D. et al. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, v.96, n.1, p.316-330, 2007.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.3, p.321-344, 2005.

ROQUE, A. O. Antoniane. **Controle de tráfego em área cultivada com cana-de-açúcar**. 2010. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas.

SCARIOT, J. J.; BRAIDA, J. A.; GASPARETTO, E. C.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, A. V. Compressibilidade do solo em um Latossolo Vermelho sob lavoura anual e mata nativa. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v.4, n.1, 2009.

SCHUCH, H. **Subcomissão da cana-de-açúcar, do álcool e do etanol**. Relatório Técnico. Porto Alegre, 2007.

SEPLAG. Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/inicial>>. Acesso em: 14 mar 2013.

SEPÚLVEDA, Sergio et al. **Agroenergia e desenvolvimento de comunidades rurais isoladas**. 1ed. Brasília: IICA, 2008. 268p.

SEVERIANO, E. D. C.; DIAS JÚNIOR, M. D. S.; CASTRO, M. B. D.; OLIVEIRA, L. F. D.; COSTA, K. A. D. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II-quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, n.3, p.414-423, 2010.

SIGMAPLOT. 2004. For Windows, version 9.01. Systat Software, 2004.

SILVA JUNIOR, C. A. D.; DE CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; DA SILVA, M. A. C.; DE OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Agrarian**, v.3, n.8, p.111-118, 2011.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A. Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. **Revista Alcoolbrás**, v.129, n.1, p.42-45, 2010.

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.921-930, 2006.

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, n.1, p.31-40, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I- Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.1, p.1-8, 2002.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. M.; BENTO, M. J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.31-38, 2006.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.51-58, 2004.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo de palhada da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.271-278, 2005.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

SUZUKI, S. A. Luis Eduardo. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas**. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; & LIMA, C. D. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

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

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I.C. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

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

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n. 4, p.573-581, 1998.

## APÉNDICE

Apêndice 1. Argila, silte e areia na camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí.

| Áreas <sup>1</sup> | Frações granulométricas |           |           |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------|
|                    | Argila (%)              | Silte (%) | Areia (%) |
| C2                 | 41,52                   | 24,68     | 33,8      |
|                    | 43,54                   | 24,81     | 31,65     |
|                    | 44,13                   | 26,02     | 29,85     |
|                    | 49,12                   | 19,93     | 30,95     |
|                    | 48,33                   | 18,77     | 32,9      |
|                    | 50,43                   | 24,87     | 24,7      |
| C4                 | 53,12                   | 24,48     | 22,4      |
|                    | 50,72                   | 25,63     | 23,65     |
|                    | 49,38                   | 26,92     | 23,7      |
|                    | 47,77                   | 27,13     | 25,1      |
|                    | 47,34                   | 16,11     | 36,55     |
| C6                 | 45,62                   | 20,53     | 33,85     |
|                    | 49,3                    | 15,5      | 35,2      |
|                    | 47,76                   | 17,69     | 34,55     |
|                    | 42,18                   | 19,67     | 38,15     |
|                    | 49,39                   | 19,16     | 31,45     |
| MN                 | 50,56                   | 22,24     | 27,2      |
|                    | 51,13                   | 21,07     | 27,8      |
|                    | 40,23                   | 29,47     | 30,3      |
|                    | 47,83                   | 26,02     | 26,15     |

<sup>1</sup>C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN - área de mata nativa.

Apêndice 2. Argila, silte e areia na camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Áreas <sup>1</sup> | Frações granulométricas |           |           |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------|
|                    | Argila (%)              | Silte (%) | Areia (%) |
| C2                 | 45,56                   | 22,49     | 31,95     |
|                    | 43,44                   | 22,51     | 34,05     |
|                    | 44,30                   | 24,80     | 30,90     |
|                    | 49,06                   | 23,24     | 27,70     |
|                    | 47,86                   | 21,39     | 30,75     |
|                    | 50,64                   | 25,46     | 23,90     |
| C4                 | 52,86                   | 25,94     | 21,20     |
|                    | 49,10                   | 25,40     | 25,50     |
|                    | 45,26                   | 31,49     | 23,25     |
|                    | 49,56                   | 27,79     | 22,65     |
|                    | 45,63                   | 23,92     | 30,45     |
| C6                 | 49,77                   | 20,48     | 29,75     |
|                    | 47,95                   | 19,00     | 33,05     |
|                    | 47,74                   | 21,76     | 30,50     |
| MN                 | 45,19                   | 20,56     | 34,25     |
|                    | 45,12                   | 28,23     | 26,65     |
|                    | 48,87                   | 23,48     | 27,65     |
|                    | 45,26                   | 30,29     | 24,45     |
|                    | 47,37                   | 25,13     | 27,50     |

<sup>1</sup>C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN - área de mata nativa.

Apêndice 3. Argila, silte e areia na camada de 0,10 a 0,20m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Áreas <sup>1</sup> | Frações granulométricas |           |           |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------|
|                    | Argila (%)              | Silte (%) | Areia (%) |
| C2                 | 49,42                   | 16,68     | 33,90     |
|                    | 48,68                   | 18,92     | 32,40     |
|                    | 48,99                   | 19,91     | 31,10     |
|                    | 49,22                   | 20,13     | 30,65     |
|                    | 48,73                   | 18,77     | 32,50     |
|                    | 48,62                   | 30,88     | 20,50     |
| C4                 | 55,47                   | 24,58     | 19,95     |
|                    | 47,80                   | 27,75     | 24,45     |
|                    | 53,11                   | 24,34     | 22,55     |
|                    | 51,19                   | 25,46     | 23,35     |
|                    | 46,28                   | 20,82     | 32,90     |
|                    | 48,62                   | 22,93     | 28,45     |
| C6                 | 49,72                   | 19,73     | 30,55     |
|                    | 47,26                   | 20,49     | 32,25     |
|                    | 44,98                   | 20,17     | 34,85     |
|                    | 48,64                   | 24,41     | 26,95     |
| MN                 | 46,98                   | 24,62     | 28,40     |
|                    | 47,43                   | 29,22     | 23,35     |
|                    | 45,57                   | 29,58     | 24,85     |

<sup>1</sup>C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

Apêndice 4. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,00 a 0,05m da área com dois anos de cultivo (C2) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 23,19  | 30,61  | 53,80  | 1,23                     |
| 15,20  | 33,42  | 48,62  | 1,39                     |
| 15,33  | 33,34  | 48,68  | 1,40                     |
| 19,72  | 31,77  | 51,50  | 1,23                     |
| 14,47  | 34,33  | 48,80  | 1,33                     |
| 19,00  | 34,27  | 53,27  | 1,33                     |
| 17,24  | 33,86  | 51,10  | 1,29                     |
| 16,71  | 31,93  | 48,64  | 1,31                     |
| 24,55  | 29,49  | 54,04  | 1,06                     |
| 22,50  | 32,10  | 54,60  | 1,24                     |
| 19,78  | 32,41  | 52,19  | 1,22                     |
| 26,24  | 31,28  | 57,52  | 1,21                     |
| 19,42  | 32,24  | 51,66  | 1,28                     |
| 20,96  | 32,78  | 53,75  | 1,30                     |
| 15,51  | 31,26  | 46,77  | 1,25                     |
| 24,05  | 34,32  | 58,38  | 1,30                     |
| 28,05  | 31,13  | 59,17  | 1,11                     |
| 22,77  | 18,26  | 41,03  | 1,17                     |

Apêndice 5. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,05 a 0,10m da área com dois anos de cultivo (C2) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 10,38  | 32,61  | 42,99  | 1,42                     |
| 12,76  | 34,53  | 47,29  | 1,47                     |
| 6,38   | 35,25  | 41,63  | 1,51                     |
| 10,45  | 35,67  | 46,12  | 1,44                     |
| 5,77   | 36,29  | 42,07  | 1,65                     |
| 9,35   | 34,17  | 43,52  | 1,47                     |
| 7,86   | 35,23  | 43,09  | 1,47                     |
| 7,4    | 34,22  | 41,61  | 1,56                     |
| 21,97  | 33,06  | 55,04  | 1,3                      |
| 9,08   | 36,8   | 45,88  | 1,44                     |
| 14,38  | 36,3   | 50,69  | 1,5                      |
| 15,19  | 33,16  | 48,35  | 1,4                      |
| 14,93  | 12,84  | 27,78  | 1,55                     |
| 12,34  | 34,14  | 46,48  | 1,45                     |
| 14,19  | 33,35  | 47,55  | 1,43                     |
| 10,9   | 37,5   | 48,4   | 1,58                     |
| 7,92   | 34,57  | 42,5   | 1,51                     |
| 12,13  | 34,25  | 46,38  | 1,41                     |

Apêndice 6. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,10 a 0,20m da área com dois anos de cultivo (C2) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 16,14  | 36,00  | 52,14  | 1,56                     |
| 13,39  | 31,67  | 45,07  | 1,50                     |
| 12,99  | 33,09  | 46,09  | 1,48                     |
| 16,14  | 31,24  | 47,38  | 1,35                     |
| 8,78   | 37,38  | 46,16  | 1,68                     |
| 14,91  | 33,27  | 48,18  | 1,45                     |
| 6,58   | 36,02  | 42,60  | 1,56                     |
| 8,59   | 55,00  | 63,59  | 1,35                     |
| 23,06  | 29,88  | 52,94  | 1,15                     |
| 21,67  | 30,36  | 52,03  | 1,22                     |
| 28,46  | 31,64  | 60,11  | 1,25                     |
| 25,30  | 30,69  | 55,99  | 1,19                     |
| 22,57  | 32,38  | 54,95  | 1,25                     |
| 9,65   | 33,05  | 42,70  | 1,51                     |
| 10,63  | 34,45  | 45,08  | 1,46                     |
| 14,04  | 33,89  | 47,93  | 1,39                     |
| 16,88  | 43,74  | 60,62  | 1,62                     |
| 13,62  | 33,48  | 47,10  | 1,42                     |

