

**GUSTAVO EDUARDO PEREIRA**

**IDENTIFICAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE SOLOS COM ALTOS  
TEORES DE AREIA POR RADIOMETRIA EM VACARIA, RS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação  
em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa  
Catarina - UDESC.

**Orientadora:** Dra. Letícia Sequinatto  
**Co-orientador:** Dr. Alexandre ten Caten

**LAGES - SC  
2017**

Pereira, Gustavo Eduardo  
Identificação e espacialização geográfica de solos com altos teores de areia por radiometria em Vacaria, RS. 2017.  
104p.

Orientadora: Letícia Sequinatto  
Bibliografia p. 73-81  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. Pedometria, Levantamento de solos, Geoprocessamento, Refletância. I. Pereira, Gustavo Eduardo. II. Sequinatto, Letícia. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.


**GUSTAVO EDUARDO PEREIRA**

**IDENTIFICAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE SOLOS COM ALTOS  
TEORES DE AREIA POR RADIOMETRIA EM VACARIA, RS**

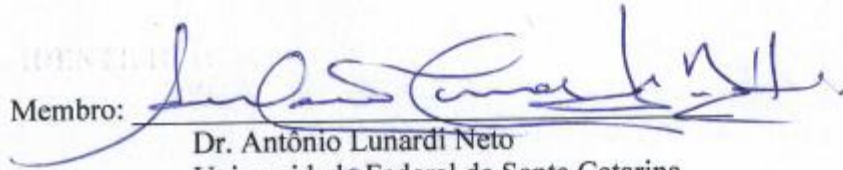
Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

**Banca Examinadora:**


Orientadora:

  
Dra. Letícia Sequinatto  
Universidade do Estado de Santa Catarina

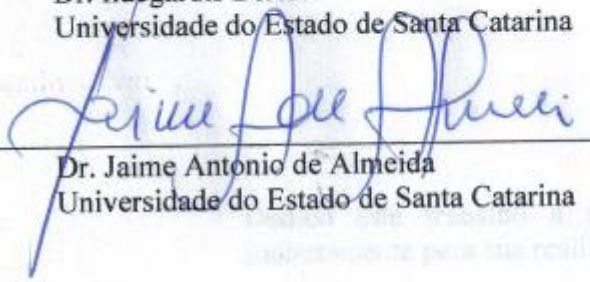
Membro:

  
Dr. Antônio Lunardi Neto  
Universidade Federal de Santa Catarina

Membro:

  
Dr. Ildegardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

  
Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Universidade do Estado de Santa Catarina

**Lages, SC, 17 de fevereiro de 2017.**



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que contribuíram direta ou indiretamente para sua realização.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que possibilitou esta conquista pessoal e profissional. A todos os familiares pela compreensão nos momentos de ausência e pelas infinitas demonstrações de incentivo. A professora Letícia Sequinatto pela orientação, exemplo profissional e confiança. Ao professor Alexandre ten Caten pela introdução a geomática e ao professor Jaime Antonio de Almeida pela colaboração fundamental no projeto de pesquisa e a ambos pelo estímulo, ensino, críticas e sugestões.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa. Ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pela infraestrutura e suporte necessário. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade.

Aos colegas do Museu de Solos e do Laboratório de Gênese e Mineralogia dos Solos, pela disposição, prestatividade e conhecimentos necessários para correta execução das análises.





## RESUMO

PEREIRA, G. E. **IDENTIFICAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE SOLOS COM ALTOS TEORES DE AREIA POR RADIOMETRIA EM VACARIA, RS.** 2017. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

No município de Vacaria/RS a maioria dos solos são desenvolvidos de basalto, com predomínio dos Latossolos e em menor extensão os Nitossolos, com textura argilosa a muita argilosa em todo o perfil. Entretanto, na região oeste do município ocorrem solos com horizontes superficiais com altos teores de areia, sendo esta uma característica incomum, uma vez que não consta na literatura indicações da presença de arenitos, e tampouco de depósitos arenosos holocênicos na região. Com este estudo objetivou-se identificar, caracterizar física e quimicamente, classificar taxonomicamente e mapear a área de ocorrência de solos com altos teores de areia em Vacaria/RS, utilizando ferramentas de espectrorradiometria e softwares de geoprocessamento. A área de estudo foi delimitada com base em pontos de observação obtidos a campo e correspondeu a uma área de 540 km<sup>2</sup>. A partir disso foram selecionados cem pontos de coleta para análises físicas, químicas, espectrais e morfológicas, nos horizontes superficiais, além de seis perfis representativos para descrição completa e classificação. As coletas concentraram-se na região de solos com os maiores teores de areia e em zonas limítrofes a estes onde os solos apresentam textura argilosa. As análises espectrais foram eficientes para distinguir os solos com base nos teores de areia e ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, demonstrando que a radiometria pode ser utilizada em levantamento de solos para reduzir os custos operacionais. Nas áreas onde os solos apresentam os maiores teores de areia na camada superficial predominaram os Latossolos Bruno, enquanto nas adjacências, predominam os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo com horizontes superficiais mais brunados. Com base no levantamento realizado, a área avaliada apresenta solos com características texturais diferenciadas daqueles característicos da região estudada. Os resultados obtidos complementam o conhecimento existente sobre os solos da região e a delimitação da área de ocorrência deve apoiar futuros trabalhos relacionados à gênese, uso, manejo e conservação dos solos com altos teores de areia em Vacaria/RS.

**Palavras-chaves:** Pedometria, Levantamento de solos, Geoprocessamento, Refletância.



## **ABSTRACT**

**PEREIRA, G.E. IDENTIFICATION AND GEOGRAPHIC SPACIALIZATION OF SOILS WITH HIGH CONTENT OF SAND BY RADIOMETRY IN VACARIA, RS.** 2017. 104 p. Thesis (Master degree in Soil Science) - University of the State of Santa Catarina - Program in Soil Science, Lages, 2017.

In the municipality of Vacaria/RS most of the soils are developed from basalt, with predominance of the Latossolos and to a lesser extent the Nitossolos, which have a clayey texture to a very clayey throughout the profile. However, in the western part of the municipality, there is an expressive area where soils with superficial horizons with high sand contents predominate, being an unusual feature, since there is no indication in the literature of the presence of sandstones, nor of Holocene sandy deposits in the region. The aim of this study was to identify, physical and chemical characterization, classification and mapping of sandy soils occurrence areas in Vacaria/RS, using spectroradiometry tools and geoprocessing software. The study area was delimited based on observation points obtained in the field and corresponded to an area of 540 Km<sup>2</sup>. From this, one hundred collection points were selected for physical, chemical, spectral and morphological analyzes in the superficial horizons, in addition to six representative profiles for complete description and classification. The collects were concentrated in areas where soils presented higher sand contents, and also in areas bordering them where soils have a clayey texture. The spectral analyzes were efficient to distinguish the soils based on the sand and iron contents extracted by dithionite-citrate-sodium bicarbonate, it demonstrates that spectroradiometry is a tool that can be used in a complementary way in soil survey and reduces operating costs. The predominance of Latossolos Brunos occurred in most of the area where soils presented texture with greater amount of sand. In the vicinity of these predominate Latossolos Vermelhos and Vermelho-Amarelos with brownish superficial horizons. Based on the survey carried out, the area that presents soils with textured characteristics differentiated from those typical of the studied region. The results obtained complement the existing knowledge about the soils of the region and the delimitation of the area of occurrence seeks to support future works related to the genesis, use, management and conservation of the soils with sandy surface horizon in Vacaria/RS.

**Key words:** Pedometry, Soil survey, Geoprocessing, Reflectance.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa geomorfológico do Estado do Rio Grande do Sul. ....	21
Figura 2 - Localização do município de Vacaria (a), da área de estudo (b) e a geologia da área em destaque (c).....	29
Figura 3 - Localização dos pontos de coleta selecionados por cLHS (hipercubo latino condicionado) e localização dos perfis para a classificação dos solos. ....	32
Figura 4 – Triângulo para determinação das classes texturais .....	34
Figura 5 - Espectrorradiômetro FieldSpec HandHeld II (ASD).....	37
Figura 6 - Mapa hipsométrico com as principais curvas de nível da área de estudo, em Vacaria, RS.....	41
Figura 7 - Mapa de distribuição espacial da areia na área de estudo, em Vacaria, RS. ....	44
Figura 8 - Depósitos de grãos de quartzo nos sulcos de drenagem em locais onde predominam os solos com altos teores de areia. ....	46
Figura 9 - Mapa de distribuição espacial da argila na área de estudo, em Vacaria, RS. ....	48
Figura 10 - Mapa de distribuição espacial do carbono orgânico na área de estudo, em Vacaria, RS. ....	50
Figura 11 - Mapa de distribuição espacial dos teores de ferro extraídos por DCB (ditiocitrato-bicarbonato de sódio) na área de estudo, em Vacaria, RS. ....	52
Figura 12 - Mapa expedito com provável distribuição das classes de solos predominantes na área de estudo em Vacaria, RS. ....	61
Figura 13 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte superficial do LBdh (c).64	
Figura 14 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento da estrutura do LAdt (c).....	66
Figura 15 - Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte subsuperficial do LVdt (c). ....	67
Figura 16 – Localização (a), perfil (b) e (c) detalhamento do horizonte superficial do LVdh.69	
Figura 17 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento da estrutura do LBat (c). ....	70
Figura 18 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte subsuperficial LVAdh (c). ....	71



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS SOBRE OS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL.....	20
2.2	LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO .....	22
2.2.1	Classificação do solo .....	23
2.2.2	Mapeamento pedológico do solo utilizando ferramentas computacionais	24
2.3	GEOESTATÍSTICA .....	24
2.3.1	Estimador geoestatístico: Krigagem .....	24
2.4	REFLETÂNCIA ESPECTRAL DIFUSA .....	25
2.4.1	Fundamentos teóricos .....	25
2.4.2	Relação entre espectroscopia e propriedades do solo.....	25
2.4.3	Recentes avanços e perspectivas .....	26
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>27</b>
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	28
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
5.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
5.1.1	Variáveis geomorfométricas.....	30
5.2	MÉTODO DE COLETA DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS .....	30
5.3	ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS .....	33
5.3.1	Cor predominante .....	33
5.3.2	Granulometria.....	33
5.3.3	Determinação do teor de carbono .....	34
5.3.4	Determinação do teor de ferro .....	35
5.3.5	Procedimentos estatísticos .....	36
5.4	ANÁLISES ESPECTRAIS DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS .....	36
5.5	PERFIS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	38
5.5.1	Caracterização física do solo .....	38
5.5.2	Caracterização química do solo.....	38
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
6.1	ATRIBUTOS DO SOLO PARA MAPEAMENTO .....	42
6.1.1	Cor predominante .....	42
6.1.2	Granulometria.....	43
6.1.3	Carbono orgânico .....	48
6.1.4	Ferro (DCB).....	51





6.1.5	Relação dos atributos do solo determinados pelos métodos krigagem e análise laboratorial.....	52
6.2	ANÁLISES ESPECTRAIS.....	54
6.2.1	Granulometria.....	55
6.2.2	Carbono orgânico .....	57
6.2.3	Ferro (DCB).....	59
6.3	DESCRIÇÃO DOS PERFIS E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS .....	60
6.3.1	Localização e caracterização das áreas de seleção dos perfis .....	60
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>82</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural lentamente renovável, ou não renovável quando se considera a escala de vida humana, podendo ser encontrado em diferentes posições na paisagem. Apresenta, portanto, propriedades resultantes da atuação integrada do clima e dos organismos sobre o material de origem, condicionado pelo relevo durante um período de tempo (SOIL SURVEY STAFF, 1951).

No Município de Vacaria, situado no nordeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), pertencente à região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, encontram-se solos predominantemente originados de rochas vulcânicas (basalto) (STRECK et al., 2008). As classes de solos predominantes nessa importante região agrícola do Estado são os Latossolos e com menor ocorrência os Nitossolos, e apresentam textura argilosa e muito argilosa. Estes solos estão descritos e encontram-se compilados em mapas de solos do RS, assim como em relatórios e boletins de Levantamentos de Solos.

Entretanto, no interior do Município, na localidade de Coxilha Grande e em suas imediações ocorre uma extensa área de solos com textura média a arenosa, popularmente conhecidos como “Solos da Cerquinha”. Até o presente momento sabe-se da ocorrência desses solos mas não existem estudos focados na delimitação da área de ocorrência, e tampouco na caracterização e gênese. A presença dos solos arenosos na região supracitada é curiosa, uma vez que estão presentes numa região onde predominam solos com textura argilosa a muito argilosa, derivados em grande parte de basalto. Indagações diversas sobre sua provável origem surgem, como por exemplo, de terem tido influência de transporte e deposição de areia ou mesmo contribuição de arenitos na sua gênese, fatos ainda não relatados em literatura, nem mesmo pelos geólogos.

Relatos de produtores rurais do município de Vacaria/RS manifestaram sua preferência de cultivar nessas áreas em relação às demais, pelo fato de proporcionarem facilidade de preparo, bom desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas. Isto pode ser devido a textura mais arenosa dos solos, a qual propicia menores problemas de compactação, em comparação aos solos mais argilosos, permitindo um melhor desenvolvimento radicular que atinge camadas mais profundas no solo. Outrossim, solos com textura mais arenosa apresentam menor capacidade de adsorção do fósforo aplicado e menor poder tampão, implicando em menores custos de produção.

Diante disso, sabendo-se da ocorrência desses solos mais arenosos, faz-se necessário um estudo detalhado para a sua caracterização e mapeamento da área de ocorrência. Além

disso, indica-se que outras pesquisas sejam realizadas enfatizando a curiosa gênese desses solos.

O objetivo deste trabalho foi delimitar as áreas de ocorrência dos solos com altos teores de areia em Vacaria/RS e efetuar sua espacialização geográfica.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE OS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

O solo é um recurso natural lentamente renovável, encontrado em diferentes posições na paisagem, resultante da alteração de rochas e sedimentos pela ação conjunta dos fatores climáticos, biológicos, relevo e tempo.

O fato de o solo ser o resultado da combinação de fatores ambientais explica como o mesmo material de origem pode formar solos diferenciados. No Rio Grande do Sul (RS) a combinação da diversidade geológica, climática e de relevo, proporcionou a formação de solos com características distintas, as quais contribuíram para os diferentes padrões de ocupação das terras e conseqüentemente para o desenvolvimento regional (STRECK et al., 2008).

Conforme as variações de relevo, altitude e material geológico, o Estado do Rio Grande do Sul (RS) pode ser dividido em quatro grandes províncias geomorfológicas, com origem geológica distinta: Planalto, Depressão Periférica, Escudo Sul-riograndense e Planície Costeira (Figura 1) (CARRARO et al., 1974).

Figura 1 Mapa geomorfológico do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2002).

A província do Planalto do RS é formada por pacotes de rochas vulcânicas (basaltos e riolitos da Formação Serra Geral), apresentando altitudes de até 1000 metros (STRECK et al., 2008) e o relevo apresenta-se suave a ondulado. Os solos originados são na sua maioria profundos e diversas de suas características estão associadas com a precipitação (superior a 1500 mm anuais) e as menores temperaturas (IBGE, 2007).

Os derrames vulcânicos que formaram a superfície dos Campos de Cima da Serra no Estado do Rio Grande do Sul ocorreram no período Cretáceo (140-130 Ma), com a fragmentação do supercontinente Gondwana. As lavas (magma) foram gradativamente cobrindo parte dos depósitos de sedimentos da Bacia do Paraná, cuja sedimentação começou no início do Período Permiano (~ 299 Ma). No RS, os derrames de lavas ocorridos deixaram exposta apenas a porção referente à atual província da Depressão Periférica.

## 2.2 LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO

O levantamento pedológico de solos pode ser definido como a representação geográfica dos diferentes tipos de solo. Seu objetivo principal consiste em subdividir uma área heterogênea em “parcelas mais ou menos homogêneas”, com a menor variabilidade possível, além de prever e delimitar a área de cada parcela na paisagem (EMBRAPA, 2013b).

As informações obtidas no levantamento pedológico de solo são fundamentais para avaliação do potencial e das limitações de determinada área agrícola, constituindo uma base de dados para estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos e uso, manejo e conservação dos solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007).

O tipo de amostragem a ser feita no solo em cada local varia com a extensão da área associada à interpretação prévia das características geomorfológicas. Segundo IBGE (2015), as amostras são classificadas em:

- Perfil completo: modalidade mais completa de todas. Empregado para fins de caracterização e classificação pedológica do solo. Todos os horizontes ou camadas que ocorrem desde a superfície até o limite da sua seção de controle são descritos e amostrados.
- Amostra extra: utilizada para fins taxonômicos, com o objetivo de complementar ou confirmar informações obtidas em campo. Neste caso, apenas um ou alguns horizontes ou camadas são amostrados.
- Amostra para fins de fertilidade: objetiva atender levantamentos pedológicos bem como projetos agrícolas que envolvem correções químicas do solo. Neste tipo de amostragem são coletadas amostras do horizonte superficial.

Os levantamentos de solo podem ser classificados quanto aos objetivos a que se destinam e quanto à extensão de área que abrangem. Com base na experiência em diversos levantamentos realizados no país, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) recomenda as seguintes faixas de observações por área: Esquemático (sem especificações); Exploratório ( $<0,04$  observações/km<sup>2</sup>); Reconhecimento (entre 0,04 e 2,00 observações/km<sup>2</sup>); Semi-Detalhado (entre 0,02 e 0,2 observações/ha); Detalhado (entre 0,2 e 4 observações/ha). A determinação da quantidade de amostras na área de estudo varia conforme o nível de detalhamento necessário. Quanto maior o nível de detalhamento do mapa final, maior será o número e a densidade de amostras necessárias.

Com o auxílio de recursos de geoprocessamento, geoestatística e sistema de informação geográfica é possível aprimorar as técnicas de mapeamento, reduzindo o tempo de execução, densidade de observações e frequência de amostragem (IBGE, 2015).

### 2.2.1 Classificação do solo

A classificação dos solos consiste em agrupar o solo em classes, de acordo com as semelhanças e diferenças entre as classes. Para isto são utilizados sistemas de classificação de solos como por o exemplo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiCBS (EMBRAPA, 2013a). Os principais critérios utilizados para classificação dos solos incluem diferenças nos processos de gênese, por meio da identificação de atributos diagnósticos e de horizontes de diagnóstico superficial e subsuperficial (SANTOS et al., 2013).

Atualmente, o SiCBS encontra-se estruturado até o 4º nível categórico (Subgrupos). Os dois últimos (Família e Série) encontram-se com definições provisórias para uso em levantamentos detalhados de solos (EMBRAPA, 2013a).

De acordo com o SiCBS, a classificação de um solo subdivide-se em seis níveis categóricos (NC) conforme explicado a seguir:

- 1º NC. Ordem: os solos são diferenciados em 13 ordens, conforme as características relacionadas aos processos de formação dos solos. Exemplo: Latossolo, Nitossolo, Organossolo.
- 2º NC. Subordens: subdivisões das ordens, com base em características que representam processos secundários na formação dos solos e importantes para o uso agrícola e não agrícola. Exemplo: Latossolo Bruno, Nitossolo Vermelho, Organossolo Fólico.
- 3º NC. Grandes grupos: subdivisões das subordens conforme as características morfológicas (tipos de horizontes), químicas (CTC, saturação de bases) ou físicas (restrição ao desenvolvimento de raízes e ao movimento de água no solo).
- 4º NC. Subgrupos: são subdivisões dos grandes grupos baseada nas características típicas ou extraordinárias, ou nas variações em relação aos níveis categóricos superiores (solos intermediários entre duas classes).
- 5º NC. Família: subdivisões dos subgrupos com base em propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas importantes para o uso e manejo dos solos.
- 6º NC. Série: subdivisões das famílias (5º NC) conforme características relacionadas ao desenvolvimento de plantas ou para fins de engenharia ou geotecnia.

### 2.2.2 Mapeamento pedológico do solo utilizando ferramentas computacionais

Consiste no mapeamento de classes ou atributos do solo utilizando técnicas pedométricas e ferramentas computacionais, associados a métodos perceptivos de observação em campo (EMBRAPA, 2013b). Por meio deste é possível inferir sobre variações espaciais das propriedades do solo a partir das análises laboratoriais e variáveis ambientais correlacionadas (LAGACHERIE; McBRATNEY, 2007).

O objetivo desta abordagem não é substituir o trabalho do pedólogo no levantamento de solos, mas desenvolver ferramentas com comprovada capacidade de mensuração das informações pedológicas (EMBRAPA, 2013b). Esta técnica é altamente promissora para redução dos custos dos levantamentos de solos, pois busca suprir a falta de dados provenientes dos elevados custos das análises (Mc BRATNEY et al., 2003).

A disponibilidade de imagens de sensoriamento remoto orbital e os atributos derivados dos modelos digitais de elevação foram fatores que contribuíram para o desenvolvimento de métodos novos e econômicos (DOBOS, 2000). Por meio dos modelos digitais de elevação (MDE) é possível derivar atributos relacionados ao relevo como declividade, curvatura, orientação preferencial dos raios solares, direção do fluxo d'água, delimitação de redes de drenagem, dentre outros, gerando informações relevantes e atualizadas, em diferentes resoluções espaciais e com indicadores de qualidade associados (ten CATEN, 2011).

## 2.3 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística pode ser definida como o conjunto de técnicas estatísticas aplicadas a fenômenos geoposicionáveis e dados com continuidade espacial. Diferentemente da estatística clássica, onde as probabilidades são iguais para todos, na geoestatística a ocorrência de um fenômeno condiciona o próximo valor. Este método vem sendo aplicado na interpolação espacial dos solos desde o início dos anos 1980 (MENDONÇA-SANTOS; SANTOS, 2003).

### 2.3.1 Estimador geoestatístico: Krigagem

A krigagem consiste no termo utilizado para designar o método de interpolação pela seleção do preditor com uma variância de predição mínima. Este método foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, porém atualmente é utilizado em estudos de solos, processos hidrológicos e atmosféricos (CAMARGO, 1998). A principal diferença deste método para os demais interpoladores é que a krigagem usa informações do



variograma para atribuir pesos às amostras com valores conhecidos que irão estimar os pontos desconhecidos (LANDIN; STURARO, 2002).

