

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**VARIABILIDADE DE CLASSES DE SOLOS,  
ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICO-HÍDRICOS  
NO REBORDO DO PLANALTO MERIDIONAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Gabriel Antônio Deobald**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

**VARIABILIDADE DE CLASSES DE SOLOS, ATRIBUTOS  
MORFOLÓGICOS E FÍSICO-HÍDRICOS NO REBORDO DO  
PLANALTO MERIDIONAL**

**Gabriel Antônio Deobald**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, Área de Concentração Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Araújo Pedron**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Deobald, Gabriel Antônio  
Variabilidade de classes de solos, atributos  
morfológicos e físico-hídricos no rebordo do planalto  
meridional. / Gabriel Antônio Deobald.-2013.  
57 p.; 30cm

Orientador: Fabrício de Araújo Pedron  
Coorientador: Ricardo Simão Diniz Dalmolin  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2013

1. Pedologia 2. Atributos físico-hídricos 3.  
Geoestatística I. Pedron, Fabrício de Araújo II. Dalmolin,  
Ricardo Simão Diniz III. Título.

---

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Gabriel Antônio Deobald. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: gantoniod@gmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**VARIABILIDADE DE CLASSES DE SOLOS, ATRIBUTOS  
MORFOLÓGICOS E FÍSICO-HÍDRICOS NO REBORDO DO  
PLANALTO MERIDIONAL**

elaborada por  
**Gabriel Antônio Deobald**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**Comissão Examinadora:**

---

**Fabício de Araújo Pedron, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr. (UFSM)**  
(Coorientador)

---

**Pablo Miguel, Dr. (UFPeI)**

---

**Edgardo Ramos de Medeiros, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 24 de julho de 2013.

Pai e mãe,  
a vocês dedico esta obra como forma de retribuir o que fazem por mim, mesmo distante  
sempre me apoiaram e incentivaram para que eu lutasse em busca de meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Alfredo e Maria Deobald, que com amor nunca mediram esforços e sempre apoiaram e confiaram na minha capacidade.

A Deus, por ter me dado saúde, força e coragem, sempre me iluminando para o melhor.

Ao professor Fabrício de Araújo Pedron, pela oportunidade oferecida, pela orientação e amizade, por acreditar e confiar na minha pessoa.

Aos meus irmãos, Jader e Anna, que sempre me apoiaram e incentivaram.

À minha namorada, Bruna, que me acompanhou durante muitas atividades desenvolvidas, tendo paciência e amor, me apoiando e incentivando naqueles momentos mais difíceis.

Aos amigos e colegas do laboratório de pedologia pela amizade e ajuda prestada ao longo das atividades. Um agradecimento especial para Estéfane, Jéssica Andrade, Caroline, Jéssica Rolim, Vanessa, Rodrigo, Joel, Emílio, Matheus e Juliana que tiveram uma participação ativa no desenvolver das atividades.

Ao amigo Júlio Soares (Julião), sempre disponível e compreensível, me ajudou e me ensinou muito, trocas de informações importantes para que eu conquistasse mais esta etapa da vida acadêmica.

A todos os professores e funcionários do departamento de solos que através de conversas, dicas ou conselhos me incentivaram para o melhor desenvolvimento do meu trabalho.

Aos amigos e colegas do departamento de solos, pelas conversas, muitas sem objetivo científico, mas que sempre ajudaram a descontrair e melhorar o meu desempenho como aluno.

A todos aqueles que de alguma forma me incentivaram, ajudaram ou acreditaram no meu trabalho, dando-me forças para continuar e finalizar este trabalho.

Muito Obrigado.

“Nenhuma mente que se abre para uma nova idéia voltará ter o tamanho original.”

Albert Einstein

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **VARIABILIDADE DE CLASSES DE SOLOS, ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICO-HÍDRICOS NO REBORDO DO PLANALTO MERIDIONAL**

AUTOR: GABRIEL ANTÔNIO DEOBALD

ORIENTADOR: FABRÍCIO DE ARAÚJO PEDRON

Data e local da defesa: 24 de julho de 2013, Santa Maria, RS.

O rebordo do Planalto Meridional é uma área geomorfologicamente complexa e de extrema importância sócio-ambiental. Essas áreas são pouco pesquisadas devido ao seu baixo potencial agrícola. Nas últimas décadas, estas áreas têm sofrido forte pressão de uso antrópico, desenvolvido sem o conhecimento adequado sobre a distribuição espacial e o comportamento dos solos. Neste sentido, a aplicação de técnicas geoestatísticas contribui para o mapeamento de classes e atributos de solo, tornando-se uma ferramenta indispensável para o conhecimento e planejamento conservacionista de uso destas áreas. Os objetivos do trabalho foram: identificar a correlação entre atributos morfológicos e físicos com a condutividade hidráulica saturada e a capacidade de infiltração de água no solo entre todos os pontos e entre pontos de mesma classe de solo e verificar a dependência espacial existente para cada um dos atributos avaliados, em uma área típica de patamar no rebordo do Planalto Meridional. O estudo foi desenvolvido no município de São Martinho da Serra, região central do estado do Rio Grande do Sul. Foi utilizada uma amostragem sistemática com 57 pontos amostrais com 20 metros de distância entre eles, com avaliação de duas camadas de solo, 0-0,1 e 0,1-0,2 metros, identificou-se alta variabilidade espacial de atributos físico-hídricos mesmo quando analisados em grupos de classes de solo. A correlação linear foi positiva e significativa entre a macroporosidade e condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) na camada superficial, na camada 0,1-0,2m houve correlação entre  $K_s$  e macroporosidade, e  $K_s$  e porosidade total. A capacidade de infiltração apenas teve correlação com o atributo terra fina da camada 0,1-0,2m. Os atributos morfológicos não apresentaram correlação com a capacidade de infiltração de água e nem com a condutividade hidráulica saturada. Os atributos morfológicos como profundidade do horizonte A, espessura da camada saprolítica e profundidade do contato lítico não apresentaram correlação com a capacidade de infiltração de água e nem com a condutividade hidráulica saturada. A dependência espacial foi identificada para  $K_s$ , macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, porosidade total, argila, terra fina e resistência do solo a penetração (RP) da camada 0-0,1m e para argila, terra fina e RP da camada 0,1-0,2m. A malha de amostragem proposta, mesmo em um ambiente heterogêneo, se mostrou eficiente para identificar a dependência espacial de alguns atributos, para outros o efeito pepita puro demonstrou a necessidade de um grid amostral mais detalhado. A constatação da elevada variabilidade de classes e atributos morfológicos, físico-hídricos dos solos nas áreas do rebordo do planalto Meridional requerem estudos com malhas de amostragem menores que possibilitam a investigação da magnitude espacial de um número maior de atributos, o uso da geoestatística aliada a krigagem é uma ferramenta potencial para analisar a dependência espacial inclusive em áreas com elevada heterogeneidade.

**Palavras-chave:** Atributos físico-hídricos. Pedologia. Geoestatística.



## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### **VARIABILITY OF SOIL CLASSES, AND PHYSICAL ATTRIBUTES MORPHOLOGICAL UPSTAND WATER IN THE SOUTHERN HIGHLANDS**

**AUTHOR: GABRIEL ANTÔNIO DEOBALD**

**ADVISOR: FABRÍCIO DE ARAÚJO PEDRON**

Date and place of the Defense: Santa Maria, July 24th 2013.

The edge of the Southern Plateau is an area geomorphologically complex and extremely important social and environmental. These areas are under-researched due to its low agricultural potential. In recent decades, these areas have suffered strong anthropic pressure use, developed without adequate knowledge about the spatial distribution and behavior of soils. In this sense, the application of geostatistical mapping contributes to the classes and attributes of the soil, making it an indispensable tool for conservation planning knowledge and use of these areas. The objectives were to identify the correlation between morphological and physical attributes with the saturated hydraulic conductivity and infiltration capacity of the soil water between all points and between points of the same class of soil and check the existing spatial dependence for each of the attributes evaluated in a typical area of plateau on the edge of the Southern Plateau. The study was conducted in São Martinho da Serra, the central region of Rio Grande do Sul. We used a systematic sampling of 57 sample points with 20 meters distance between them, with evaluation of two soil layers, 0-0.1 and 0.1-0.2 meters, identified high spatial variability of physical water even when analyzed in groups of soil classes. A linear correlation was positive and significant relationship between macroporosity and saturated hydraulic conductivity (Ks) in the surface layer, the layer 0.1-0.2 meters correlation between Ks and macroporosity and total porosity and Ks. The infiltration capacity was correlated only with the attribute fine soil layer 0.1-0.2 meters. The morphological attributes not correlated with the infiltration of water and not with the saturated hydraulic conductivity. The morphological attributes such as depth of the A horizon saprolite layer thickness and depth of contact lytic not correlated with the infiltration of water and even with the saturated hydraulic conductivity. A spatial dependence was identified for Ks, macro and micro, density, porosity, clay and fine soil resistance to penetration (RP) layer 0-0.1 meters and clay, fine earth and RP layer 0.1-0.2 meters. The sampling grid proposal, even in a heterogeneous environment is efficient to identify the spatial dependence of some attributes, for others the nugget effect demonstrated the need for a more detailed grid sampling. The finding of high variability of morphological classes and attributes, physical water soils in areas of the southern edge of the plateau studies require smaller sample loops that allow the investigation of the spatial extent of a greater number of attributes, the geostatistical analysis combined with kriging is a potential tool to analyze the spatial dependence even in areas with high heterogeneity.

**Key words:** Physical-hydric attributes. Pedology. Geostatistics.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
<b>Descrição ambiental</b> .....	<b>14</b>
<b>Procedimentos amostrais</b> .....	<b>15</b>
<b>Análises estatísticas/geostatísticas</b> .....	<b>16</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>17</b>
<b>Análise estatística descritiva</b> .....	<b>17</b>
<b>Análise de correlação simples</b> .....	<b>24</b>
<b>Distribuição de classes de solos</b> .....	<b>28</b>
<b>Distribuição dos atributos morfológicos</b> .....	<b>28</b>
<b>Análise geoestatística</b> .....	<b>30</b>
<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>40</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>45</b>
<b>APÊNDICE A – Imagens da área de estudo</b> .....	<b>46</b>
<b>APÊNDICE B – Descrição morfológica dos perfis</b> .....	<b>47</b>

## APRESENTAÇÃO

O rebordo do Planalto Meridional, localizado no estado do Rio Grande do Sul, apresenta extrema importância ambiental. Ocupado por remanescentes do Bioma da Mata Atlântica e grande diversidade ambiental, se caracteriza pela presença de escarpas e encostas declivosas, frequentemente interligadas por patamares coluvionares, onde os solos são predominantemente rasos e frágeis ao uso antrópico.

O aumento populacional tem causado a expansão das fronteiras agrícolas. Áreas que deveriam ser mantidas preservadas acabam sendo utilizadas e, muitas vezes, de forma incorreta. A região central do Estado do Rio Grande do Sul comporta uma boa porção do Rebordo do Planalto Meridional. Estas áreas apresentam baixa densidade populacional, sendo que a maioria da população presente nestes locais apresenta economia dependente da agricultura familiar.

O relevo do Rebordo do Planalto Meridional é heterogêneo, geralmente representado por pequenas áreas planas a onduladas em meio a morros com vegetação densa. Estas áreas são a única opção para o cultivo, sendo que, muitas vezes, são desmatadas para a inserção de pequenas lavouras em locais com declividades impróprias para o uso (Apêndice A).

Nestes locais, encontramos uma diversidade de classes de solo. O solo é formado pela ação entre os diferentes componentes da paisagem (relevo, clima, material de origem e os organismos no tempo) e da ocorrência dos processos pedogenéticos (JENNY, 1941), o que explica a complexidade encontrada. Souza et al. (1999) ainda relatam que a intensidade de atuação ou predominância destes fatores, determinam as características químicas e físicas do solo.

O entendimento da complexidade dos solos e de suas propriedades proporciona a compreensão da dinâmica do sistema solo, de maneira que possamos fazer um planejamento agrícola e ambiental racional. O estudo do comportamento das propriedades do solo é alvo de muitas pesquisas, no entanto, principalmente em áreas experimentais ou locais de interesse agrícola. O desenvolvimento destes estudos das variáveis do solo é possível graças a Krige (1951) que desenvolveu ferramentas matemáticas que deram origem a geoestatística.

A geoestatística é uma metodologia distinta no campo da estatística espacial (HAINING et al., 2010), que considera os padrões espaciais dos atributos do solo, definindo-os como variáveis regionalizadas. O uso das técnicas geoestatísticas permite avaliar e descrever detalhadamente a distribuição espacial das propriedades do solo (SCHAFFRATH et

al., 2008). Muitos trabalhos científicos alertam quanto ao uso de técnicas da estatística clássica para análise de atributos do solo, pois esta ignora a heterogeneidade espacial (SOUZA et al., 2006; CORRÊA, et al. 2009).

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de medidas em estudo, constituindo importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade dos atributos do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002), este tipo de análise é possível através da semivariância que fornece uma medida quantitativa da variação espacial, quanto maior a semivariância mais dissimilares são as propriedades estudadas (COELHO, 2003). O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo no espaço e no tempo é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO; VIEIRA, 2005).

Os métodos geoestatísticos (análise de semivariograma e krigagem) permitem determinar se um atributo apresenta ou não estrutura espacial e, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear toda área (GOOVAERTS, 1999; SOUZA et al., 2006). A função semivariograma permite caracterizar a estrutura da dependência espacial da variável regionalizada (ROQUE, 2003) e, assim, descreve-se quantitativamente e qualitativamente a variação espacial. O semivariograma é uma representação gráfica que descreve a diferença entre o valor esperado de amostras com a orientação relativa (CLARK, 1979), ou seja, é um gráfico da semivariância em função da distância.

Definido o semivariograma, tem-se o ajuste a um modelo matemático. Dentre os modelos podemos citar o Gaussiano e Esférico como os mais utilizados na ciência do solo. Com o semivariograma ajustado são definidos os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ) que é o valor de semivariância ( $\gamma$ ) quando a distância ( $h$ ) é igual a zero; alcance da dependência espacial ( $a$ ) que é a distância em que a  $\gamma$  ( $h$ ) permanece aproximadamente constante após aumentar com incremento de  $h$  e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) que é o valor de  $\gamma$  ( $h$ ) a partir do alcance e que se aproxima da variância dos dados, quando existir (MIGUEL et al., 2009). O alcance é um parâmetro importante para a interpretação do semivariograma, pois indica a distância máxima em que os pontos de amostragem apresentam espacialmente correlação entre si (GUEDES FILHO et al., 2010).