Apêndice 7. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,00 a 0,05m da área com quatro anos de cultivo (C4) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 8,98   | 34,44  | 43,42  | 1,42                     |
| 13,84  | 34,28  | 48,12  | 1,41                     |
| 17,49  | 34,60  | 52,10  | 1,33                     |
| 11,49  | 34,89  | 46,38  | 1,46                     |
| 11,95  | 35,02  | 46,97  | 1,47                     |
| 16,07  | 34,14  | 50,21  | 1,33                     |
| 15,55  | 33,43  | 48,97  | 1,31                     |
| 15,10  | 32,38  | 47,49  | 1,28                     |
| 23,73  | 27,82  | 51,55  | 1,07                     |
| 18,21  | 34,90  | 53,11  | 1,30                     |
| 15,59  | 35,11  | 50,70  | 1,28                     |
| 16,90  | 32,43  | 49,33  | 1,26                     |
| 22,88  | 29,35  | 52,23  | 1,16                     |
| 10,14  | 38,85  | 49,00  | 1,53                     |
| 11,33  | 41,71  | 53,03  | 1,23                     |
| 14,89  | 32,80  | 47,69  | 1,35                     |
| 16,05  | 35,98  | 52,03  | 1,44                     |
| 11,57  | 35,85  | 47,42  | 1,40                     |

Apêndice 8. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,05 a 0,10m da área com quatro anos de cultivo (C4) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 6,63   | 35,25  | 41,88  | 1,58                     |
| 9,41   | 36,61  | 46,02  | 1,61                     |
| 10,74  | 36,70  | 47,45  | 1,50                     |
| 9,18   | 36,51  | 45,69  | 1,58                     |
| 8,76   | 37,05  | 45,81  | 1,52                     |
| 9,34   | 36,80  | 46,14  | 1,55                     |
| 9,87   | 38,10  | 47,97  | 1,57                     |
| 3,50   | 36,70  | 40,20  | 1,63                     |
| 29,06  | 30,59  | 59,64  | 1,18                     |
| 22,51  | 31,94  | 54,45  | 1,24                     |
| 25,48  | 28,80  | 54,28  | 1,18                     |
| 22,60  | 32,37  | 54,97  | 1,30                     |
| 8,67   | 35,67  | 44,33  | 1,48                     |
| 9,52   | 36,05  | 45,57  | 1,51                     |
| 10,56  | 37,55  | 48,11  | 1,55                     |
| 15,00  | 33,66  | 48,66  | 1,43                     |
| 7,56   | 37,59  | 45,15  | 1,52                     |
| 9,15   | 36,64  | 45,79  | 1,54                     |

Apêndice 9. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,10 a 0,20m da área com quatro anos de cultivo (C4) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 6,16   | 38,68  | 44,84  | 1,69                     |
| 7,17   | 36,38  | 43,55  | 1,66                     |
| 5,19   | 37,78  | 42,97  | 1,73                     |
| 9,97   | 38,34  | 48,31  | 1,61                     |
| 8,85   | 37,95  | 46,8   | 1,53                     |
| 7,27   | 39,51  | 46,78  | 1,69                     |
| 8,87   | 37,75  | 46,62  | 1,55                     |
| 4,77   | 39,86  | 44,62  | 1,69                     |
| 22,02  | 32,16  | 54,17  | 1,24                     |
| 18,54  | 30,99  | 49,53  | 1,34                     |
| 18,41  | 31,81  | 50,22  | 1,29                     |
| 14,43  | 34,89  | 49,32  | 1,29                     |
| 10,30  | 37,17  | 47,48  | 1,61                     |
| 7,49   | 34,49  | 41,99  | 1,57                     |
| 10,07  | 35,6   | 45,67  | 1,57                     |
| 6,61   | 34,56  | 41,17  | 1,54                     |
| 12,81  | 32,63  | 45,44  | 1,35                     |
| 11,06  | 34,00  | 45,06  | 1,41                     |
| 25,47  | 35,51  | 60,98  | 1,34                     |
| 13,65  | 37,87  | 51,53  | 1,36                     |

Apêndice 10. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,00 a 0,05m da área com seis anos de cultivo (C6) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 25,47  | 35,51  | 60,98  | 1,34                     |
| 13,65  | 37,87  | 51,53  | 1,36                     |
| 15,26  | 36,95  | 52,20  | 1,48                     |
| 17,03  | 33,88  | 50,91  | 1,39                     |
| 28,20  | 28,64  | 56,83  | 1,15                     |
| 25,04  | 32,99  | 58,03  | 1,34                     |
| 23,19  | 30,73  | 53,92  | 1,29                     |
| 21,63  | 29,42  | 51,05  | 1,21                     |
| 26,97  | 29,99  | 56,96  | 1,14                     |
| 23,08  | 29,22  | 52,30  | 1,28                     |
| 20,89  | 29,54  | 50,43  | 1,29                     |
| 15,79  | 32,58  | 48,37  | 1,48                     |
| 17,24  | 32,03  | 49,26  | 1,35                     |
| 15,09  | 33,56  | 48,65  | 1,37                     |
| 27,18  | 31,23  | 58,42  | 1,21                     |

Apêndice 11. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,05 a 0,10m da área com seis anos de cultivo (C6) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 5,24   | 35,11  | 40,35  | 1,66                     |
| 16,06  | 36,47  | 52,54  | 1,47                     |
| 12,98  | 33,62  | 46,61  | 1,47                     |
| 20,49  | 31,59  | 52,07  | 1,27                     |
| 9,69   | 39,74  | 49,43  | 1,62                     |
| 10,65  | 37,98  | 48,63  | 1,56                     |
| 20,66  | 33,88  | 54,54  | 1,21                     |
| 17,88  | 34,06  | 51,95  | 1,38                     |
| 13,48  | 34,94  | 48,41  | 1,39                     |
| 22,78  | 31,16  | 53,94  | 1,23                     |
| 27,35  | 28,53  | 55,87  | 1,15                     |
| 9,38   | 33,80  | 43,18  | 1,60                     |
| 11,42  | 34,50  | 45,93  | 1,66                     |
| 14,73  | 33,92  | 48,65  | 1,52                     |
| 16,88  | 23,63  | 40,51  | 1,50                     |
| 15,57  | 34,68  | 50,24  | 1,43                     |
| 8,94   | 37,17  | 46,11  | 1,46                     |

Apêndice 12. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,10 a 0,20m da área com seis anos de cultivo (C6) um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 7,48   | 37,40  | 44,88  | 1,66                     |
| 6,60   | 36,41  | 43,01  | 1,67                     |
| 14,77  | 38,13  | 52,90  | 1,51                     |
| 20,11  | 35,52  | 55,63  | 1,42                     |
| 15,28  | 40,18  | 55,45  | 1,53                     |
| 9,72   | 37,89  | 47,61  | 1,53                     |
| 3,24   | 39,32  | 42,56  | 1,79                     |
| 8,14   | 36,25  | 44,39  | 1,60                     |
| 23,02  | 35,01  | 58,03  | 1,23                     |
| 17,71  | 33,03  | 50,74  | 1,39                     |
| 15,70  | 33,92  | 49,62  | 1,35                     |
| 7,82   | 35,26  | 43,07  | 1,61                     |
| 7,83   | 38,97  | 46,80  | 1,73                     |
| 9,08   | 36,23  | 45,30  | 1,65                     |
| 12,25  | 33,22  | 45,48  | 1,49                     |
| 23,02  | 31,48  | 54,50  | 1,19                     |
| 15,72  | 33,80  | 49,52  | 1,44                     |

Apêndice 13. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,00 a 0,05m da área de mata nativa (MN) de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 24,83  | 32,52  | 57,35  | 1,22                     |
| 29,21  | 30,42  | 59,63  | 0,93                     |
| 26,05  | 32,57  | 58,62  | 0,99                     |
| 28,64  | 31,77  | 60,41  | 0,96                     |
| 26,03  | 36,15  | 62,18  | 1,04                     |
| 28,6   | 31,51  | 60,12  | 1,04                     |
| 28,88  | 30,10  | 58,99  | 1,06                     |
| 28,53  | 29,30  | 57,83  | 0,96                     |
| 22,9   | 30,98  | 53,88  | 0,99                     |
| 28,32  | 34,91  | 63,24  | 1,01                     |
| 24,62  | 33,08  | 57,71  | 1,11                     |
| 25,76  | 31,39  | 57,16  | 1,12                     |
| 25,83  | 36,86  | 62,69  | 1,09                     |
| 29,41  | 31,75  | 61,16  | 1,23                     |
| 27,71  | 34,48  | 62,19  | 1,11                     |
| 30,49  | 33,4   | 63,88  | 0,89                     |
| 29,29  | 30,69  | 59,99  | 1,2                      |
| 25,99  | 29,55  | 55,54  | 1,12                     |
| 22,41  | 31,44  | 53,85  | 1,09                     |
| 22,69  | 36,10  | 58,79  | 1,22                     |
| 25,84  | 32,62  | 58,46  | 1,01                     |
| 28,13  | 29,79  | 57,92  | 0,87                     |
| 24,29  | 30,98  | 55,27  | 1,06                     |