## 2.4 REFLETÂNCIA ESPECTRAL DIFUSA

### 2.4.1 Fundamentos teóricos

A refletância espectral do solo consiste em um conjunto de valores obtidos a partir da razão da radiância e irradiância. Informações sobre espectroscopia de refletância podem ser obtidas pontualmente, a campo e mais recentemente, a partir de domínios aéreos e espaciais (THENKABAIL et al., 2011). Enquanto no laboratório a mensuração da refletância do solo é realizada sobre condições controladas, utilizando protocolos padronizados, em campo a mensuração da refletância está sujeita a uma série de fatores, como variações no ângulo de visão, mudanças de iluminação, efeito da rugosidade do solo e do selamento superficial (BEN-DOR et al., 1998; THENKABAIL et al., 2011). A obtenção de dados sobre a refletância do solo a partir de domínios aéreos e espaciais envolve dificuldades adicionais, tais como sensores de baixa relação sinal-ruído e atenuações atmosféricas.

As informações sobre espectroscopia de refletância de solos na região do visível (400-1000 nm) e ondas curtas de infravermelho (1000-2500 nm) constituem quase todos os dados que os sensores podem fornecer. Esta é uma propriedade inerente que não deve ser afetada por condições externas como intensidade de radiação e instrumento utilizado (THENKABAIL et al., 2011).

### 2.4.2 Relação entre espectroscopia e propriedades do solo

A textura é uma característica inata e estável do solo e influencia diversas propriedades químicas e físicas, tais como a capacidade de troca catiônica (CTC), granulometria, mineralogia, retenção de água, erodibilidade do solo, infiltração de água e drenagem (VISCARA ROSSEL et al., 2010; THENKABAIL et al., 2011). Em trabalho realizado por Al-Abbas et al. (1972) os autores encontraram correlação entre o teor de argila e os dados de refletância, indicando que esta seja uma relação indireta e fortemente controlada pelos grupos químicos da matéria orgânica. Com base nas características espectrais Gerbermann; Neher (1979) mostraram que os teores de argila e areia podem ser preditos a partir do espectro de refletância.

Outro exemplo da forte relação entre os componentes do solo pode ser visto em Bedidi et al., (1990) e Bedidi et al., (1991), onde os autores comprovaram que a hipótese

normalmente aceita, de diminuir a curva espectral com o aumento do teor de água no solo, não se sustenta para Latossolos (altamente lixiviados e pH baixo). Galvão et al., (1995) demonstraram que espectros de Latossolos, principalmente na região do visível, constituem características espectrais complexas e distintas dos demais solos. Brown et al., (2006) concluíram que a análise da região espectral próxima ao infravermelho (NIRS) tem potencial para substituir ou aprimorar as técnicas de caracterização de solos, com base em 3.768 amostras de solos dos EUA.

A matéria orgânica do solo apresenta atividade espectral ao longo de toda região espectral, especialmente na região do visível. Em estudo realizado por Mathews et al., (1973), a matéria orgânica apresentou correlação com os valores de refletância na faixa de 500 a 1200 nm, enquanto Beck et al., (1976) sugere que a região entre 900 e 1220 nm é mais adequada para a sua predição. Vinogradov (1981) também desenvolveu um modelo exponencial para predição dos teores de matéria orgânica em horizonte superficial de solos, para duas condições distintas de reflorestamentos, pelo uso de dados espectrais da faixa entre 600 e 700 nm.

Pedólogos têm usado amplamente a cor do solo para descrição, classificação e inferir sobre suas características (BUOL et al., 1973; SHIELDS, 1968; ESCADAFAL, 1993). As cores vermelho, bruno e amarelo são relacionadas aos teores e tipos de óxidos ferro no solo e amplamente utilizadas em sistemas de classificação em quase todos os países e idiomas. No entanto modelos para predição da cor ainda não se encontram bem estabelecidos (THENKABAIL et al., 2011).

Estudo realizado por Ben-Dor; Barin (1995) avaliou solos áridos e semi-áridos de Israel e demonstrou que determinados constituintes do solo, como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , podem ser preditos a partir das curvas espectrais devido à forte correlação com propriedades do solo. Obukhov; Orlov (1964) obtiveram uma relação linear entre os valores de refletância em 640 nm e a porcentagem total de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . No entanto Thenkabail et al., (2011) ressaltam que métodos sofisticados e resolução espectral relativamente alta são absolutamente requeridos para determinar os teores de ferro a partir da refletância espectral. Fica evidente a complexidade do ferro no desenvolvimento do solo, bem como a intercorrelação entre ferro e outros constituintes do solo.

#### 2.4.3 Recentes avanços e perspectivas

A espectroscopia de refletância tem se tornado uma ferramenta muito útil para a ciência do solo nos últimos 20 anos. Essa técnica permite a obtenção de informações

quantitativas e qualitativas sobre diversas propriedades do solo em tempo real e uma aproximação da composição sem a necessidade de análises químicas e intensa geração de resíduos contaminantes do ecossistema (DUNN et al., 2002; NANNI; DEMATTÊ, 2006; BROWN et al., 2006). A comparação dos dados radiométricos com os valores determinados por análises químicas e físicas foi utilizada por Fiorio (2002); Cezar et al., (2013). Um resumo abrangente das aplicações quantitativas da espectroscopia de refletância do solo pode ser vista em Ben-Dor (2002).

Na última década houve um aumento do número de trabalhos publicados sobre as relações entre propriedades do solo e radiometria (BELLINASSO, 2010; VISCARRA ROSSEL et al 2010; TERRA, 2011; DOTTO, 2012). Isto se deve à maior disponibilidade de equipamentos de alta resolução, maiores demandas em projetos de pesquisas e oportunidades de aplicação da técnica, como por exemplo as bibliotecas espectrais.

Uma biblioteca espectral de solos é formada por um banco de dados com informações espectrais e analíticas de solos. Além de contribuir em levantamentos, mapeamento, manejo e conservação dos solos, auxiliam atividades como agricultura de precisão, modelagem de atributos do solo e monitoramento de solos contaminados (SATO, 2015). Assim, a radiometria vem se tornando uma técnica alternativa nas análises de solos, com as vantagens de ser rápida, menos onerosa e dispensar a utilização de reagentes químicos (BEN-DOR et al., 2009; VASQUES et al., 2008; VISCARRA ROSSEL; McBRATNEY et al, 2008) .

### **3 HIPÓTESE**

É possível identificar e delimitar a área de ocorrência de solos com altos teores de areia, em Vacaria/RS, por meio da espectrorradiometria.

### **4 OBJETIVOS**

Com este estudo objetivou-se identificar, caracterizar física e quimicamente, classificar taxonomicamente e mapear a área de ocorrência de solos com altos teores de areia em Vacaria/RS, utilizando ferramentas de espectrorradiometria e softwares de geoprocessamento.

#### 4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

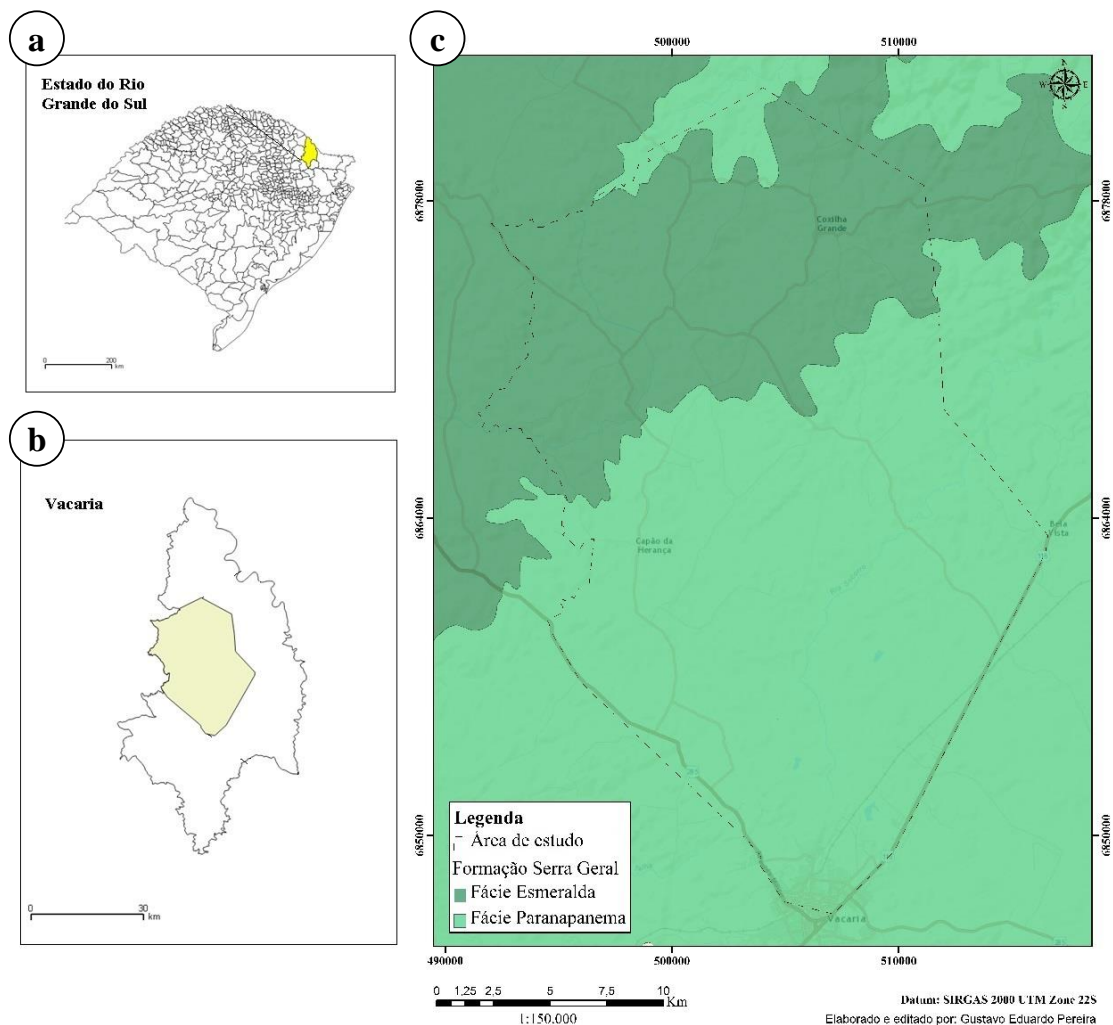
- i. Descrever e caracterizar, do ponto de vista morfológico, físico e químico os solos ocorrentes na região da Coxilha Grande, em Vacaria, RS.
- ii. Classificar os solos com base nas suas descrições morfológicas e análises físicas e químicas;
- iii. Determinar o comportamento espectral de amostras do horizonte superficial e correlacionar estes valores com os obtidos em resultados de análises físicas e químicas realizadas em laboratório;

### 5 MATERIAL E MÉTODOS

#### 5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na região noroeste do município de Vacaria, no estado do Rio Grande do Sul (Figuras 2a e 2b), abrangendo uma área de aproximadamente 540 km<sup>2</sup> (Figura 2c). O clima de Vacaria, na classificação de Köppen é do tipo Cfb: temperado úmido. A temperatura média mensal varia de 11,4°C a 20,6°C com pluviosidade média anual de aproximadamente 1800 mm (PEREIRA et al., 2009).

Figura 2 - Localização do município de Vacaria (a), da área de estudo (b) e a geologia da área em destaque (c).



Fonte: IBGE – Malha municipal digital (2007); CPRM – Mapa da Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (2010).

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2008), os solos da área são originados de rochas magmáticas extrusivas básicas, pertencentes à Formação Serra Geral, do período Cretáceo, abrangendo as Fácies Paranapanema e Esmeralda. A Fácies Paranapanema caracteriza-se pelo predomínio de basalto de textura granular fino a médio e mesocrático, enquanto a Fácies Esmeralda é constituída por basalto de textura microgranular afanítico e melanocrático (CPRM, 2001).

### 5.1.1 Variáveis geomorfométricas

Os parâmetros necessários para realização deste estudo, como altitude, declividade e orientação, foram derivados do modelo digital de elevação TOPODATA, através dos arquivos 27S51, 27S51, 28S51 e 28S252, em ambiente SIG, com os softwares QGIS® e ArcGIS®.

O Topodata é o resultado do refinamento dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) originalmente com 90 metros de resolução espacial, para 30 metros, através da interpolação dos dados de MDE segundo o método de krigagem, realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para todo o território nacional (VALERIANO, 2008).

As classes de orientação foram determinadas conforme segue: Norte (0 a 90°), Leste (90 – 180°), Sul (180 – 270°) e Oeste (270 – 360°), enquanto as classes de declividade foram definidas com base nos intervalos da tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de declividade

<b>Declividade (%)</b>	<b>Discriminação</b>
0-3	Relevo plano
3-8	Relevo suave ondulado
8-20	Relevo ondulado
20-45	Relevo forte ondulado
45-75	Relevo montanhoso
>75	Relevo forte montanhoso

Fonte: Embrapa (1979).

## 5.2 MÉTODO DE COLETA DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS

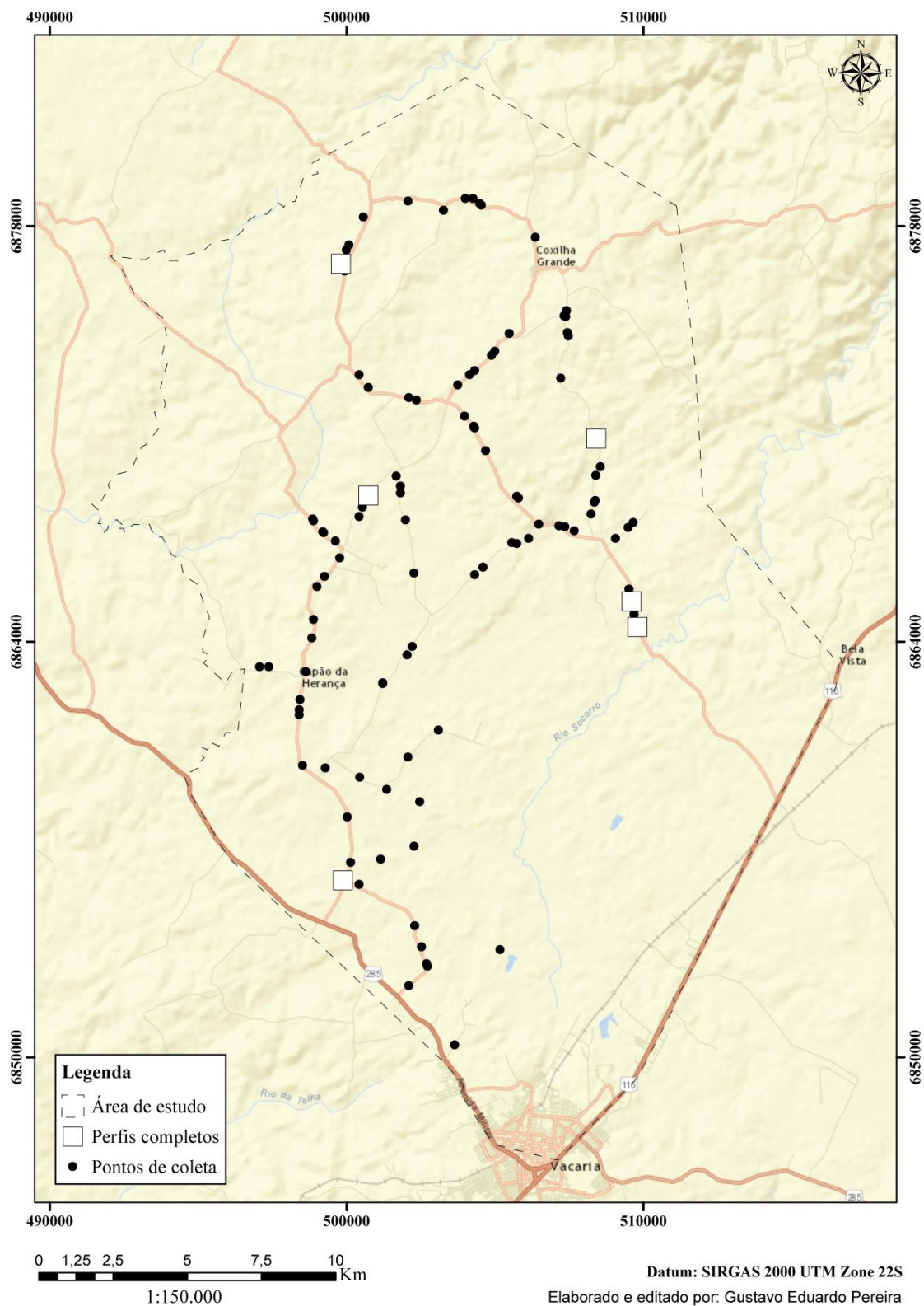
Os pontos de observação foram amostrados de forma a serem representativos da paisagem e próximos a estradas, onde facilitava o acesso e a visualização do perfil em profundidade. Foram coletadas amostras de solos do horizonte superficial (0 a 0,20 m).

Para seleção dos pontos de coleta utilizou-se a técnica de amostragem hipercubo latino condicionado (cLHS) o qual vem sendo utilizado em Ciência do Solo e Análises Ambientais (MINASNY; Mc BRATNEY, 2002). O método cLHS é um procedimento de amostragem aleatória estratificada que fornece uma eficiente forma de amostragem de variáveis a partir de suas distribuições multivariadas (MINASNY; Mc BRATNEY, 2006).

Com a finalidade de tornar a amostragem menos onerosa em termos de custos e tempo, devido à acessibilidade restrita a determinadas áreas, como vegetação densa ou ausência de vias de acesso, foram incorporadas algumas restrições operacionais, utilizando como regra de restrição espacial um *buffer* de 5 m ao longo das estradas e vias de acesso disponíveis, além da inserção das variáveis geomorfométricas selecionadas (ROUDIER et al., 2012). Por meio desta amostragem foram coletados solos nos interflúvios, encostas e nos pedimentos, considerando as diferentes declividades e orientações das vertentes (Figura 3).



Figura 3 - Localização dos pontos de coleta selecionados por cLHS (hipercubo latino condicionado) e localização dos perfis para a classificação dos solos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



### 5.3 ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS

Para caracterização preliminar das cem (100) amostras selecionadas pelo método cLHS foram avaliados as seguintes propriedades do solo: cor predominante, granulometria, carbono orgânico e ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB).

#### 5.3.1 Cor predominante

A determinação da cor é uma informação útil para diferenciação e caracterização de solos. Para avaliação da cor do solo (seca e úmida) foi utilizado o sistema Munsell de cores (MUNSELL, 2000), expressando o resultado no formato: matiz, valor e croma.

O matiz refere-se ao espectro dominante da cor e é representado por letras maiúsculas referentes às iniciais das cores. O valor diz respeito à tonalidade da cor e varia de zero (preto absoluto) a 10 (branco absoluto). O croma corresponde à pureza relativa da cor, variando de zero (cores neutras) até 10 (cores puras) (SANTOS et al., 2013).

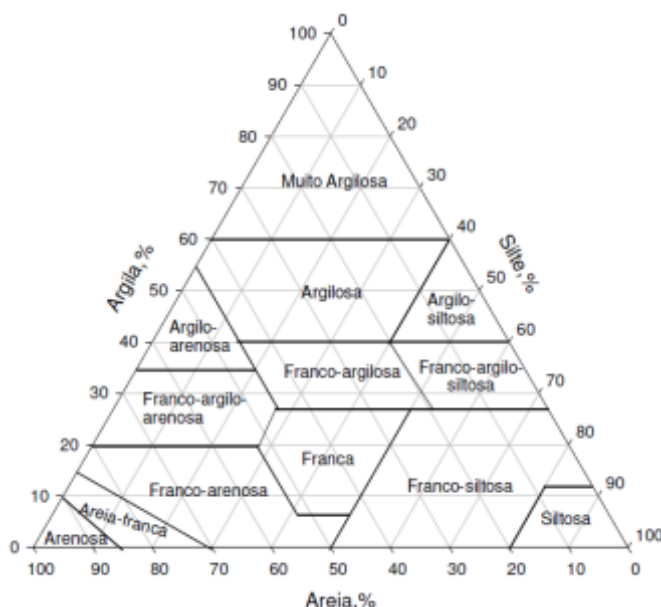
#### 5.3.2 Granulometria

A análise granulométrica dos solos foi realizada pelo método da pipeta (DAY, 1965; GEE; BAUDER, 1986). Inicialmente foram pesados 25 g de solo e transferidos para frascos do tipo *snap-cap* de 150 mL, juntamente com 10 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, 70 mL de água e duas esferas de acrílico e levadas para a agitação horizontal por 4 horas. Após isso, o conteúdo do *snap-cap* foi transferido para provetas de 1L, passando-o por peneira com abertura de malha 0,053 mm, onde a fração areia ficou retida. Completou-se o volume das provetas com água até a marca de 1L, agitou-se e mediu-se a temperatura da amostra a fim de verificar o tempo de repouso até que se realizasse a pipetagem dos 50 mL a 5 cm de profundidade para a obtenção da fração argila. A fração areia retida na peneira de 0,053 mm foi transferida para latas de alumínio e o volume pipetado foi transferido para beckeres; ambos foram levados para estufa onde permaneceram a 105°C durante 24 horas. A fração silte foi obtida por diferença entre as frações argila e areia. O procedimento foi repetido para as amostras que apresentaram floculação do material no período de repouso, utilizando 5 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>.

### 5.3.2.1 Identificação das classes texturais

Para fins de classificação do solo, as classes texturais foram determinadas de acordo com o triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e descrito em Santos et al., (2013). A definição das classes de textura varia conforme a distribuição das frações areia, silte e argila e podem ser agrupadas em 13 classes distintas, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Triângulo para determinação das classes texturais



Fonte: Santos et al., 2013.

### 5.3.3 Determinação do teor de carbono

O método utilizado para determinação do teor de carbono orgânico foi o Walkley-Black, por oxidação via úmida, descrito por Tedesco (1995). Para isto transferiu-se 1cm<sup>3</sup> de solo (TFSA) para erlenmeyer com capacidade de 125 mL e adicionou-se 10 mL de dicromato de potássio 1,25 mol L<sup>-1</sup>, em capela de exaustão, e 20 mL de ácido sulfúrico comercial, mantendo aquecida a ±150°C durante 1 minuto. Após o resfriamento foi adicionado 70 mL de água deionizada e deixado em repouso. Retirou-se uma alíquota de 50 mL da solução e procedeu-se à titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,25 mol L<sup>-1</sup>) e indicador ferroin (complexo ortofenantrolina - FeSO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>) até a mudança de coloração verde para vermelho. O teor de CO foi calculado a partir da equação 1:

$$\text{CO (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} - \text{mmol}_c \text{ L}^{-1} \text{Fe}^{2+}) \times 0,003 \times 100 \times 1,12}{\text{peso da amostra (g)}} \quad (1)$$

Em que:

$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} = 12,5$  (foram utilizados 10 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $1,25 \text{ mol L}^{-1}$ ).