Baseado na interpolação, a krigagem, permite predizer valores em pontos não amostrados permitindo a avaliação e planejamento de amostragens futuras com maior ou menor intensidade, esta técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima (GONÇALVES et al., 2001). No entanto, a dependência espacial é pré-requisito para uso do preditor geoestatístico krigagem (MELLO, 2004), ou seja, a

geoestatística fornece a base para interpolação da variabilidade espacial das propriedades do solo (WEBSTER, 1985; CAMBARDELLA et al., 1994).

Baseado nos princípios e parâmetros da geoestatística, Klein e Vieira (2007) apresentam as propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura, determinantes do fluxo de água no solo, assim como, identificaram que a capacidade de infiltração de água apresenta alta variabilidade espacial. Bertolani e Vieira (2001) estudaram a variabilidade espacial da infiltração de água em solo saturado e espessura de horizonte A e relatam que o conhecimento do comportamento físico do solo possibilita adequar as atividades agrícolas à aptidão do solo fornecendo indicativos da qualidade, também utilizaram outra ferramenta da geoestatística, o semivariograma cruzado, que permitiu verificar a correlação espacial entre espessura e infiltração de água no horizonte A.

Souza e colaboradores (2001) estudaram um Latossolo Vermelho distrófico e identificaram dependência espacial moderada para todas as variáveis, porém o alcance variou de 8,36 metros para umidade do solo a 58,80 metros para resistência do solo. Em estudo da variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo, Vieira et al. (2010) identificaram dependência espacial de grau moderado a forte para todos atributos do solo, com menor valor de 15 metros de alcance e maior de 90 metros. Outro estudo, em Argissolo Vermelho, Cichota et al. (2003) identificou alta variabilidade na taxa de infiltração de água e dependência espacial com alcance de 3,5 metros.

Dentro deste contexto, são poucos os trabalhos desenvolvidos em busca do entendimento das propriedades do solo em áreas com baixo potencial de uso agrícola. Os solos encontrados nas áreas do rebordo do Planalto Meridional caracterizam-se pela associação entre Neossolos-Cambissolos-Argissolos com elevada variabilidade entre si e apresentam severas limitações devido a questões ambientais de pedogênese. A compreensão das propriedades do solo pode sanar dúvidas, assim fornecendo embasamento para o melhor uso e planejamento destas áreas.

# **VARIABILIDADE DE CLASSES DE SOLOS, ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICO-HÍDRICOS NO REBORDO DO PLANALTO MERIDIONAL**

## **INTRODUÇÃO**

Muitos estudos sobre a variabilidade espacial de solos e seus atributos são encontrados na literatura, principalmente sobre solos desenvolvidos com elevado potencial agrícola, como os Latossolos, os Nitossolos e os Argissolos. Entretanto, ainda existe uma carência de estudos sobre a variabilidade espacial de solos pouco desenvolvidos como os Neossolos e Cambissolos e seus atributos em ambientes desfavoráveis ao desenvolvimento da produção agropecuária.

Comparados às áreas planas a suave onduladas como planaltos e coxilhas, as áreas com relevo acidentado apresentam uma maior variabilidade pedológica, devido à ocorrência de diferentes geocompartimentos, com predomínio de escarpas e encostas. O próprio levantamento de solos destes ambientes é dificultado pela complexidade da distribuição das classes de solos neste tipo de paisagem, sendo, na maioria das vezes, os solos mapeados como associações ou complexos, mesmo em levantamentos detalhados (DALMOLIN et al., 2004).

O aumento populacional tem promovido a expansão das fronteiras agrícolas, demandando a adequação das áreas de produção. As áreas acidentadas, caracterizadas pela presença abundante dos Neossolos rasos, em sua maioria considerados inaptos para a exploração agrícola pelos sistemas técnicos (LEPSCH et al., 1991; RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), tem sofrido forte pressão de uso agrícola e urbano. A ausência de estudos sobre o comportamento destas áreas tem contribuído para a sua degradação.

As áreas de encostas do rebordo do Planalto Meridional fazem parte do maior e mais importante corredor ecológico do Estado do Rio Grande do Sul (RS) (MARCUIZZO et al., 1998; SCIPIONI et al., 2010; SCIPIONI et al., 2012). Os solos encontrados nestas áreas apresentam severas limitações devido a questões ambientais de pedogênese. Problemas de profundidade efetiva, declividade e pedregosidade são exemplos de limitações presentes nestes solos, os quais se caracterizam pela associação entre Neossolos-Cambissolos-Argissolos, com elevada variabilidade entre si. A falta de informações sobre esta associação, aliada a forte pressão de uso e ao elevado valor ecológico destas áreas, tem gerado demandas importantes para a pesquisa.

Neste contexto, considerando as características ambientais e pedológicas da área de estudo, estima-se que os atributos morfológicos e físico-hídricos do solo apresentam dependência espacial dentro da distância avaliada de 20 metros e que existe correlação entre as variáveis como a infiltração de água, a condutividade hidráulica saturada, a textura, a densidade, a profundidade do horizonte A, o contato lítico e a espessura do saprolito nestas áreas de associação de solos rasos, nas encostas do rebordo do Planalto Meridional.

Para tanto, os objetivos deste estudo foram identificar o grau de dependência espacial de atributos morfológicos e físico-hídricos do solo e determinar a correlação entre estes atributos com a infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição ambiental

As análises de campo e amostras foram obtidas em área natural de Floresta Estacional Semidecidual, atualmente utilizada com campo nativo, no município de São Martinho da Serra, RS (805210.9064S, 6725145.5408W, 22J) (Figura 1 e Apêndice A). O clima da região é caracterizado como clima subtropical, úmido sem estiagem, com temperatura média anual de 19,2°C e precipitação pluviométrica média anual de 1708 mm (MALUF, 2000). A geologia característica da área de estudo é constituída de rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, com possíveis contribuições de arenitos da Formação Botucatu, os quais ocorrem no entorno (SARTORI, 2009).



Figura 1. Localização da área de estudo.

Situada no terço médio da encosta do rebordo do Planalto Meridional, em altitude média de 227m, a área de estudo encontra-se em local de relevo plano a suave ondulado com as principais espécies vegetais sendo identificadas como *Soliva pterosperma*, *Desmodium tortuosum*, *Baccharis trimera* e gramíneas do gênero *Paspalum* e com menor expressividade *Commelina longicaulis*, *Senegalia bonariensis* e *Eugenia uniflora* L.

Os solos da área experimental, através de descrição morfológica (Santos et al., 2005), foram mapeados como unidades simples constituídas por Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos, Cambissolos Háplicos e Planossolos Háplicos, conforme o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006).

### **Procedimentos amostrais**

Foi empregado o procedimento de amostragem sistemática, utilizando um grid de 20 metros de distância entre pontos, num total de 57 pontos distribuídos em uma área de aproximadamente 2 hectares. Com o uso de GPS Topcon foi realizado a coleta das coordenadas geográficas no método estático rápido com mensuração no campo e pós-processamento em laboratório.

Em cada ponto foram realizadas análises físicas e morfológicas. Inicialmente foram realizados os testes de infiltração de água no solo pelo método dos duplos cilindros concêntricos (BERNARDO, 1995). As leituras foram tomadas a 1, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos após o início do teste.

Foram realizadas coletas de amostras indeformadas e deformadas das camadas 0-0,1m e 0,1-0,2 m para análises. A determinação da granulometria total foi efetuada em relação à massa total da amostra seca coletada no campo, com três repetições. As amostras foram separadas por tamisamento seco considerando-se as seguintes classes granulométricas: terra fina (< 2 mm), cascalho (2 a 20 mm) e calhau (20 a 200 mm). A granulometria da fração terra fina foi realizada via tamisamento úmido seguido de sedimentação pelo método da pipeta, utilizando o NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico (DONAGEMA et al., 2011).

O carbono orgânico (C) foi determinado via oxidação úmida com dicromato de potássio em meio ácido aquecido e posterior titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal (DONAGEMA et al., 2011).

A condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) foi analisada em laboratório pelo método do permeâmetro de carga constante, segundo Donagema et al. (2011). Amostras com estrutura



preservada foram coletadas em cilindros ( $\varnothing=5$  cm;  $h=3$  cm), saturadas em laboratório e submetidas a uma carga hidráulica constante, obtendo-se, após a estabilização do fluxo hídrico na amostra, a percolação de água pelo tempo. Nos mesmos cilindros da  $K_s$  foram determinados a macroporosidade, microporosidade e densidade do material.

O conteúdo de água correspondente ao ponto de saturação e na tensão de 6 kPa foram utilizados como correspondentes a porosidade total e microporosidade do material, respectivamente. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total (Pt) e a microporosidade e a densidade do solo (Ds) foi obtida pela relação entre a massa seca do material (g) e o seu volume ( $\text{cm}^3$ ) (DONAGEMA et al., 2011).

Os dados de resistência à penetração (RP) foram obtidos através de um penetrômetro de impacto do tipo Stolf. A RP foi calculada em  $\text{kgf cm}^{-2}$  através da fórmula dos holandeses, de acordo com Stolf (1991).

As análises morfológicas foram realizadas de acordo com procedimentos de Santos et al. (2013) (Apêndice B). Dados sobre a configuração de fraturas nas camadas de rocha (R) e saprolito (S) foram registrados conforme sugestões de Pedron et al. (2010).

### **Análises estatísticas/geoestatísticas**

Os resultados das determinações analíticas foram submetidos à análise estatística descritiva, onde foram obtidos os valores máximo, mínimo, média, desvio padrão, variância, assimetria e curtose. Os dados também foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível 95% de confiança para constatação da distribuição normal. Para os dados não normais foram realizadas transformações de logaritmo natural. Para verificar correlações entre os atributos foi realizada correlação linear de Pearson.

A estatística descritiva e a correlação de Pearson foram determinadas entre todos os pontos amostrais e entre pontos de mesma classe de solo, com o objetivo de identificar o comportamento dos dados em pequenos grupos de indivíduos semelhantes. Os coeficientes de variação (CV%) da análise estatística foram analisados conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), baixa variabilidade ( $CV < 12\%$ ), média variabilidade ( $12 \leq CV \leq 62\%$ ) e alta variabilidade ( $CV > 62\%$ ).

A análise da variabilidade espacial foi realizada pela determinação e interpretação de semivariogramas para cada variável analisada. O semivariograma consta de um gráfico de  $\gamma(h)$  em função dos valores do vetor  $h$ , conforme equação abaixo, onde  $N(h)$  é o número de

pares dos valores medidos  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ , e  $h$  é a distância determinada a partir das coordenadas de  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ .

$$\gamma h = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Para padronizar a obtenção dos semivariogramas foi determinado o número de lag (distância) igual a 10, porcentagem de tolerância do lag de 50 e sem limite para máxima distância de interpolação. Os semivariogramas foram ajustados a modelos matemáticos e o Critério de Informação de Akaike (AIC), do inglês Akaike's Information Criterion (AKAIKE, 1983), foi utilizado para definir o modelo com ajuste de dados mais adequado. O AIC é um critério quantitativo que tem sido empregado de forma positiva para análise geoestatística de dados de solos (McBRATNEY; WEBSTER, 1986; MELLO et al., 2005).

O mapa de classes de solos foi gerado pela aplicação de uma escala numérica de 1 a 20, considerando o grau de desenvolvimento destas classes, sendo 1 para a classe menos desenvolvida e 20 para a classe mais desenvolvida. Os valores atribuídos foram 1, 5, 10, 15 e 20 para o Neossolo Litólico, o Neossolo Regolítico, o Cambissolo Háplico, o Argissolo Vermelho/Argissolo Bruno-Acinzentado e o Planossolo Háplico/Gleissolo Háplico, respectivamente.

Para os atributos que apresentaram dependência espacial foram gerados mapas com a interpolação de observações pelo método da krigagem, de forma não tendenciosa e com variância mínima (GONÇALVES, 2001). Estes mapas foram gerados no aplicativo Vesper 1.6, enquanto os mapas de classes de solos, profundidade do horizonte A, espessura da camada saprolítica e profundidade do contato lítico foram gerados no aplicativo Surfer 7.0.

## RESULTADOS

### Análise estatística descritiva

Os resultados da análise estatística descritiva de todos os pontos avaliados são apresentados na tabela 1. Atributos como a capacidade de infiltração, Ks e calhaus para profundidade de 0-0,1m e Pt e calhaus para profundidade 0,1-0,2m não apresentaram distribuição normal, como observado pelo índice “d” que representa a significância quanto ao teste de Kolmogorov-Smirnov, para estes realizou-se transformação pelo logaritmo natural. É evidente a diversidade dos atributos estudados, a capacidade de infiltração e Ks foram aqueles

que apresentaram maiores valores de desvio padrão e variância, assim como, os atributos capacidade de infiltração, espessura do S, Ks e calhaus foram aqueles que apresentaram maiores valores de CV%, mostrando a elevada variabilidade existente dentro destas variáveis.

**Tabela 1.** Parâmetros estatísticos descritivos dos atributos estudados para as duas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2m do solo sob campo nativo do rebordo no Planalto Meridional, RS.