Apêndice 14. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,05 a 0,10m da área de mata nativa (MN) de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 27,15  | 32,04  | 59,19  | 1,09                     |
| 29,22  | 29,53  | 58,75  | 1,02                     |
| 25,85  | 30,84  | 56,69  | 1,07                     |
| 30,28  | 32,11  | 62,40  | 1,16                     |
| 29,78  | 35,34  | 65,12  | 1,06                     |
| 26,95  | 32,32  | 59,27  | 1,20                     |
| 26,01  | 35,93  | 61,94  | 1,11                     |
| 29,41  | 29,81  | 59,22  | 1,20                     |
| 24,93  | 34,81  | 59,74  | 1,06                     |
| 29,16  | 34,91  | 64,08  | 1,05                     |
| 28,56  | 31,07  | 59,63  | 1,06                     |
| 21,81  | 36,19  | 58,01  | 1,15                     |
| 23,92  | 37,84  | 61,76  | 1,17                     |
| 24,33  | 35,98  | 60,31  | 1,15                     |
| 16,57  | 39,28  | 55,85  | 1,32                     |
| 24,50  | 35,58  | 60,08  | 1,13                     |
| 30,17  | 34,19  | 64,36  | 1,02                     |
| 27,24  | 30,68  | 57,92  | 1,03                     |
| 20,74  | 36,39  | 57,12  | 1,20                     |
| 25,69  | 31,51  | 57,20  | 1,10                     |
| 31,32  | 31,27  | 62,59  | 0,98                     |
| 28,80  | 33,26  | 62,05  | 0,98                     |
| 26,11  | 34,95  | 61,05  | 1,11                     |
| 29,26  | 34,49  | 63,76  | 1,07                     |

Apêndice 15. Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) da camada de 0,10 a 0,20m da área de mata nativa (MN) de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e sob mata nativa em Salto do Jacuí, RS.

| Ma (%) | Mi (%) | Pt (%) | Ds (Mg m <sup>-3</sup> ) |
|--------|--------|--------|--------------------------|
| 15,70  | 41,15  | 56,84  | 1,18                     |
| 18,62  | 38,33  | 56,95  | 1,10                     |
| 17,80  | 36,30  | 54,10  | 1,15                     |
| 21,10  | 34,08  | 55,19  | 1,08                     |
| 18,38  | 35,59  | 53,97  | 1,16                     |
| 16,21  | 38,64  | 54,85  | 1,17                     |
| 18,79  | 35,40  | 54,18  | 1,28                     |
| 10,62  | 39,31  | 49,92  | 1,36                     |
| 16,77  | 36,45  | 53,23  | 1,22                     |
| 17,20  | 37,55  | 54,76  | 1,24                     |
| 13,29  | 36,80  | 50,08  | 1,26                     |
| 9,20   | 39,53  | 48,74  | 1,43                     |
| 9,85   | 38,07  | 47,92  | 1,41                     |
| 19,10  | 36,55  | 55,65  | 1,17                     |
| 14,17  | 37,81  | 51,98  | 1,29                     |
| 13,12  | 48,40  | 61,53  | 1,19                     |
| 12,63  | 35,59  | 48,22  | 1,19                     |
| 13,61  | 36,49  | 50,09  | 1,41                     |
| 14,79  | 41,77  | 56,56  | 1,22                     |
| 13,50  | 37,99  | 51,49  | 1,37                     |
| 15,48  | 34,92  | 50,41  | 1,19                     |
| 18,03  | 35,37  | 53,40  | 1,19                     |
| 15,77  | 46,11  | 61,88  | 1,13                     |

Apêndice 16. Resistência à penetração (RP) da camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| C2   | C4   | C6   | MN   |
|------|------|------|------|
| 1,52 | 5,94 | 4,82 | 0,71 |
| 1,33 | 3,94 | 4,88 | 0,58 |
| 1,13 | 3,50 | 4,94 | 0,46 |
| 2,50 | 3,72 | 1,94 | 0,68 |
| 2,72 | 3,19 | 1,94 | 1,19 |
| 2,28 | 4,44 | 1,94 | 0,93 |
| 2,41 | 3,82 | 2,71 | 0,59 |
| 2,26 | 4,14 | 2,66 | 0,50 |
| 2,56 | 4,44 | 2,60 | 0,89 |
| 1,31 | 3,84 | 3,57 | 0,81 |
| 2,04 | 4,24 | 4,41 | 0,77 |
| 1,57 | 2,02 | 3,99 | 0,74 |
| 2,02 | 2,57 | 4,35 | 0,56 |
| 1,99 | 2,98 | 3,60 | 0,63 |
| 1,57 | 2,76 | 3,98 | 0,97 |
| 1,36 | 3,11 | 1,27 | 0,99 |
| 1,49 | 2,94 | 1,25 | 0,92 |
| 1,25 | 1,97 | 3,19 | 0,59 |
| 1,47 | 4,14 | 2,83 | 1,06 |
| 1,89 | 3,78 | 3,54 | 0,97 |
| 1,40 | 1,98 | 2,28 | 0,74 |
| 1,63 | 4,13 | 4,10 | 0,66 |
| 0,67 | 3,78 | 3,19 | 0,65 |
| 1,15 | 1,29 | 3,68 | 1,01 |
| 0,75 | 1,27 | 2,67 | 0,52 |
| 1,37 | 1,28 | 3,18 | 0,52 |
| 2,26 | 1,54 | 7,41 | 0,38 |
| 1,65 | 2,52 | 6,95 | 0,87 |
| 2,02 | 2,23 | 6,49 | 0,50 |
| 1,67 | 3,03 | 3,34 | 0,38 |
| 1,40 | 2,30 | 3,30 | 0,31 |
| 1,82 | 1,56 | 3,39 | 0,51 |
| 1,34 | 1,19 | 5,43 | 0,71 |
| 1,64 | 0,78 | 4,66 | 0,45 |
| 1,47 | 1,51 | 4,83 | 0,87 |
| 1,38 | 1,85 | .    | 0,81 |
| 1,25 | 1,63 | .    | 0,70 |
| 1,93 | 1,99 | .    | 0,69 |
| 1,51 | 5,32 | .    | 0,68 |
| 1,77 | 4,97 | .    | 0,63 |
| 1,65 | 5,49 | .    | 0,63 |
| 1,51 | 5,00 | .    | 0,63 |
| 1,73 | 4,92 | .    | 0,78 |
| 1,21 | 5,08 | .    | 0,81 |
| 1,32 | 4,31 | .    | 0,75 |
| 1,71 | 2,61 | .    | 1,62 |
| 0,72 | 3,46 | .    | 1,19 |
| 0,60 | .    | .    | 0,82 |
| 0,59 | .    | .    | 0,73 |
| 0,87 | .    | .    | 0,90 |
| 0,95 | .    | .    | 1,00 |
| 0,69 | .    | .    | .    |

C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

Apêndice 17. Resistência à penetração (RP) da camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| C2   | C4   | C6   | MN   |
|------|------|------|------|
| 1,52 | 5,95 | 5,77 | 0,78 |
| 2,49 | 6,83 | 8,36 | 0,78 |
| 2,01 | 7,71 | 4,99 | 0,74 |
| 3,22 | 3,94 | 3,74 | 0,71 |
| 2,72 | 3,50 | 4,33 | 1,18 |
| 2,97 | 3,72 | 4,04 | 0,89 |
| 3,87 | 3,19 | 3,38 | 0,64 |
| 2,26 | 4,45 | 4,14 | 0,69 |
| 3,07 | 5,01 | 2,61 | 0,59 |
| 2,80 | 5,53 | 1,66 | 0,97 |
| 2,79 | 4,45 | 2,43 | 1,08 |
| 2,04 | 3,84 | 3,20 | 1,05 |
| 2,03 | 4,24 | 1,91 | 0,54 |
| 2,02 | 2,02 | 2,09 | 0,38 |
| 1,99 | 2,58 | 1,94 | 0,80 |
| 1,57 | 2,99 | 1,91 | 0,56 |
| 1,78 | 2,76 | 3,24 | 0,82 |
| 1,49 | 3,11 | 2,58 | 0,88 |
| 1,89 | 4,31 | 2,02 | 0,71 |
| 1,40 | 1,98 | 2,93 | 0,80 |
| 1,63 | 4,16 | 2,70 | 0,90 |
| 1,15 | 3,78 | 2,82 | 1,63 |
| 1,96 | 1,29 | 2,58 | 1,67 |
| 2,26 | 1,27 | 2,08 | 0,38 |
| 1,65 | 1,28 | 3,07 | 1,07 |
| 2,02 | 2,58 | 5,29 | 0,92 |
| 1,67 | 3,31 | 4,76 | 1,23 |
| 1,85 | 2,77 | 4,23 | 0,52 |
| 1,82 | 1,54 | 5,59 | 0,75 |
| 1,71 | 2,52 | 5,51 | 0,43 |
| 1,60 | 2,23 | 5,55 | 0,82 |
| 1,47 | 3,03 | 3,14 | 0,69 |
| 1,38 | 2,30 | 2,46 | 0,43 |
| 1,43 | 1,57 | 2,35 | 0,86 |
| 1,93 | 1,19 | 2,24 | 0,53 |
| 1,85 | 1,17 | 3,22 | 1,05 |
| 1,77 | 1,15 | 3,24 | 0,84 |
| 1,65 | 6,40 | 3,19 | 0,52 |
| 1,51 | 6,63 | .    | 0,51 |
| 1,73 | 6,85 | .    | 0,50 |
| 1,51 | 1,85 | .    | 1,89 |
| 1,31 | 1,63 | .    | 1,31 |
| 1,71 | 1,99 | .    | 1,57 |
| 2,02 | 5,32 | .    | 0,70 |
| 1,67 | 4,97 | .    | 0,97 |
| 1,85 | 5,40 | .    | 0,69 |
| 1,82 | 6,39 | .    | 1,27 |
| 1,71 | 4,92 | .    | 1,20 |
| .    | 5,07 | .    | 0,21 |
| .    | 4,32 | .    | 0,65 |
| .    | 2,68 | .    | 0,93 |
| .    | 3,50 | .    | 0,44 |