$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1} \text{Fe}^{2+} = (\text{mL gastos na titulação da amostra} \times 2) \times (\text{mol L}^{-1} \text{FeSO}_4)$ .

$\text{mol L}^{-1} \text{FeSO}_4$  = calculado na titulação da prova em branco, pela equação 2.

$$\text{mol L}^{-1} \text{FeSO}_4 = \frac{12,5}{\text{mL FeSO}_4 \times 2} \quad (2)$$

#### 5.3.4 Determinação do teor de ferro

Para a quantificação dos teores de óxidos de ferro pelo método ditionito-citrato-bicarbonato (MEHRA; JACKSON, 1958; VAN REEUWIJK, 2002) foi utilizado 2,0 g de TFSA, triturada em almofariz de ágata até atingir diâmetro inferior a 0,125 mm. Foram adicionados 45 mL de solução CB (citrato de sódio ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 0,27 M e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,11M) e posteriormente as amostras foram mantidas em banho-maria a 75°C. Adicionou-se 0,33 g de ditionito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) com agitação após cada adição, totalizando 3 adições de ditionito de sódio. Após resfriamento as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 10 minutos e o sobrenadante transferido para balão volumétrico de 250 mL. Com o resíduo das amostras que permaneceram no fundo dos tubos repetiram-se as operações de adição de ditionito de sódio e agitação a 2000 rpm por 10 minutos mais duas vezes. Na quantificação dos teores de óxidos de ferro extraídos por DCB foi utilizada uma alíquota do produto das três extrações e a leitura realizada em espectrofotômetro de absorção atômica modelo AAnalyst 200, usando chama de ar/acetileno.

A partir dos valores obtidos nas leituras, os teores de ferro foram determinados conforme a equação 3. Posteriormente foi aplicado o fator de conversão (MEHRA; JACKSON, 1958; VAN REEUWIJK, 2002) para obtenção da porcentagem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nas amostras.

$$\text{Fe (\%)} = \frac{(\text{Fe mg/L} - \text{Prova branca mg/L}) \times \text{df}}{\text{peso da amostra (mg)}} \times \frac{250}{100} \times \text{mcf} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

$\text{Fe mg/L}$  = teor de ferro da amostra.

$\text{df}$  = fator de diluição

$\text{mcf}$  = fator de correção da umidade

### 5.3.5 Procedimentos estatísticos

Foram analisadas as seguintes variáveis estatísticas: média, variância, valores extremos, histogramas de frequência e diagramas de dispersão, utilizando o programa *Stanford Geoestatistical Modeling Software* – SgeMS (versão 2.5 beta), o qual é de livre acesso e vem sendo amplamente utilizado para o estudo de variáveis com interdependência espacial (PASTI, 2012; SANA et al., 2014).

A representação gráfica das distribuições de frequência amostral é de suma importância para análise geoestatística, pois permite avaliar a provável distribuição, calcular os valores de tendência central e dispersão, caracterizar algum tipo de zoneamento e identificar a presença de valores anômalos (STURARO, 2015).

Para seleção dos locais de amostragem dos horizontes superficiais foi utilizado o pacote estatístico “clhs” da linguagem de programação R (Apêndice G) e selecionado número de iterações equivalente a 20000 (valor sugerido pelo programa) e número de amostras igual a 100 (BARBOSA et al, 2011; ROUDIER et al., 2012; SILVA, 2012; CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Como resultado final foi obtido um arquivo em formato \*.txt, contendo os cem (100) pontos amostrais selecionados. Posteriormente este arquivo foi convertido para uma planilha eletrônica, de forma a tornar a leitura do arquivo compatível com softwares de geoprocessamento. Ao final, os 100 pontos selecionados (Figura 3) foram transferidos para GPS Garmin 60CSx (Apêndice H).

O número de cem (100) pontos amostrais utilizados nesta pesquisa foi baseado em estudos já realizados em áreas superiores a 1.000km<sup>2</sup> (BARBOSA et al., 2011; MULDER et al., 2012; CARVALHO JUNIOR et al., 2014) e que comprovaram ser eficaz para representar a variabilidade existente. Em trabalho realizado por Souza et al., (2014), objetivando determinar o número de pontos e a distância de amostragem dos pontos em campo, concluíram que um número de pontos inferior a cem (100) aumenta o erro da estimativa além de interferir na análise geoestatística e no detalhamento das informações nos mapas interpolados por krigagem.

## 5.4 ANÁLISES ESPECTRAIS DAS AMOSTRAS SUPERFICIAIS

Para obtenção dos dados espectrais das amostras superficiais utilizou-se um espectrorradiômetro do tipo portátil FieldSpec HandHeld II (ASD) (Figura 5), que recobre a faixa espectral entre 325 e 1075 nm, locado na Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos. Para configuração do sensor, quanto ao alvo e à fonte de radiação

seguiu-se a configuração padronizada por Jensen (2009), em que o sensor foi colocado a uma distância de 27 cm do alvo. Como fonte de radiação foi utilizada uma lâmpada halógena de 50 W com refletor e feixe não colimado, sendo este ligado a uma fonte estabilizadora com entrada e saída regulada, posicionada a 61 cm do alvo. As assinaturas espectrais foram coletadas nas amostras de solo, com quatro leituras radiométricas em cada, cada uma resultante de 50 leituras do sensor.

Figura 5 - Espectrorradiômetro FieldSpec HandHeld II (ASD)



Fonte: SILVA et al. (2014).

Como padrão de referência absoluta foi utilizada uma placa branca de Spectralon (sulfato de bário) de alta refletância (100%), calibrada. Assim a refletância da amostra foi calculada com relação à placa padrão, gerando o fator de refletância bidirecional (BOWKER et al., 1985; MILTON, 1987). A calibração do sensor foi realizada no início das leituras espectrais e posteriormente a cada 20 amostras.

Após coleta das curvas espectrais em laboratório iniciou-se as fases de armazenamento, organização e processamento dos dados. Para tratamento dos dados realizou-se uma filtragem dos dados eliminando o excesso de ruídos provenientes do equipamento (DEMATTE, 1998). Posteriormente os dados foram salvos em formato \*.txt e o processamento executado com a linguagem de programação R para cálculo das médias e construção dos gráficos (refletância x comprimento de onda).

## 5.5 PERFIS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Foram selecionados seis (6) perfis de solo, representativos das variações encontradas na área, nos pontos indicados na Figura 3. Os perfis de solos foram descritos morfolologicamente conforme Santos et al, (2013). Após a descrição a campo, das características morfológicas internas e externas, foram coletadas amostras de solo de todos os horizontes dos perfis para a realização das análises físicas e químicas, e por fim, a realização da classificação dos solos, segundo EMBRAPA (2013a).

### 5.5.1 Caracterização física do solo

Foi utilizada uma amostra de 200 g de cada horizonte, destorroada com rolo de madeira para evitar a quebra dos fragmentos grosseiros. Após, foi realizado o peneiramento em malha 2 mm e secagem ao ar, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA). As frações granulométricas foram quantificadas conforme metodologia descrita no item 5.3. A fração areia total de cada horizonte dos perfis de solos com altos teores de areia foi separada por tamizamento, com peneira com abertura de malha de 0,25mm, para quantificação das sub-frações areia fina e areia grossa.

Para a determinação do grau de flocculação (GF) foi utilizada a fórmula proposta por Embrapa (1997), pela equação 4.

$$GF (\%) = 100 \times \frac{\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}}{\text{argila total}} \quad (4)$$

Por meio do quociente entre os teores de silte e argila total foi determinada a relação silte/argila, de acordo com Embrapa (1997).

### 5.5.2 Caracterização química do solo

Nas amostras de TFSA foi determinado o pH em água e em solução de KCl (1 mol L<sup>-1</sup>), na relação solo:líquido 1:1, conforme Tedesco et al., (1995). A acidez potencial (H + Al) foi determinada após extração com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e por titulometria com solução de NaOH (0,0125 mol L<sup>-1</sup>) em presença de fenolftaleína como indicador, conforme descrito por Tedesco (1995).

O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos utilizando solução de cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup>, conforme descrito em Tedesco (1995). Cálcio e magnésio foram determinados com espectrofotômetro de absorção atômica (Analyst2000) e o alumínio por titulometria de neutralização, com NaOH 0,0125 mol L<sup>-1</sup> e fenolftaleína como indicador. Sódio e potássio foram extraídos com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e determinados em fotômetro de chama (TEDESCO, 1995).

Posteriormente foram calculados: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC<sub>pH7,0</sub>), saturação por bases (V%) e por alumínio (m%), conforme EMBRAPA (1997).

Os teores de silício, alumínio e ferro totais na TFSA foram obtidos através do ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997). Foram pesados 1,0 g de solo em tubo de digestão e adicionado 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na diluição 1:1, estes foram mantidos em bloco digestor a aproximadamente 150°C durante 30 minutos contados a partir do início da fervura. Após o resfriamento, as amostras foram filtradas e diluídas para o volume de 250 ml. O resíduo da filtragem do procedimento anterior foi submetido a ataque básico com NaOH 30% em copo de teflon e mantido em chapa aquecedora até início da fervura. Após o resfriamento realizou-se a diluição para 200 ml e filtragem para quantificação dos teores de silício.

A determinação dos elementos foi realizada por meio de espectrofotômetro de plasma induzido (ICP). Os teores de cada elemento foram convertidos para a forma de óxidos, aplicando os fatores de conversão 1.43, 1.89 e 2.14 para o Fe, Al e Si, respectivamente.

Com os teores de óxidos ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silício (SiO<sub>2</sub>) e alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) obtidos pelo ataque sulfúrico, foram calculadas as relações moleculares (Ki e Kr) para avaliação do estágio de intemperismo dos solos, conforme as equações 5 e 6:

$$K_i = \frac{\% \text{SiO}_2 \times 1,70}{\% \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (5)$$

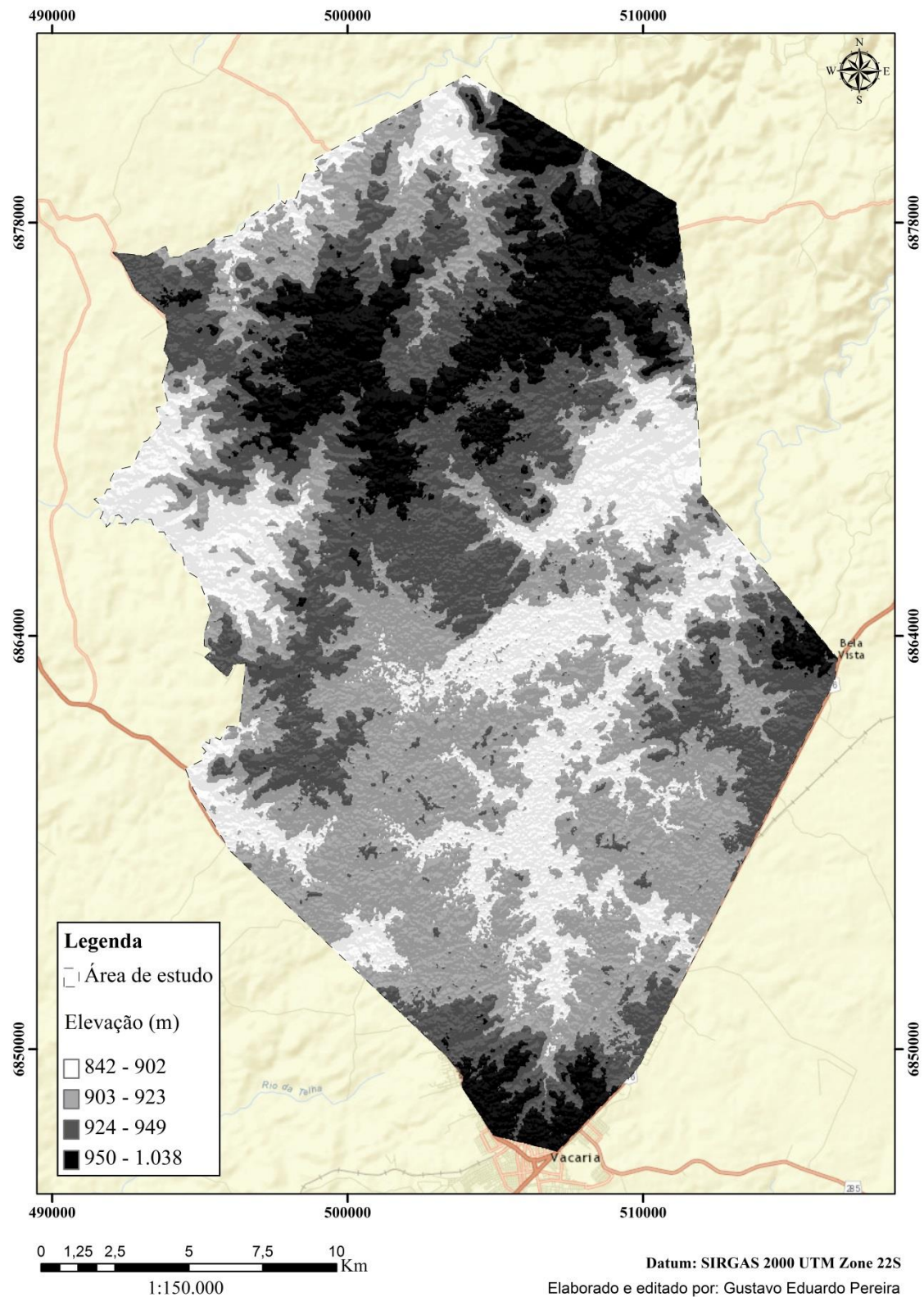
$$K_r = \frac{\left(\frac{\% \text{SiO}_2}{0,60}\right)}{\left(\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{1,02}\right) + \left(\frac{\% \text{Fe}_2\text{O}_3}{1,60}\right)} \quad (6)$$

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A localização dos pontos selecionados para o estudo foi eficiente em priorizar amostragens em diferentes segmentos da paisagem e com isso obter uma maior representatividade da área. O mapa hipsométrico, elaborado a partir do modelo digital de elevação SRTM, está representado na Figura 6.



Figura 6 - Mapa hipsométrico com as principais curvas de nível da área de estudo, em Vacaria, RS.



Fonte: Modelo Digital de Elevação - SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Na área de estudo predominam formas de relevo plano a suave ondulado na região ao sul, enquanto nas áreas localizadas ao norte o relevo varia de ondulado a ondulado. A altitude segue a mesma tendência do relevo, com valores superiores a 975 m na região norte enquanto nas áreas ao sul os valores variam de 850 a 925 m. A orientação preferencial das vertentes tem relação com a exposição à luz solar. Vertentes localizadas no Hemisfério Sul, com orientação preferencial voltada para a linha do Equador, recebem mais luz solar e como consequência a temperatura, umidade e evapotranspiração apresentam maior amplitude de variação (ROMANO; CHIRICO, 2004).

## 6.1 ATRIBUTOS DO SOLO PARA MAPEAMENTO

### 6.1.1 Cor predominante

A cor do solo não foi um atributo eficiente para distinguir os solos de textura média dos demais (Tabela 3). Como os solos argilosos contêm maiores teores de carbono orgânico no horizonte superficial, isto favorece a ocorrência de cores mais escurecidas tais como bruno escuro e bruno muito-escuro.

Tabela 3 – Cores de Munsell para a condição seca e condição úmida dos cem (100) pontos de coleta avaliados.

Cor seca		Cor úmida	
Cor de Munsell	%	Cor de Munsell	%
Bruno-escuro	38	Bruno muito escuro	43
Bruno-avermelhado-escuro	22	Bruno-escuro	28
Bruno	16	Bruno-avermelhado-escuro	13
Bruno muito escuro	9	Preto-brunado	6
Bruno-forte	4	Bruno-amarelado-escuro	4
Bruno-amarelado-escuro	4	Cinzeno muito-escuro	3
Cinzeno muito escuro	4	Preto	2
Bruno-acinzentado muito escuro	2	Bruno-forte	1
Bruno-avermelhado	1		

Com relação à cor seca, os solos de coloração bruno, bruno-escuro e bruno muito-escuro predominam, ocupando cerca de 70% da área de estudo. Aproximadamente 30% das

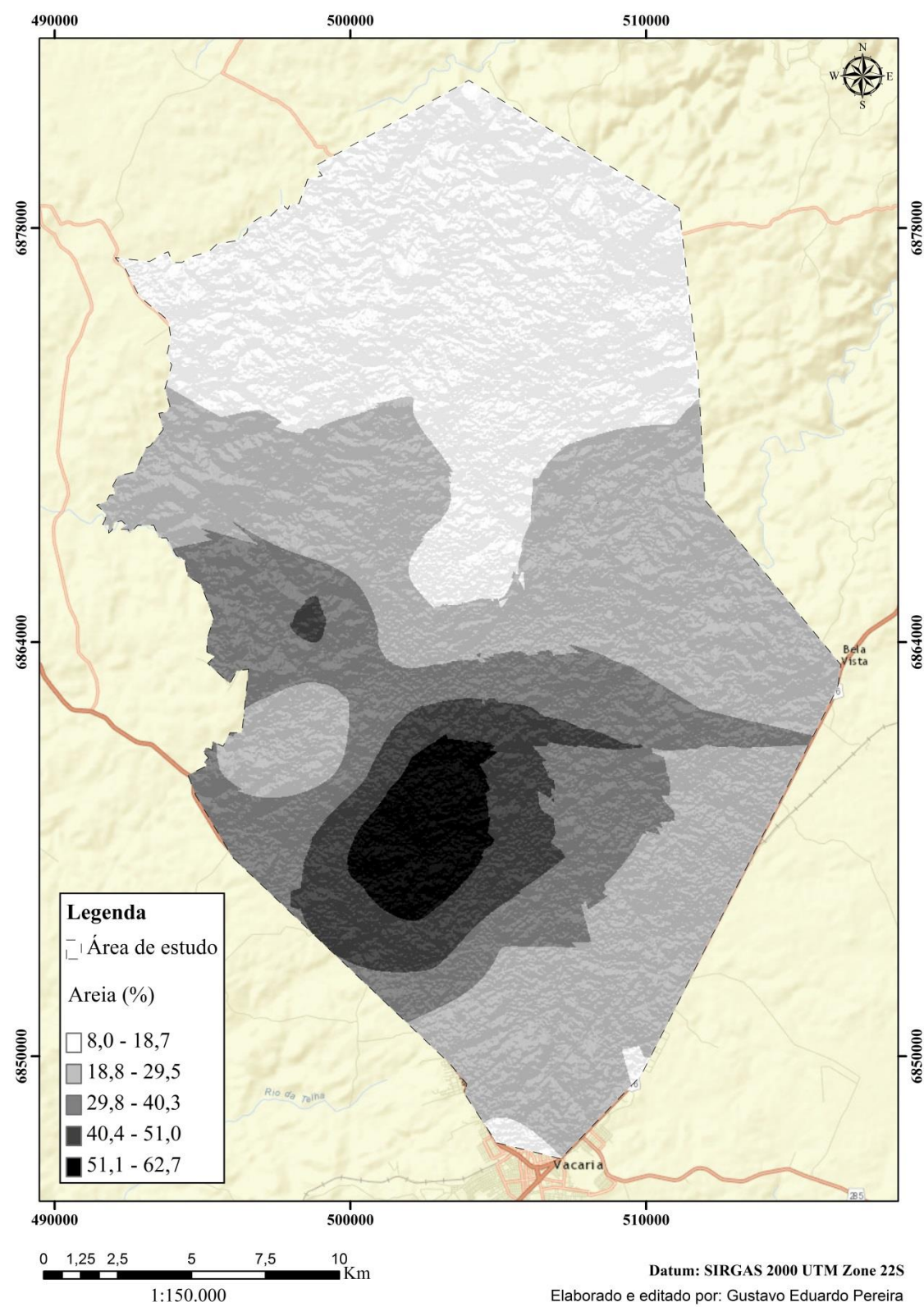
amostras foram representadas por solos de coloração bruno avermelhado escuro e com pequena representatividade de solos de coloração bruno amarelado escuro.

A cor úmida apresentou a mesma tendência da cor seca, com os solos de coloração brunada ocupando aproximadamente 75% da área. Entretanto, foram identificados solos de cores preto brunado e preto. Nestes solos de coloração mais escurecida, os teores de areia ultrapassaram 45% e os teores de carbono foram inferiores a 2%. Como a areia apresenta menor área superficial específica, o carbono orgânico exerce maior efeito na coloração destes solos, quando comparados com solos argilosos e muito argilosos.

#### 6.1.2 Granulometria

O mapa de distribuição espacial de areia está representado na Figura 7. Os solos com teores de areia entre 62,7 e 51,1% ocupam aproximadamente 3.000 hectares, o que corresponde a 6% da área total. Em seguida a classe de solos com teores de areia entre 51,0 e 40,4% ocupam 4.000 hectares. Solos com teores de areia entre 40,3 e 29,6% ocupam 9.000 hectares, enquanto a classe entre 29,5 e 18,8% abrange uma área de 20.000 hectares. Na região ao norte localizam-se os solos com menores teores de areia, entre 18,7 e 8,0%, com uma área em torno de 17.500 hectares.

Figura 7 - Mapa de distribuição espacial da areia na área de estudo, em Vacaria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



Como o relevo é um fator determinante dos processos hídricos, os atributos derivados do modelo digital de elevação auxiliaram na identificação de certas tendências de distribuição espacial. Em regiões situadas a oeste do Estado, onde também ocorrem solos com textura média no horizonte mais superficial, o padrão de distribuição da areia em função do relevo difere do observado neste levantamento. Na área de estudo os solos mais arenosos ocupam as posições “entre” os interflúvios, nas áreas mais baixas, como nos vales e depressões.