Atributo	Estatística descritiva									d <sup>(4)</sup>
	N <sup>o</sup> obs.*	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	As. <sup>(1)</sup>	Cur. <sup>(2)</sup>	CV% <sup>(3)</sup>	
Elevação (m)	57	223,92	231,26	227,54	1,46	2,12	0,39	0,59	0,64	0,64
Cap. Inf. (mm.h <sup>-1</sup> )	57	4,14	538,58	76,49	85,61	7328,33	3,38	15,09	111,91	0,02 <sup>ns</sup>
Esp. do A (m)	57	0,04	0,50	0,16	0,09	0,01	1,00	1,92	56,25	0,55
Esp. do S (m)	57	0,00	0,70	0,28	0,23	0,05	0,36	-1,29	83,14	0,16
Prof. Cont. Lít. <sup>(5)</sup>	57	0,05	1,70	0,61	0,40	0,16	1,17	1,36	64,87	0,32
Camada 0-0,1 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	57	38,48	690,85	226,70	180,39	32541,69	1,24	0,59	79,57	0,02 <sup>ns</sup>
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	57	0,99	1,59	1,18	0,10	0,01	0,98	3,62	8,64	0,57
Pt	57	0,55	0,68	0,61	0,03	0,00	0,10	-0,19	4,80	0,74
Macroporosidade	57	0,10	0,27	0,17	0,04	0,00	0,48	-0,69	24,45	0,46
Microporosidade	57	0,35	0,52	0,43	0,03	0,00	0,01	0,48	7,71	0,57
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	57	167,75	363,99	237,69	37,14	1379,13	0,55	1,05	15,62	0,95
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	57	272,57	524,96	437,98	46,25	2139,19	-0,60	1,65	10,56	0,99
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	57	239,13	449,45	324,34	35,65	1270,72	0,22	1,92	10,99	0,77
Calhaus (%)	57	0,00	49,89	14,63	16,55	273,83	0,66	-1,10	113,12	0,00 <sup>ns</sup>
Cascalho (%)	57	1,36	48,99	18,85	10,77	116,00	0,54	-0,07	57,15	0,65
Terra Fina (%)	57	25,70	97,52	66,53	22,31	497,65	-0,27	-1,35	33,53	0,36
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	57	225,43	707,52	435,29	117,94	13909,23	0,65	0,12	27,09	0,42
C (%)	57	2,06	4,29	3,04	0,56	0,31	0,48	-0,37	18,47	0,53
Camada 0,1-0,2 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	48	28,29	1087,58	204,89	194,43	37801,83	2,68	9,15	94,89	0,08
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	48	0,98	1,42	1,23	0,08	0,01	-0,15	1,00	6,64	0,96
Pt	48	0,50	0,73	0,58	0,04	0,00	1,73	5,11	7,09	0,05 <sup>ns</sup>
Macroporosidade	48	0,12	0,32	0,18	0,04	0,00	1,17	1,92	21,94	0,71
Microporosidade	48	0,33	0,45	0,40	0,02	0,00	-0,44	1,20	5,61	0,75
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	57	183,52	376,42	263,14	39,40	1552,37	0,39	0,23	14,97	0,97
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	57	302,75	491,56	401,45	38,90	1513,28	-0,09	-0,05	9,69	0,90
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	57	240,63	411,32	335,41	32,64	1065,22	-0,34	0,35	9,73	0,94
Calhaus (%)	57	0,00	61,82	18,59	18,78	352,87	0,61	-0,67	101,02	0,01 <sup>ns</sup>
Cascalho (%)	57	0,27	59,66	24,53	14,52	210,92	0,47	-0,43	59,21	0,93
Terra Fina (%)	57	16,27	99,73	56,87	26,01	676,60	0,23	-1,43	45,73	0,42
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	57	312,43	1124,37	612,71	192,38	37011,19	0,78	-0,03	31,40	0,25
C (%)	57	1,71	4,06	2,56	0,54	0,30	0,92	0,36	21,21	0,07

\* Número de observações, <sup>(1)</sup> Assimetria, <sup>(2)</sup> Curtose, <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação, <sup>(4)</sup> Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, <sup>(5)</sup> profundidade do contato lítico em metros e (<sup>ns</sup>) não significativo.

Em relação ao coeficiente de variação (CV), foi observada alta variabilidade para as variáveis capacidade de infiltração, espessura do saprolito, profundidade do contato lítico, Ks e calhaus para ambas as camadas, com valores superiores a 62%, explicado pela amplitude dos dados observados nos valores máximo e mínimo. O menor valor de CV foi observado na variável elevação com 0,64%, seguido por porosidade total da camada 0-0,1m com 4,8% e microporosidade da camada 0,1-0,2m com 5,61%, indicando baixa variabilidade para estas variáveis.

Devido à elevada dispersão dos dados considerando todos os pontos analisados da área experimental, foi realizada a análise estatística descritiva para cada grupo de pontos pertencentes à mesma classe de solo, as quais são apresentadas nas tabelas 2, 3, 4 e 5. De maneira geral, a análise em grupos de classes de solos apresentou dados normais para todos os atributos estudados, não necessitando de transformações.

Na tabela 2 e 4, os Neossolos Litólicos e Cambissolos apresentaram CV de 59,97 e 75,24% para espessura do horizonte A, 95,32 e 118,03% para espessura do saprolito e 47,11 e 28,55% para a profundidade do contato lítico, respectivamente. Já os Neossolos Regolíticos (Tabela 3) apresentaram valores inferiores de CV, sendo 44,03% para horizonte A, 24,93% para espessura do saprolito e 19,47% para profundidade do contato lítico. Estes resultados mostram uma menor variação dos atributos morfológicos para os Neossolos Regolíticos.

Destaca-se ainda na tabela 2, para os Neossolos Litólicos, que a resistência a penetração do solo (RP) apresentou maiores valores de mínimo e máximo na camada 0,1-0,2m do que na camada 0-0,1m, com a variação do desvio padrão de 129,43 para 234,94 entre as camadas, ao contrário dos demais atributos que apresentaram valores semelhantes nas duas camadas estudadas. Este comportamento pode ser explicado pela presença de contato lítico dentro dos primeiros 50 cm, característica desta classe de solo.

Em ambas as tabelas 2 e 3 é observada alta variabilidade para os atributos Ks e calhaus com valor de CV superior a 62%, independente da camada analisada. Os resultados de desvio padrão da tabela 3, também demonstram que os atributos porosidade total, macroporosidade e microporosidade apresentam valores semelhantes entre as camadas, conferindo pequena variação nos dados, os valores médios da porosidade total vão de 0,61 para 0,59, macroporosidade de 0,18 para 0,19 e microporosidade de 0,42 para 0,40, respectivamente da camada 0-0,1m para camada 0,1-0,2m.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos descritivos dos atributos dos Neossolos Litólicos estudados para as duas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m do solo sob campo nativo do rebordo no Planalto Meridional, RS.

Atributo	Estatística descritiva									d <sup>(4)</sup>
	Nº obs.*	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	As. <sup>(1)</sup>	Cur. <sup>(2)</sup>	CV% <sub>(3)</sub>	
Elevação (m)	23	223,92	231,26	227,87	1,64	2,68	0,01	0,84	0,72	0,98
Cap. Inf. (mm h <sup>-1</sup> )	23	13,13	289,22	68,48	66,43	4413,44	2,11	4,89	97,01	0,29
Esp. do A (m)	23	0,04	0,34	0,14	0,08	0,01	0,73	-0,26	59,97	0,60
Esp. do S (m)	23	0,00	0,35	0,14	0,13	0,02	0,26	-1,50	95,32	0,13
Prof. Cont. Lít. <sup>(5)</sup>	23	0,05	0,48	0,28	0,13	0,01	-0,27	-1,08	47,11	0,86
Camada 0-0,1 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	23	38,48	677,74	231,57	190,94	36458,54	1,19	0,40	82,45	0,13
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	23	1,00	1,59	1,20	0,12	0,01	1,22	4,86	9,75	0,33
Pt	23	0,55	0,67	0,61	0,03	0,00	0,17	-0,32	4,78	0,74
Macroporosidade	23	0,12	0,25	0,18	0,04	0,00	0,36	-1,04	24,06	0,82
Microporosidade	23	0,35	0,50	0,42	0,03	0,00	-0,37	0,95	7,68	0,49
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	23	168,39	293,06	235,03	34,12	1164,36	-0,01	-0,94	14,52	0,79
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	23	272,57	524,96	435,26	54,54	2974,76	-0,86	2,45	12,53	0,86
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	23	239,13	449,45	329,71	43,95	1931,78	0,36	1,87	13,33	0,93
Calhaus (%)	23	0,00	49,89	19,33	17,80	316,76	0,24	-1,52	92,08	0,45
Cascalho (%)	23	1,36	42,89	20,87	11,52	132,60	-0,01	-0,84	55,19	0,96
Terra Fina (%)	23	28,53	94,58	59,81	22,02	484,86	0,04	-1,42	36,82	0,61
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	23	243,56	707,52	477,43	129,43	16751,92	0,37	-0,35	27,11	0,54
C (%)	23	2,31	4,29	3,19	0,67	0,45	0,34	-1,23	21,05	0,74
Camada 0,1-0,2 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	17	56,31	764,63	224,46	185,42	34380,81	1,79	3,54	82,61	0,30
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	17	0,98	1,42	1,22	0,11	0,01	-0,15	1,07	8,57	0,84
Pt	17	0,54	0,73	0,60	0,04	0,00	1,95	5,38	7,13	0,31
Macroporosidade	17	0,14	0,32	0,20	0,04	0,00	1,47	2,73	22,20	0,34
Microporosidade	17	0,36	0,44	0,40	0,02	0,00	0,27	-0,49	5,27	0,97
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	23	183,52	297,00	255,39	32,65	1066,27	-0,74	-0,52	12,79	0,44
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	23	325,61	466,79	402,48	35,51	1260,96	0,03	-0,38	8,82	0,96
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	23	270,50	411,32	342,13	33,05	1092,62	-0,10	0,16	9,66	0,98
Calhaus (%)	23	0,00	61,82	26,69	20,59	423,86	0,14	-1,01	77,14	0,62
Cascalho (%)	23	0,27	59,66	25,36	14,80	219,12	0,44	-0,10	58,36	1,00
Terra Fina (%)	23	16,27	99,73	47,95	25,35	642,81	0,85	-0,47	52,88	0,42
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	23	334,17	1124,37	694,44	234,94	55197,32	0,20	-1,15	33,83	0,92
C (%)	23	1,97	4,06	2,77	0,63	0,40	0,43	-1,04	22,86	0,65

\*Número de observações, <sup>(1)</sup>Assimetria, <sup>(2)</sup>Curtose, <sup>(3)</sup>Coefficiente de variação, <sup>(4)</sup>Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, <sup>(5)</sup>profundidade do contato lítico em metros e <sup>(ns)</sup>não significativo.

**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos descritivos dos atributos dos Neossolos Regolíticos estudados para as duas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m do solo sob campo nativo do rebordo no Planalto Meridional, RS.

Atributo	Estatística descritiva									d <sup>(4)</sup>
	Nº obs.*	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	As. <sup>(1)</sup>	Cur. <sup>(2)</sup>	CV% <sup>(3)</sup>	
Elevação (m)	21	224,60	230,56	227,63	1,44	2,08	0,22	0,34	0,63	0,63
Cap. Inf. (mm h <sup>-1</sup> )	21	12,49	248,23	76,97	53,09	2818,27	1,72	4,39	68,98	0,83
Esp. do A (m)	21	0,04	0,25	0,15	0,06	0,00	-0,16	-1,12	44,03	0,49
Esp. do S (m)	21	0,15	0,70	0,52	0,13	0,02	-1,05	2,23	24,93	0,41
Prof. Cont. Lít. <sup>(5)</sup>	21	0,40	0,90	0,67	0,13	0,02	-0,07	-0,65	19,47	0,87
Camada 0-0,1 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	21	53,14	668,81	252,38	176,12	31018,82	0,94	-0,11	69,78	0,38
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	21	1,02	1,38	1,17	0,09	0,01	0,42	0,16	7,72	0,79
Pt	21	0,55	0,66	0,61	0,03	0,00	-0,29	-0,42	5,18	0,92
Macroporosidade	21	0,11	0,27	0,18	0,04	0,00	0,24	-0,50	23,01	1,00
Microporosidade	21	0,36	0,47	0,42	0,03	0,00	-0,08	0,84	5,92	0,73
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	21	167,75	294,05	230,49	36,10	1303,42	-0,02	-1,01	15,66	0,95
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	21	375,25	510,30	442,48	37,99	1443,04	-0,27	-0,68	8,59	0,96
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	21	282,53	357,62	327,04	25,14	632,04	-0,60	-0,95	7,69	0,79
Calhaus (%)	21	0,00	42,83	17,28	16,32	266,32	0,34	-1,51	94,42	0,45
Cascalho (%)	21	2,48	48,99	20,24	10,77	115,96	0,90	1,28	53,20	0,96
Terra Fina (%)	21	25,70	97,52	62,47	22,10	488,42	0,12	-1,37	35,38	0,77
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	21	225,43	696,65	434,80	113,22	12818,17	0,30	0,14	26,04	0,99
C (%)	21	2,21	3,93	2,94	0,47	0,22	0,36	-0,55	15,93	0,83
Camada 0,1-0,2 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	18	44,12	1087,58	240,75	245,05	60048,94	2,68	8,60	101,78	0,23
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	18	1,12	1,35	1,25	0,06	0,00	-0,15	-0,05	4,95	1,00
Pt	18	0,54	0,73	0,59	0,04	0,00	2,00	5,91	7,38	0,48
Macroporosidade	18	0,15	0,29	0,19	0,04	0,00	0,63	0,31	20,02	0,93
Microporosidade	18	0,37	0,45	0,40	0,02	0,00	0,71	-0,02	5,43	0,35
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	21	207,44	314,51	250,97	34,28	1175,41	0,45	-0,97	13,66	0,83
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	21	333,91	473,50	404,65	35,54	1263,23	-0,02	-0,20	8,78	1,00
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	21	293,80	379,39	344,39	26,59	707,08	-0,46	-0,92	7,72	0,84
Calhaus (%)	21	0,00	49,97	19,65	15,84	250,95	0,16	-0,97	80,62	0,52
Cascalho (%)	21	3,43	52,50	27,35	12,90	166,52	0,16	-0,18	47,17	0,96
Terra Fina (%)	21	22,97	96,57	53,00	22,34	499,09	0,62	-0,56	42,15	0,71
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	21	312,43	881,51	579,28	158,33	25066,98	0,26	-0,83	27,33	0,96
C (%)	21	1,71	3,13	2,44	0,35	0,12	-0,04	0,02	14,27	0,78

\*Número de observações, <sup>(1)</sup>Assimetria, <sup>(2)</sup>Curtose, <sup>(3)</sup>Coefficiente de variação, <sup>(4)</sup>Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, <sup>(5)</sup>profundidade do contato lítico em metros e <sup>(ns)</sup>não significativo.

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos descritivos dos atributos dos Cambissolos estudados para as duas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m do solo sob campo nativo do rebordo no Planalto Meridional, RS.