C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

Apêndice 18. Resistência à penetração (RP) da camada de 0,10 a 0,20m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| C2   | C4   | C6   | MN   |
|------|------|------|------|
| 5,80 | 4,39 | 5,77 | 0,89 |
| 4,00 | 4,23 | 7,24 | 1,27 |
| 5,58 | 4,31 | 4,99 | 1,08 |
| 4,05 | 4,59 | 3,74 | 2,70 |
| 5,02 | 5,38 | 4,33 | 1,59 |
| 2,25 | 3,83 | 5,56 | 1,17 |
| 3,69 | 3,29 | 4,14 | 0,93 |
| 1,66 | 3,22 | 2,61 | 1,41 |
| 5,26 | 3,28 | 1,66 | 2,39 |
| 2,85 | 7,49 | 1,66 | 0,79 |
| 1,60 | 6,86 | 3,20 | 0,87 |
| 2,62 | 8,39 | 1,78 | 0,71 |
| 2,42 | 7,52 | 1,91 | 1,41 |
| 2,26 | 7,53 | 2,09 | 1,41 |
| 1,18 | 7,54 | 1,94 | 1,41 |
| 0,90 | 5,27 | 1,91 | 1,26 |
| 4,80 | 4,82 | 3,24 | 0,59 |
| 0,86 | 4,72 | 1,43 | 1,27 |
| 1,68 | 6,36 | 2,93 | 1,90 |
| 5,48 | 6,77 | 2,70 | 1,56 |
| 4,04 | 7,15 | 2,08 | 1,42 |
| 4,28 | 0,66 | 3,07 | 1,29 |
| 3,97 | 0,68 | 5,29 | 1,87 |
| 1,38 | 0,88 | 3,39 | 0,67 |
| 3,82 | 3,13 | 4,23 | 0,76 |
| 3,56 | 2,63 | 5,59 | 1,03 |
| 5,56 | 2,94 | 5,51 | 0,75 |
| .    | 1,05 | 4,07 | 1,16 |
| .    | 1,14 | 3,14 | 0,93 |
| .    | 1,21 | 2,46 | 1,09 |
| .    | 1,72 | 2,64 | 1,00 |
| .    | 2,24 | 3,24 | 1,18 |
| .    | 1,03 | 3,19 | 1,10 |
| .    | 3,71 | 5,59 | 1,17 |
| .    | 4,85 | 5,51 | 1,23 |
| .    | 3,27 | 4,07 | 1,41 |
| .    | 2,59 | 3,14 | 1,74 |
| .    | 3,04 | 2,46 | 0,27 |
| .    | 3,35 | 2,64 | 0,32 |
| .    | 4,14 | 3,24 | 0,37 |
| .    | 4,52 | 3,19 | 1,90 |
| .    | 2,95 | .    | 0,91 |
| .    | 2,44 | .    | 1,77 |
| .    | 2,51 | .    | 0,75 |
| .    | 2,16 | .    | 1,47 |
| .    | 2,36 | .    | 1,11 |
| .    | 1,98 | .    | 1,98 |
| .    | 2,02 | .    | 1,57 |
| .    | .    | .    | 1,62 |
| .    | .    | .    | 1,86 |
| .    | .    | .    | 1,38 |
| .    | .    | .    | 1,46 |

C2 - cana-de-açúcar com dois anos de cultivo; C4 - cana-de-açúcar com quatro anos de cultivo; C6 - cana-de-açúcar com seis anos de cultivo; MN – área de mata nativa.

Apêndice 19. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200kPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1.600kPa ( $GC_{1.600}$ ) na área com dois anos de cultivo (C2) na camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 193        | 0,46 | 1,34            | 0,92            | 0,87       | 0,70         |
| 300        | 0,38 | 1,49            | 0,93            | 0,92       | 0,78         |
| 252        | 0,39 | 1,51            | 0,93            | 0,91       | 0,76         |
| 132        | 0,37 | 1,34            | 0,92            | 0,88       | 0,70         |
| 196        | 0,35 | 1,46            | 0,91            | 0,88       | 0,75         |
| 219        | 0,44 | 1,51            | 0,88            | 0,85       | 0,70         |
| 205        | 0,37 | 1,41            | 0,92            | 0,89       | 0,74         |
| 196        | 0,42 | 1,48            | 0,89            | 0,86       | 0,70         |
| 138        | 0,45 | 1,21            | 0,87            | 0,81       | 0,63         |
| 193        | 0,46 | 1,35            | 0,92            | 0,88       | 0,70         |
| 203        | 0,42 | 1,33            | 0,92            | 0,88       | 0,72         |
| 230        | 0,45 | 1,32            | 0,92            | 0,88       | 0,71         |
| 198        | 0,44 | 1,39            | 0,92            | 0,89       | 0,71         |
| 154        | 0,36 | 1,51            | 0,86            | 0,82       | 0,69         |
| 203        | 0,38 | 1,37            | 0,92            | 0,88       | 0,73         |
| 186        | 0,53 | 1,46            | 0,89            | 0,84       | 0,66         |
| 141        | 0,51 | 1,29            | 0,86            | 0,80       | 0,61         |
| 196        | 0,49 | 1,34            | 0,88            | 0,83       | 0,66         |

Apêndice 20. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1.600KPa ( $GC_{1.600}$ ), na área com quatro anos de cultivo (C4) na camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 313        | 0,23 | 1,51            | 0,94            | 0,93       | 0,85         |
| 332        | 0,3  | 1,49            | 0,94            | 0,94       | 0,83         |
| 303        | 0,33 | 1,42            | 0,93            | 0,92       | 0,80         |
| 351        | 0,23 | 1,54            | 0,95            | 0,94       | 0,87         |
| 333        | 0,27 | 1,59            | 0,93            | 0,92       | 0,83         |
| 317        | 0,36 | 1,42            | 0,94            | 0,92       | 0,80         |
| 341        | 0,27 | 1,36            | 0,94            | 0,93       | 0,83         |
| 255        | 0,38 | 1,18            | 0,90            | 0,88       | 0,72         |
| 374        | 0,46 | 1,39            | 0,93            | 0,92       | 0,77         |
| 292        | 0,4  | 1,4             | 0,91            | 0,89       | 0,76         |
| 320        | 0,43 | 1,39            | 0,91            | 0,90       | 0,75         |
| 298        | 0,43 | 1,24            | 0,93            | 0,91       | 0,75         |
| 353        | 0,29 | 1,62            | 0,95            | 0,94       | 0,85         |
| 287        | 0,54 | 1,38            | 0,89            | 0,87       | 0,69         |
| 372        | 0,26 | 1,43            | 0,95            | 0,94       | 0,85         |
| 335        | 0,33 | 1,55            | 0,93            | 0,92       | 0,81         |
| 330        | 0,39 | 1,52            | 0,92            | 0,91       | 0,78         |

Apêndice 21. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1.600KPa ( $GC_{1.600}$ ), na área com seis anos de cultivo (C6) na camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 248        | 0,52 | 1,49            | 0,90            | 0,87       | 0,70         |
| 282        | 0,37 | 1,49            | 0,91            | 0,90       | 0,77         |
| 249        | 0,39 | 1,63            | 0,91            | 0,89       | 0,76         |
| 277        | 0,35 | 1,52            | 0,91            | 0,90       | 0,78         |
| 311        | 0,46 | 1,25            | 0,91            | 0,89       | 0,72         |
| 378        | 0,29 | 1,49            | 0,92            | 0,92       | 0,82         |
| 339        | 0,38 | 1,31            | 0,92            | 0,92       | 0,78         |
| 282        | 0,44 | 1,25            | 0,92            | 0,90       | 0,73         |
| 295        | 0,5  | 1,48            | 0,90            | 0,89       | 0,72         |
| 283        | 0,4  | 1,42            | 0,91            | 0,90       | 0,76         |
| 231        | 0,21 | 1,36            | 0,94            | 0,90       | 0,84         |
| 279        | 0,24 | 1,38            | 0,93            | 0,92       | 0,82         |
| 275        | 0,22 | 1,6             | 0,93            | 0,92       | 0,84         |
| 221        | 0,3  | 1,47            | 0,92            | 0,90       | 0,78         |

Apêndice 22. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200 kPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1,600 kPa ( $GC_{1.600}$ ) na área de mata nativa (MN) na camada de 0,00 a 0,05m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 53         | 0,48 | 1,07            | 0,81            | 0,67       | 0,49         |
| 34         | 0,38 | 1,11            | 0,87            | 0,72       | 0,55         |
| 79         | 0,44 | 1,31            | 0,85            | 0,77       | 0,59         |
| 47         | 0,44 | 1,23            | 0,84            | 0,72       | 0,54         |
| 92         | 0,48 | 1,15            | 0,81            | 0,70       | 0,53         |
| 71         | 0,42 | 1,36            | 0,90            | 0,81       | 0,63         |
| 61         | 0,37 | 1,11            | 0,90            | 0,78       | 0,61         |
| 87         | 0,42 | 1,25            | 0,87            | 0,79       | 0,61         |
| 120        | 0,52 | 1,45            | 0,84            | 0,78       | 0,60         |
| 53         | 0,36 | 1,15            | 0,90            | 0,79       | 0,62         |
| 77         | 0,44 | 1,25            | 0,88            | 0,75       | 0,60         |
| 81         | 0,5  | 1,33            | 0,84            | 0,75       | 0,57         |
| 66         | 0,44 | 1,40            | 0,88            | 0,78       | 0,61         |
| 74         | 0,54 | 1,98            | 0,87            | 0,78       | 0,60         |
| 82         | 0,44 | 1,27            | 0,88            | 0,78       | 0,59         |
| 67         | 0,42 | 1,21            | 0,90            | 0,83       | 0,64         |
| 114        | 0,43 | 1,22            | 0,85            | 0,76       | 0,55         |
| 99         | 0,54 | 1,19            | 0,87            | 0,79       | 0,59         |
| 117        | 0,47 | 1,14            | 0,85            | 0,73       | 0,55         |
| 60         | 0,41 | 1,05            | 0,85            | 0,78       | 0,59         |
| 135        | 0,55 | 1,42            | 0,81            | 0,74       | 0,59         |
| 43         | 0,37 | 1,22            | 0,87            | 0,67       | 0,49         |