Nos municípios de Palmeira das Missões, Julio de Castilhos e Passo Fundo, ambos no RS, ocorrem depósitos sedimentares continentais, em manchas isoladas distribuídas na área de exposição das rochas vulcânicas cretáceas (133 Ma) da Formação Serra Geral (RENNE et al., 1992). Compreendem depósitos aluviais, fluviais entrelaçados e eólicos, indicativos de condições semi-áridas durante a sedimentação, a qual teve início no Eocretáceo, ainda durante o estágio final do vulcanismo da Serra Geral (RICCOMINI et al., 2005). Esses depósitos, denominados de Formação Tupanciretã (MENEGOTTO et al., 1968), são considerados pós-basálticos, com provável idade Cretácea a Terciária.

Conforme indicado no mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2008), os arenitos da Formação Tupanciretã ocorrem notadamente nas posições de maior altitude, nos divisores de água, sotopostos aos derrames de lava da Formação Serra Geral (GASS et al., 2009). Do mesmo modo, os solos mais arenosos (Latosolos Vermelhos Distróficos de textura média argilosa) deles derivados, também foram mapeados com base nesta premissa, e correspondem às porções mais elevadas da paisagem, notadamente na região de Passo Fundo e Palmeira das Missões (KER et al., 1986).

Streck et al., (2008) destacam que os Latossolos de textura arenosa são identificados em campo pelo depósito de grãos de quartzo nos sulcos de drenagem. Na área de estudo foi possível identificar depósitos de grãos de quartzo nas margens das estradas, nos sulcos de drenagem e nas entradas das propriedades (Figura 8), sendo sua quantidade muito maior na área correspondente aos solos de textura superficial com maiores teores de areia (Classe 51,1 a 62,7 da Figura 7).

Cabe aqui destacar que para a região estudada, a origem das elevadas quantidades de areia ainda é algo desconhecido, necessitando de estudos futuros. Entretanto é facilmente observada que há uma redução paulatina nos teores de areia a partir de um ponto central de máximo, indicando provável dispersão e mistura desse material com os solos mais argilosos do entorno, derivados de basalto.

Figura 8 - Depósitos de grãos de quartzo nos sulcos de drenagem em locais onde predominam os solos com altos teores de areia, em Vacaria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A presença de elevados teores de areia em cotas inferiores a 925 m pode estar associada à processos de erosão eólica. Na Tabela 4 é apresentada a distribuição granulométrica dos horizontes de três (3) perfis de solo estudados na área mais arenosa. Esses perfis, juntamente aos demais do presente estudo, estão descritos com detalhamento no item 6.3. Verifica-se que os maiores teores de areia total foram encontrados nos solos classificados como LBdh (Latossolo Bruno distrófico húmico) e no Latossolo Vermelho distrófico típico e os menores valores no solo LAdt (Latossolo Amarelo distrófico típico). Para esses solos, os teores de areia fina são bastante expressivos e em média atingem 97% da areia total. Este fato, associado ao relevo plano a suave ondulado resulta em solos com alta suscetibilidade a erosão eólica. Com isso a adoção de sistemas de manejo conservacionistas como a semeadura direta e a prática mecânica para redução da velocidade do vento, podem contribuir significativamente para a conservação das características físico-químicas dos solos em questão.

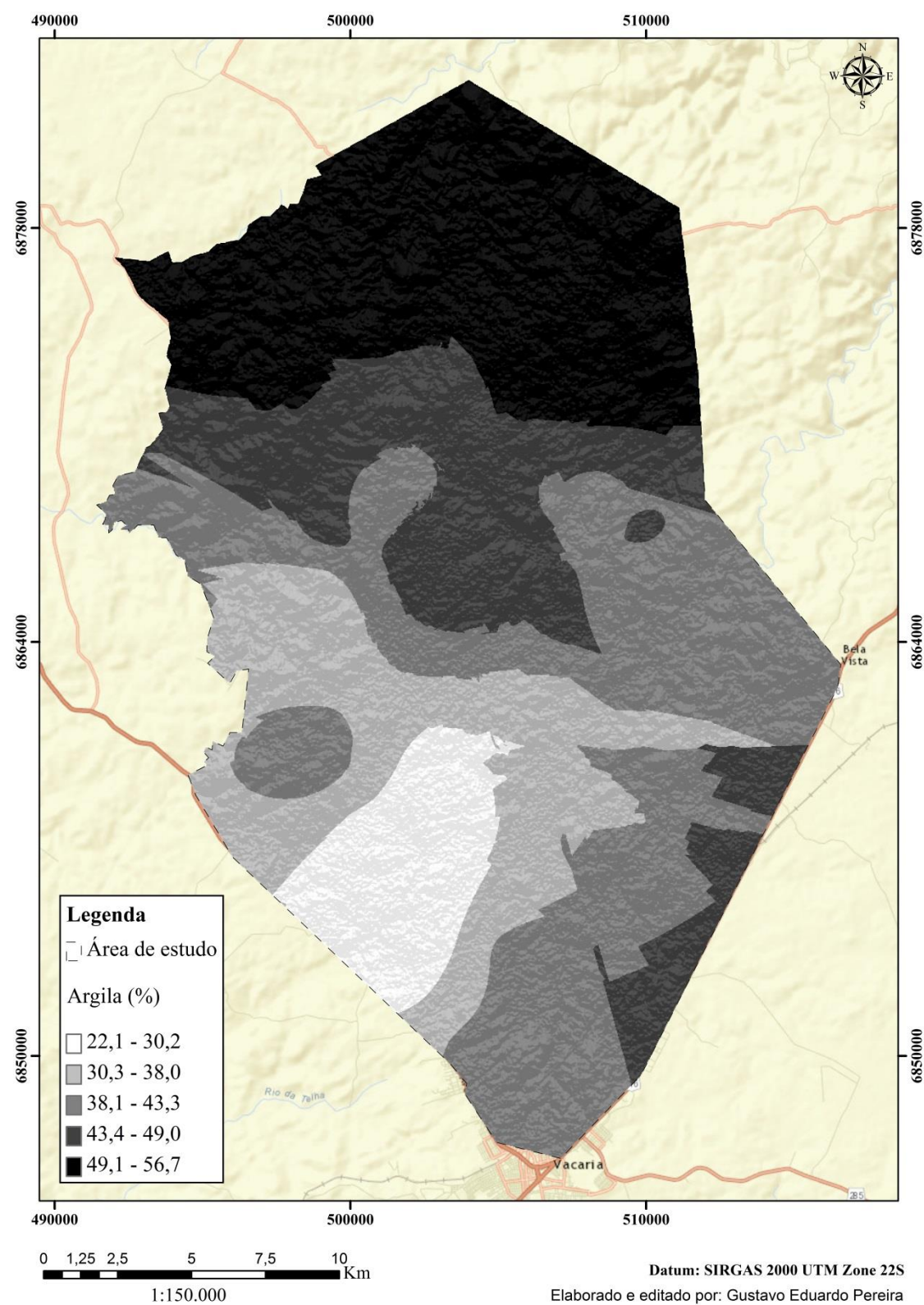
Tabela 4 – Teores de areia total, areia fina e areia grossa, conforme classificação Americana (USDA) para os perfis de solos avaliados.

Perfil	Horizonte	Areia Total (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)
LBdh	Ap	49	99	1
	A1	51	98	2
	A2	48	98	2
	AB	41	99	1
	BA	41	99	1
	Bw1	43	99	1
	Bw2	45	100	0
	Bw3	46	100	0
LAdt	A1	30	95	5

	A2	28	95	5
	AB	26	90	10
	BA	21	94	6
	Bw1	20	96	4
	Bw2	21	95	5
	Bw3	21	95	5
LVdt	A1	42	98	2
	A2	40	97	3
	A3	36	99	1
	AB	40	98	2
	BA	44	99	1
	Bw1	45	99	1
	Bw2	52	99	1
	Bw3	58	100	0

Na Figura 9 está representado o mapa de distribuição espacial da argila. Este atributo apresentou teores com menor variação do que a areia. Os solos com teores de argila superiores a 50% localizam-se nas regiões de maior altitude, situadas ao norte da área de estudo. Os solos com teores de argila inferiores a 40% ocupam as posições de menor altitude, situadas ao sul da área de estudo. Neste caso a erosão eólica pode não ter alcançado os locais de maior altitude.

Figura 9 - Mapa de distribuição espacial da argila na área de estudo, em Vacaria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



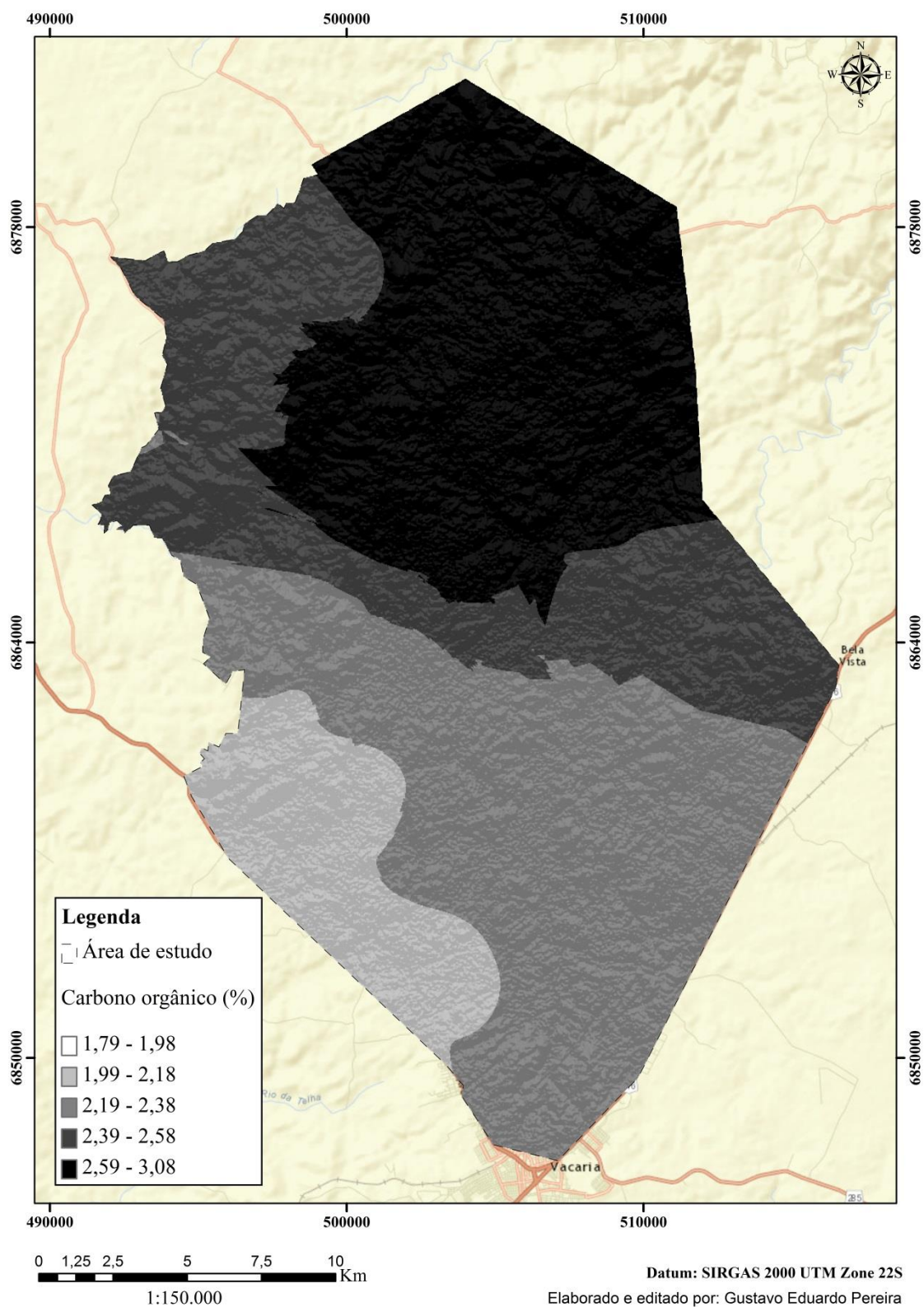
### 6.1.3 Carbono orgânico

Na Figura 10 está representado o mapa de distribuição dos teores de carbono orgânico (CO) na área de estudo. Nas regiões de maior altitude os valores de CO ultrapassaram 3%. À medida que a elevação diminui os teores de CO tenderam a diminuir, com valores em torno de 2% nas áreas de menor altitude.

Os teores mais elevados de CO estão de acordo com a literatura. De acordo com o Levantamento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973), em locais onde a altitude ultrapassa 940 m, como em Bom Jesus/RS, a decomposição da matéria orgânica é lenta, resultando em acúmulo de CO no horizonte superficial.

Os maiores valores de CO na região norte da área de estudo podem estar associados à textura argilosa e muito argilosa dos solos. Santos et al., (2008) ressaltam que a elevada área de superfície específica e a grande quantidade de radicais orgânicos dispostos na superfície influenciam a interação com o CO do solo. Estudo realizado por Martin et al.(1982) verificaram maiores perdas acumulativas de CO em solos de carga permanente (clima temperado) do que em solos de carga variável, comprovando a associação do CO com os óxidos, minerais típicos de solos com carga variável.

Figura 10 - Mapa de distribuição espacial do carbono orgânico na área de estudo, em Vacaria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Nos Latossolos de textura argilosa, a maior capacidade de formação de agregados observada nesta classe de solos resulta em maior proteção física da matéria orgânica (OADES et al., 1989). Por outro lado, em solos com maiores teores de areia nos horizontes superficiais, a capacidade de proteção física da matéria orgânica é baixa, além da menor estabilidade química devido ao menor teor de óxido de ferro no solo (SANTOS et al., 2008).

A adsorção da matéria orgânica do solo pelos componentes minerais da fração argila propicia proteção contra o ataque biológico, resultando em maior acúmulo de matéria orgânica no solo (BALDOCK; SKJEMNSTAD, 2000). Uma relação positiva entre teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro pode ser vista em Oades (1988). Como também destacado por Dalmolin (2002), o comportamento diferenciado dos Latossolos sugere que a matéria orgânica é menos protegida pela fração mineral devido ao baixo teor de argila.

#### 6.1.4 Ferro (DCB)

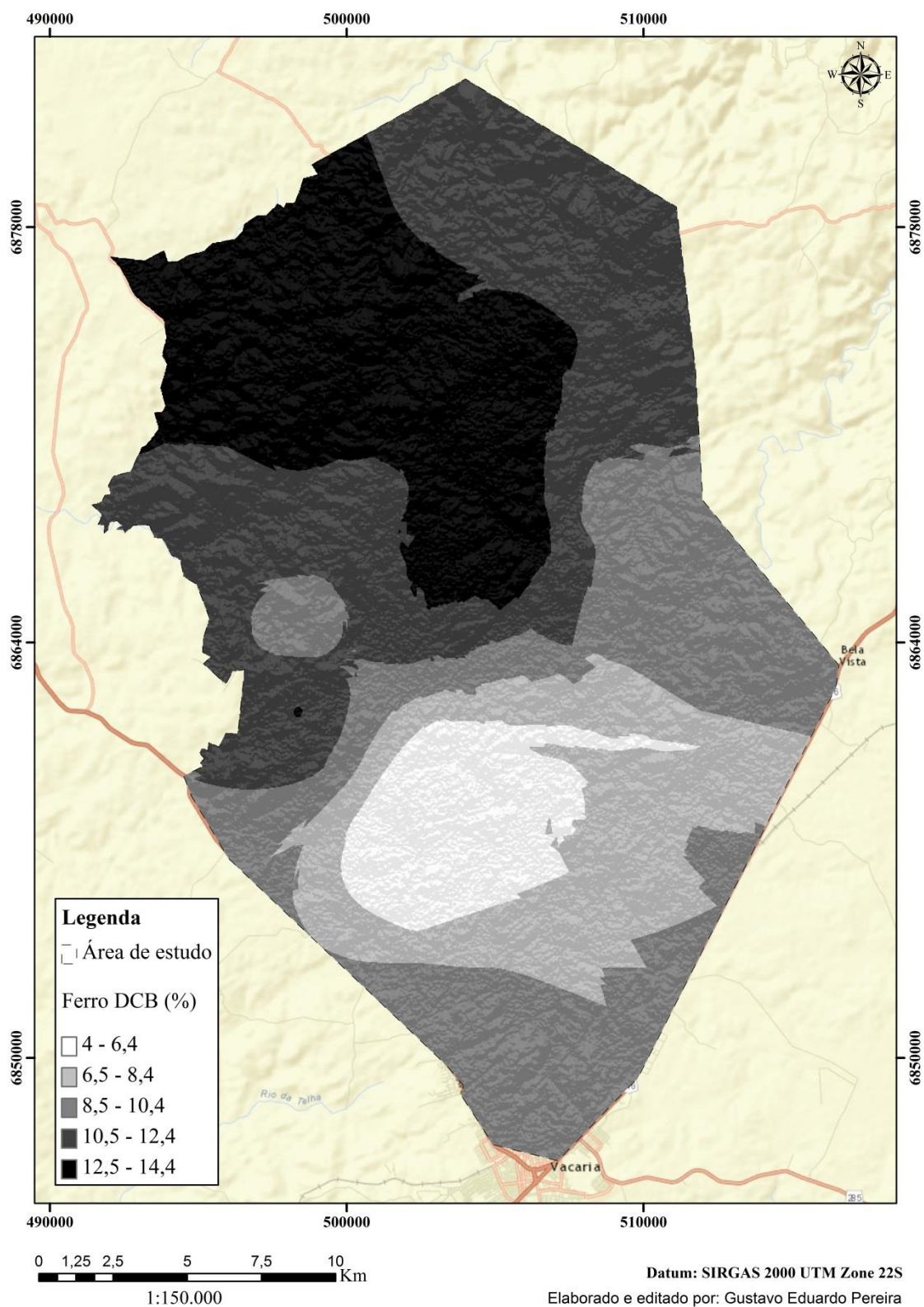
Os solos com teores de ferro inferior a 6% ocupam aproximadamente 31% da área total, o que corresponde a 19.000 hectares. As classes de solos com 8 e 10% de ferro extraído por DCB ocupam respectivamente 23 e 24% da área, seguido pelos solos com teores superiores a 12%, os quais representam cerca de 22% da área total (Figura 11).

Os maiores teores de ferro foram encontrados nos horizontes subsuperficiais dos solos de textura argilosa e muita argilosa, concordando com os valores normalmente encontrados em solos desenvolvidos de basalto do Sul do Brasil (BRASIL, 1973; 1986).

Os teores de óxidos de ferro dos solos de textura média diferiram dos valores mínimos descritos na literatura para os solos da região. Estes foram similares aos solos desenvolvidos de arenitos, como de Passo Fundo e Cruz Alta (BRASIL, 1973).

Rochas ígneas, como o basalto, por serem ricas em ferro, originam solos com elevado teor deste elemento (CURI; FRANZMEIER, 1987; FONTES; WEED, 1991; GERGELY et al.; 2000). Ao contrário, solos desenvolvidos sob a influência de arenito apresentam menores teores de ferro devido aos menores teores deste elemento no material originário (DALMOLIN, 2002; VENDRAME et al., 2011). A contribuição de materiais de constituição mais arenosa também pode diminuir os teores de ferro no solo.

Figura 11 - Mapa de distribuição espacial dos teores de ferro extraídos por DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) na área de estudo, em Vacaria, RS.

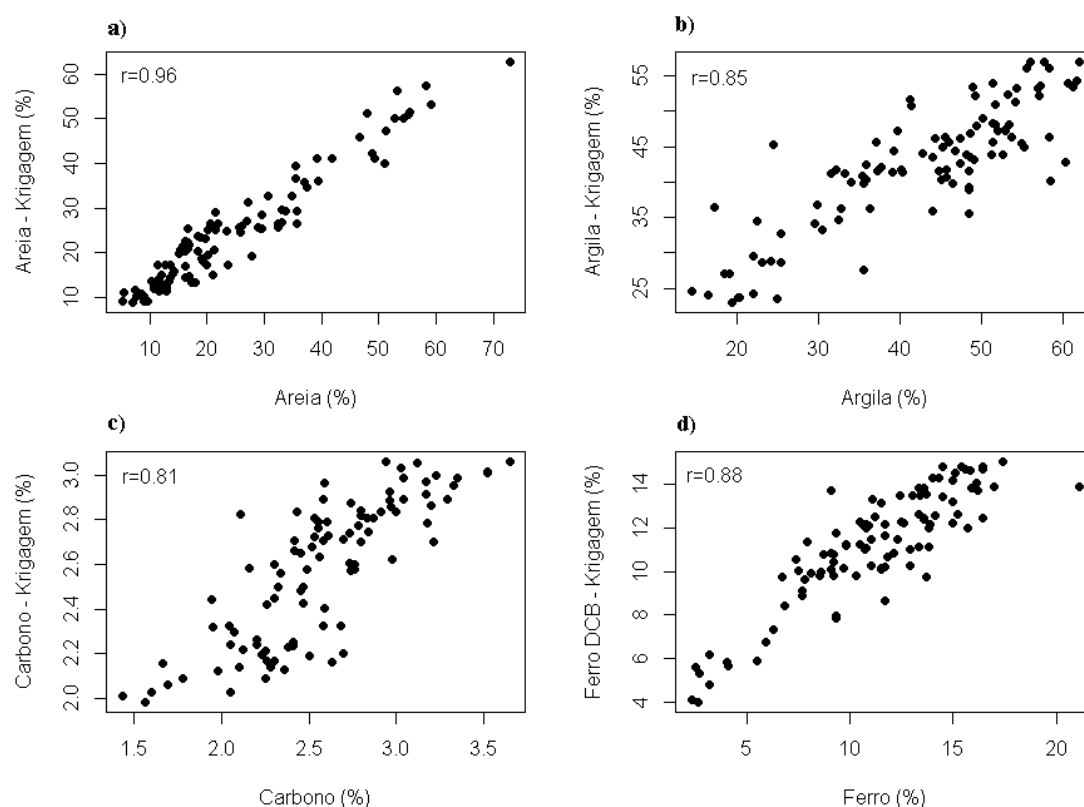


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 6.1.5 Relação dos atributos do solo determinados pelos métodos krigagem e análise laboratorial

Quanto aos teores de areia é possível observar correlação muito forte ( $r=0.96$ ) entre os valores obtidos em laboratório com os valores dos mapas (Gráfico 1a). Todos os dados foram utilizados na análise de correlação, não havendo distinção entre grupo de calibração e validação. Os teores de areia obtidos pelo Método da Pipeta apresentaram média de 25% e variância de  $220 \text{ g kg}^{-2}$ . Após a geração dos mapas pela krigagem o valor médio foi de 25% e a variância diminuiu para  $166 \text{ g kg}^{-2}$ .