Atributo	Estatística descritiva									d <sup>(4)</sup>
	Nº obs.*	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	As. <sup>(1)</sup>	Cur. <sup>(2)</sup>	CV% <sup>(3)</sup>	
Elevação (m)	5	225,51	228,45	226,71	1,15	1,32	0,80	0,50	0,51	0,95
Cap. Inf. (mm h <sup>-1</sup> )	5	4,14	212,69	71,44	81,91	6708,87	1,84	3,73	114,66	0,49
Esp. do A (m)	5	0,04	0,50	0,23	0,17	0,03	0,84	0,99	75,24	0,89
Esp. do S (m)	5	0,00	0,60	0,20	0,23	0,05	1,81	3,65	118,03	0,64
Prof. Cont. Lít. <sup>(5)</sup>	5	0,46	0,90	0,69	0,20	0,04	0,11	-2,58	28,55	0,94
Camada 0-0,1 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	5	55,12	277,79	153,51	100,88	10177,45	0,47	-2,73	65,72	0,93
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	5	1,07	1,28	1,20	0,09	0,01	-0,74	-1,38	7,37	0,95
Pt	5	0,59	0,68	0,62	0,04	0,00	1,30	1,42	6,00	0,97
Macroporosidade	5	0,12	0,22	0,16	0,04	0,00	1,33	1,66	25,11	0,97
Microporosidade	5	0,43	0,50	0,46	0,03	0,00	0,12	-2,35	6,43	0,99
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	5	232,32	363,99	274,92	53,09	2818,38	1,60	2,74	19,31	0,81
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	5	357,50	486,26	424,24	47,25	2232,35	-0,22	0,74	11,14	1,00
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	5	278,51	327,61	300,85	21,92	480,41	0,25	-2,55	7,29	0,98
Calhaus (%)	5	0,00	16,67	3,33	7,45	55,57	2,24	5,00	223,61	0,21
Cascalho (%)	5	5,45	29,02	13,97	9,91	98,12	1,08	-0,25	70,92	0,77
Terra Fina (%)	5	54,31	94,55	82,70	16,71	279,16	-1,76	2,97	20,20	0,78
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	5	294,30	479,16	365,35	68,99	4760,22	1,38	2,70	18,88	0,79
C (%)	5	2,06	3,20	2,61	0,49	0,24	-0,16	-2,29	18,77	0,94
Camada 0,1-0,2 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	5	52,40	386,51	164,42	132,08	17445,22	1,61	2,86	80,33	0,75
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	5	1,16	1,32	1,23	0,06	0,00	1,05	2,36	4,70	0,78
Pt	5	0,54	0,58	0,56	0,02	0,00	-0,29	-2,66	2,90	0,95
Macroporosidade	5	0,15	0,17	0,16	0,01	0,00	1,81	3,67	5,92	0,55
Microporosidade	5	0,39	0,43	0,41	0,02	0,00	1,09	0,30	4,12	0,97
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	5	257,98	352,81	309,40	36,34	1320,37	-0,48	-0,28	11,74	0,98
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	5	345,04	450,92	382,57	41,78	1745,52	1,37	2,10	10,92	0,75
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	5	291,09	327,74	308,03	18,49	341,97	0,37	-3,11	6,00	0,90
Calhaus (%)	5	0,00	24,27	5,44	10,60	112,38	2,16	4,70	194,94	0,42
Cascalho (%)	5	7,40	45,50	22,52	14,75	217,55	1,02	0,98	65,50	0,99
Terra Fina (%)	5	30,23	92,60	72,04	24,39	594,82	-1,79	3,52	33,85	0,67
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	5	381,30	678,53	508,16	120,90	14617,00	0,55	-0,99	23,79	1,00
C (%)	5	2,03	2,46	2,22	0,17	0,03	0,63	-0,69	7,60	0,97

\*Número de observações, <sup>(1)</sup>Assimetria, <sup>(2)</sup>Curtose, <sup>(3)</sup>Coefficiente de variação, <sup>(4)</sup>Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, <sup>(5)</sup>profundidade do contato lítico em metros e <sup>(ns)</sup>não significativo.

**Tabela 5.** Parâmetros estatísticos descritivos dos atributos dos Argissolos estudados para as duas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m do solo sob campo nativo do rebordo no Planalto Meridional, RS.

Atributo	Estatística descritiva									d <sup>(4)</sup>
	Nº obs.*	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	As. <sup>(1)</sup>	Cur. <sup>(2)</sup>	CV% <sub>(3)</sub>	
Elevação (m)	6	225,78	227,97	226,88	0,72	0,52	-0,04	1,14	0,32	0,98
Cap. Inf. (mm h <sup>-1</sup> )	6	10,16	538,58	130,58	201,55	40622,55	2,36	5,66	154,35	0,23
Esp. do A (m)	6	0,20	0,30	0,23	0,04	0,00	1,43	1,39	17,61	0,81
Esp. do S (m)	6	0,00	0,10	0,07	0,04	0,00	-1,67	2,67	53,63	0,84
Prof. Cont. Lít. <sup>(5)</sup>	6	0,80	1,70	1,33	0,36	0,13	-0,53	-1,35	26,69	0,76
Camada 0-0,1 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	6	44,59	690,85	215,93	240,15	57674,14	2,13	4,72	111,22	0,57
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	6	1,08	1,21	1,14	0,05	0,00	0,38	-2,07	4,76	0,74
Pt	6	0,58	0,63	0,60	0,02	0,00	0,28	-0,34	3,34	1,00
Macroporosidade	6	0,10	0,16	0,14	0,02	0,00	-0,93	-0,02	16,92	0,76
Microporosidade	6	0,42	0,48	0,46	0,02	0,00	-0,98	-1,05	5,22	0,50
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	6	214,10	261,58	234,07	19,48	379,64	0,34	-1,92	8,32	0,85
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	6	393,39	522,39	452,56	46,54	2165,89	0,21	-0,34	10,28	1,00
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	6	256,64	359,67	313,37	43,81	1919,06	-0,64	-1,80	13,98	0,84
Calhaus (%)	6	0,00	9,62	1,60	3,93	15,43	2,45	6,00	244,95	0,11
Cascalho (%)	6	3,64	20,78	13,42	7,14	50,99	-0,30	-2,10	53,23	0,87
Terra Fina (%)	6	72,32	96,36	84,98	9,18	84,28	-0,15	-1,59	10,80	0,97
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	6	276,18	442,92	373,44	55,94	3129,24	-0,99	1,85	14,98	0,93
C (%)	6	2,80	3,62	3,13	0,31	0,10	0,60	-0,54	10,07	1,00
Camada 0,1-0,2 m										
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	6	46,47	196,09	120,33	55,81	3114,90	-0,11	-1,05	46,38	1,00
Ds. (g cm <sup>-3</sup> )	6	1,14	1,33	1,22	0,08	0,01	0,90	-1,78	6,87	0,50
Pt	6	0,50	0,59	0,56	0,03	0,00	-1,04	-0,49	5,79	0,68
Macroporosidade	6	0,12	0,19	0,16	0,03	0,00	-1,04	0,60	15,69	0,88
Microporosidade	6	0,33	0,42	0,40	0,03	0,00	-2,08	4,44	8,76	0,65
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	6	240,07	322,29	278,68	32,24	1039,28	0,35	-1,50	11,57	0,99
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	6	340,73	491,56	417,06	47,87	2291,41	-0,08	2,38	11,48	0,62
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	6	240,63	336,98	304,26	38,92	1514,54	-1,02	-0,28	12,79	0,86
Calhaus (%)	6	0,00	6,27	1,04	2,56	6,55	2,45	6,00	244,95	0,11
Cascalho (%)	6	3,84	55,29	18,71	19,07	363,53	1,85	3,67	101,89	0,77
Terra Fina (%)	6	38,45	96,16	80,24	21,49	461,75	-1,97	4,14	26,78	0,67
RP (kgf cm <sup>-2</sup> )	6	482,79	573,41	513,60	33,52	1123,37	1,38	1,56	6,53	0,91
C (%)	6	1,90	3,88	2,54	0,70	0,50	1,70	3,47	27,71	0,55

\*Número de observações, <sup>(1)</sup>Assimetria, <sup>(2)</sup>Curtose, <sup>(3)</sup>Coefficiente de variação, <sup>(4)</sup>Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, <sup>(5)</sup>profundidade do contato lítico em metros e <sup>(ns)</sup>não significativo.



Na tabela 4, referente aos Cambissolos Háplicos, o atributo cascalho das camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m apresentou CV de 70,92 e 65,50%, respectivamente, demonstrando também a alta variabilidade para este atributo, o que não foi observado nos Neossolos. Analisando os atributos separados por camadas observa-se uma menor variabilidade para vários atributos (CV < 12%), destacando a porosidade total que apresentou os menores valores de CV, sendo o menor valor observado na camada 0,1-0,2m dos Cambissolos, com 2,90%, seguido do valor 3,34% na camada 0-0,1m dos Argissolos (Tabela 5).

A análise estatística descritiva dos atributos para a classe dos Argissolos mostra que mesmo com um número pequeno de indivíduos, em uma classe de solo mais desenvolvida e homogênea, é observado uma elevada dispersão dos dados para as variáveis capacidade de infiltração, Ks, cascalho e calhaus indicados pelos CV acima de 100%. Para a capacidade de infiltração nos Argissolos foi observado valor mínimo de 10,16 mm h<sup>-1</sup> e valor máximo de 538,58 mm h<sup>-1</sup>, demonstrando a amplitude e dispersão entre os dados deste atributo.

### **Análise de correlação simples**

Na tabela 6 são apresentados os resultados da correlação simples entre alguns atributos morfológicos e físicos com a capacidade de infiltração de água e a Ks de todos os pontos amostrados. Alguns atributos apresentaram correlação nula, como é o caso da capacidade de infiltração e espessura do saprolito e na camada de 0,1-0,2m entre a capacidade de infiltração e microporosidade. O maior valor observado foi de 0,75 entre macroporosidade e Ks na camada 0-0,1m, assim como, na camada 0,1-0,2 a Ks apresentou valores semelhantes com macroporosidade(0,70) e porosidade total(0,71).

Na perspectiva de obter maior detalhamento e um número maior de atributos com correlação significativa foi realizada a análise de correlação simples em grupos com amostras da mesma classe de solo, apresentados nas tabelas 7, 8, 9 e 10. Nota-se na tabela 7, dos Neossolos Litólicos, que o principal atributo a correlacionar-se positivamente com a Ks é a macroporosidade, com 0,86 na camada 0-0,1m e de 0,71 na camada 0,1-0,2m.

Já a capacidade de infiltração apresentou correlação positiva com alguns atributos, na camada 0-0,1m com o atributo porosidade total teve 0,54 de correlação, argila e macroporosidade com 0,48 e calhaus 0,47. Na camada 0,1-0,2m o atributo calhaus apresentou 0,53 de correlação com a capacidade de infiltração, sendo o mais expressivo da camada.

**Tabela 6.** Correlação entre atributos morfológicos e físico-hídricos do solo considerando todos os pontos amostrados e as duas camadas avaliadas.

Atributo	Camada 0-0,1m		Camada 0,1-0,2m	
	Cap. Infiltração	Ks	Cap. Infiltração	Ks
Espessura do horizonte A	-0,16	0,13	-0,06	-0,19
Espessura do saprolito	0,00	0,13	-0,02	0,02
Profundidade do contato lítico	0,03	-0,09	0,13	-0,25
Ks	0,21	-	0,02	-
Densidade do solo	-0,19	-0,43	0,14	-0,11
Porosidade total	0,19	0,43	-0,04	0,71
Macroporosidade	0,31	0,75	-0,04	0,70
Microporosidade	-0,21	-0,59	0,00	0,04
Argila	0,30	0,15	0,18	0,09
Areia	-0,02	0,01	0,06	0,08
Terra fina	-0,23	-0,52	0,68	-0,36
Calhaus	0,25	0,50	-0,05	0,30
Cascalho	0,09	0,32	0,06	0,26
Carbono	0,06	0,37	-0,10	0,40
RP	0,30	0,46	0,07	0,33

**Tabela 7.** Correlação entre atributos morfológicos e físico-hídricos dos Neossolos Litólicos nas duas camadas avaliadas.

Variável	Camada 0-0,1m		Camada 0,1-0,2m	
	Cap. Infiltração	Ks	Cap. Infiltração	Ks
Espessura do horizonte A	-0,28	-0,31	-0,28	0,03
Espessura do saprolito	-0,12	-0,14	-0,12	-0,42
Profundidade do contato lítico	-0,30	-0,34	-0,30	-0,44
Ks	0,36	-	0,33	-
Densidade do solo	-0,42	-0,37	-0,29	-0,45
Porosidade total	0,54	0,39	0,35	0,53
Macroporosidade	0,48	0,86	0,36	0,71
Microporosidade	-0,16	-0,80	-0,04	-0,40
Argila	0,48	0,30	0,26	0,17
Areia	-0,14	0,06	0,02	0,37
Terra fina	-0,38	-0,58	-0,35	-0,20
Calhaus	0,47	0,57	0,53	0,14
Cascalho	0,00	0,23	-0,13	0,16
Carbono	0,29	0,47	0,34	0,53
RP	0,39	0,52	0,39	0,06

Na tabela 8, encontram-se os valores de correlação para os Neossolos Regolíticos. Assim como anteriormente, no geral a macroporosidade se destacou positivamente em correlação aos atributos capacidade de infiltração e Ks. No entanto, a capacidade de infiltração apresentou 0,75 de correlação com a resistência a penetração do solo e 0,70 com calhaus na camada 0-0,1m com valores superiores a macroporosidade (0,60). Também foi

observada elevada correlação da Ks com a macroporosidade, valores de 0,85 na camada 0-0,1m e 0,75 na camada 0,1-0,2m.

**Tabela 8.** Correlação entre atributos morfológicos e físico-hídricos dos Neossolos Regolíticos nas duas camadas avaliadas.

Variável	Camada 0-0,1m		Camada 0,1-0,2m	
	Cap. Infiltração	Ks	Cap. Infiltração	Ks
Espessura do horizonte A	-0,56	-0,65	-0,56	-0,63
Espessura do saprolito	0,34	0,39	0,34	0,03
Profundidade do contato lítico	0,06	0,07	0,06	-0,27
Ks	0,60	-	0,34	-
Densidade do solo	-0,35	-0,74	0,21	0,17
Porosidade total	0,45	0,67	0,42	0,86
Macroporosidade	0,61	0,85	0,53	0,75
Microporosidade	-0,45	-0,59	-0,11	0,40
Argila	0,11	0,31	-0,22	0,33
Areia	-0,06	-0,19	0,16	-0,08
Terra fina	-0,66	-0,52	-0,43	-0,51
Calhaus	0,70	0,51	0,24	0,34
Cascalho	0,29	0,29	0,44	0,44
Carbono	0,28	0,43	0,24	0,50
RP	0,75	0,53	0,34	0,62

Na classe dos Cambissolos, tabela 9, a correlação entre a macroporosidade e a Ks na camada 0-0,1m foi de 0,91, sendo este comportamento diferente na camada 0,1-0,2m, onde foi verificado valor de 0,12. Com a capacidade de infiltração houve correlação positiva e significativa com os atributos argila da camada 0-0,1m, macroporosidade da camada 0,1-0,2m e com a profundidade do contato lítico.

A análise de correlação na classe de Argissolos (Tabela 10) possibilitou identificar correlação positiva com um atributo morfológico que não havia se correlacionado anteriormente na análise das demais classes de solo, a espessura do horizonte A. Este atributo morfológico teve correlação de 0,79 com a Ks na camada 0-0,1m e de 0,50 na camada 0,1-0,2m.