Apêndice 23. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa (GC 200), grau de compactação a 1.600KPa (GC 1.600) na área com dois anos de cultivo (C2) na camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | GC 200 | GC 1.600 |
|------------|------|-----------------|-----------------|--------|----------|
| 273        | 0,46 | 1,5             | 0,95            | 0,94   | 0,87     |
| 343        | 0,38 | 1,58            | 0,93            | 0,92   | 0,84     |
| 351        | 0,39 | 1,62            | 0,93            | 0,93   | 0,89     |
| 366        | 0,37 | 1,54            | 0,94            | 0,93   | 0,84     |
| 256        | 0,35 | 1,79            | 0,92            | 0,91   | 0,84     |
| 321        | 0,44 | 1,55            | 0,95            | 0,93   | 0,83     |
| 368        | 0,37 | 1,63            | 0,90            | 0,90   | 0,79     |
| 325        | 0,42 | 1,67            | 0,93            | 0,93   | 0,89     |
| 376        | 0,45 | 1,41            | 0,92            | 0,91   | 0,77     |
| 323        | 0,46 | 1,53            | 0,94            | 0,93   | 0,78     |
| 416        | 0,42 | 1,62            | 0,92            | 0,92   | 0,79     |
| 402        | 0,45 | 1,49            | 0,94            | 0,93   | 0,78     |
| 228        | 0,44 | 1,65            | 0,94            | 0,92   | 0,86     |
| 402        | 0,36 | 1,55            | 0,94            | 0,94   | 0,88     |
| 379        | 0,38 | 1,52            | 0,94            | 0,94   | 0,89     |
| 318        | 0,53 | 1,66            | 0,95            | 0,94   | 0,82     |
| 259        | 0,51 | 1,59            | 0,95            | 0,95   | 0,90     |
| 259        | 0,49 | 1,53            | 0,92            | 0,91   | 0,80     |

Apêndice 24. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa (GC 200), grau de compactação a 1.600KPa (GC 1.600), na área com quatro anos de cultivo (C4) na camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | GC 200 | GC 1.600 |
|------------|------|-----------------|-----------------|--------|----------|
| 312        | 0,23 | 1,71            | 0,93            | 0,93   | 0,86     |
| 265        | 0,3  | 1,72            | 0,93            | 0,92   | 0,82     |
| 319        | 0,33 | 1,62            | 0,93            | 0,90   | 0,83     |
| 328        | 0,23 | 1,61            | 0,94            | 0,94   | 0,85     |
| 305        | 0,27 | 1,65            | 0,94            | 0,93   | 0,88     |
| 311        | 0,36 | 1,71            | 0,92            | 0,91   | 0,84     |
| 239        | 0,27 | 1,72            | 0,95            | 0,94   | 0,90     |
| 198        | 0,38 | 1,29            | 0,92            | 0,87   | 0,70     |
| 195        | 0,46 | 1,38            | 0,90            | 0,86   | 0,69     |
| 346        | 0,4  | 1,31            | 0,90            | 0,88   | 0,73     |
| 287        | 0,43 | 1,4             | 0,93            | 0,91   | 0,74     |
| 336        | 0,43 | 1,58            | 0,93            | 0,93   | 0,85     |
| 317        | 0,29 | 1,62            | 0,93            | 0,93   | 0,85     |
| 339        | 0,54 | 1,66            | 0,94            | 0,93   | 0,84     |
| 326        | 0,26 | 1,54            | 0,93            | 0,92   | 0,84     |
| 324        | 0,33 | 1,63            | 0,93            | 0,93   | 0,85     |
| 304        | 0,39 | 1,63            | 0,94            | 0,92   | 0,84     |

Apêndice 25. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1.600KPa ( $GC_{1.600}$ ), na área com seis anos de cultivo (C6) na camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 303        | 0,52 | 1,76            | 0,94            | 0,94       | 0,88         |
| 177        | 0,37 | 1,76            | 0,92            | 0,89       | 0,79         |
| 338        | 0,39 | 1,65            | 0,95            | 0,94       | 0,85         |
| 183        | 0,35 | 1,33            | 0,92            | 0,88       | 0,71         |
| 340        | 0,46 | 1,23            | 0,94            | 0,92       | 0,74         |
| 378        | 0,29 | 1,52            | 0,94            | 0,94       | 0,84         |
| 406        | 0,38 | 1,55            | 0,94            | 0,93       | 0,85         |
| 324        | 0,44 | 1,56            | 0,94            | 0,93       | 0,83         |
| 365        | 0,5  | 1,56            | 0,94            | 0,93       | 0,83         |
| 267        | 0,4  | 1,37            | 0,93            | 0,91       | 0,78         |
| 309        | 0,21 | 1,47            | 0,94            | 0,92       | 0,79         |
| 410        | 0,24 | 1,51            | 0,92            | 0,92       | 0,81         |
| 257        | 0,22 | 1,71            | 0,94            | 0,92       | 0,83         |
| 250        | 0,3  | 1,78            | 0,93            | 0,92       | 0,83         |

Apêndice 26. Pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), índice de compressão (IC), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma_p}$ ), grau de compactação a 200KPa ( $GC_{200}$ ), grau de compactação a 1.600 kPa ( $GC_{1.600}$ ) na área de mata nativa (MN) na camada de 0,05 a 0,10m de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em Salto do Jacuí, RS.

| $\sigma_p$ | IC   | $D_{s\sigma_p}$ | $GC_{\sigma_p}$ | $GC_{200}$ | $GC_{1.600}$ |
|------------|------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 128        | 0,48 | 1,26            | 0,87            | 0,80       | 0,60         |
| 161        | 0,38 | 1,2             | 0,86            | 0,79       | 0,58         |
| 75         | 0,44 | 1,18            | 0,90            | 0,80       | 0,60         |
| 100        | 0,44 | 1,2             | 0,92            | 0,83       | 0,65         |
| 104        | 0,48 | 1,36            | 0,89            | 0,81       | 0,63         |
| 82         | 0,42 | 1,22            | 0,87            | 0,77       | 0,60         |
| 102        | 0,37 | 1,36            | 0,88            | 0,80       | 0,61         |
| 115        | 0,42 | 1,25            | 0,89            | 0,82       | 0,62         |
| 51         | 0,52 | 1,13            | 0,87            | 0,75       | 0,59         |
| 59         | 0,36 | 1,22            | 0,87            | 0,77       | 0,60         |
| 77         | 0,44 | 1,23            | 0,92            | 0,84       | 0,65         |
| 101        | 0,5  | 1,3             | 0,90            | 0,83       | 0,65         |
| 84         | 0,44 | 1,14            | 0,86            | 0,77       | 0,60         |
| 84         | 0,44 | 1,17            | 0,87            | 0,78       | 0,59         |
| 51         | 0,42 | 1,19            | 0,89            | 0,78       | 0,61         |
| 159        | 0,43 | 1,33            | 0,90            | 0,86       | 0,69         |
| 132        | 0,54 | 1,26            | 0,88            | 0,82       | 0,62         |
| 176        | 0,47 | 1,43            | 0,92            | 0,89       | 0,73         |
| 135        | 0,41 | 1,24            | 0,93            | 0,88       | 0,69         |
| 111        | 0,55 | 1,28            | 0,90            | 0,84       | 0,66         |
| 98         | 0,48 | 1,24            | 0,86            | 0,79       | 0,60         |
| 128        | 0,38 | 1,26            | 0,87            | 0,80       | 0,60         |

## Apêndice 27. Análise estatística da densidade do solo (Ds) na camada de 0,00-0,05m.

---

 Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,510) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,716)
 

---

| Área                 | Média        | Desvio padrão | EMP    |        |        |
|----------------------|--------------|---------------|--------|--------|--------|
| C2                   | 1,259        | 0,0869        | 0,0205 |        |        |
| C4                   | 1,335        | 0,116         | 0,0275 |        |        |
| C6                   | 1,312        | 0,103         | 0,0266 |        |        |
| MN                   | 1,057        | 0,102         | 0,0212 |        |        |
| Análise da variância |              |               |        |        |        |
|                      | GL           | SQ            | MS     | F      | P      |
| Áreas                | 3            | 0,999         | 0,333  | 31,689 | <0,001 |
| Residual             | 70           | 0,736         | 0,0105 |        |        |
| Total                | 73           | 1,735         |        |        |        |
| (Teste Tukey):       |              |               |        |        |        |
| Comparação           | Diff. Médias | q             | P      |        |        |
| C4 vs. MN            | 0,278        | 12,169        | <0,001 |        |        |
| C4 vs. C2            | 0,0757       | 3,133         | 0,129  |        |        |
| C4 vs. C6            | 0,0228       | 0,900         | 0,920  |        |        |
| C6 vs. MN            | 0,255        | 10,591        | <0,001 |        |        |
| C6 vs. C2            | 0,0529       | 2,087         | 0,458  |        |        |
| C2 vs. MN            | 0,202        | 8,851         | <0,001 |        |        |

---

## Apêndice 28. Análise estatística da porosidade total do solo (Pt) na camada de 0,00-0,05m.

---

 Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,721) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,160)
 

---

| Área                 | Média        | Desvio padrão | EMP     |        |        |
|----------------------|--------------|---------------|---------|--------|--------|
| C2                   | 51,861       | 4,431         | 1,044   |        |        |
| C4                   | 49,430       | 2,649         | 0,624   |        |        |
| C6                   | 53,323       | 3,967         | 1,024   |        |        |
| MN                   | 58,994       | 2,816         | 0,587   |        |        |
| Análise da variância |              |               |         |        |        |
|                      | GL           | SQ            | MS      | F      | P      |
| Áreas                | 3            | 1035,263      | 345,088 | 28,492 | <0,001 |
| Residual             | 70           | 847,823       | 12,112  |        |        |
| Total                | 73           | 1883,086      |         |        |        |
| (Teste Tukey):       |              |               |         |        |        |
| Comparação           | Diff. Médias | q             | P       |        |        |
| C4 vs. C6            | 9,564        | 12,350        | <0,001  |        |        |
| C4 vs. MN            | 3,892        | 4,524         | 0,011   |        |        |
| C4 vs. C2            | 2,431        | 2,964         | 0,165   |        |        |
| C2 vs. C6            | 1,461        | 1,698         | 0,628   |        |        |
| C2 vs. MN            | 7,133        | 9,210         | <0,001  |        |        |
| MN vs. C6            | 5,672        | 6,944         | <0,001  |        |        |