Gráfico 1- Diagramas de dispersão entre os teores de areia (a), argila (b), carbono orgânico (c) e ferro extraído por DCB (d) determinados a partir dos valores obtidos em análises laboratoriais e valores estimados pela krigagem, para as cem (100) amostras das camadas superficiais dos solos.



A variável argila apresentou forte correlação ( $r=0.85$ ) quando relacionados com os valores das análises laboratoriais com o mapa final (Gráfico 1b). A média dos teores obtidos pelo método da pipeta foi de 42% de argila com variância de  $157 \text{ g kg}^{-2}$ , enquanto o valor médio do mapa de argila foi de 42% e variância de  $77 \text{ g kg}^{-2}$ .

O teste de correlação comparando os valores de CO obtidos pelo método de oxidação via úmida com os valores estimados por krigagem resultou em um coeficiente de correlação de 0,81 (Gráfico 1c). As análises laboratoriais para os pontos coletados apresentaram média



de 3% de CO com variância de  $0,20 \text{ g kg}^{-2}$ . Neste caso os valores estimados apresentaram a mesma média, porém a variância diminuiu para  $0,10 \text{ g kg}^{-2}$ . Os teores de ferro extraído por DCB obtidos nas análises laboratoriais também foram similares aos estimados pela krigagem (Gráfico 1d), resultando em teores médios de ferro de 11%. Assim como nas demais variáveis analisadas, a variância diminuiu de 14 para  $7 \text{ g kg}^{-2}$ , evidenciando o efeito da krigagem na redução da variância.

A redução da variância de estimativa pela krigagem ordinária se deve a uma série de técnicas de análise de regressão, as quais são modeladas com base na continuidade espacial dos dados (SOUZA et al., 2014). Estes mesmos autores ressaltam que por ser a krigagem um método robusto para minimizar a variância do erro, não apresenta enviesamento, sendo um interpolador exato, uma vez que mantém a originalidade dos pontos dos dados amostrais.

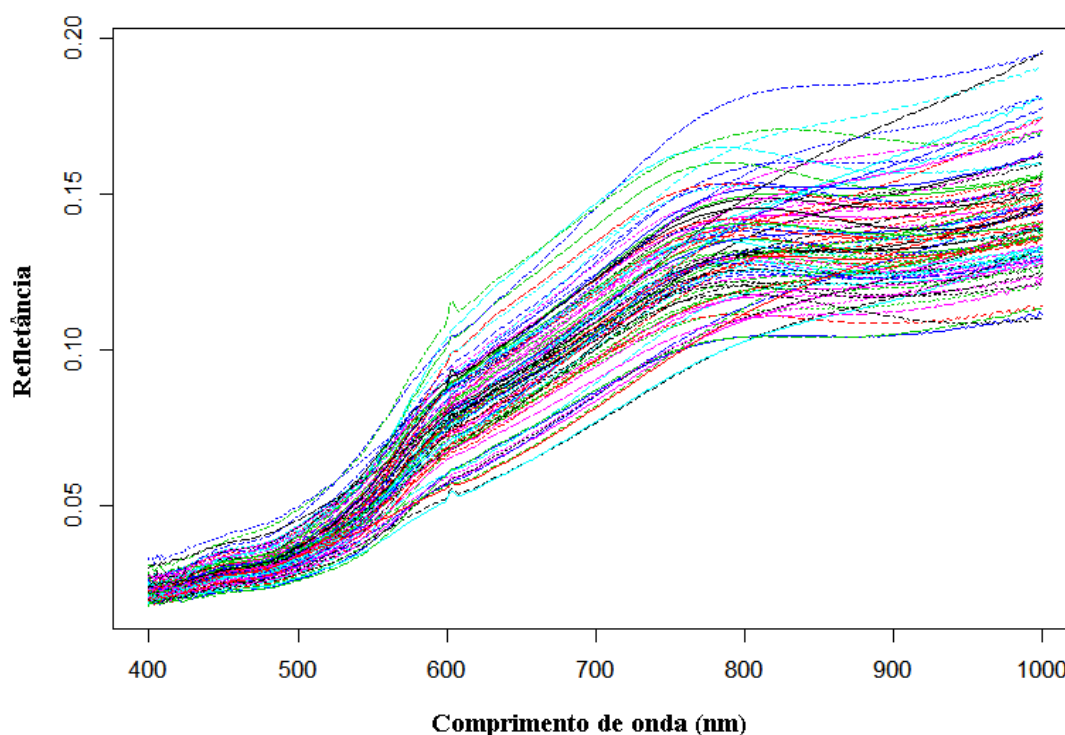
De acordo com os coeficientes de correlação obtidos para as variáveis CO e argila, os valores estimados diferem dos reais, porém, ao considerar os custos econômicos e impactos ambientais dos métodos utilizados, se torna interessante a obtenção destes dados a partir dos mapas gerados pela krigagem.

A maior variação entre os teores estimados pela krigagem em relação aos obtidos em laboratório foi observada para a variável argila. Neste caso a correlação foi classificada como forte, no entanto os dados não seguiram uma tendência linear como nas demais variáveis. A maior linearidade da relação entre os valores representa maior proximidade dos valores estimados com os reais. Os teores de areia e o ferro (DCB) estimados pela krigagem apresentaram tendência linear, com valores de correlação superiores aos demais. Assim a utilização de um destes atributos, ou a combinação entre eles, possui elevado potencial para identificação e delimitação de solos com horizonte superficial arenoso para os solos avaliados.

## 6.2 ANÁLISES ESPECTRAIS

A curva espectral é o resultado da interação da radiação eletromagnética com atributos do solo tais como material de origem, mineralogia e granulometria (BAUMGARDNER et al., 1985; DEMATTÊ, 2000). No gráfico 2 estão representadas as curvas espectrais das cem (100) amostras analisadas.

Gráfico 2 - Refletância espectral das 100 amostras das camadas superficiais em relação ao comprimento de onda.

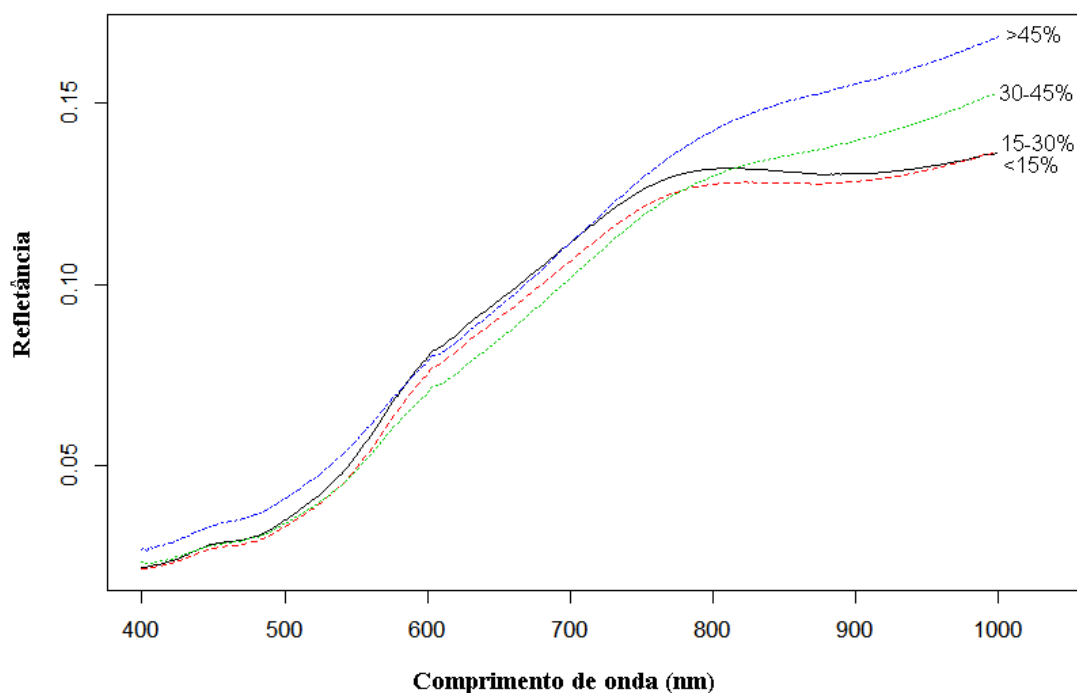


Embora os solos apresentem comportamentos espectrais similares, observa-se que as maiores diferenças entre as amostras ocorrem na faixa de comprimento de onda entre 700 e 900 nm, indicando o potencial para discriminar os atributos que vem a seguir.

#### 6.2.1 Granulometria

A distribuição do tamanho de partículas e os argilominerais existentes no solo podem influenciar a resposta espectral dos solos (DALMOLIN, 2002). As curvas espectrais para os solos avaliados, conforme os teores de areia e argila são mostradas nos gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Refletância espectral dos solos de acordo com os teores de areia.

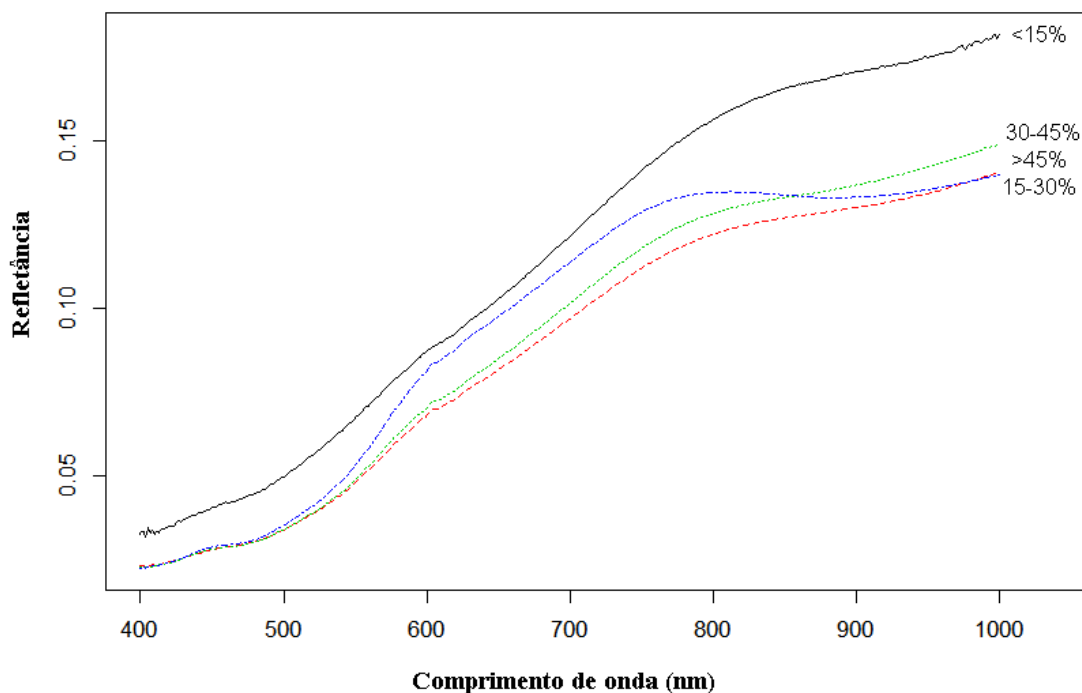


A curva espectral dos solos com maiores teores de areia apresenta comportamento distinto dos demais, entre 400 a 550nm, e acima de 900nm retorna a expressar esta diferença com maior amplitude. Para a variável areia, a máxima correlação ( $r=0,52$ ) foi obtida na faixa de 1000nm. Coeficientes de correlação negativos indicam que um aumento da concentração desses elementos contribui para redução da refletância (DEMATTE et al., 2000; ALKIMIM et al., 2011). Por outro lado, coeficientes positivos representam uma relação direta positiva entre a resposta espectral e os teores no solo.

Solos com maiores teores de areia tendem a apresentar maior refletância, devido à presença de minerais ricos em quartzo (SOUSA JUNIOR et al., 2008). A maior amplitude entre as curvas em intensidades superiores a 800nm está de acordo com Cezar et al. (2012) que preconiza a utilização da região entre 1000 a 1800nm para avaliação da resposta espectral.



Gráfico 4 - Refletância espectral dos solos de acordo com os teores de argila.



As curvas espectrais para areia e argila foram similares entre si, porém não idênticas. Na área de estudo ocorrem solos com teores de areia superior a 45% e argila inferior a 15%, mascarando o efeito da argila na distinção dos solos em questão. O conteúdo de argila influencia a refletância na região de 500 a 700nm (MONTGOMERY, 1976). Coleman et al., (1991) avaliaram correlações entre propriedades espectrais e teores de argila e elegeram a região entre 520 e 600nm como a mais adequada para predizer os teores de argila na região do visível. A resposta espectral e os teores de argila apresentaram máxima correlação na faixa de 623nm, concordando com os resultados descritos na literatura.

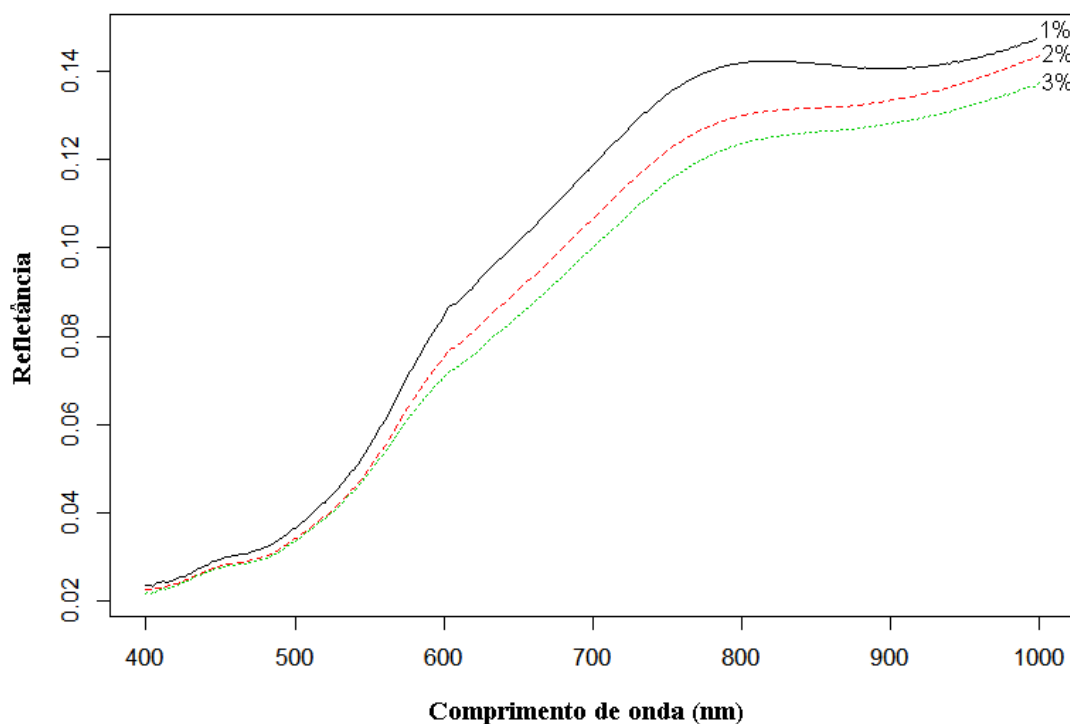
#### 6.2.2 Carbono orgânico

O carbono orgânico influencia na forma e no albedo da curva espectral ao longo de todo o espectro óptico (DALMOLIN, 2005). Estudo realizado por Mathews et al., (1973) concluiu que amostras com teores de matéria orgânica acima de 12,8% apresentaram um decréscimo significativo na refletância na região entre 500 a 1150nm. Este mesmo comportamento não foi observado para solos com teores entre 2 a 3% de matéria orgânica (DALMOLIN, 2002).

Com a finalidade de identificar os comprimentos de onda mais adequados para predição dos conteúdos de matéria orgânica, Krishman et al., (1980) obtiveram coeficientes de correlação de 0,98 para as bandas na região de 564 e 623nm. Coleman et al., (1991)

utilizando radiômetro de campo concluíram que o conteúdo de matéria orgânica do solo foi melhor estimado na região do visível usando a banda entre 520 e 600nm. A curva espectral para os solos avaliados, de acordo com as classes dos teores de carbono orgânico esta apresentada no gráfico 5.

Gráfico 5 - Refletância espectral dos solos de acordo com os teores de carbono orgânico. 1% = teor de carbono orgânico inferior a 1%; 2% = teor de carbono orgânico entre 2 e 3%; 3% = teor de carbono orgânico superior a 3%.



Nos solos estudados, o carbono orgânico teve máxima correlação com a resposta espectral na faixa de 732nm, com coeficiente de correlação de -0,36. O comportamento da curva está de acordo com Al Abbas et al., (1972) e Demattê; Garcia (1999) que preconizam um aumento na resposta espectral com o decréscimo dos teores de carbono orgânico do solo. A baixa correlação observada para esta variável vai de encontro com diversos autores que ressaltam a complexidade de estimar os teores de carbono orgânico através da espectrorradiometria, uma vez que influencia a curva espectral ao longo de todo espectro óptico (DALMOLIN, 2002; DOTTO, 2016). Considerando os coeficientes de correlação obtidos, a região próxima a 800nm apresentou maior potencial para distinção dos três grupos de carbono orgânico em questão.

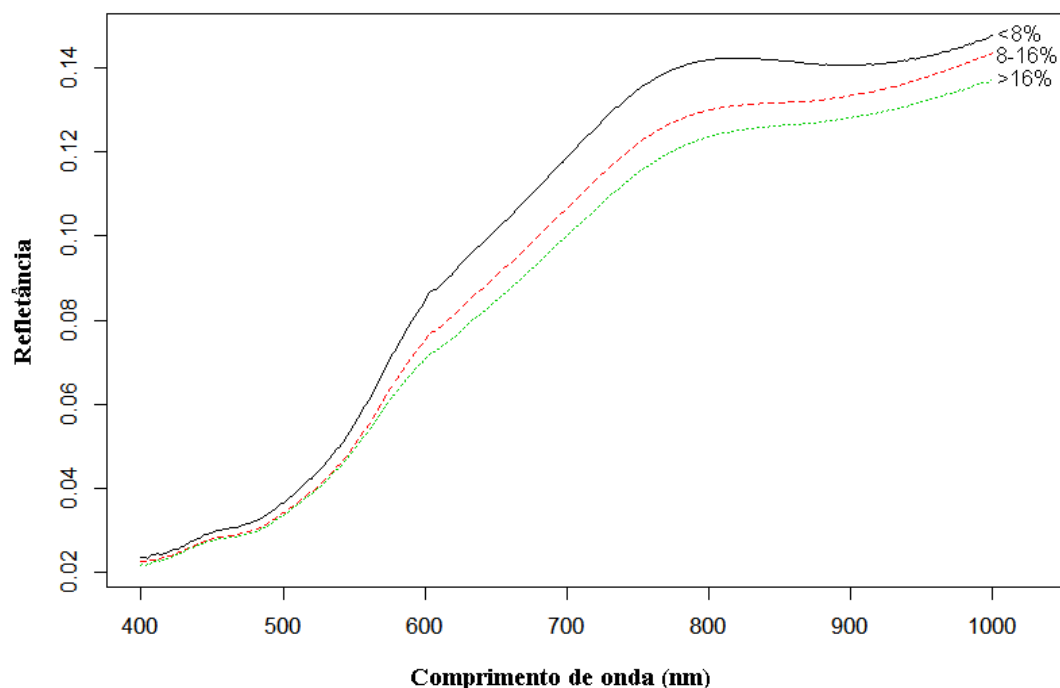
### 6.2.3 Ferro (DCB)

Os óxidos de ferro (hematita e goethita) afetam o comportamento físico e químico do solo e conseqüentemente sua resposta espectral (DALMOLIN et al., 2005). Estes mesmos autores afirmam que esses minerais mostram feições espectrais características em 530nm e 480nm, respectivamente, sendo que a goethita apresenta maior refletância que a hematita (VITORELLO; GALVAO, 1996).

A possibilidade de determinação dos teores de óxidos de ferro a partir da refletância espectral já foi estudada por Ben-Dor et al., (1999). Estes autores atentam para necessidade de considerar as interações entre este óxido com outros componentes do solo. Madeira Neto (1991) avaliou o comportamento espectral de Latossolos com diferentes teores de óxidos de ferro. Em solos com baixos teores de ferro houve um aumento da refletância ao longo do espectro, já em solos com teores mais elevados de óxidos de ferro a refletância decresceu significativamente após 600nm. Vitorello; Galvão (1996) afirmam que a goethita apresenta maior refletância do que a hematita, visto que estudos já comprovaram absorção de maior energia radiante pela hematita na região entre 300 e 800nm.

A máxima correlação entre os teores de ferro e a resposta espectral foi obtida no maior comprimento de onda (1000nm), com um coeficiente de -0,58. Estes resultados estão de acordo com Madeira Neto (1991), com um aumento da refletância ao longo do espectro em solos com baixos teores de ferro e conseqüente diminuição da refletância em solos com teores mais elevados (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Resposta espectral em função dos teores de ferro extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. < 8% = teor de ferro menor do que 8%; 8 – 16% = teor de ferro entre 8 e 16%; >16% = teor de ferro maior do que 16%.