**Tabela 9.** Correlação entre atributos morfológicos e físico-hídricos dos Cambissolos nas duas camadas avaliadas.

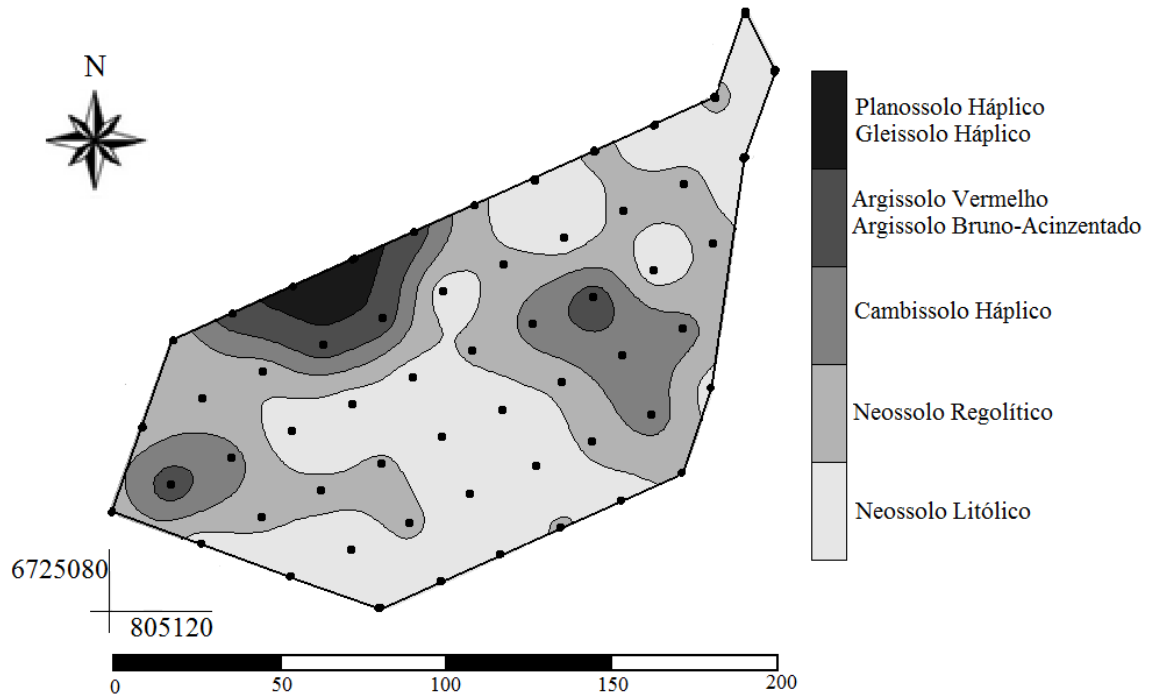
Variável	Camada 0-0,1m		Camada 0,1-0,2m	
	Cap. Infiltração	Ks	Cap. Infiltração	Ks
Espessura do horizonte A	0,09	-0,65	0,09	0,78
Espessura do saprolito	-0,07	-0,14	-0,07	-0,60
Profundidade do contato lítico	0,72	-0,02	0,72	-0,04
Ks	0,31	-	-0,12	-
Densidade do solo	0,31	-0,53	0,20	-0,20
Porosidade total	-0,61	0,42	0,11	0,49
Macroporosidade	-0,09	0,91	0,97	0,12
Microporosidade	-0,63	-0,69	-0,43	0,41
Argila	0,83	0,52	0,49	0,56
Areia	-0,62	-0,71	-0,32	-0,31
Terra fina	0,45	-0,69	0,44	0,35
Calhaus	-0,46	0,69	-0,35	-0,10
Cascalho	-0,41	0,64	-0,47	-0,51
Carbono	-0,76	0,01	-0,56	0,56
RP	-0,73	0,41	0,10	-0,15

**Tabela 10.** Correlação entre atributos morfológicos e físico-hídricos dos Argissolos nas duas camadas avaliadas.

Variável	Camada 0-0,1m		Camada 0,1-0,2m	
	Cap. Infiltração	Ks	Cap. Infiltração	Ks
Espessura do horizonte A	-0,36	0,79	-0,36	0,50
Espessura do saprolito	-0,20	0,29	-0,20	0,26
Profundidade do contato lítico	-0,37	0,25	-0,37	0,36
Ks	-0,22	-	-0,72	-
Densidade do solo	0,11	-0,40	0,58	-0,33
Porosidade total	0,02	0,25	-0,42	0,18
Macroporosidade	0,51	-0,05	-0,85	0,54
Microporosidade	-0,50	0,25	0,23	-0,22
Argila	0,77	-0,43	0,56	-0,69
Areia	0,20	0,24	-0,08	0,42
Terra fina	-0,29	-0,31	-0,08	0,16
Calhaus	-0,16	-0,21	-0,16	-0,02
Cascalho	0,46	0,51	0,12	-0,18
Carbono	-0,42	0,05	-0,33	0,12
RP	0,60	-0,36	0,84	-0,28

**Distribuição das classes de solos**

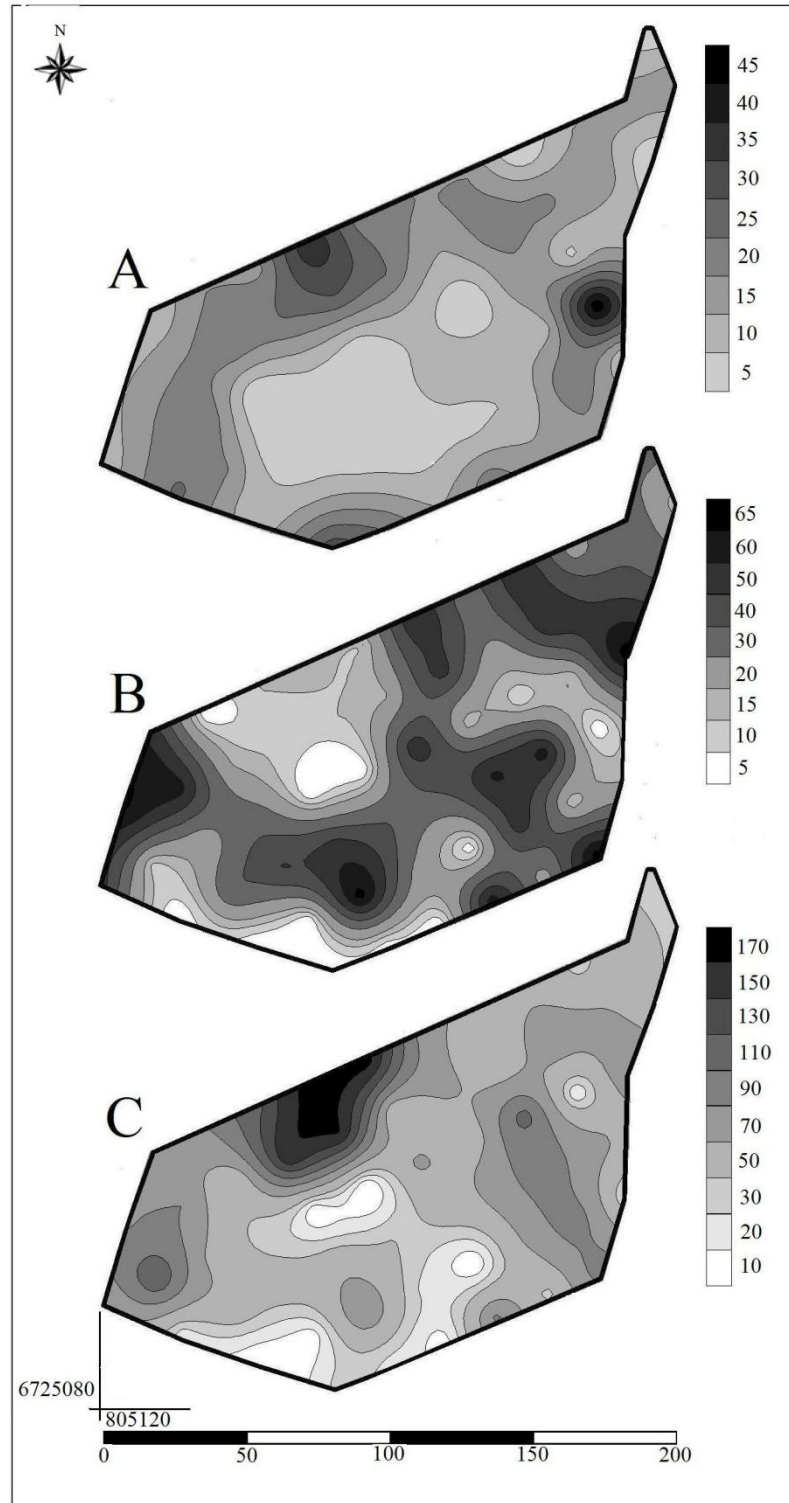
Para demonstrar a elevada heterogeneidade observada na área de estudo, foi construído, através de krigagem, um mapa de distribuição de classes de solos (Figura 2). É evidente a elevada variabilidade das classes de solos, considerando a ocorrência de 5 classes bem distintas em uma área de apenas 2 hectares. É perceptível o predomínio de Neossolos, seguidos pelos Cambissolos, com alguns pontos apresentando ainda Argissolos, Planossolos e Gleissolos.



**Figura 2.** Mapa da distribuição das classes de solo. Escala gráfica em metro.

### Distribuição dos atributos morfológicos

A figura 3, exibe a distribuição da profundidade do horizonte A (A), a espessura da camada saprolítica (B) e a profundidade do contato lítico (C). A análise destes mapas permite uma percepção visual detalhada da variabilidade morfológica das classes de solos constatadas na figura 2. Em relação a espessura do horizonte A, os dados mostram variação de 5 a 45 cm, sendo que a porção central da área de estudo apresentou menor profundidade, associada a presença de Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos.



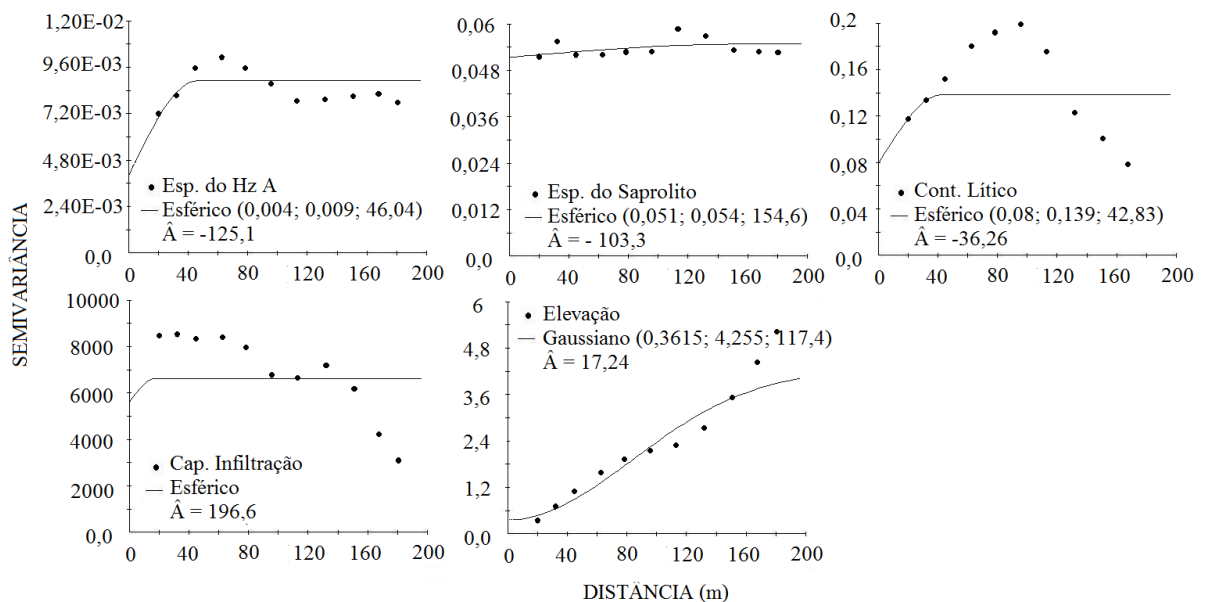
**Figura 3.** Mapas tridimensionais da profundidade do horizonte A (A), espessura da camada saprolítica (B) e profundidade do contato lítico (C). Escala gráfica em metro e legenda em centímetros.

No mapa de espessura da camada saprolítica pode-se observar uma variação de 5 a 65 cm. As maiores espessuras de saprolito estão associadas aos Neossolos Regolíticos e aos Cambissolos. As menores espessuras estão associadas aos Neossolos Litólicos. A profundidade do contato lítico variou de 10 a 170 cm, sendo as menores profundidades

associadas aos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos. As maiores profundidades do contato lítico estão associadas aos solos mais desenvolvidos como Argissolos e Planossolos/Gleissolos. Outra informação importante deste mapa é que aproximadamente 70% da área de estudo apresenta contato lítico dentro de 50 cm de profundidade.

### Análise geoestatística

A análise geoestatística foi realizada para todos os atributos sem distinção em grupos de classes de solo. As figuras 4, 5 e 6 apresentam os semivariogramas experimentais, ajustados pelo modelo que apresentou o menor valor no Critério de Informação de Akaike – AIC. Os semivariogramas permitiram verificar a presença de dependência espacial nos atributos analisados, exceção do calhaus que não apresentou normalidade dos dados. O comportamento padrão do semivariograma, baseado nos princípios das variáveis regionalizadas (MATHERON, 1963), deveria ter um aumento na semivariância conforme aumenta a distância, até o momento em que a variação não é mais constatada pelo acréscimo na distância (VIEIRA, 2000).



**Figura 4.** Semivariogramas experimentais simples, modelos matemáticos ajustados (efeito pepita; patamar; alcance (m)) e Critério de Informação de Akaike – AIC ( $\hat{A}$ ) dos atributos espessura do horizonte A (Esp. do Hz A), espessura do saprolito (Esp. do Saprolito), contato lítico (Cont. Lítico) e capacidade de infiltração (Cap. Infiltração).

Na figura 4 estão representados os semivariogramas dos atributos morfológicos, da capacidade de infiltração e da elevação. Observando os semivariogramas, percebe-se que apenas o atributo capacidade de infiltração não se ajustou ao modelo do semivariograma, neste semivariograma a semivariância inicial foi elevada, entre 800 e 850, e o aumento da distância reduziu os valores de semivariância, demonstrando um comportamento oposto ao comportamento padrão de semivariogramas. Para os demais atributos, têm-se um aumento da semivariância com a distância até o momento em que esta semivariância oscila, a maior distância observada indica o alcance da dependência espacial, para a espessura do horizonte A foi observado 46,04 m de alcance, espessura do saprolito com 154,6 m, contato lítico 42,83 m e para elevação alcance de 117,4m.