---

## Apêndice 29. Análise estatística da macroporosidade do solo (Ma) na camada de 0,00-0,05m.

| Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,326) |         | Teste Igualdade Variância: Falhou (P < 0,050) |        |
|---|---------|---|--------|
| Área                                      | Mediana | 25%   | 75%    |
| C2  | 19,751  | 16,710  | 23,191 |
| C4  | 14,997  | 11,530  | 16,063 |
| C6  | 21,629  | 16,103  | 25,364 |
| MN  | 26,053  | 25,060  | 28,629 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 43,100 (P = <0,001)

| Comparação | (Teste Dunn) : |       |        |
|------------|----------------|-------|--------|
|            | Diff. Ranks    | Q     | P<0,05 |
| MN vs C4   | 44,101         | 6,473 | Sim    |
| MN vs C2   | 24,469         | 3,715 | Sim    |
| MN vs C6   | 21,580         | 3,107 | Sim    |
| C6 vs C4   | 22,521         | 2,994 | Sim    |
| C6 vs C2   | 2,889          | 0,395 | Não    |
| C2 vs C4   | 19,632         | 2,730 | Sim    |

## Apêndice 30. Análise estatística da microporosidade do solo (Mi) na camada de 0,00-0,05m.

| Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,165) |              | Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,182) |        |       |       |
|---|--------------|--|--------|-------|-------|
| Área                                      | Média        | Desvio padrão                                    | EMP    |       |       |
| C2  | 32,385       | 1,409  | 0,342  |       |       |
| C4  | 34,332       | 3,063  | 0,722  |       |       |
| C6  | 32,275       | 2,871  | 0,741  |       |       |
| MN  | 32,278       | 2,171  | 0,453  |       |       |
| Análise da variância                      |              |  |        |       |       |
|   | GL           | SQ   | MS     | F     | P     |
| Áreas                                     | 3            | 55,591   | 18,530 | 3,116 | 0,032 |
| Residual                                  | 69           | 410,372  | 5,947  |       |       |
| Total                                     | 72           | 465,963  |        |       |       |
| (Teste Tukey):                            |              |  |        |       |       |
| Comparação                                | Diff. Médias | q  | P      |       |       |
| C4 vs. C6                                 | 2,057        | 3,412  | 0,084  |       |       |
| C4 vs. Mn                                 | 2,054        | 3,786  | 0,045  |       |       |
| C4 vs. C2                                 | 1,948        | 3,340  | 0,094  |       |       |
| C2 vs. C6                                 | 0,109        | 0,179  | 0,999  |       |       |
| C2 vs. MN                                 | 0,107        | 0,193  | 0,999  |       |       |
| MN vs. C6                                 | 0,00259      | 0,00453  | 1,000  |       |       |

## Apêndice 31. Análise estatística da densidade do solo (Ds) na camada de 0,05-0,10m.

| Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,494) |         | Teste Igualdade Variância: Falhou (P < 0,050) |       |
|---|---------|---|-------|
| Área                                      | Mediana | 25%   | 75%   |
| C2  | 1,310   | 1,158   | 1,428 |
| C4  | 1,518   | 1,430   | 1,570 |
| C6  | 1,466   | 1,351   | 1,573 |
| MN  | 1,090   | 1,056   | 1,152 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 49,198 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| C4 vs MN   | 43,278      | 6,120 | Sim    |
| C4 vs C2   | 16,667      | 2,152 | Não    |
| C4 vs C6   | 3,552       | 0,452 | Não    |
| C6 vs MN   | 39,725      | 5,521 | Sim    |
| C6 vs C2   | 13,114      | 1,669 | Não    |
| C2 vs MN   | 26,611      | 3,763 | Sim    |

## Apêndice 32. Análise estatística da porosidade total do solo (Pt) na camada de 0,05-0,10m.

| Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,919) |        | Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,095) |       |
|---|--------|--|-------|
| Área                                      | Média  | Desvio padrão                                    | EMP   |
| C2  | 51,647 | 5,001  | 1,179 |
| C4  | 47,896 | 4,935  | 1,163 |
| C6  | 48,762 | 4,600  | 1,116 |
| MN  | 60,554 | 2,542  | 0,489 |

Análise da variância

|          | GL | SQ       | MS      | F      | P      |
|----------|----|----------|---------|--------|--------|
| Áreas    | 3  | 2344,888 | 781,629 | 44,144 | <0,001 |
| Residual | 76 | 1345,682 | 17,706  |        |        |
| Total    | 79 | 3690,570 |         |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| MN vs. C4  | 12,658       | 13,981 | <0,001 |
| MN vs. C6  | 11,792       | 12,800 | <0,001 |
| MN vs. C2  | 8,907        | 9,838  | <0,001 |
| C2 vs. C4  | 3,751        | 3,782  | 0,045  |
| C2 vs. C6  | 2,885        | 2,867  | 0,187  |
| C6 vs. C4  | 0,866        | 0,861  | 0,929  |

## Apêndice 33. Análise estatística da macroporosidade do solo (Ma) na camada de 0,05-0,10m.

---

|   |         |   |        |  |
|---|---------|---|--------|--|
| Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,253) |         | Teste Igualdade Variância: Falhou (P < 0,050) |        |  |
| Área                                      | Mediana | 25%   | 75%    |  |
| C2  | 10,454  | 7,908   | 13,116 |  |
| C4  | 9,264   | 8,667   | 9,872  |  |
| C6  | 14,728  | 10,408  | 18,533 |  |
| MN  | 27,152  | 25,122  | 29,251 |  |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 53,532 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| MN vs C4   | 44,685      | 6,225 | Sim    |
| MN vs C2   | 39,009      | 5,781 | Sim    |
| MN vs C6   | 26,479      | 3,924 | Sim    |
| C6 vs C4   | 18,206      | 2,315 | Não    |
| C6 vs C2   | 12,529      | 1,676 | Não    |
| C2 vs C4   | 5,676       | 0,722 | Não    |

---

## Apêndice 34. Análise estatística da microporosidade do solo (Mi) na camada de 0,05-0,10m.

---

|   |  |         |        |        |
|---|--|---------|--------|--------|
| Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050) |  |         |        |        |
| Área                                      |  | Mediana | 25%    | 75%    |
| C2  |  | 33,759  | 30,889 | 36,981 |
| C4  |  | 36,561  | 33,665 | 36,798 |
| C6  |  | 34,063  | 33,113 | 35,449 |
| MN  |  | 34,494  | 31,644 | 35,522 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 4,766 (P = 0,190)

---

## Apêndice 35. Análise estatística da densidade do solo (Ds) na camada de 0,10-0,20m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,115) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,291)

| Área | Média | Desvio padrão | EMP    |
|------|-------|---------------|--------|
| C2   | 1,395 | 0,142         | 0,0345 |
| C4   | 1,521 | 0,159         | 0,0375 |
| C6   | 1,560 | 0,129         | 0,0333 |
| MN   | 1,208 | 0,114         | 0,0219 |

| Análise da variância |    |       |        |        |        |
|----------------------|----|-------|--------|--------|--------|
|                      | GL | SQ    | MS     | F      | P      |
| Áreas                | 3  | 1,634 | 0,545  | 30,055 | <0,001 |
| Residual             | 73 | 1,323 | 0,0181 |        |        |
| Total                | 76 | 2,956 |        |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C6 vs. MN  | 0,351        | 11,468 | <0,001 |
| C6 vs. C2  | 0,164        | 4,874  | 0,005  |
| C6 vs. C4  | 0,0387       | 1,163  | 0,844  |
| C4 vs. MN  | 0,313        | 10,800 | <0,001 |
| C4 vs. C2  | 0,126        | 3,904  | 0,036  |
| C2 vs. MN  | 0,187        | 6,351  | <0,001 |

---

## Apêndice 36. Análise estatística da porosidade total do solo (Pt) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%    | 75%    |
|------|---------|--------|--------|
| C2   | 48,053  | 46,089 | 54,949 |
| C4   | 46,143  | 44,625 | 48,306 |
| C6   | 47,607  | 44,759 | 53,302 |
| MN   | 54,185  | 50,678 | 56,925 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 27,367 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Médias | Q     | P<0,05 |
|------------|--------------|-------|--------|
| MN vs C4   | 35,231       | 4,982 | Sim    |
| MN vs C6   | 24,491       | 3,404 | Sim    |
| MN vs C2   | 18,593       | 2,629 | Não    |
| C2 vs C4   | 16,639       | 2,148 | Não    |
| C2 vs C6   | 5,899        | 0,751 | Não    |
| C6 vs C4   | 10,740       | 1,367 | Não    |

---

Apêndice 37. Análise estatística da macroporosidade do solo (Ma) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%    | 75%    |
|------|---------|--------|--------|
| C2   | 14,475  | 10,626 | 21,672 |
| C4   | 9,420   | 7,170  | 12,811 |
| C6   | 12,252  | 7,824  | 16,216 |
| MN   | 16,213  | 13,527 | 18,746 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 16,015 (P = 0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| MN vs C4   | 26,667      | 3,771 | Sim    |
| MN vs C6   | 17,366      | 2,414 | Não    |
| MN vs C2   | 7,056       | 0,998 | Não    |
| C2 vs C4   | 19,611      | 2,532 | Não    |
| C2 vs C6   | 10,310      | 1,312 | Não    |
| C6 vs C4   | 9,301       | 1,183 | Não    |