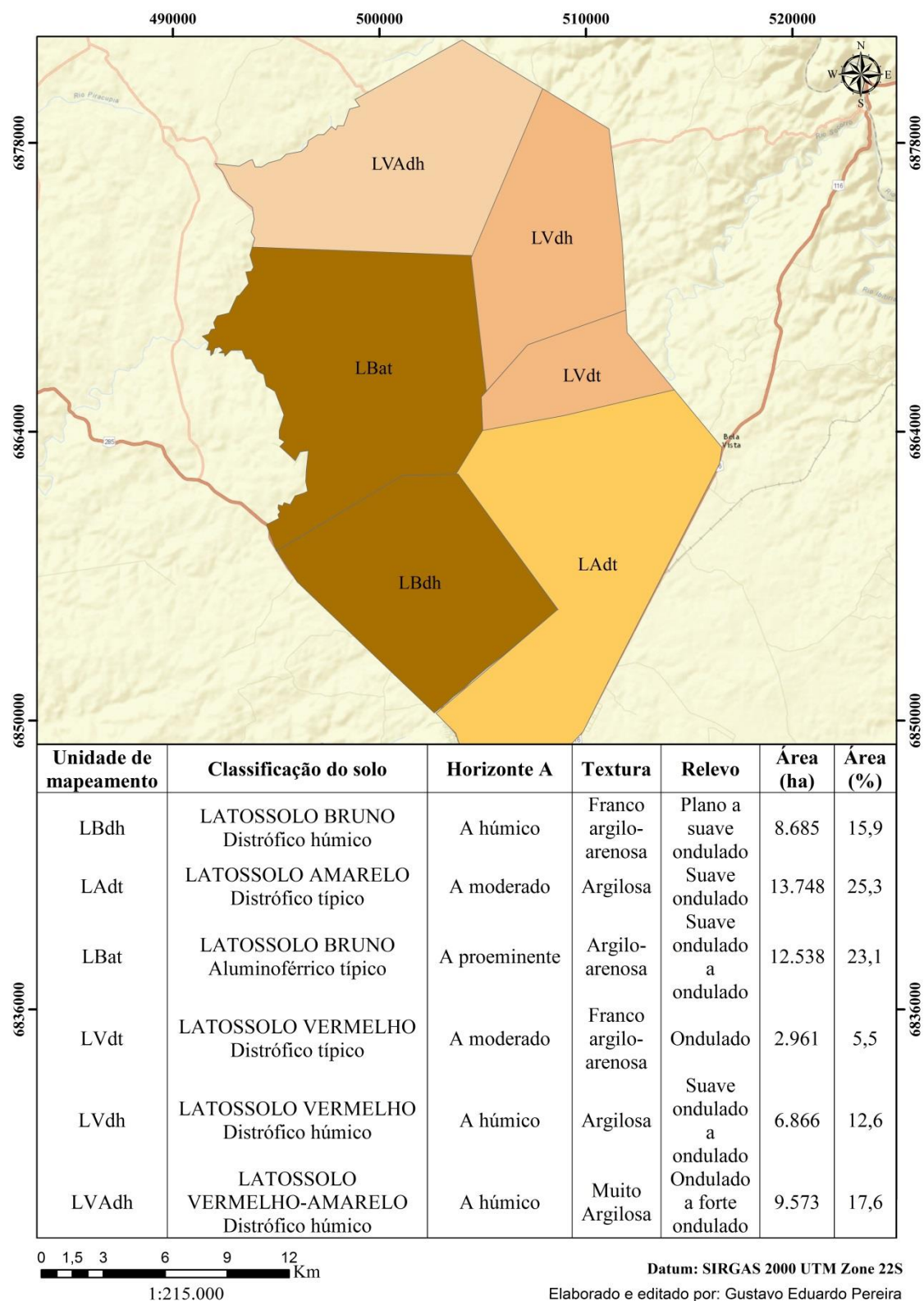
Entre as quatro características físico-químicas (areia, argila, ferro e CO) correlacionados com a resposta espectral, a areia e o ferro (DCB) apresentaram maiores valores de correlação. Para ambos, a máxima correlação foi obtida no pico de intensidade de 1000nm. Nestes casos, a correlação destes atributos com respostas espectrais acima desta faixa pode contribuir significativamente para futuros estudos visando à modelagem destes a partir da resposta espectral dos solos.

### 6.3 DESCRIÇÃO DOS PERFIS E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

#### 6.3.1 Localização e caracterização das áreas de seleção dos perfis

Com os resultados obtidos da caracterização morfológica e das análises químicas e físicas, foram identificados os seguintes solos: LATOSSOLO BRUNO Distrófico húmico (LBdh - Apêndice A), LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (LAdt - Apêndice B), LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVdt - Apêndice C), LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico (LVdh - Apêndice D), LATOSSOLO BRUNO Alumoférrico típico (LBat - Apêndice E), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico (LVAdh - Apêndice F). Na figura 12 está representado o mapa expedido de provável distribuição das classes de solo predominantes na área assim como o tipo de horizonte A, textura, relevo e área total de cada classe.

Figura 12 - Mapa expedito com provável distribuição das classes de solos predominantes na área de estudo em Vacaria, RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na área de estudo predominam Latossolos, com profundidades acima de 150 cm, bem a moderadamente drenados, com coloração bruno escuro a muito escuro (10YR e 7,5YR) nos horizontes superficiais e cores avermelhadas (7,5YR e 5YR) nos horizontes B latossólicos. Os solos estudados apresentam sequência de horizontes A, AB, BA e Bw, com incremento no conteúdo de argila em profundidade, transição difusa e plana e baixa CTC da fração argila, feição comum da maioria dos Latossolos do Sul do Brasil (DALMOLIN, 2002; ALMEIDA et al., 2003).

O incremento de argila foi pouco expressivo para os perfis LVdh, LBat e LVAdh, enquanto no LBdh e LAdt houve aumento da argila em profundidade, foi observado incremento dos teores de areia no LVdt.

Com relação ao grau e forma de transição entre os horizontes, os perfis LVdh, LBat e LVAdh apresentaram características similares, com transições clara e plana nos horizontes A1 e A2, seguidos por transição gradual e plana no horizonte A3 e nos demais horizontes transicionais. Os perfis LBdh, LAdt e LVdt diferiram daqueles pela presença de transição gradual e plana nos horizontes B latossólicos, indicando menor homogeneidade ao longo do perfil.

Em todos os perfis avaliados os valores de pH em KCl (1M) foram inferiores aos obtidos na leitura em água. Nestes solos a interação entre ânions orgânicos e a superfície dos óxidos é responsável por diferentes propriedades eletroquímicas nos horizontes A e B (Santos et al., 2008). Nas condições de pH prevalentes na maioria dos solos ( $5 \leq \text{pH} \leq 7$ ), os óxidos de ferro devem apresentar preferencialmente capacidade de troca de ânions - CTA e baixa, ou até mesmo nula capacidade de troca de cátions – CTC (MELO, 2009). Estudo realizado por Alleoni; Camargo (1995) encontraram valores de PESN (ponto de efeito salino nulo) entre 3,4 a 3,6 para o horizonte A e de 5,6 a 6,0 para o horizonte B dos mesmos solos. Os autores atribuem a elevação do PESN no horizonte B à redução dos teores de matéria orgânica.

Conforme Ker (1984), os Latossolos tendem a apresentar elevado grau de floculação nos horizontes B latossólicos (Bw), em comparação aos horizontes superficiais. Em todos os perfis avaliados o grau de floculação foi superior a 96% nos horizontes Bw3 com um decréscimo para até 56% nos horizontes Bw1.

De acordo com Brasil (1973), os Latossolos Brunos que ocorrem em Vacaria, RS, apresentam teores de  $\text{SiO}_2$  entre 22 e 25%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em torno de 18 a 22% e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variando de 19 a 22%. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013a) utiliza o teor de óxidos de ferro determinado no ataque sulfúrico para diferenciação de solos hipoférricos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 80 \text{ g kg}^{-1}$ ), mesoférrico ( $80 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 180 \text{ g kg}^{-1}$ ), férrico ( $180 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 360 \text{ g kg}^{-1}$ )

e perférrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 360 \text{ g kg}^{-1}$ ). Os teores de ferro variaram de hipoférrico a mesoférrico e a relação molecular  $K_i$  não ultrapassou 2,2 para nenhum horizonte avaliado, requisito suficiente para o solo ser classificado como horizonte B latossólico.

Nos perfis LBdh (Apêndice A) e LVdt (Apêndice C) foi observada a presença de caráter retrátil ocasionando fendas verticais pronunciadas (BRASIL, 1973). Este atributo diagnóstico é observado em Latossolos e Nitossolos e está associado à presença de argilominerais 2:1 com Hidroxi-Al entrecamadas. Ocorre normalmente em solos de regiões de clima subtropical úmido, como nos planaltos alto-montanos do Sul do Brasil (EMBRAPA, 2013a).

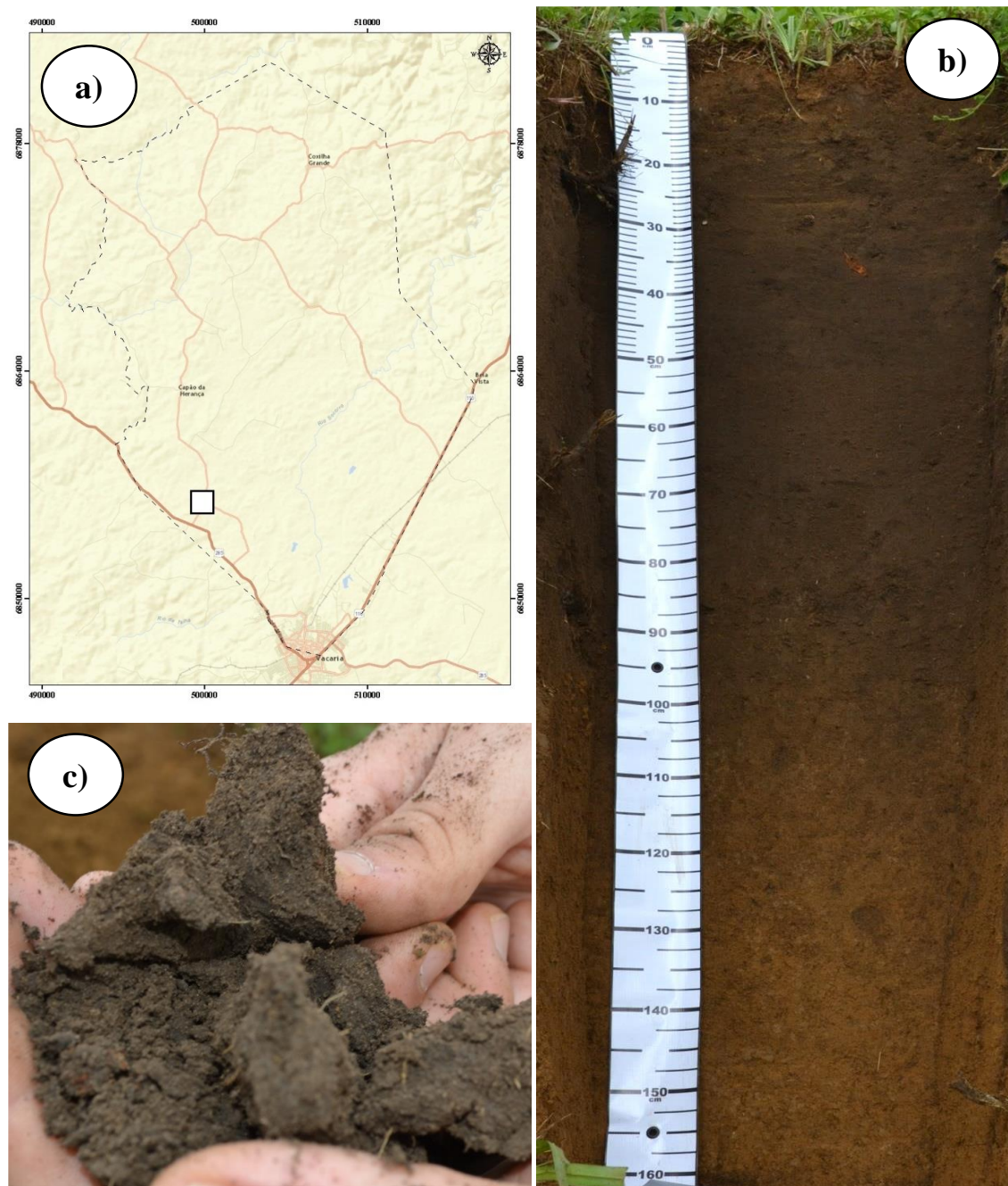
Os perfis LVdh, LBat e LVAdh apresentaram características típicas de solos desenvolvidos de basalto, como elevados teores de argila, distribuídos de forma homogênea ao longo do perfil. Nestes casos os solos variaram entre as classes texturais argilosa e muito argilosa, com teores de argila superiores a 35%. Estes não foram descritos com maiores detalhes, pois o objetivo do estudo consiste na identificação e delimitação dos solos com altos teores de areia.

#### 6.3.1.1 LATOSSOLO BRUNO Distrófico húmico

Na estrada sentido Vacaria - Lagoa Vermelha, 0,5 km da BR 285 (25°25'22,82''S e 51°00'01,04''W) (Figura 13a) foi descrito e coletado o LATOSSOLO BRUNO Distrófico húmico - LBdh (Apêndice A) entre o terço médio e inferior da encosta. Nesta região predomina relevo plano, com declividades em torno de 2% e altitude média de 915 m. Este solo apresenta profundidade superior a 170 cm e ausência de pedregosidade, rochosidade ou erosão aparente (Figura 13b).



Figura 13 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte superficial do LATOSSOLO BRUNO Distrófico húmico (c).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O solo apresenta horizonte superficial A húmico, com predomínio de cores de matiz 10YR em todo perfil (Figura 13c). A classe textural predominante nos horizontes superficiais é a franco argilo-arenosa, enquanto nos horizontes subsuperficiais é a classe argilo-arenosa. Os teores de argila apresentaram incremento em profundidade enquanto o silte diminuiu significativamente. Uma tendência observada foi a homogeneidade dos teores de areia ao



longo do perfil, evidenciando a contribuição de material de origem distinto do basalto, indicando possível contribuição de material de origem rico em quartzo, como arenitos.

Os teores de carbono orgânico do perfil deste solo foram inferiores aos dos demais perfis avaliados. Este fato pode estar associado à menor “proteção” do CO pelas partículas do solo, o qual facilita a mineralização desta substância conforme os teores de areia aumentam.

A proximidade do perfil LBdh às vias de acesso resultou em forte interferência humana sobre o mesmo, evidenciado pelos elevados teores de cálcio e magnésio, oriundos de contribuições externas, como a calagem. O aumento destes teores e a consequente redução do alumínio trocável influenciaram a saturação por bases, por alumínio e a capacidade de troca de cátions dos horizontes superficiais.

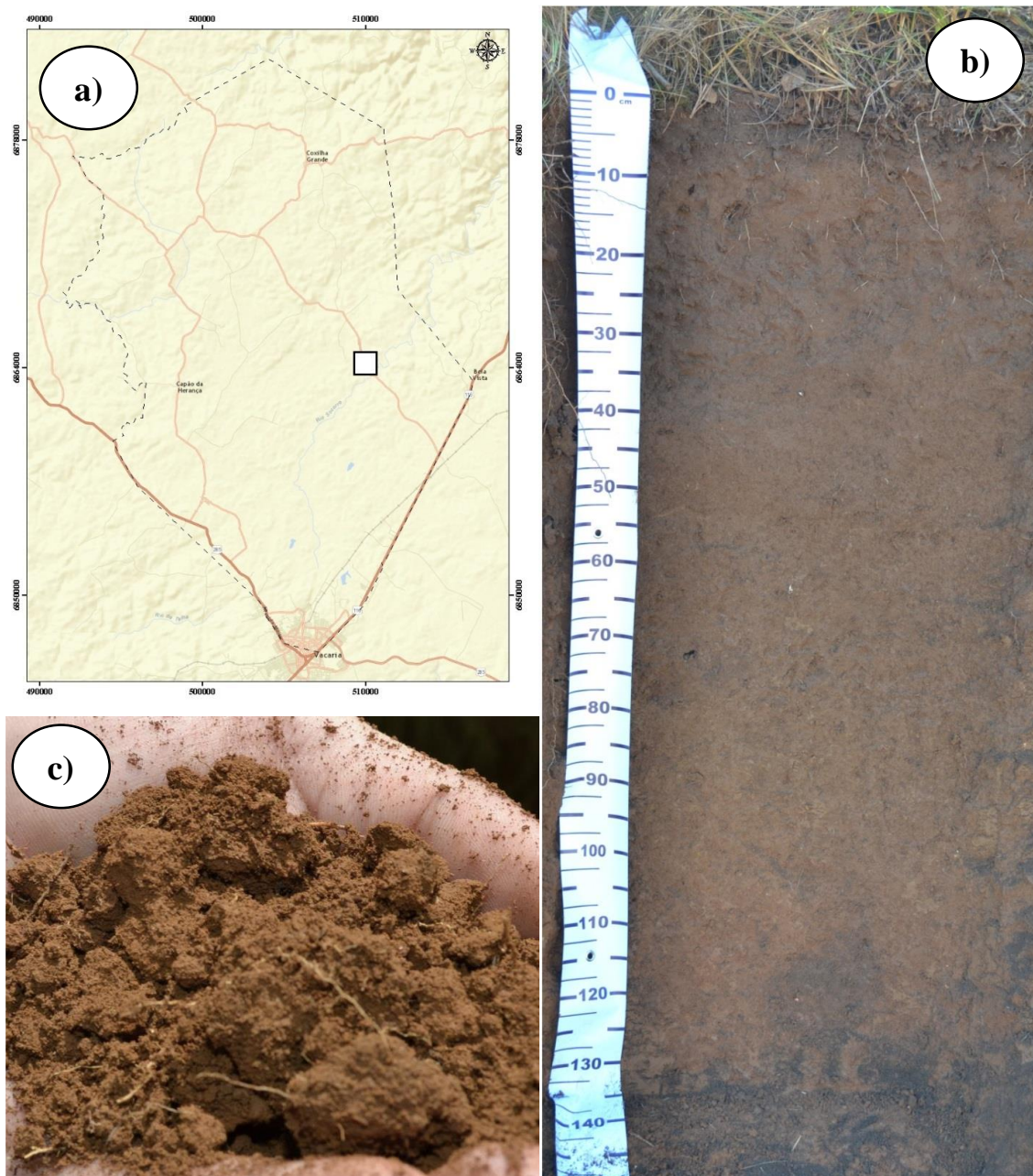
Nestes solos a adoção de formas de manejo do solo como o plantio convencional (aração e gradagem) é facilitada em função da estrutura de grau fraco e muito friável, no entanto contribuem fortemente para redução dos teores de CO e a degradação do solo. Santos et al., (2008) destacam que em solos de textura média a adoção de técnicas de plantio direto, corretamente conduzidos, conserva a agregação e pode aumentar a proteção física do CO no horizonte superficial.

#### 6.3.1.2 LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico

O LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico - LAdt (Apêndice B) foi descrito e amostras foram coletadas no trecho Vacaria - Localidade de São Pedro, 8,2 km da BR 116 após entrar na estrada sentido São Pedro, (28°20'43,59"S e 50°53'59,12"W) (Figura 14a), em área de relevo plano com declividade em torno de 3 % e foi coletado na altitude de 910 m. O solo é desenvolvido de rochas magmáticas da Formação Serra Geral (Figura 14b e 14c), com predomínio de basalto da Fácies Paranapanema (CPRM, 2001).

No LAdt os teores de areia foram inferiores ao LBdh e apresentaram o mesmo comportamento do silte, com decréscimo em profundidade. Assim como no LBdh os teores de areia foram superiores aos descritos na literatura (BRASIL, 1973), indicando possível contribuição de material de origem distinto do basalto na gênese dos horizontes superficiais.

Figura 14 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento da estrutura do LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (c).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Os teores de argila variaram entre os horizontes superficiais, sendo enquadrados na classe franco-argilosa, e nos horizontes subsuperficiais houve predomínio da classe argilosa.

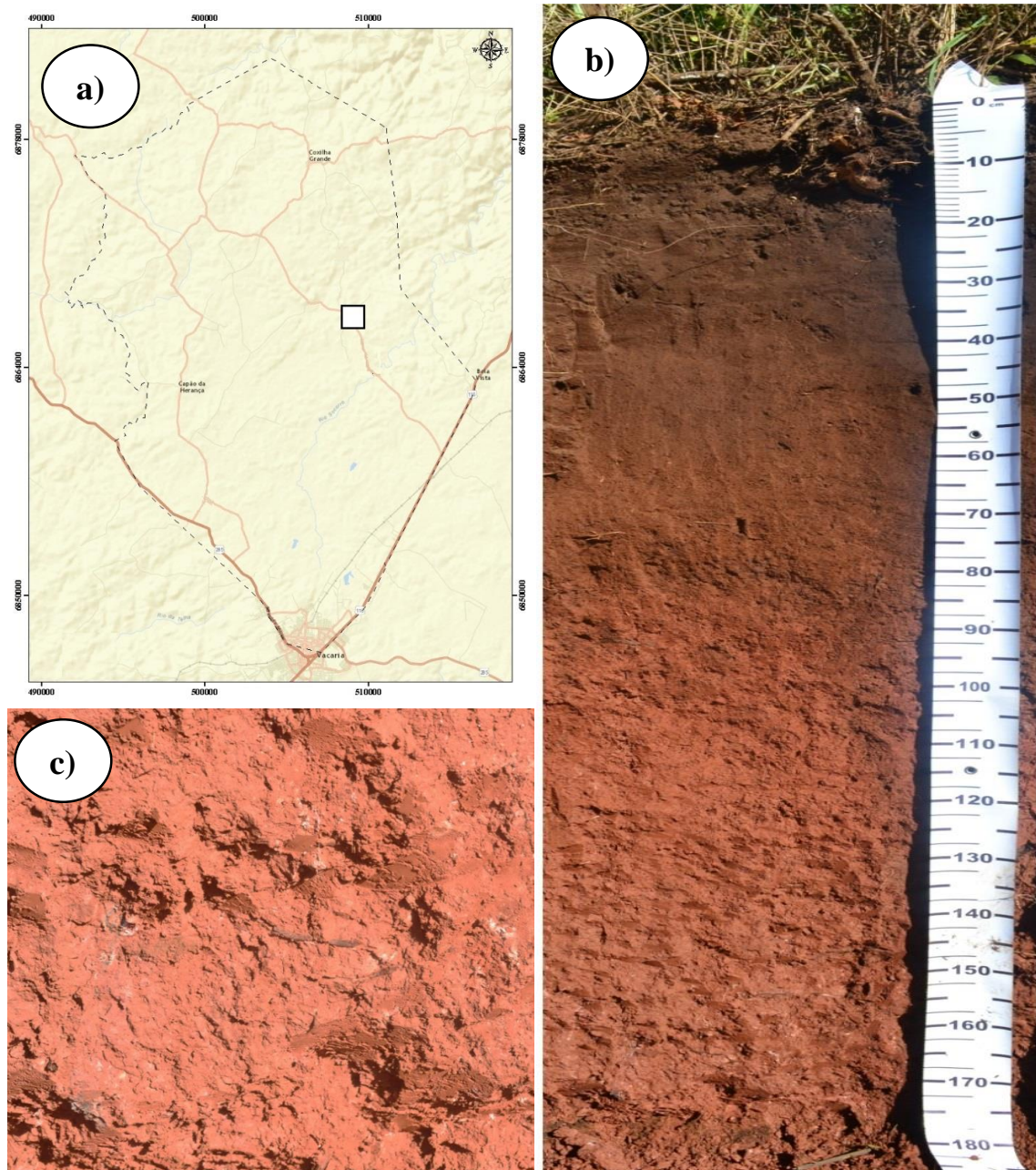
#### 6.3.1.3 LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico

No trecho entre Vacaria - Localidade de São Pedro, 9 km da BR 116 após entrar na estrada sentido São Pedro ( $28^{\circ}20'16,6''S$  e  $50^{\circ}54'5,95''W$ ) (Figura 15a) foi descrito e coletado o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - LVdt (Apêndice C). O solo é



desenvolvido de rochas magmáticas da Formação Serra Geral, Fácies Paranapanema, com predomínio de basalto (Figura 15b e 15c), ocorre em formas de relevo ondulado e declividades em torno de 9% e foi coletado a altitude de 925 m.