As figuras 5 e 6, apresentam os semivariogramas dos atributos analisados da camada 0-0,1m e 0,1-0,2 m, respectivamente. Na camada 0-0,1m apenas os atributos areia, silte, cascalho e carbono orgânico não apresentaram dependência espacial. Nota-se que para o silte e cascalho existe um comportamento de aumento de semivariância com a distância, no entanto, baseado no critério de AIC, este modelo matemático representado nos semivariogramas foi o melhor e, no entanto, não verificou dependência.

O cascalho, por exemplo, apresenta semivariância inicial em torno de 80 e com aumento de distância a semivariância passa a 120, no entanto, seu comportamento geral não possibilitou identificar a distância em que não há mais aumento na semivariância. Assim como, o semivariograma do carbono orgânico mostra que a sua semivariância oscila em torno de 0,32 mesmo aumentando a distância. Para os atributos com dependência espacial o maior valor de alcance foi observado para a argila com 77,7 m e o menor para o atributo Ks com 28,02 m.

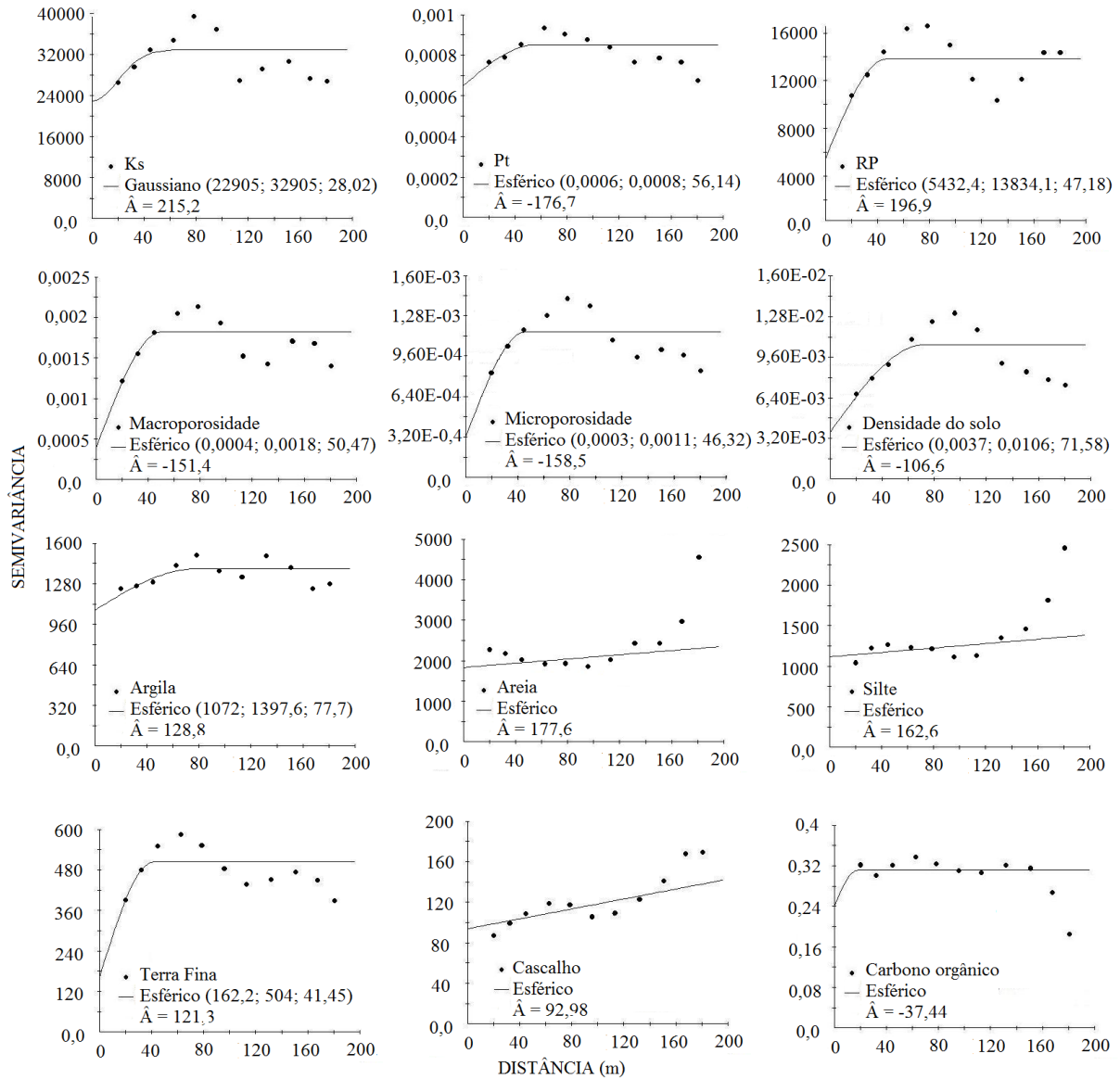
Nos semivariogramas da camada 0,1-0,2m, podemos destacar que a dependência espacial foi constatada para o atributo RP com alcance de 26,83m, macroporosidade com 15,46 m, argila 40,66 m e terra fina 45,71 m. O restante dos atributos não apresentaram dependência espacial.

Nas figuras 8 e 9 são apresentados os mapas da distribuição de atributos que apresentaram dependência espacial na amostragem de 20 metros. A malha de amostragem, 20 metros de distância entre pontos, foi eficiente para identificar dependência espacial de um número maior de atributos da camada superficial, 0-0,1m.

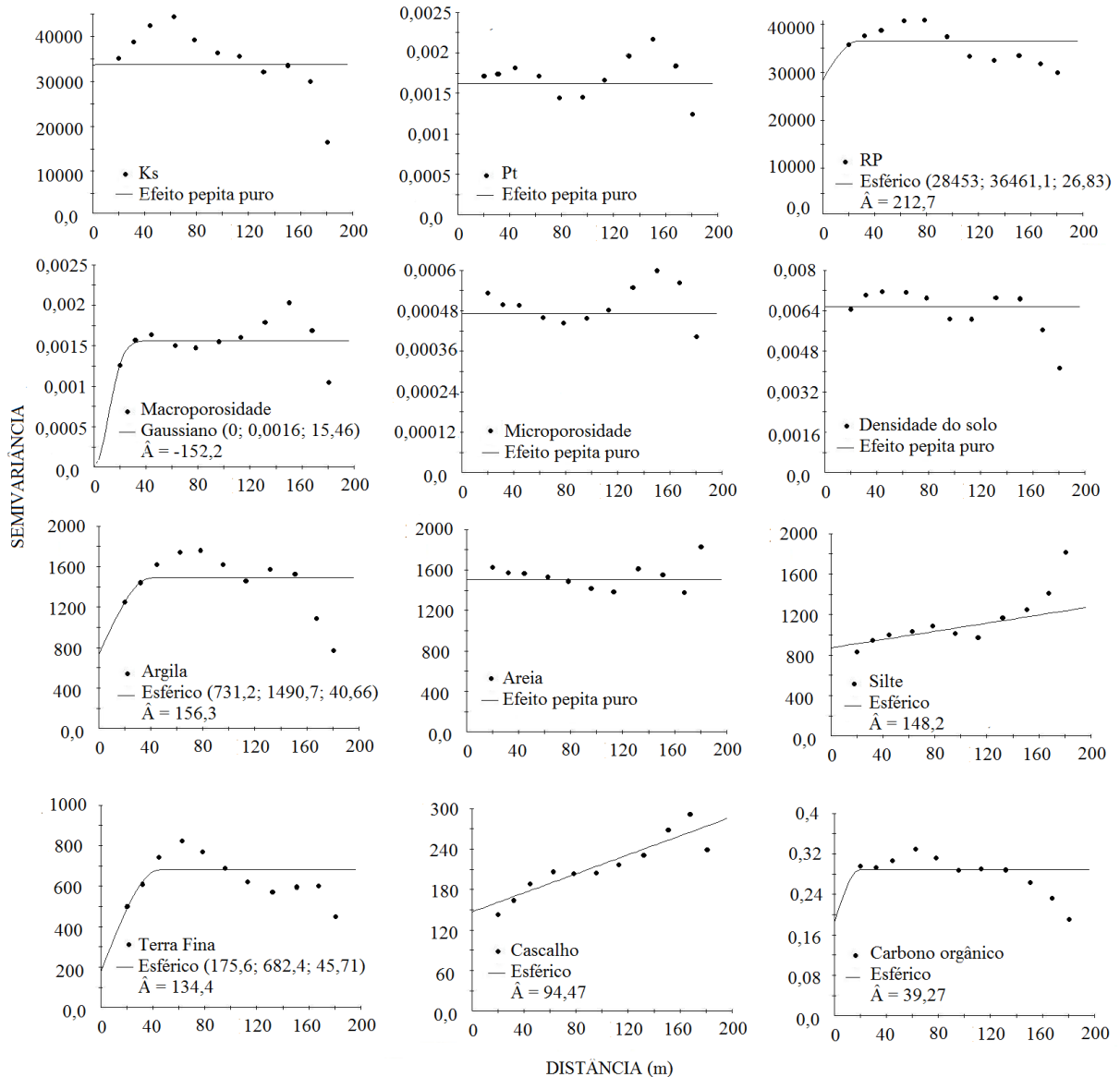
Com a interpolação para geração dos mapas, podemos observar que a maior amplitude nos dados da camada 0-0,1m foi para os atributos Ks oscilando de 150 para 400  $\text{mm.h}^{-1}$  e RP de 350 a 600  $\text{kgf.cm}^{-2}$ , outros atributos como a Ds apresentou pequena variação, de 1,1 a 1,4



$\text{g.cm}^{-3}$ . Esta diferença na variação dos dados é normal, devido a natureza diferente dos atributos e da escala natural de ocorrência.



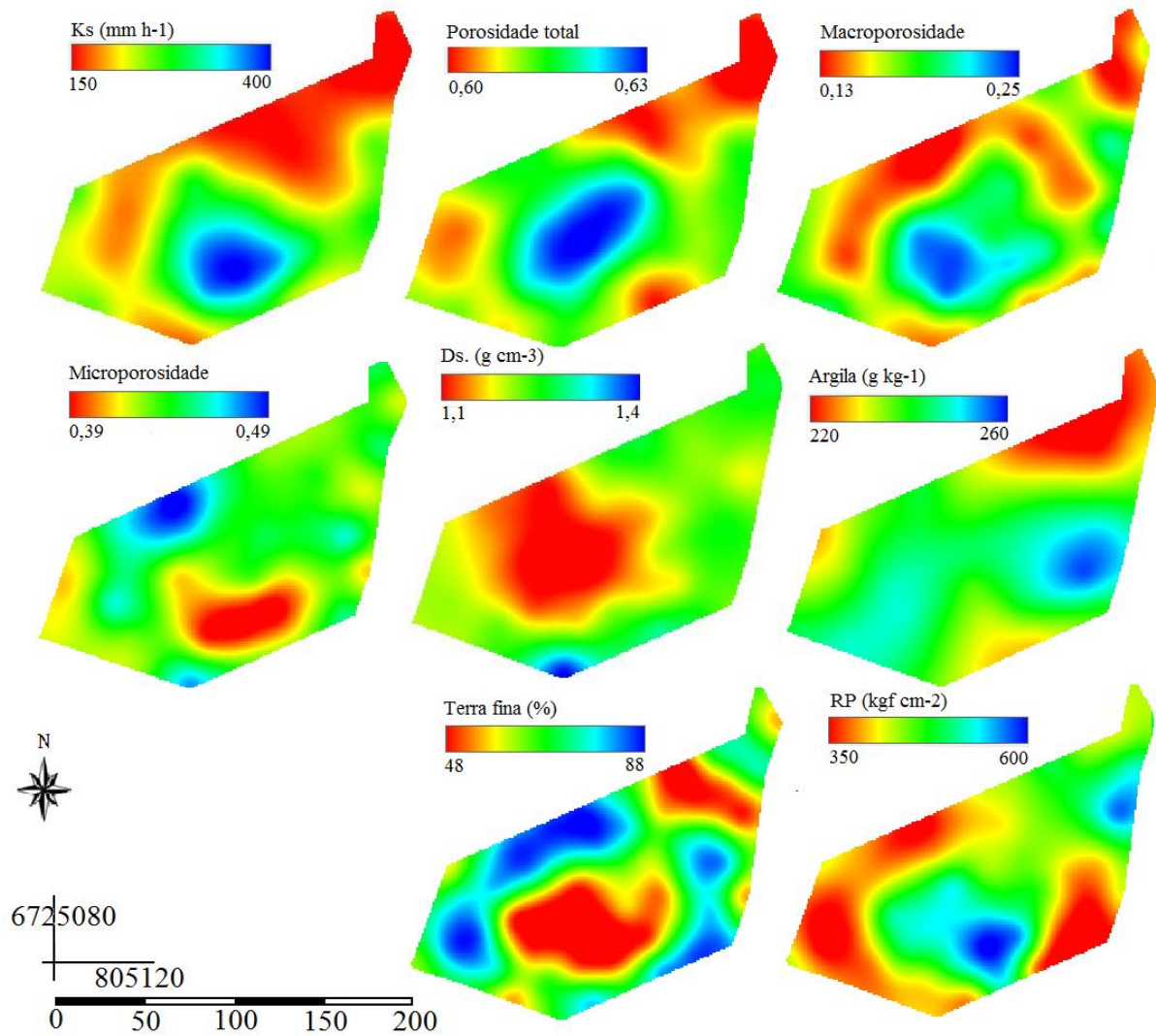
**Figura 5.** Semivariogramas experimentais simples, modelos matemáticos ajustados (efeito pepita; patamar; alcance (m)) e Critério de Informação de Akaike – AIC ( $\hat{A}$ ) dos atributos estudados na camada 0-0,1m.