Apêndice 38. Análise estatística da microporosidade do solo (Mi) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%    | 75%    |
|------|---------|--------|--------|
| C2   | 33,094  | 31,541 | 34,838 |
| C4   | 35,990  | 33,999 | 37,950 |
| C6   | 36,227  | 33,894 | 37,947 |
| MN   | 36,550  | 35,374 | 38,561 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 17,039 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q      | P<0,05 |
|------------|-------------|--------|--------|
| MN vs C2   | 29,224      | 4,113  | Sim    |
| MN vs C4   | 9,907       | 1,419  | Não    |
| MN vs C6   | 9,166       | 1,290  | Não    |
| C6 vs C2   | 20,059      | 2,548  | Não    |
| C6 vs C4   | 0,742       | 0,0956 | Não    |
| C4 vs C2   | 19,317      | 2,489  | Não    |

## Apêndice 39. Análise estatística da resistência a penetração do solo (RP) na camada de 0,00-0,05m.

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 1,510   | 1,291 | 1,838 |
| C4   | 3,110   | 1,982 | 4,140 |
| C6   | 3,540   | 2,680 | 4,596 |
| MN   | 0,720   | 0,588 | 0,879 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 131,261 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| C6 vs MN   | 115,323     | 9,745 | Sim    |
| C6 vs C2   | 62,957      | 5,340 | Sim    |
| C6 vs C4   | 12,003      | 0,993 | Não    |
| C4 vs MN   | 103,320     | 9,484 | Sim    |
| C4 vs C2   | 50,954      | 4,698 | Sim    |
| C2 vs MN   | 52,366      | 4,957 | Sim    |

## Apêndice 40. Análise estatística da resistência a penetração do solo (RP) na camada de 0,05-0,10m.

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   | Análise da variância Kruskal- |
|------|---------|-------|-------|-------------------------------|
| C2   | 1,820   | 1,578 | 2,038 | al-                           |
| C4   | 3,405   | 2,125 | 4,945 |                               |
| C6   | 3,165   | 2,430 | 4,230 |                               |
| MN   | 0,795   | 0,605 | 0,969 |                               |

Wallis

H = 127,533 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| C6 vs MN   | 107,211     | 9,340 | Sim    |
| C6 vs C2   | 46,122      | 3,807 | Sim    |
| C6 vs C4   | 3,736       | 0,322 | Não    |
| C4 vs MN   | 103,475     | 9,831 | Sim    |
| C4 vs C2   | 42,386      | 3,779 | Sim    |
| C2 vs MN   | 61,089      | 5,515 | Sim    |

## Apêndice 41. Análise estatística da resistência a penetração do solo (RP) na camada de 0,10-0,20m.

---

 Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 3,690   | 1,821 | 4,670 |
| C4   | 3,283   | 2,301 | 4,831 |
| C6   | 3,194   | 2,092 | 4,255 |
| MN   | 1,246   | 0,921 | 1,513 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 70,388 (P = &lt;0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q      | P<0,05 |
|------------|-------------|--------|--------|
| C6 vs MN   | 66,893      | 6,487  | Sim    |
| C6 vs C2   | 5,182       | 0,431  | Não    |
| C6 vs C4   | 0,223       | 0,0213 | Não    |
| C4 vs MN   | 66,670      | 7,189  | Sim    |
| C4 vs C2   | 4,958       | 0,445  | Não    |
| C2 vs MN   | 61,712      | 5,615  | Sim    |

---

## Apêndice 42. Análise estatística do índice de compressão (IC) na camada de 0,00-0,05m.

---

 Teste de Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,430   | 0,380 | 0,460 |
| C4   | 0,330   | 0,270 | 0,408 |
| C6   | 0,375   | 0,290 | 0,440 |
| MN   | 0,440   | 0,420 | 0,480 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

H = 15,816 (P = 0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| MN vs C4   | 23,290      | 3,519 | Sim    |
| MN vs C6   | 18,775      | 2,686 | Sim    |
| MN vs C2   | 5,664       | 0,869 | Não    |
| C2 vs C4   | 17,626      | 2,598 | Não    |
| C2 vs C6   | 13,111      | 1,834 | Não    |
| C6 vs C4   | 4,515       | 0,624 | Não    |

---

Apêndice 43. Análise estatística da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) na camada de 0,00-0,05m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,075) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,869)

| Área | Média   | Desvio padrão | EMP    |
|------|---------|---------------|--------|
| C2   | 196,389 | 40,717        | 9,597  |
| C4   | 323,882 | 31,046        | 7,530  |
| C6   | 282,143 | 41,255        | 11,026 |
| MN   | 78,000  | 27,271        | 5,951  |

| Análise da variância |    |             |             |         |        |
|----------------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
|                      | GL | SQ          | MS          | F       | P      |
| Áreas                | 3  | 662,507,229 | 220,835,743 | 180,820 | <0,001 |
| Residual             | 66 | 80,605,757  | 1,221,299   |         |        |
| Total                | 69 | 743,112,986 |             |         |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C4 vs. MN  | 245,882      | 30,498 | <0,001 |
| C4 vs. C2  | 127,493      | 15,255 | <0,001 |
| C4 vs. C6  | 41,739       | 4,680  | 0,008  |
| C6 vs. MN  | 204,143      | 23,943 | <0,001 |
| C6 vs. C2  | 85,754       | 9,738  | <0,001 |
| C2 vs. MN  | 118,389      | 14,915 | <0,001 |

---

Apêndice 44. Análise estatística da densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ) na camada de 0,00-0,05m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,650) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,745)

| Área | Média | Desvio padrão | EMP    |
|------|-------|---------------|--------|
| C2   | 1,395 | 0,0879        | 0,0207 |
|      | 1,437 | 0,116         | 0,0282 |
| C6   | 1,439 | 0,117         | 0,0312 |
| MN   | 1,233 | 0,114         | 0,0248 |

| Análise da variância |    |       |        |        |        |
|----------------------|----|-------|--------|--------|--------|
|                      | GL | SQ    | MS     | F      | P      |
| Áreas                | 3  | 0,547 | 0,182  | 15,356 | <0,001 |
| Residual             | 66 | 0,784 | 0,0119 |        |        |
| Total                | 69 | 1,331 |        |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C6 vs. MN  | 0,206        | 7,738  | <0,001 |
| C6 vs. C2  | 0,0436       | 1,587  | 0,677  |
| C6 vs. C4  | 0,00151      | 0,0544 | 1,000  |
| C4 vs. MN  | 0,204        | 8,123  | <0,001 |
| C4 vs. C2  | 0,0421       | 1,614  | 0,666  |
| C2 vs. MN  | 0,162        | 6,552  | <0,001 |

---

Apêndice 45. Análise estatística do grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{\sigma p}$ ) na camada de 0,00-0,05m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou ( $P = 0,157$ ) Teste igualdade da variância: Passou ( $P = 0,074$ )

| Área | Média | Desvio padrão | EMP     |
|------|-------|---------------|---------|
| C2   | 0,902 | 0,0226        | 0,00534 |
| C4   | 0,929 | 0,0164        | 0,00399 |
| C6   | 0,917 | 0,0109        | 0,00293 |
| MN   | 0,862 | 0,0263        | 0,00589 |

| Análise da variância |    |        |          |        |        |
|----------------------|----|--------|----------|--------|--------|
|                      | GL | SQ     | MS       | F      | P      |
| Áreas                | 3  | 0,0470 | 0,0157   | 36,706 | <0,001 |
| Residual             | 65 | 0,0278 | 0,000427 |        |        |
| Total                | 68 | 0,0748 |          |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C4 vs. MN  | 0,0668       | 13,849 | <0,001 |
| C4 vs. C2  | 0,0268       | 5,415  | 0,002  |
| C4 vs. C6  | 0,0118       | 2,243  | 0,394  |
| C6 vs. MN  | 0,0549       | 10,788 | <0,001 |
| C6 vs. C2  | 0,0149       | 2,868  | 0,189  |
| C2 vs. MN  | 0,0400       | 8,425  | <0,001 |

---

Apêndice 46. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 200KPa ( $GC_{200}$ ) na camada de 0,00-0,05m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,877   | 0,838 | 0,885 |
| C4   | 0,921   | 0,908 | 0,933 |
| C6   | 0,900   | 0,890 | 0,916 |
| MN   | 0,776   | 0,740 | 0,786 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
 $H = 54,754$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| C4 vs MN   | 45,997      | 6,928 | Sim    |
| C4 vs C2   | 23,735      | 3,449 | Sim    |
| C4 vs C6   | 9,164       | 1,248 | Não    |
| C6 vs MN   | 36,833      | 5,246 | Sim    |
| C6 vs C2   | 14,571      | 2,009 | Não    |
| C2 vs MN   | 22,262      | 3,406 | Sim    |

---

Apêndice 47. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 1600KPa ( $GC_{1600}$ ) na camada de 0,00-0,05m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,118) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,289)

| Área | Média | Desvio padrão | EMP     |
|------|-------|---------------|---------|
| C2   | 0,704 | 0,0443        | 0,0104  |
| C4   | 0,796 | 0,0504        | 0,0122  |
| C6   | 0,773 | 0,0437        | 0,0117  |
| MN   | 0,585 | 0,0367        | 0,00800 |

| Análise da variância |    |       |         |        |        |
|----------------------|----|-------|---------|--------|--------|
| Áreas                | GL | SQ    | MS      | F      | P      |
| Residual             | 66 | 0,126 | 0,00190 | 89,037 | <0,001 |
| Total                | 69 | 0,635 |         |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C4 vs. MN  | 0,211        | 20,979 | <0,001 |
| C4 vs. C2  | 0,0917       | 8,782  | <0,001 |
| C4 vs. C6  | 0,0231       | 2,076  | 0,463  |
| C6 vs. MN  | 0,188        | 17,665 | <0,001 |
| C6 vs. C2  | 0,0685       | 6,232  | <0,001 |
| C2 vs. MN  | 0,120        | 12,062 | <0,001 |