Figura 15 - Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte subsuperficial do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (c).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para o LVdt foram observadas características distintas dos demais perfis avaliados, como o incremento dos teores de areia em profundidade. Nos horizontes superficiais houve predomínio da classe textural argila, ao ponto que nos horizontes subsuperficiais os solos variaram entre argilo-arenosa e franco-arenosa. Isto indica que durante a gênese deste solo a

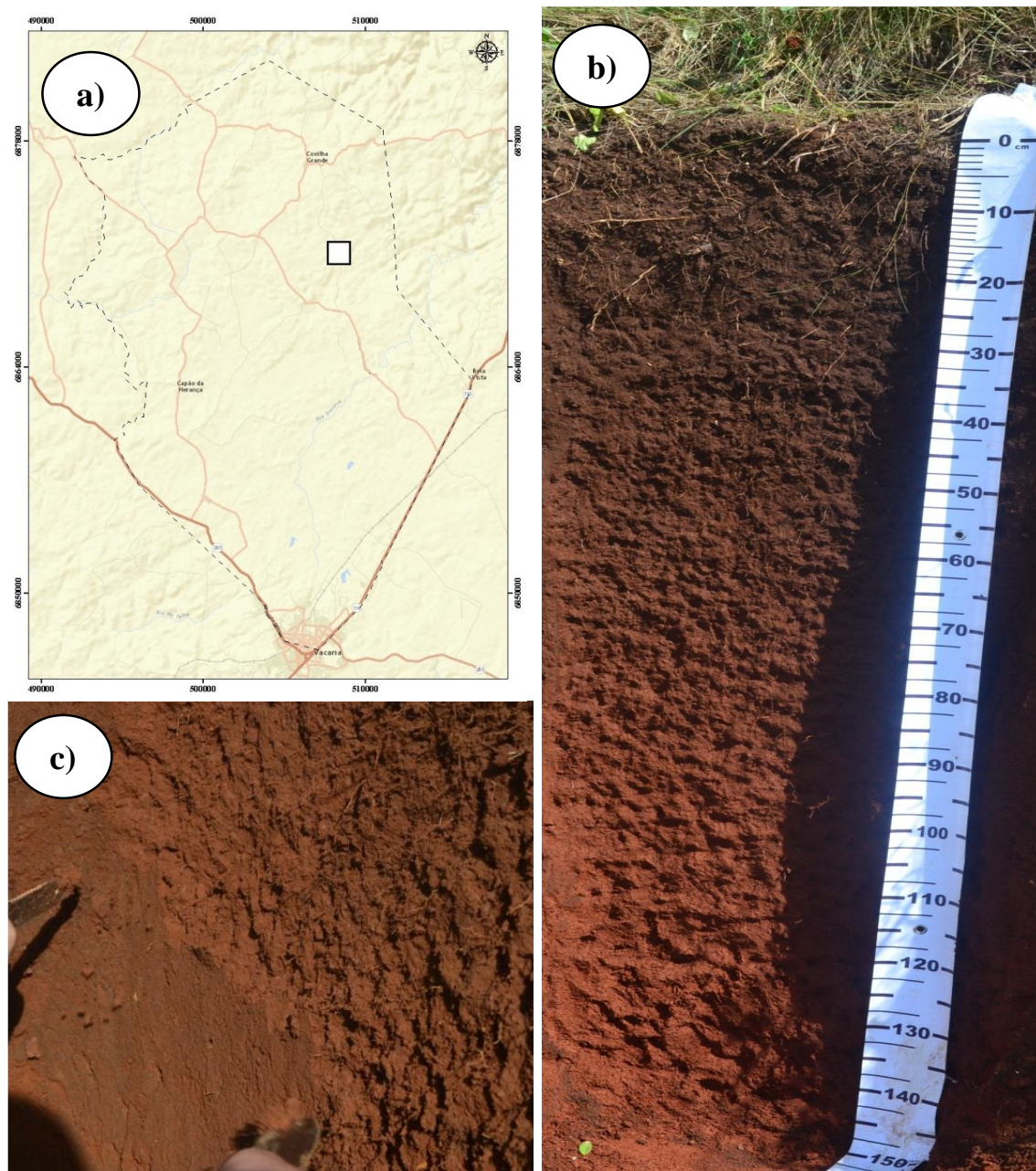
presença de material de origem distinto do basalto contribuiu na formação dos horizontes subsuperficiais deste perfil.

#### 6.3.1.4 LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico

O LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico - LVdh (Apêndice D) foi descrito e coletado no terço superior da encosta, em barranco localizado ao lado direito da estrada que segue para a Localidade de Coxilha Rica, com entrada pela BR-285 (28°18'19,35''S e 50°59'28,8''W) (Figura 16a). O perfil fica localizado a uma altitude de 955 m, declividade de 3% e predominam formas de relevo suave-ondulado a ondulado. O solo é desenvolvido de basalto da Formação Serra Geral (Figura 16b e 16c), Fácies Paranapanema.



Figura 16 – Localização (a), perfil (b) e (c) detalhamento do horizonte superficial do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

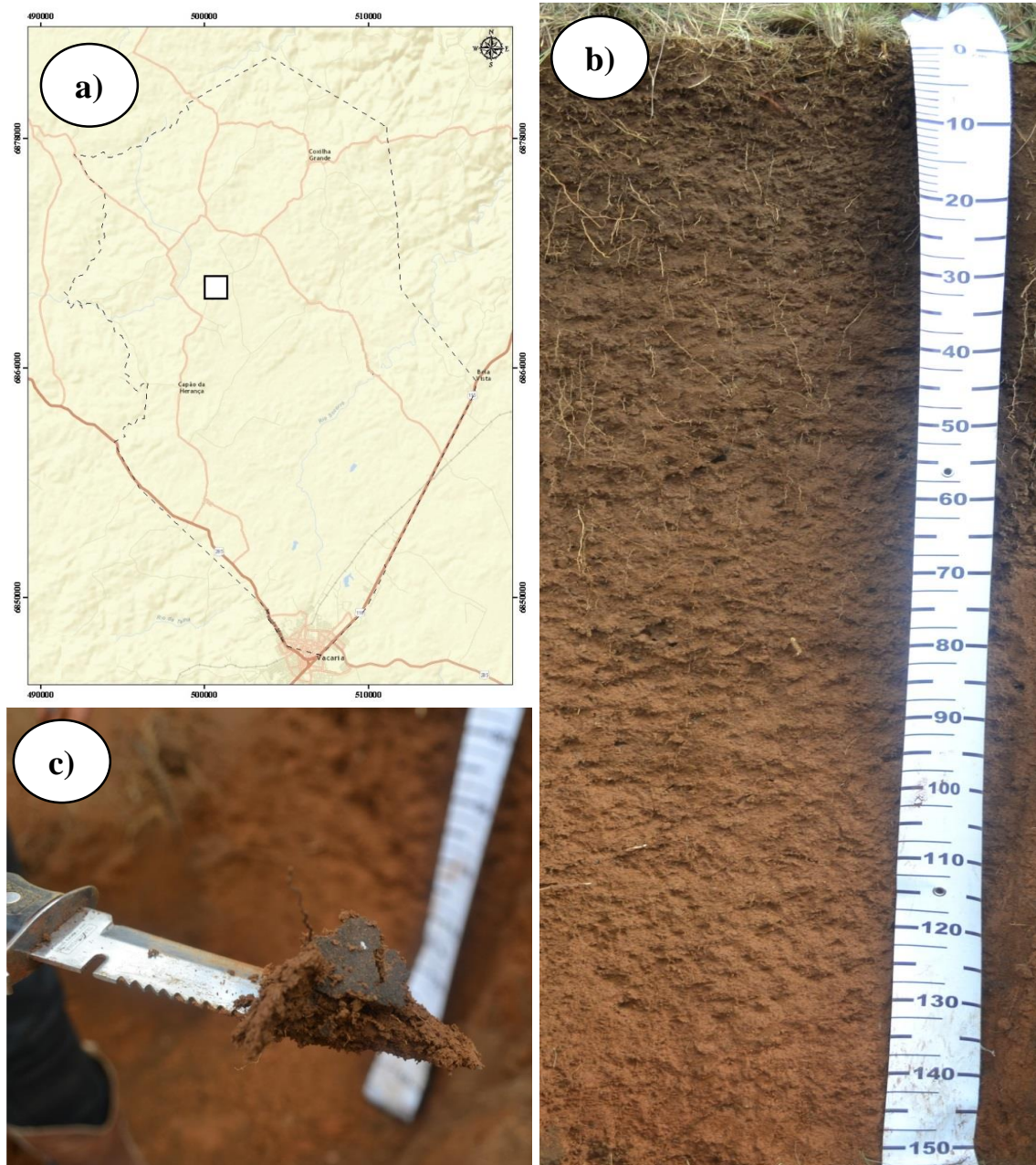
#### 6.3.1.5 LATOSSOLO BRUNO Alumínoférico típico

O LATOSSOLO BRUNO Alumínoférico típico - LBat (Apêndice E) foi descrito e amostras coletadas na estrada sentido Vacaria-Coxilha Grande pela BR-285 ( $28^{\circ}17'18,28''S$  e  $50^{\circ}54'45,9''W$ ) (Figura 17a), em corte de estrada situado ao lado direito do terço superior da encosta (Figura 17b). O solo é desenvolvido de basalto, pertencente à Formação Serra Geral, Fácies Parapanema e o relevo varia de suave ondulado a ondulado com declividades em



torno de 6% e altitude média de 890 m. Não foi observada erosão aparente, pedregosidade ou rochiosidade no perfil. Na camada superficial predominam cores escuras (7,5YR e 10YR), enquanto no horizonte subsuperficial ocorrem colorações vermelho-amareladas (5YR) (Figura 17c).

Figura 17 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento da estrutura do LATOSSOLO BRUNO Alumínoférico típico (c).

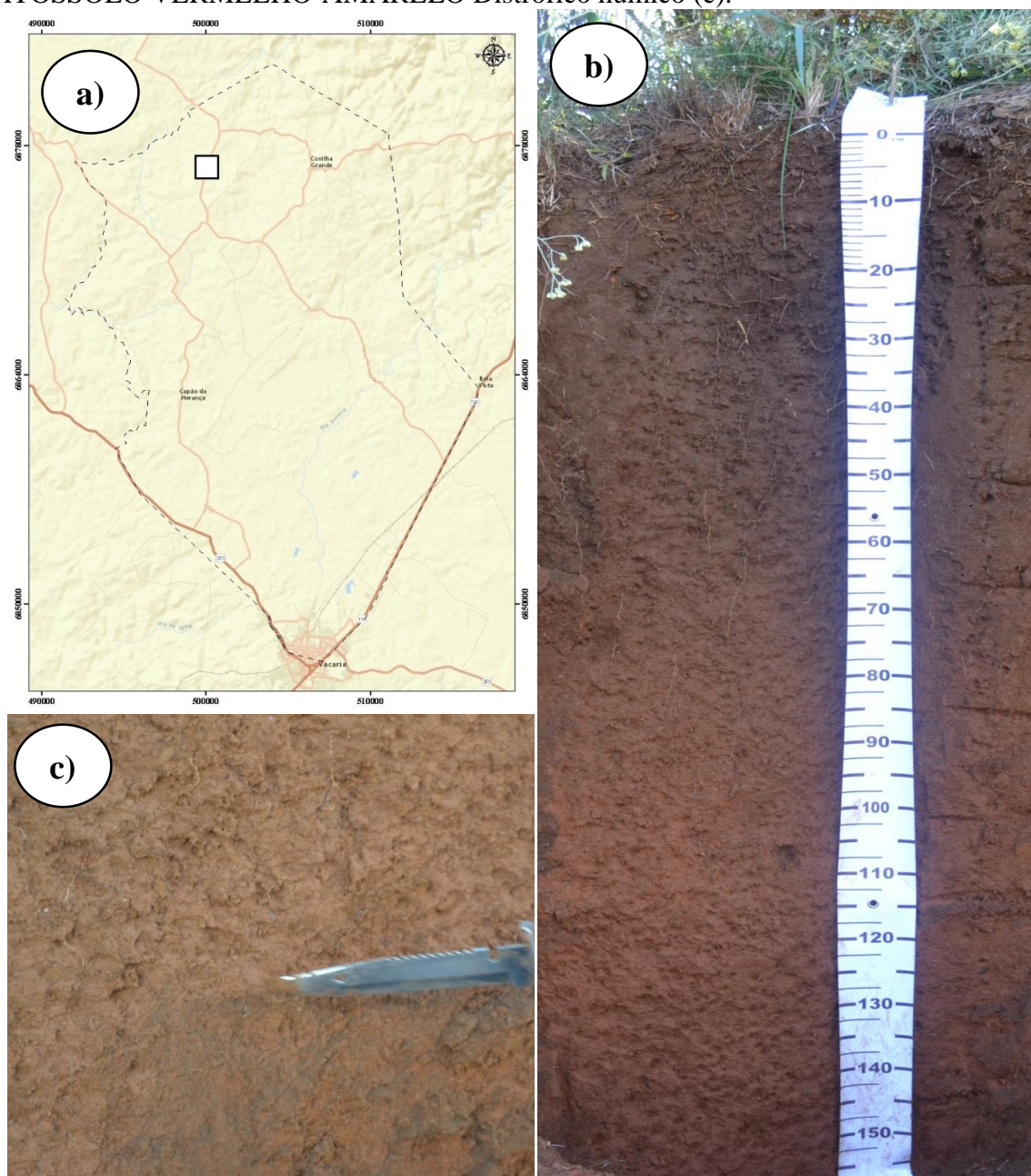


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

### 6.3.1.6 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico

Na estrada sentido Vacaria-Coxilha Grande pela BR-285 ( $28^{\circ}14'17,87''\text{S}$  e  $51^{\circ}00'03,19''\text{W}$ ) (Figura 18a) foram coletadas amostras do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico - LVAdh (Apêndice F), no lado direito do terço superior da encosta (Figura 18b e 18c). Nesta área o relevo varia de ondulado a forte-ondulado com declividades em torno de 5%, altitude média de 915 m e predominam solos muito argilosos da Formação Serra Geral, Fácies Esmeralda.

Figura 18 – Localização (a), perfil (b) e detalhamento do horizonte subsuperficial LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico (c).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



## **7 CONCLUSÕES**

A espectrorradiometria apresentou potencial de identificação dos solos com teores de areia acima de 45% e distinguiu os solos com base nos teores de ferro até o limite de 16%, extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

Os valores extremos dos teores de areia, carbono orgânico e óxidos de ferro dos solos avaliados indicam a presença de duas populações na amostragem, podendo estar associado à contribuição do arenito nos processos de formação destes solos.

Quanto às restrições ao uso e manejo dos Latossolos de textura média, a elevada erodibilidade pode exigir adoção de práticas conservacionistas intensas quando usados com culturas anuais.

A espectroscopia de refletância difusa é uma ferramenta com potencial de distinção dos solos avaliados. O estudo da resposta espectral em regiões superiores a 1000nm pode trazer relevantes informações, uma vez que o carbono orgânico e os óxidos de ferro apresentam feições em regiões superiores a 900nm. Para isto é necessária avaliação dos solos em espectrorradiômetro com faixa de leitura até 2500nm.

A distinção de características físico-químicas do solo utilizando a espectrorradiometria poderia ser incorporada nos levantamentos de solos para reduzir custos operacionais e aumentar a densidade amostral. A determinação dos teores de carbono orgânico e óxidos de ferro por meio desta técnica possui a vantagem de não gerar resíduos tóxicos e não utilizar reagentes, o que reduz significativamente os custos das análises.

A utilização em conjunto destas formas de abordagem complementaram o conhecimento existente sobre os solos da região, e a delimitação da área de ocorrência busca apoiar futuros trabalhos relacionados à gênese, uso, manejo e conservação dos solos com horizonte superficial arenoso em Vacaria/RS. Para contribuir em futuros estudos com a finalidade de compreender a gênese destes solos, recomenda-se datação do período de sedimentação do material de origem e avaliação da morfosopia dos grãos de areia para posterior comparação com os demais arenitos existentes em regiões próximas. Com isso seria possível inferir sobre possíveis processos que contribuíram na formação destes solos e aprimorar seu potencial de utilização e suas restrições quanto ao uso e manejo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, H.H.; SWAIN, H.H.; BAUMGARDNER, M.F. **Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils.** Soil Science. v. 114, p. 477-485. 1972.
- ALKIMIM, A.F.; VELOSO, G.V.; LANI, J.L.; GASPAR, J.; DEMATTÊ, J.A.M. **Avaliação da reflectância espectral de solos representativos da bacia do rio Benevente com o emprego da análise de componentes principais.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9064-9072, Curitiba, Brasil. 2011.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. **Óxidos de ferro e de alumínio e a mineralogia da fração argila deferrificado de Latossolos ácricos.** Sci. Agric. v.52, p.416-421, 1995
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J. BARRON, V. **Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil.** Rev. Bras. Ciênc. Solo. v.27, n.6, p.985-1002, 2003.
- BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. **Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack.** Organic Geochemistry, Oxford, v.31, p.697-9710, 2000.
- BARBOSA, A.M.; PINHEIRO, H.S.K.; ANJOS, L.H.C.; CARVALHO JUNIOR, W. CHAGAS, C.S. **Determinação de pontos amostrais através de atributos do terreno para mapeamento digital dos solos da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba, 2011, Anais... São José dos Campos, INPE, 2011. p.3672-3679.
- BAUMGARDNER, M.F.; STONER, E. R.; SILVA, L. F.; BIEHL, L. L. **Reflective properties of soils.** In: Brady, N. (Ed), Advances in Agronomy, 38. Academic Press, New York, p.1-44, 1985.
- BECK, R.H. ROBINSON, B.F.; McFee, W.H.; PETERSON, J.B. **Information note 081176.** Laboratory Application of Remote Sensing. Purdue University, West Lafayette, 1976.
- BEDIDI, A.; CERVELLE, B.; MADEIRA, J.; POUGET, M. **Moisture effects of spectral characteristics (visible) of lateritic soils.** Soil Science. v. 153. p. 129-141. 1990.
- BEDIDI, A.; CERVELLE, B.; MADEIRA, J.; POUGET, M. **Moisture effects on spectral signatures and CIE-color of lateritic soils.** Proceedings of the 5th International Colloquium, Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing. Courchevel, França. v. I. p. 209-212. 1991.
- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. **Soil spectral library and its use in soil classification.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(3), 861-870, 2010.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. **Near infrared analysis (NIRA) as a simultaneously method to evaluate spectral featureless constituents in soils.** Soil Science. v. 159. P. 259-269. 1995.
- BEN-DOR, E.; IRONS, J.A.; EPEMA, A. Soil spectroscopy. In: **Manual of Remote Sensing.** 3 ed. John Willey & Sons, Nova York, p. 111-189. 1998.

BEN-DOR, E.; IRONS, J.R.; EPEMA, G.F.; Soil Reflectance. In: RENCZ, A.N. **Remote sensing for the earth sciences**. New York: J Willey & Sons, p. 111-188, 1999.

BEN-DOR, E. **Quantitative remote sensing of soil properties**. Advances in Agronomy. v. 75, p. 173-243. 2002.

BEN-DOR, E.; CHABRILLAT, S.; DEMATTÊ, J. A. M.; TAYLOR, G. R.; HILL, J.; WHITING, M. L.; SOMMER, S. **Using imaging spectroscopy to study soil properties**. Remote Sensing of Environment, v. 113, p. 538-555, 2009.

BOTELHO, M.R., DALMOLIN, R.S.D., PEDRON, F. A., AZEVEDO, A.C., RODRIGUES, R. B., MIGUEL, P. **Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria**. Ciência Rural, 36(4), 1179-1185, 2006.

BOWERS, S.; HANKS, R.J. **Reflectance of radiant energy from soils**. Soil Science. v. 100, p. 130-138. 1965.

BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. **Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies**. Hampton (Nasa Reference Publication 1139), 181p. 1985.

BRASIL, COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS/CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala de 1:750.000. 2008.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, 1986, 796p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BROWN, D.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G.; DEWAYNE MAYS, M.; REINSCH, T.G. **Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy**. Geoderma. 132. p. 273-290. 2006.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. **Soil Genesis and Classification**. The Iowa State University Press. Ames, IA, 360p. 1973.

CAMARGO, E.C.G. **Apostila do curso geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos, INPE. 1998.

CAMPOS, R.C.; DEMATTE, J.A.M.; QUARTAROLI, C.F. **Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimetria e radiometria**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 4, p. 521-528, 2003.

CARRARO, C. C.; GAMERMANN, N.; EICK, N. C.; BORTOLUZZI, C. A.; JOST, H.; PINTO, J. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:1.000.000**. Instituto de Geociências da UFRGS. Porto Alegre. 1974.

CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; MUSELLI, A.; PINHEIRO, H. S. K.; PEREIRA, N.R.; BHERING, S.B. **Método do hipercúbico latino condicionado para a**

**amostragem de solos na presença de covariáveis ambientais visando o mapeamento digital de solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(2), 386-396. 2014.

CEZAR, E.; NANNI, M.R.; CHICAT, M.L.; SOUZA JÚNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. **Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas respectivas refletâncias.** R. Bras. Ci. Solo, 36: 1157-1165, 2012.