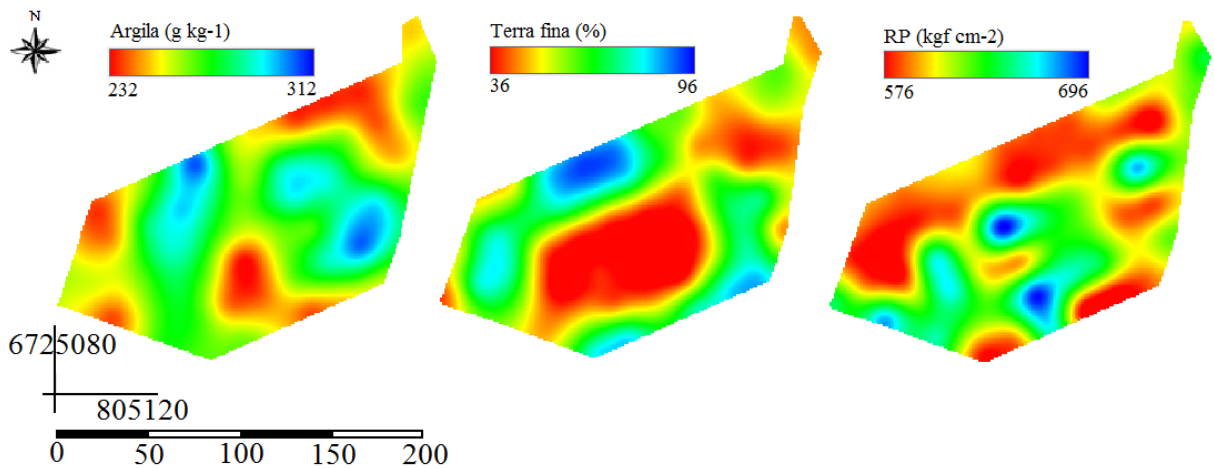
**Figura 6.** Semivariogramas experimentais simples, modelos matemáticos ajustados (efeito pepita; patamar; alcance (m)) e Critério de Informação de Akaike – AIC ( $\hat{A}$ ) dos atributos estudados na camada 0,1-0,2m.

A representação dos mapas demonstra o comportamento dos atributos no espaço conforme o valor de alcance, uma pequena variação nos resultados, pode representar a distinção dentro da área mapeada. A porosidade total varia de 0,60 para 0,63 e apresenta distintas áreas dentro do mapa, assim como, o mapa da terra fina mostra uma maior variação dentro do espaço com uma amplitude de resultados entre 48 para 88%.

Na figura 8, os mapas dos atributos da camada 0,1-0,2m que apresentaram dependência espacial são representados. A macroporosidade não é representada devido o valor de alcance inferior a distância da malha de amostragem.



**Figura 7.** Mapas temáticos para os atributos da camada 0-0,1m que apresentaram dependência espacial na amostragem avaliada.



**Figura 8.** Mapas temáticos para os atributos da camada 0,1-0,2 m que apresentaram dependência espacial na amostragem avaliada.

## DISCUSSÃO

Ficou evidente a diversidade de valores para os atributos estudados, configurando elevada variação inclusive quando a análise foi realizada em grupos de classes de solo. O elevado desvio padrão dos valores de  $K_s$  conferem com os resultados observados por Scherpinski et al. (2010), que relatam a heterogeneidade desta variável física dentro da mesma classe de solo.

A elevada variabilidade dos dados de capacidade de infiltração são reportados por Sturmer et al. (2009) e Pedron et al. (2011). Para estes autores, a infiltração de água em solos rasos depende de um conjunto de variáveis associadas ao solo e a configuração do saprolito ou rocha adjacente ao solo. No entanto, esta elevada variação na infiltração de água também foi observada em solos mais desenvolvidos onde o contato lítico apresenta menor efeito devido a sua maior profundidade.

Na análise geral dos dados e na classe dos Neossolos, a RP apresentou alta variação para as duas profundidades avaliadas. De acordo com o trabalho de Pedron et al. (2010) a RP em Neossolos tende a ser heterogênea devido à elevada variação da profundidade do horizonte A e do grau de alteração da camada saprolítica. A RP é uma variável importante nos solos rasos, pois fornece informação sobre possíveis limitações na infiltração de água e raízes nestes solos (PEDRON et al., 2010). Para os solos mais desenvolvidos, Cambissolos e Argissolos, os menores valores de desvio padrão para a RP, demonstram que nestas classes de solo a variação é menor.

O teste de normalidade, Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 95%, indicou normalidade para a maioria das variáveis das duas camadas avaliadas, exceto para a  $K_s$  e calhaus na camada superficial, Pt e calhaus na camada 0,1-0,2 m e capacidade de infiltração analisando todos os pontos amostrais juntos (Tabela 1). Ao avaliar os grupos de classes de solo separadamente o teste de Kolmogorov-Smirnov mostrou normalidade para todos os atributos. Os valores de assimetria e curtose indicam que algumas variáveis mesmo apresentando normalidade perante o teste de Kolmogorov-Smirnov não são simétricas, como exemplo a densidade do solo na camada superficial e a macroporosidade na camada 0,1-0,2 m (Tabela 1).

Os valores de CV% são um bom indicador de avaliação da dispersão dos dados em torno da média (MIGUEL et al., 2009). O elevado valor do CV% para  $K_s$  pode estar relacionado aos valores do CV% da macroporosidade, pois segundo Mesquita e Moraes

(2004), quando a macroporosidade apresenta CV% acima de 20% espera-se que a Ks apresente CV% maior que 70%, esse comportamento não foi observado na análise dos Cambissolos e Argissolos.

A análise de correlação foi realizada para permitir o entendimento de quais atributos do solo afetam a Ks e capacidade de infiltração. Na análise conjunta de todos os dados, para a camada superficial, somente a macroporosidade apresentou correlação com a Ks ( $r=0,75$ ). Na profundidade de 0,1 a 0,2m, somente a Pt e a macroporosidade foram significativas quando correlacionadas com a Ks, com  $r=0,71$  e  $r=0,70$ , respectivamente. A análise de correlação com o dados agrupados por classes de solos confirmou a correlação positiva com a macroporosidade e Ks, principalmente nas classes de solos rasos, menos desenvolvidos. Para os solos mais desenvolvidos destaca-se a correlação positiva entre a argila e a capacidade de infiltração de água do solo.

Na análise geral dos dados a capacidade de infiltração de água apresentou correlação significativa com a terra fina ( $r=0,68$ ) na profundidade de 0,1 a 0,2 m. Nesta profundidade há uma presença abundante de camadas saprolíticas e líticas nos Neossolos, reduzindo os teores de terra fina. Esperava-se encontrar correlação entre os atributos morfológicos e a Ks e capacidade de infiltração, principalmente nos solos mais rasos como os Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos. No entanto, essa correlação foi verificada somente nas classes dos Cambissolos e Argissolos. Nos Cambissolos, entre Ks da camada de 0-0,1m e a profundidade do horizonte A ( $r=0,78$ ) e entre a capacidade de infiltração e a profundidade do contato lítico ( $r=0,72$ ). Nos Argissolos a correlação encontrada foi entre a Ks na camada de 0-0,1m e a profundidade do horizonte A ( $r=0,79$ ).

Conforme o mapa de solos gerado (figura 2) a área é constituída, predominantemente, de Neossolos Litólicos e Regolíticos com vários núcleos de solos mais desenvolvidos como os Cambissolos, Argissolos e Planossolos/Gleissolos. Por se tratar de um patamar característico da enconsta do Planalto Meridional, estas classes de solos são aquelas esperadas conforme trabalhos de Pedron et al. (2006) e Pedron e Dalmolin (2011), com excessão dos Planossolos e Gleissolos, que se limitam a pequenas porções do terreno onde haja surgência de água ou depressões no terreno. Entretanto, por se tratar de relevo suave ondulado, era esperado a predominância de Argissolos com algumas manchas de Cambissolos, uma vez que os Neossolos predominam nas porções mais declivosas do terreno.

A heterogeneidade das classes de solos afeta a distribuição espacial dos atributos morfológicos e alguns atributos físicos, principalmente, na profundidade de 0,1-0,2m, onde boa parte dos Neossolos Litólicos já apresenta camada saprolítica ou contato lítico. Conforme

a figura 3, existe uma elevada variação nos dados de profundidade do horizonte A, espessura da camada saprolítica e profundidade do contato lítico. Esta variação é elevada entre as diferentes classes de solos e dentro da mesma classe. Desta forma, esperava-se que estas variáveis morfológicas respondessem em parte o comportamento da água no solo, no entanto, como já visto, não houve correlações que evidenciassem um comportamento característico, isso porque solos rasos com horizonte A pouco espesso e contato lítico muito próximo da superfície apresentaram o mesmo comportamento da infiltração de água de Argissolos, os quais apresentam um perfil mais desenvolvido.

A análise geostatística proporcionou identificar o comportamento dos atributos dentro do espaço. A interpretação dos semivariogramas possibilitou identificar a existência de dependência espacial em cada atributo e, quando identificada a dependência espacial foi possível interpolar os valores obtidos em cada ponto e gerar mapas. Na interpretação dos semivariogramas dos atributos morfológicos e da capacidade de infiltração nota-se apenas a capacidade de infiltração de água do solo que não apresentou dependência espacial na malha de 20 metros.

Observou-se que os atributos carbono orgânico, cascalho, areia e silte não apresentaram dependência espacial na amostragem realizada independente da camada analisada. O semivariograma da variável  $K_s$  na camada superficial reforça os resultados da análise descritiva, o elevado valor do efeito pepita é consequência da heterogeneidade dos dados, mesmo assim, o semivariograma ajustado pelo modelo matemático gaussiano apresentou uma dependência espacial de 28,02 metros.

Os atributos da camada superficial, exceto carbono, areia, silte, cascalho e  $K_s$ , apresentaram dependência espacial com ajuste ao modelo matemático esférico, Grego e Vieira (2005) relatam que este é o modelo mais utilizado nos trabalhos em ciência do solo. Para os atributos da camada 0,1 a 0,2 m que apresentaram dependência espacial, argila, terra fina e RP ajustaram-se ao modelo esférico e a macroporosidade ao modelo gaussiano, com os melhores parâmetros e menores valores de AIC. No entanto, o semivariograma da macroporosidade apresentou parâmetro de alcance inferior ao valor da distância da malha de amostragem, não possibilitando a interpolação.

A análise das camadas, mostra que uma pequena distância em profundidade gera uma grande variação no comportamento dos atributos físico-hídricos destes solos. Nos atributos da camada 0,1 a 0,2 m, o esquema amostral foi eficiente apenas para a argila, terra fina e RP que apresentaram dependência espacial, com 40,66; 41,45 e 47,18 metros de alcance, respectivamente. Por outro lado, na camada superficial, a estratégia de amostragem

possibilitou identificar a dependência espacial de um número maior de atributos, exceto para o carbono, areia, silte e cascalho.

O semivariograma da Ks, Ds, Pt, areia e microporosidade do solo da camada 0,1 a 0,2 m apresentaram efeito pepita puro, sendo desconsiderado a dependência espacial devido a alta variação dos dados. Comumente se encontra efeito pepita puro em análises geoestatísticas de atributos do solo, Souza et al. (2006) mostraram efeito pepita puro em dados de RP, enquanto José et al. (2012) encontraram o mesmo resultado para os dados de macroporosidade e microporosidade do solo.

A análise dos mapas da camada superficial, possibilitam identificar uma área em comum que apresenta os maiores valores para Ks, macroporosidade e Pt, além de ter os menores valores de densidade do solo. Para Mesquita e Moraes (2004), a Ks é determinada pela geometria e continuidade dos poros, determinando uma possível correlação entre Ks e macroporosidade o que pode ser observado através dos mapas temáticos.

O comportamento da infiltração de água observado nestes solos rasos foi diferenciado entre perfis da mesma classe, concordando com os dados de Sturmer et al. (2009) que identificou variabilidade entre perfis de Neossolo Regolítico muito semelhantes e mesmo entre repetições no mesmo solo. Esta variação foi atribuída a configuração de fraturas, granulometria, condições de relevo e uso. Neste estudo, os solos amostrados encontram-se em condições de relevo semelhantes e o comportamento da infiltração de água no perfil e Ks não ficaram claros. Os dados deste trabalho, assim como os de Sturmer et al. (2009) e Pedron et al. (2011) sugerem que a infiltração de água no solo apresenta um comportamento multivariado, exigindo o emprego de técnicas estatísticas apropriadas para o seu entendimento.

A variação de classes de solos e de seus atributos morfológicos e físicos indicam a demanda de levantamentos detalhados de solos para o uso racional das terras. A área de estudo faz parte de uma região complexa em termos pedo-geomorfológicos e que apresenta uso intensivo, principalmente, pela agricultura de caráter familiar. A fragilidade destes solos à degradação e a sua capacidade de resposta à produção vegetal são igualmente complexas e demandam conhecimento técnico e acerca da sua distribuição espacial, para que estas áreas sejam manejadas de forma sustentável.

## CONCLUSÕES

1. Os solos das áreas de campo nativo do Rebordo do Planalto Meridional apresentam alta variabilidade espacial de atributos físico-hídricos indicados pelos dados de dispersão, principalmente para os atributos capacidade de infiltração de água, condutividade hidráulica saturada e resistência a penetração, mesmo quando analisados em grupos mais homogêneos, de mesma classe de solo.
2. Na camada 0-0,1 m a condutividade hidráulica saturada só apresentou correlação significativa com a macroporosidade. Na camada 0,1-0,2 m a condutividade hidráulica saturada apresentou correlação significativa com a porosidade total e macroporosidade. Já a capacidade de infiltração de água apresentou correlação significativa com o atributo terra fina da camada 0,1-0,2 m.
3. Os atributos morfológicos como profundidade do horizonte A, espessura da camada saprolítica e profundidade do contato lítico não apresentaram correlação com a capacidade de infiltração de água e nem com a condutividade hidráulica saturada, quando considerado todos os pontos amostrais. No Entanto, quando os dados foram separados por classes de solos, foi verificado correlação significativa e positiva entre  $K_s$  e profundidade do horizonte A para os Argissolos;  $K_s$  e profundidade do horizonte A, capacidade de infiltração e profundidade do contato lítico para os Cambissolos.
4. O grid regular de amostragem em 20 m foi eficiente para identificar a dependência espacial dos atributos: condutividade hidráulica saturada, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, argila, terra fina e RP na camada de 0-0,1 m, e na camada 0,1-0,2 m para argila, terra fina e RP.



## LITERATURA CITADA

AKAIKE, H. Information measures and model selection. **International Statistical Institute**, Voorburg, v. 44, p. 277-291, 1983.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P. et al. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago, 2002.

CICHOTA, R.; LIER, Q. J. V.; ROJAS, C. A. L. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 789-798, 2003.

CLARK, I. The semivariograma - Part 1. **Engineering & Mining Journal**, Overland Park, v. 180, n. 7, p. 90-94. 1979.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V.; V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, 2003.

CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Spatial variability of soil physical attributes and its effects on wheat yield. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1479-1486, 2004.

DONAGEMMA, G. K. et al. (Org.) **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

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

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v. 89, n. 1-2, p. 1-45, 1999.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUEDES FILHO, O. et al. Geostatistical analysis of crop yield maps in a long term no tillage system. **Bragantia**, Campinas, v. 69, supl., p. 9-18, 2010.

HAINING, R.; KERRY, R.; OLIVER, M. A. Geography, spatial data analysis and geostatistics: an overview. **Geographical Analysis**. v. 42, p. 7-31, 2010.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

JOSÉ, J. V. et al. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas de dois Latossolos da região noroeste do estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 208-219, 2012.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150. 2000.