---

Apêndice 48. Análise estatística do índice de compressão (IC) na camada de 0,05-0,10m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,260   | 0,160 | 0,370 |
| C4   | 0,250   | 0,230 | 0,350 |
| C6   | 0,310   | 0,280 | 0,345 |
| MN   | 0,420   | 0,390 | 0,472 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 23,491 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| C4 vs MN   | 28,456      | 4,233 | Sim    |
| C4 vs C2   | 26,644      | 3,902 | Sim    |
| C4 vs C6   | 21,856      | 3,147 | Sim    |
| C6 vs MN   | 6,601       | 0,918 | Não    |
| C6 vs C2   | 4,789       | 0,657 | Não    |
| C2 vs MN   | 1,812       | 0,256 | Não    |

---

Apêndice 49. Análise estatística da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) na camada de 0,05-0,10m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%     | 75%     |
|------|---------|---------|---------|
| C2   | 334,000 | 273,000 | 376,000 |
| C4   | 312,000 | 281,500 | 326,500 |
| C6   | 306,000 | 216,500 | 352,500 |
| MN   | 101,000 | 80,750  | 129,000 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

$H = 44,712$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q      | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|--------|------------|
| C2 vs MN   | 41,151      | 6,121  | Sim        |
| C2 vs C6   | 8,931       | 1,242  | Não        |
| C2 vs C4   | 8,761       | 1,238  | Não        |
| C4 vs MN   | 32,389      | 4,744  | Sim        |
| C4 vs C6   | 0,169       | 0,0232 | Não        |
| C6 vs MN   | 32,220      | 4,639  | Sim        |

Apêndice 50. Análise estatística da densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ ) na camada de 0,05-0,10m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 1,565   | 1,530 | 1,630 |
| C4   | 1,620   | 1,505 | 1,672 |
| C6   | 1,560   | 1,490 | 1,680 |
| MN   | 1,240   | 1,198 | 1,285 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

$H = 39,749$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q      | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|--------|------------|
| C4 vs MN   | 35,873      | 5,254  | Sim        |
| C4 vs C6   | 2,800       | 0,384  | Não        |
| C4 vs C2   | 2,484       | 0,351  | Não        |
| C2 vs MN   | 33,389      | 4,967  | Sim        |
| C2 vs C6   | 0,316       | 0,0439 | Não        |
| C6 vs MN   | 33,073      | 4,762  | Sim        |

Apêndice 51. Análise estatística do grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{op}$ ) na camada de 0,05-0,10m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,937   | 0,923 | 0,943 |
| C4   | 0,932   | 0,924 | 0,937 |
| C6   | 0,936   | 0,926 | 0,941 |
| MN   | 0,885   | 0,868 | 0,904 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
 $H = 38,010$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|-------|------------|
| C2 vs MN   | 36,087      | 5,368 | Sim        |
| C2 vs C4   | 7,631       | 1,078 | Não        |
| C2 vs C6   | 2,028       | 0,282 | Não        |
| C6 vs MN   | 34,060      | 4,904 | Sim        |
| C6 vs C4   | 5,603       | 0,769 | Não        |
| C4 vs MN   | 28,457      | 4,168 | Sim        |

---

Apêndice 52. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 200KPa ( $GC_{200}$ ) na camada de 0,05-0,10m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,930   | 0,918 | 0,935 |
| C4   | 0,925   | 0,905 | 0,929 |
| C6   | 0,920   | 0,905 | 0,934 |
| MN   | 0,797   | 0,782 | 0,835 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
 $H = 43,958$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q      | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|--------|------------|
| C2 vs MN   | 40,302      | 5,995  | Sim        |
| C2 vs C4   | 7,778       | 1,099  | Não        |
| C2 vs C6   | 7,590       | 1,056  | Não        |
| C6 vs MN   | 32,711      | 4,710  | Sim        |
| C6 vs C4   | 0,188       | 0,0257 | Não        |
| C4 vs MN   | 32,524      | 4,763  | Sim        |

---

Apêndice 53. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 1600KPa ( $GC_{1600}$ ) na camada de 0,05-0,10m.

---

Teste Normalidade K-S: Passou (P = 0,477) Teste igualdade da variância: Passou (P = 0,651)

| Área | Média | Desvio padrão | EMP     |
|------|-------|---------------|---------|
| C2   | 0,837 | 0,0428        | 0,0101  |
| C4   | 0,817 | 0,0634        | 0,0154  |
| C6   | 0,806 | 0,0458        | 0,0115  |
| MN   | 0,627 | 0,0405        | 0,00883 |

Análise da variância

|          | GL | SQ    | MS      | F      | P      |
|----------|----|-------|---------|--------|--------|
| Áreas    | 3  | 0,566 | 0,189   | 80,238 | <0,001 |
| Residual | 68 | 0,160 | 0,00235 |        |        |
| Total    | 71 | 0,726 |         |        |        |

(Teste Tukey):

| Comparação | Diff. Médias | q      | P      |
|------------|--------------|--------|--------|
| C2 vs. MN  | 0,210        | 19,073 | <0,001 |
| C vs. C6   | 0,0307       | 2,608  | 0,262  |
| C vs. C4   | 0,0204       | 1,763  | 0,600  |
| C4 vs. MN  | 0,190        | 16,951 | <0,001 |
| C4 vs. C6  | 0,0103       | 0,862  | 0,929  |
| C6 vs. MN  | 0,179        | 15,761 | <0,001 |

---

Apêndice 54. Análise estatística do índice de compressão (IC) na camada de 0,10-0,20m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou (P < 0,050)

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,160   | 0,138 | 0,208 |
| C4   | 0,210   | 0,173 | 0,265 |
| C6   | 0,130   | 0,108 | 0,183 |
| MN   | 0,520   | 0,430 | 0,578 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
H = 39,243 (P = <0,001)

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | P<0,05 |
|------------|-------------|-------|--------|
| MN vs C6   | 36,282      | 5,356 | Sim    |
| MN vs C2   | 32,049      | 5,117 | Sim    |
| MN vs C4   | 23,167      | 3,570 | Sim    |
| C4 vs C6   | 13,115      | 1,803 | Não    |
| C4 vs C2   | 8,882       | 1,306 | Não    |
| C2 vs C6   | 4,233       | 0,599 | Não    |

---

Apêndice 55. Análise estatística da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%     | 75%     |
|------|---------|---------|---------|
| C2   | 359,000 | 339,750 | 390,000 |
| C4   | 347,000 | 325,750 | 374,250 |
| C6   | 318,000 | 286,000 | 342,500 |
| MN   | 389,000 | 284,250 | 416,250 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
 $H = 7,218$  ( $P = 0,065$ )

Apêndice 56. Análise estatística da densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{sop}$ ) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 1,530   | 1,328 | 1,585 |
| C4   | 1,650   | 1,470 | 1,710 |
| C6   | 1,570   | 1,478 | 1,670 |
| MN   | 1,280   | 1,250 | 1,367 |

Análise da variância Kruskal-Wallis  
 $H = 31,276$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|-------|------------|
| C4 vs MN   | 32,448      | 5,000 | Sim        |
| C4 vs C2   | 13,135      | 1,932 | Não        |
| C4 vs C6   | 3,515       | 0,483 | Não        |
| C6 vs MN   | 28,932      | 4,271 | Sim        |
| C6 vs C2   | 9,620       | 1,360 | Não        |
| C2 vs MN   | 19,312      | 3,084 | Sim        |

Apêndice 57. Análise estatística do grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{op}$ ) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,947   | 0,938 | 0,951 |
| C4   | 0,941   | 0,938 | 0,952 |
| C6   | 0,958   | 0,945 | 0,963 |
| MN   | 0,935   | 0,930 | 0,947 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

$H = 13,567$  ( $P = 0,004$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|-------|------------|
| C6 vs MN   | 24,733      | 3,651 | Sim        |
| C6 vs C4   | 14,656      | 2,015 | Não        |
| C6 vs C2   | 12,511      | 1,769 | Não        |
| C2 vs MN   | 12,221      | 1,951 | Não        |
| C2 vs C4   | 2,145       | 0,315 | Não        |
| C4 vs MN   | 10,076      | 1,553 | Não        |

Apêndice 58. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 200KPa ( $GC_{200}$ ) na camada de 0,10-0,20m.

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,941   | 0,932 | 0,950 |
| C4   | 0,937   | 0,933 | 0,946 |
| C6   | 0,949   | 0,945 | 0,960 |
| MN   | 0,922   | 0,893 | 0,937 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

$H = 25,028$  ( $P = < 0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|-------|------------|
| C6 vs MN   | 32,722      | 4,830 | Sim        |
| C6 vs C4   | 14,969      | 2,058 | Não        |
| C6 vs C2   | 13,416      | 1,897 | Não        |
| C2 vs MN   | 19,305      | 3,082 | Sim        |
| C2 vs C4   | 1,553       | 0,228 | Não        |
| C4 vs MN   | 17,752      | 2,736 | Sim        |

Apêndice 59. Análise estatística do grau de compactação na pressão de 1600KPa ( $GC_{1600}$ ) na camada de 0,10-0,20m.

---

Teste Normalidade K-S: Falhou ( $P < 0,050$ )

| Área | Mediana | 25%   | 75%   |
|------|---------|-------|-------|
| C2   | 0,889   | 0,845 | 0,899 |
| C4   | 0,867   | 0,845 | 0,887 |
| C6   | 0,902   | 0,886 | 0,915 |
| MN   | 0,769   | 0,691 | 0,801 |

Análise da variância Kruskal-Wallis

$H = 38,395$  ( $P = <0,001$ )

(Teste Dunn) :

| Comparação | Diff. Ranks | Q     | $P < 0,05$ |
|------------|-------------|-------|------------|
| C6 vs MN   | 38,264      | 5,648 | Sim        |
| C6 vs C4   | 15,759      | 2,166 | Não        |
| C6 vs C2   | 9,457       | 1,337 | Não        |
| C2 vs MN   | 28,807      | 4,600 | Sim        |
| C2 vs C4   | 6,302       | 0,927 | Não        |
| C4 vs MN   | 22,505      | 3,468 | Sim        |

---