MARCUZZO, S.; PAGEL, S. M.; CHIAPPETTI, M. I. S. **A reserva da biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: situação atual, ações e perspectivas**. São Paulo: Cetesb, 1998. 60 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 617-639, 1986.

MELLO, J. M. de. **Geostatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25-37, 2005.

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

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, 2009.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; POELKING, E. L. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 468-477, 2006.

PEDRON, F. de A. et al. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1941-1950, 2010.

PEDRON, F. de A. et al. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de arenito. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1253-1262, 2011.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D. Solos da região do rebordo do Planalto Meridional no Rio Grande do Sul. In: SCHUMACHER, M. V.; LONGUI, S. J.; BRUM, E. J.; KILCA, R. V. (Org.). **A Floresta Estacional Subtropical**: caracterização e ecologia no rebordo do Planalto Meridional. Santa Maria: s.n., 2011. p. 33-51.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65p.

ROQUE, M. W. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em solos de uma transeção perpendicular a um dreno natural**. 2003. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100 p.

SARTORI, P. L. P. Geologia e geomorfologia de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 38, p.19-42, 2009.

SCHAFFRATH, V. R. et al. Variabilidade e correlação espacial de algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1411-1417, 2008.

SCHERPINSKI, C. et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 07-13, 2010.

SCIPIONI, M. C. et al. Análise fitossociológica de um fragmento de floresta estacional em uma catena de solos no morro do Cerrito, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 457-466, 2012.

SCIPIONI, M. C. et al. Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos na encosta meridional da Serra Geral, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1295-1301, 2010.

SOUZA, J. R., QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 140-144, 1999.

SOUZA, Z. M. et al. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 229-235, 1991.

STÜRMER, S. L. K. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2057-2064, 2009.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.

VIEIRA, S. R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V, et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 1-45.

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advance in soil science**, New York, v. 3, p. 1-70, 1985.

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

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Imagens da área de estudo



A área de estudo é a porção suave ondulada inferior da fotografia. Contraste entre as escarpas e encostas visualizadas na porção superior da fotografia.



Vista lateral do grande patamar onde se encontra a área de estudo, com as escarpas e encostas do rebordo do Planalto Meridional ao fundo.

## APÊNDICE B – Descrição morfológica dos perfis

### Descrição Geral

#### PERFIL – Ponto 08

DATA – 13/06/2013

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805193.0505 S e 6725181.3808 W

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Mal drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A. e LORENSI, J.

### Descrição Morfológica

**A1** 0 – 30 cm; 10YR 3/1,5 (úmido); moderada; blocos angulares e subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; ligeiramente plástico a plástico; ligeiramente pegajoso; raízes abundantes; bioporos de até 2 mm.

**A2** 30 – 48 cm; 10YR 3/2 (úmido); moderada; blocos angulares e subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; ligeiramente plástico a plástico; ligeiramente pegajoso raízes muitas; bioporos de até 1 mm.

**Bt1** 48 – 65 cm; 2,5YR 2,5/2 (úmido); moderada; blocos angulares a subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; plástico; ligeiramente pegajoso a pegajoso; raízes poucas; bioporos de até 1 mm.

**Bt2** 65 – 85 cm; 2,5YR 2,5/3 (úmido); moderada a forte; blocos angulares e subangulares, médio a grandes; transição clara e plana; friável; muito plástico; pegajoso; raízes raras; presença de pequenas concreções.

**Bt3** 85 – 110+ cm; 2,5YR 3/3 (úmido); moderada a forte; blocos angulares e subangulares, médio a pequenos; muito plástico; pegajoso; raízes raras; presença de pequenas concreções.

Obs.: Contato saprolítico – 160 cm.

Contato lítico – 170 cm.

### Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila	
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
		----- g kg <sup>-1</sup> -----										
A1	0-30	0	40	960	190	256	346	208	74	65	1,66	
A2	30-48	-	-	-	204	244	271	280	158	44	0,97	
Bt1	48-65	-	-	-	84	153	253	510	171	67	0,50	
Bt2	65-85	-	-	-	57	156	278	510	118	77	0,54	
Bt3	85-110+	-	-	-	90	170	323	417	137	67	0,77	



Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Al	C org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
			-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----								-----%----	g kg <sup>-1</sup>		
A1	5,4	4,3	6,0	1,5	0,03	0,01	7,6	0,2	4,2	57,7	63	3	21,15	36,46
A2	5,4	4,4	4,7	1,8	0,02	0,01	6,5	0,1	1,9	30,6	76	2	8,84	15,24
Bt1	5,5	4,1	4,5	2,8	0,06	0,01	7,4	0,6	2,7	20,8	70	7	6,31	10,88
Bt2	4,8	3,8	2,8	2,2	0,12	0,01	5,1	2,6	2,8	20,5	49	34	6,79	11,70
Bt3	4,9	3,8	3,1	3,1	0,09	0,01	6,3	1,2	2,1	23,1	65	16	3,40	5,86

## Descrição Geral

### PERFIL – Ponto 09

DATA – 25/04/2013

CLASSIFICAÇÃO – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico típico

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805174.765 S e 6725173.233 W.

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Mal drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A.

## Descrição Morfológica

<b>A</b>	0 – 30 cm; 2,5YR 2/1 (úmido); moderada a fraca; blocos angulares a subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes abundantes; bioporos de até 1 mm.
<b>Bg1</b>	30 – 50 cm; 2,5YR 2,5/1 (úmido); moderada a fraca; blocos angulares a subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes comuns.
<b>Bg2</b>	50 – 80 cm; 2,5YR 3/1 (úmido); moderada a fraca; prismática e blocos angulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes poucas; presença de concreções.
<b>Bg3</b>	80 – 120+ cm; 10YR 3/2 (úmido); moderada; prismática e blocos angulares, médio a pequenos; friável; raízes raras; presença de slickensides.

## Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila	
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
		-----g kg <sup>-1</sup> -----										
A	0-30	0	80	920	197	139	353	312	162	48	1,13	
Bg1	30-50	-	-	-	139	125	274	462	264	43	0,59	
Bg2	50-80	-	-	-	93	99	270	539	263	51	0,50	
Bg3	80-120+	-	-	-	80	134	258	528	311	41	0,49	

Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Al	C Org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
			-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----								-----%-----		g kg <sup>-1</sup>	
A	5,4	4,1	5,8	2,4	0,02	0,02	8,2	0,3	3,8	39,5	67	4	21,53	37,11
Bg1	5,3	3,9	5,1	2,9	0,01	0,03	8,1	1,0	2,0	24,0	73	11	11,96	20,62
Bg2	5,6	4,0	6,3	3,5	0,0	0,04	9,8	0,7	3,3	25,7	71	6	6,36	10,97
Bg3	5,8	5,0	13,7	7,5	0,01	0,07	21,2	0,2	1,0	42,4	95	1	2,83	4,88

## Descrição Geral

### PERFIL – Ponto 10

DATA – 13/06/2013

CLASSIFICAÇÃO – Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805156.4795 S e 6725165.0852 W

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Mal drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A. e LORENSI, J.

## Descrição Morfológica

<b>A1</b>	0 – 18 cm; 10YR 3/1.5 (úmido); fraca; blocos subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes abundantes; bioporos de até 1 mm.
<b>A2</b>	18 – 38 cm; 10YR 3/2 (úmido); moderada; blocos angulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes muitas; bioporos de até 1 mm.
<b>Btg1</b>	38 – 53 cm; 10YR 3/1 (úmido); moderada a forte; prismática e blocos angulares e, grandes a pequenos; transição clara e plana; friável a firme; raízes comuns; bioporos de até 1 mm.
<b>Btg2</b>	53 – 70 cm; 10YR 3/2 (úmido); moderada a forte; prismática e blocos angulares, médio a pequenos; friável; raízes poucas; bioporos ausentes.
<b>Bv</b>	70 – 100+ cm; 10YR 3/3 (úmido); moderada; blocos angulares, médio a grandes; raízes raras; presença de slickensides; bioporos ausentes.

## Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila	
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
		-----g kg <sup>-1</sup> -----										
A1	0-18	0	110	890	248	194	316	241	93	61	1,31	
A2	18-38	-	-	-	107	113	228	551	275	50	0,41	
Btg1	38-53	-	-	-	43	59	173	726	262	64	0,24	
Btg2	53-70	-	-	-	52	87	193	668	242	64	0,29	
Bv	70-100+	-	-	-	65	88	223	625	289	54	0,36	

Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Al	C Org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
			-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----								-----%-----	g kg <sup>-1</sup>		
A1	5,4	4,2	5,5	2,8	0,03	0,02	8,3	0,3	4,1	52,9	64	4	23,67	40,81
A2	5,2	3,8	6,1	3,1	0,02	0,02	9,2	2,2	3,7	27,4	61	19	13,39	23,09
Btg1	4,7	3,6	5,9	2,9	0,01	0,03	8,9	7,0	3,3	26,4	46	44	9,29	16,02
Btg2	4,9	3,5	6,5	3,3	0,01	0,04	9,8	7,6	2,4	29,7	49	44	7,26	12,52
Bv	5,2	3,5	9,8	5,2	0,01	0,04	15,1	4,0	1,9	33,7	72	21	4,90	8,45

## Descrição Geral

### PERFIL – Ponto 33

DATA – 09/05/2013

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805119.4811 S e 6725104.8079 W

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A.

## Descrição Morfológica

**A** 0 – 20 cm; 10YR 2,5/1 (úmido); fraca; blocos subangulares, pequenos a muito pequenos; transição clara e plana; friável; raízes abundantes até 2 mm.

**Bt1** 20 – 40 cm; 10YR 3/2,5 (úmido); moderada; blocos subangulares, médio a pequenos; transição clara e plana; friável; raízes comuns; concreções de até 3 mm (15%).

**Bt2** 40 – 80+ cm; 7,5YR 4/6 (úmido); moderada; blocos angulares e subangulares, médio a pequenos; friável; raízes poucas; concreções de até 3 mm (10%).

Obs.: Contato saprolítico – 100 cm.

Contato lítico – 120 cm.

## Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
-----g kg <sup>-1</sup> -----											
A	0-20	0	80	920	276	227	263	234	74	69	1,12
Bt1	20-40	-	-	-	187	151	176	486	177	64	0,36
Bt2	40-80+	-	-	-	102	152	214	533	68	87	0,40

Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Al	C Org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----										-----%-----	g kg <sup>-1</sup>			
A	5,4	4,1	4,6	2,6	0,04	0,01	7,3	0,5	4,1	50,7	61	6	18,60	32,06
Bt1	5,9	3,9	3,6	1,5	0,01	0,01	5,1	2,6	3,0	21,9	48	34	12,46	21,49
Bt2	4,8	3,7	2,0	1,5	0,01	0,01	3,4	5,1	1,7	19,1	34	60	4,32	7,45

## Descrição Geral

### PERFIL – Ponto 36

DATA – 09/05/2013

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805256.4087 S e 6725143.9255 W

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A.

## Descrição Morfológica

**A** 0 – 10 cm; 2,5YR 2,5/4 (úmido); fraca; blocos subangulares, pequenos a muito pequenos; transição clara e plana; friável; bioporos de até 1 mm; raízes muitas até 2 mm.

**Bi 1** 10 – 20 cm; 2,5YR 3,5/6 (úmido); fraca; blocos subangulares, médio a pequenos; transição abrupta e irregular; friável; raízes muitas.

**S1** 20 – 65 cm; transição abrupta e irregular; material podre com fraturamento, distância entre fraturas 3 cm, fraturas de até 1 mm; argila e raízes nas fraturas, raízes comuns.

**Bi 2** 65 – 75 cm; transição abrupta e irregular; presença de material podre fraturado; raízes raras.

**S2** 75 – 95 cm; transição abrupta e irregular; presença de material podre fraturado; raízes raras.

**S/Bi** 95 – 120+ cm; presença de material podre fraturado; raízes raras

## Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
-----g kg <sup>-1</sup> -----											
A	0-10	0	190	810	175	255	338	232	86	63	1,46
Bi 1	10-20	0	270	730	133	228	309	331	147	56	0,93

Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Al	C Org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----											-----%-----		g kg <sup>-1</sup>	
A	5,7	4,5	5,0	2,7	0,10	0,01	7,8	0,2	3,3	48,4	70	2	19,34	33,35
Bi 1	5,5	4,3	5,8	2,2	0,06	0,01	8,0	0,3	3,1	34,7	70	4	11,77	20,30



## Descrição Geral

### PERFIL – Ponto 47

DATA – 09/05/2013

CLASSIFICAÇÃO – Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário

SITUAÇÃO – Descrito e coletado em trincheira escavada

LOCALIZAÇÃO – Coordenadas UTM: 805230.2518 S e 6725110.3747 W

RELEVO LOCAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE – Não pedregoso e não rochoso

MATERIAL DE ORIGEM – Basalto Serra Geral.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA: Subtropical úmido sem estiagem, da classificação de Maluf.

DESCRITO E COLETADO POR: PEDRON, F. A.; DEOBALD, G. A.

## Descrição Morfológica

**A** 0 – 8 cm; 5YR 3/4 (úmido); pouco estruturado, com predomínio de fragmentos de rocha dura com até 5 cm de diâmetro; bioporos de até 1 mm; transição abrupta e irregular; raízes muitas; presença de cupins

**R** 8 – 45+ cm; raízes poucas, nas fraturas; presença de fraturamento vertical e horizontal; fraturas de até 1 mm; distância ente fraturas 10 cm; não corta, mas quebra com a picareta

## Análises físicas e químicas

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila H <sub>2</sub> O	GF %	Silte/Argila	
Símb.	Prof. cm	Calhau	Casc.	Terra Fina	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
		-----g kg <sup>-1</sup> -----										
A	0-8	440	240	320	98	293	316	293	124	58	1,08	
R	8-45+	600	240	160	91	273	349	286	156	45	1,22	

Hor.	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo								Valor V	Sat. por Al	C Org.	M.O.
	Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T				
			-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----									-----%-----	g kg <sup>-1</sup>	
A	5,2	4,3	5,4	3,3	0,61	0,05	9,4	0,1	7,9	59,5	54	1	42,18	72,72
R	5,3	4,4	5,7	2,7	0,36	0,07	8,8	0,1	6,7	54,5	57	1	33,30	57,40



**P08 - Argissolo Vermelho Eutrófico  
abrúptico**



**P10 - Planossolo Háptico Eutrófico  
vertissólico**



**P09 - Gleissolo Háptico Ta  
Eutrófico típico**



**P33 - Argissolo Bruno-Acinzentado  
Alítico abrúptico**



**P36 - Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico**



**P46 - Neossolo Regolítico Distrófico léptico**



**P47 - Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário**