CEZAR, E.; NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; CHICATI, M.L.; OLIVEIRA, R.B. **Estimativa de atributos do solo por meio de espectrorradiometria difusa.** R. Bras. Ci. Solo, 37: 858-868, 2013

COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L.; GAO, T.; **Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils.** Soil Science, Baltimore, v. 151, p.355-361, 1991.

CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Geobank – GIS - Litoestratigrafia.** Serviço Geológico do Brasil. 2001. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.cadastro>>. Acesso em 31 out. 2016.

CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul.** Serviço Geológico do Brasil. 2010. 254p. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade\\_RS.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_RS.pdf)>. Acesso em 14 jan. 2017.

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. **Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil.** Soil Science Society America Journal, Madison, v.51, p.153-158. 1987.

DALMOLIN, R.D.D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, 169p. (Tese de Doutorado).

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E. & DICK, D.P. **Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral.** Ci. Rural, 35:481-489, 2005.

DAVIES, A.M. **Near Infrared Spectroscopy: Time for the Giant to Wake Up!** European Spectroscopy News. v. 73, 1987. ISSN: 0307-0026.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, 1: 545-566. 1965.

DEMATTÊ, J.A.M. GARCIA, G.J. **Avaliação de atributos de Latossolo Bruno e de terra Bruna Estruturada na região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida.** Rev. Bras. Cienc. Solo, 23:343-355, 1999.

DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.C.; ALVIS, M.C. **Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.2447-2460, 2000.

DEMATTÊ, J.A.M.; SOUSA, A.A.; NANNI, M.R. **Avaliação espectral de amostras de solo e argilo-minerais em função de diferentes níveis de hidratação.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 9, Santos, Anais. Santos:INPE/SELP. 1998.

DODBOS, E.; MICHELI, E.; BAUMGARDNER, M.F.; BIEHL, L.; HELT, T. **Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional mapping.** Geoderma, Amsterdam, v. 97, p. 367-391, 2000.

DOTTO, A.C. **Funções de pedotransferência do solo: estimativa por radiometria.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. 68 f (Dissertação de Mestrado).

DOTTO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; TEN CATEN, A.; MOURA-BUENO, J.M. **Potential of Spectroradiometry to Classify Soil Clay Content.** Rev Bras Cienc. Solo. v.40, 2016.

DUNN, B.W.; BATTEN, G.D.; BEECHER, H.G.; CIAVARELLA, S. **The potential of near-infrared reflectance spectroscopy analysis – A case study from the Riverine Plain of south-eastern Australi.** Australian Journal of Experimental Agriculture. 42(5): p. 607-614. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ), In: **Reunião técnica de levantamento de solos.** Rio de Janeiro, 1979. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 01).

EMBRAPA, **Procedimentos e normativos de levantamentos pedológicos.** Rio de Janeiro: Embrapa, 1995. 101p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA, 3ª ed. 2013a. 351p.

EMBRAPA. **Mapeamento de solos do tradicional ao digital.** Embrapa Cerrados, Brasília, 2013b, 51 p.

ESCADAFAL, R. **Remote sensing of soil color: Principles and applications.** Remote Sensing Reviews. v. 7, p. 261-279. 1993.

FIORIO, P.R. **Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestres e orbital na avaliação de solos.** (Tese de Doutorado). Piracicaba. Universidade de São Paulo. 2002.

FONTES, M.P.; WEED. S.B. **Iron oxides in selected Brazilian oxisols: Mineralogy.** Soil Science of America Journal, Madison, v.55, p.1143-1149, 1991.

GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; PARADELLA, W.R. **Spectroradiometric discrimination of laterites with principle components analysis and additive modeling.** Remote Sensing of Environment. v. 53. p. 70-75. 1995.

GASS, S.L.B.; MASSOLA, J.L.; MONTARDO, D.K. **Caracterização Geológica-Geomorfológica da Microbacia do Arroio Varejão, Município de Chapada, Rio Grande do Sul, Brasil.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal, Brasil. p. 3833-3840, 2009.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis.** American Society of Agronomy, 1: 383-411. 1986.

GERBERMANN, A.H.; NEHER, D.D. **Reflectance of varying mixtures of a clay soil and sand**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v.45, n.8, p.1145-1151, 1979.

GERGELY, A. J.; Rochas Ígneas. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. de. **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina de Textos. 2000. 557 p.

HUNT, G.R. Spectroscopy properties of rocks and minerals. In: **Handbook of Physical Properties Rocks**. CRC Press, Boca Raton, p. 295. 1980.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks. I: Silicate minerals**. Modern Geology, v.1, p. 283-300. 1970.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: XI Sedimentary rocks**. Modern Geology. v.5, p. 211-217. 1976.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, A. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: Halides, phosphates, arsenates, vanadates and borates**. Modern Geology. v.3, p. 121-132. 1971a.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, A. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III Oxides and hydroxides**. Modern Geology. v.2, p. 195-205. 1971b.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, A. **Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: Sulfides and sulfates**. Modern Geology. v.3, p. 1-14. 1971c.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 2ª ed, Rio de Janeiro, 2007, 316p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 3ª ed, Rio de Janeiro, 2015, 428p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos. 598p. 2009.

KER, J. C. et al. Pedologia: levantamento exploratório de solos. In: BRASIL. MME. SG. **Projeto Radambrasil**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 405-540, 1986. (Levantamento de recursos naturais, v. 31).

KRISHNAN, P.; ALEXANDER, J.D.; BUTLER, B.J.; HUMMEL, J.W.; **Reflectance technique for predicting soil organic matter**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p.1285-1285, 1980.

LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.B.; VOLZ, A. (Ed.) **Digital Soil Mapping: an introductory perspective**. Amsterdam: Elsevier, 2007. 596 p.

LANDIM, P.M.B. STURARO, J.R. **Exemplos da aplicação da cokrigagem**. Rio Claro, UNESP. Texto Didático, 18p. 2002.

MACIEL FILHO, C.L.; NUMMER, A.V.; SILVA, J.L.S.; SANGOI, D.S.; FILHO, L.D. **Feições de carste sobre a formação serra geral na região de Vacaria, RS e Lages, SC**. Caminhos de Geografia, Instituto de Geografia. v.14, n. 48, p. 197-208, 2013.

MADEIRA NETTO, J.S. **Etude quantitative des relations constituants mineralogiques – reflectance diffuse des latosols bresiliens. Applications à l'utilisation pedologique des donnés satellitaires TM (región de Brasilia)**. Paris: Université Pierre et Marie Curie, (Tese de Doutorado), 238 p. 1991.

MARTIN, J.P.; ZUNINI, H.; PEIRANO, P.; CAIOZII, M.; HAIDER, K. **Decomposition of 14C-Labelled lignins, model humic acid polymers, na fungal melanins in allophonic soil**. Soil Biology and Biochemistry, v.14, p. 289-293, 1982.

MATHEWS, H.L.; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSON, G.W. **Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils**. Proceedings of the Soil Science Society of American Journal. v. 37, p. 421-424. 1973.

MEHRA, O. P. & JACKSON, K. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **In: National Conference on Clay and Clay Minerals**, 7, Proceedings, Washington, 1960. p. 317-327. 1958.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e Mineralogia do Solo: Parte I – conceitos básicos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. (Documentos, 55). 19 p.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P.L.; MACIEL FILHO, C.L. **Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, Instituto de Solos e Culturas, Universidade Federal de Santa Maria, 19p. (Publicação Especial nº1), 1968.

MILTON, E.J. **Principles of Field Spectroscopy**. International Journal of Remote Sensing. 8(12): 1807-1827. 1987.

MINASNY, B. & McBRATNEY, A.B. **Uncertainty analysis for pedotransfer functions**. Eur. J. Soil Sci., 53:417-430, 2002.

MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B. **A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information**. Computers and Geosciences, 32:1378-1388. 2006.

MONTGOMERY, O.L. **An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristic of soil**. West Lafayette Purdue: Purdue University, 148p, 1976.

MULDER, V.L.; BRUIN, S.; SCHAEOMAN, M.E. **Representing major soil variability at regional scale by contrained Latin Hypercube Sampling of remote sensing data**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Amsterdam, v.21, p.301-310, 2012.

MUNSELL, COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 2000.

NANNI, M.R.; DEMATTE, J.A.M. **Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis**. Soil Science Society of American Journal. 70. P. 393-407. 2006.



OADES, J.M. **The retention of organic matter in soils.** Biogeochemistry, Dordrecht, v.5, p.35-70, 1988.

OADES, J.M.; GILLMAN, G.P.; UEHARA, G.; HUE, N.V.; van NOORDWIJK, M.; ROBERTSON, G.P.; WADA, K. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN et al., **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystem.** University of Hawaii, p. 69-95, 1989.

OBUKHOV, A.I.; ORLOV, D.S. **Spectral reflectance of the major soil groups and the possibility of using diffuse reflection in soil investigations.** Soviety Soil Scinece. v. 2. P. 174-184. 1964.

PEREIRA, N. R., BHERING, S. B. **Método do hipercubo latino condicionado para a** PEREIRA, T.P., FONTANA, D.C., BERGAMASCHI, H. **O clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.15, n.2. p.145-157, 2009. Disponível em: <[http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398782922\\_art\\_07.pdf](http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/1398782922_art_07.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2015.

RENNE, P.; ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.M.; PREVOT, M.; PERRIN, M.; **The age of Paraná flood volcanism, rift of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary,** Science, 258:975-979, 1992.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FAMBRINI, G. L. **Jacuí: nova bacia sedimentar eocretácea no sul do Brasil.** In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos e IV International Symposium on Tectonics of the Brazilian Geological Society, Curitiba, PR. Boletim de Resumos Expandidos, 2005. p. 48-50, 2005.

ROMANO, N.; CHIRICO, G.B. The role of terrain analysis in using and developing pedotransfer functions. In: PACHEPSKY, Y.; RAWLS, W.J. (Eds) **Development of pedotransfer functions in soil hydrology.** Amsterdam: Elsevier, p. 273-294, 2004.

ROUDIER P.; BEAUDETTE, D. E.; HEWITT, A. E. **A conditioned Latin hypercube sampling algorithm incorporating operational constraints.** Proceedings: 5<sup>th</sup> GlobalWorkshop on Digital Soil Mapping 2012: Digital Soil Assessments and Beyond, Sydney, p.10-13, 2012.

SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDAO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J.. **Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro.** Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. v.18, n.10, 2014.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 6 ed. Viçosa, 2013. 100 p.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais.** Porto Alegre: Metrópole, p. 19-26, 2008.

SATO, M. V. **Primeira aproximação da biblioteca espectral de solos do Brasil: caracterização de espectros de solos e quantificação de atributos.**(Dissertação de Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2015, 103 f.

SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SCP, 2ª edição, 2002.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM). **United States Geological Survey – USGS**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 5 jun. 2016.

SILVA, C.C. **Mapeamento digital de classes de solo: aplicação de metodologia na folha Botucatu (SF-22-Z-B-IV-3) e validação de campo**. (Dissertação de Mestrado). Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 2012.

SILVA, W.C.; TEN CATEN, A.; BOEING, E.L.; DOTTO, A.C.; BUENO, J.M.M. **Sensoriamento remoto proximal do solo: maceração das amostras como técnica de preparo**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, Brasil. 2014.

SOIL SURVEY STAFF, U.S. Dept. of Agriculture. Soil Conservation Service.. **Soil Survey Manual**. U.S. Dept. of Agric. Handb. 18. U.S. Govt. Print. Off. Washington. 503 p., 1951.

SOUSA JÚNIOR, J.G.A.; DEMATTÊ, J.A.M. GENU, A.M. **Comportamento espectral de solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestres e orbital**. Rev Bras Cienc. Solo. v.32, p.727-738, 2008.

SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. Cienc. Rural vol.44, n.2, 2014.

STONER, E.R. **Physicochemical, site and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette: Purdue University (Tese de Doutorado), 132 p, 1979.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.

STURARO, J.R. **Apostila de Geoestatística Básica**. Unesp. Rio Claro, São Paulo. 34p. 2015.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C; BISSANI C. A; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

ten CATEN, **Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informações espacial em solos**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. 108 f (Tese de Doutorado).

TERRA, F. da S. **Espectroscopia de reflectância do visível ao infravermelho médio aplicada aos estudos qualitativos e quantitativos de solos**. 2011. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. (Tese de Doutorado).

THENKABAIL, P.S., LYON, G.J., AND HUETE, A. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. CRC Press- Taylor and Francis group, Boca Raton, London, New York. 781p. 2011.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. INPE. São José dos Campos, SP. 2008. Disponível em: <<http://mtc->



[m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf](http://m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2015

VAN REEUWIJK, L. P. (ed). **Procedures for Soil Analysis (6th ed)**. International Soil Reference and Information Centre, ISRIC, Wageningen. 2002.

VASQUES, G. M.; GRUNWALD, S.; SICKMAN, J. O. **Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra**. Geoderma, Amsterdam, v. 146, p. 14–25, 2008.

VENDRAME, P. R. S.; EBERHARDT, D. N.; BRITO, O. R.; MARCHÃO, R. L.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. **Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do Cerrado**. Semina: Ciências Agrárias, v., 32 n. 1, p. 1657-1666, 2011.

VINOGRADOV, B.V. **Remote Sensing of the humus content of soils**. Soviety Soil Science. v. 11, p. 114-122. 1981.

VISCARRA ROSSEL, R. **The soil spectroscopy group and the development of a global soil spectral library**. Geophysical Research Abstracts. v. 11, 2009.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; MCBRATNEY, A. B. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for digital soil mapping. In: HARTEMINK A.E.; MCBRATNEY A.B.; MENDONÇA-SANTOS L. (Eds). **Digital soil mapping with limited data**. Developments in Soil Science, Amsterdam, cap. 13, p. 165-172, 2008.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B. **Proximal soil sensing**. ed. 1, New York: Springer, 2010. 468 p.

VITORELLO, I.; GALVÃO, L.S. **Spectral Properties of Geologic Materials in the 400 to 2500 nm Range: Review for Applications to Mineral Exploration and Lithologic Mapping**. Photo Interpretation. 34 (2) 77-99, 1996.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A      PERFIL LBdh (A1 - DESCRIÇÃO GERAL, A2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E A3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE B      PERFIL LBdt (B1 - DESCRIÇÃO GERAL, B2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E B3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE C      PERFIL LVdt (C1 - DESCRIÇÃO GERAL, C2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E C3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE D      PERFIL LVdh (D1 - DESCRIÇÃO GERAL, D2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E D3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE E      PERFIL LBar (E1 - DESCRIÇÃO GERAL, E2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E E3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE F      PERFIL LVAat (F1 - DESCRIÇÃO GERAL, F2 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E F3 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS).**

**APÊNDICE G      CÓDIGO CLHS**

**APÊNDICE H      COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE COLETA**

**APÊNDICE A – PERFIL LBdh****A1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2016.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO BRUNO Distrófico húmico

**LOCALIZAÇÃO:** Trecho Vacaria-Estrela, 0,5km após entrar na estrada geral, lado esquerdo. Vacaria (RS), 28°25'22,82"S e 51°00'01,04"W.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Entre o terço médio e inferior da encosta.

**ALTITUDE** – 915 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração do material supracitado com provável contribuição de material de constituição mais arenosa nos horizontes superficiais.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Plano.

**RELEVO REGIONAL** – Suave ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente a bem drenado.

**USO ATUAL** – Lavoura de soja.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Jaime Barros dos Santos Junior, Luana da Silva, Gustavo Eduardo Pereira.

## A2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap** 0 a 20 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seco); franca; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca muito pequena granular; muito friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A1** 20 a 35 cm; preto (10YR 2/1, úmido); bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seco); franco argilo-arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca muito pequena granular; muito friável, macia, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- A2** 35 a 65 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); bruno muito escuro (10YR 2/2, seco); franco argilo-arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca muito pequena granular; muito friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- AB** 65 a 80 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); argila; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca muito pequena granular; muito friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- BA** 80 a 100 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); argila; fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca muito pequena granular; friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- Bw1** 100 a 130 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); argila; fraca média e pequena blocos angulares se desfaz em fraca muito pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw2** 130 a 155 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido); bruno-amarelado (10YR 5/6, seco); argilo-arenosa; fraca média e pequena blocos angulares se desfaz em fraca muito pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Bw3** 155 a 170+ cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido); bruno-amarelado (10YR 5/6, seco); argilo-arenosa; fraca pequena blocos angulares e fraca pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

**RAÍZES:** - Poucas a raras, fasciculadas, finas no A1, A2 e A3. Comuns, pivotantes, grossas nos demais horizontes.

**OBSERVAÇÕES** – Presença de carácter retrátil.

### A3 – ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. em água	Grau de Floc.	Rel. Silte/Argila	
Simb	Prof.	Calh	Casc	T.Fina	Areia	Silte	Argila				
	cm				gkg <sup>-1</sup>				%		
Ap	0 – 20	0	0	1000	499	305	196	53	73	1,55	
A1	20 – 35	0	0	1000	510	228	261	36	86	0,87	
A2	35 – 65	0	0	1000	477	252	271	54	80	0,93	
AB	65 – 80	0	0	1000	414	178	409	80	80	0,43	
BA	80 – 100	0	0	1000	419	148	433	105	76	0,34	
Bw1	100 – 130	0	0	1000	431	158	410	112	73	0,39	
Bw2	130 – 155	0	0	1000	454	145	401	58	85	0,36	
Bw3	155 – 170+	0	0	1000	461	158	381	17	96	0,41	
pH (1:2,5)		Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )							V	m	
Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	(%)	(%)
5,8	4,7	2,1	1,7	0,17	0,00	4,0	1,7	1,6	5,6	71	30
5,4	4,4	1,4	1,7	0,08	0,00	3,2	5,3	12,9	16,1	20	63
4,7	4,0	0,2	0,5	0,04	0,00	0,7	4,9	19,2	19,9	4	87
4,8	4,0	0,1	0,4	0,03	0,00	0,5	4,2	16,2	16,7	3	89
4,8	4,0	0,3	0,5	0,04	0,00	0,8	4,5	13,2	14,0	6	84
4,8	4,0	0,1	0,3	0,03	0,00	0,4	3,7	10,7	11,1	4	90
4,9	4,0	0,2	0,4	0,03	0,00	0,6	3,0	8,9	9,5	7	83
5,0	4,1	0,2	0,5	0,02	0,00	0,7	1,7	7,7	8,4	9	70
C-Org	Ataque Sulfúrico							SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
		gkg <sup>-1</sup>									
	10,9	101,8		101,2		69,2		1,7	1,2	1,5	
	17,9										
	13,8										
	10,2	190,3		158,6		83,2		2,0	1,5	1,9	
	7,7										
	4,8	180,3		150,4		78,2		2,0	1,5	1,9	
	2,8										
	3,8	167,7		161,6		81,4		1,8	1,3	2,0	

**APÊNDICE B – PERFIL LAdt****B1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2015.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico

**LOCALIZAÇÃO:** Trecho Vacaria-São Pedro, 8,2km após entrar na estrada para São Pedro pela BR-285, lado direito. Vacaria (RS), 28°20'43,59''S e 50°53'59,12W''.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Entre o terço médio e inferior da encosta.

**ALTITUDE** – 910 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração do material supracitado com provável contribuição de material de constituição mais arenosa nos horizontes superficiais.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Suave-ondulado a ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente drenado.

**USO ATUAL** – Pastagem.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Jaime Barros dos Santos Junior, Luana da Silva, Gustavo Eduardo Pereira.

## B2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 a 10 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido); bruno-forte (7,5YR 5/6, seco); franco-argilosa; fraca pequena e muito pequena granular e fraca muito pequena blocos subangulares; muito pequena; muito friável, muito dura, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 10 a 25 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido); bruno (10YR 4/3, seco); argila; fraca pequena e muito pequena granular e fraca muito pequena blocos subangulares; muito pequena; muito friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- AB** 25 a 45 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno (10YR 4/3, seco); argila; fraca pequena e muito pequena granular e fraca muito pequena blocos subangulares; muito pequena; muito friável, ligeiramente dura, plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA** 45 a 70 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno-forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca muito pequena blocos subangulares e fraca pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw1** 70 a 95 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2** 95 a 130 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno-escuro (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw3** 130 a 150+ cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); bruno-escuro (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa.

**RAÍZES:** - Comuns, fasciculadas, finas e médias no A1, poucas e muito finas no A2 e AB, poucas a raras em BA e ausentes nos demais horizontes.

### OBSERVAÇÕES –

Sinais de atividade biológica (cupins e formigas) em A1, A2 e AB.

Fragmentos de quartzo no Bw3.

### B3 – ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. em água	Grau de Floc.	Rel. Silte/ Argila	
	Prof.	Calh	Casc	T.Fina	Areia	Silte	Argila				
b	cm	gkg <sup>-1</sup>							%		
	0 – 10	0	0	1000	308	299	392	114	71	0,76	
	10 – 25	0	0	1000	292	263	445	92	79	0,59	
	25 – 45	0	0	1000	264	206	531	129	76	0,39	
	45 – 70	0	9	991	213	179	608	244	60	0,29	
1	70 – 95	0	6	994	206	183	611	207	66	0,30	
2	95 – 130	0	12	988	215	173	612	218	64	0,28	
3	130 – 150+	0	12	988	213	166	621	14	98	0,27	
pH (1:2,5)		Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )							V	m	
a	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	(%)	(%)
	4,1	1,7	0,7	0,14	0,02	2,6	1,5	11,1	13,7	19	37
	3,9	0,6	0,5	0,08	0,02	1,2	3,0	13,7	14,9	8	71
	4,0	0,3	0,3	0,04	0,00	0,6	3,6	14,0	14,6	4	85
	3,9	0,2	0,1	0,04	0,01	0,4	4,0	14,0	14,4	2	92
	4,0	0,1	0,1	0,04	0,00	0,2	3,7	11,5	11,7	2	94
	4,0	0,1	0,1	0,03	0,02	0,3	3,0	9,9	10,2	2	92
	4,1	0,1	0,1	0,02	0,01	0,2	2,6	7,5	7,7	3	92
C-Org	Ataque Sulfúrico							SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
	gkg <sup>-1</sup>										
18,8	203,1	203,1		91,0		2,1	1,6	1,8			
19,5											
14,2	225,9	225,9		111,5		1,7	1,3	2,0			
11,7											
7,4											
5,6	302,4	302,4		126,6		1,9	1,5	2,1			
4,0											



**APÊNDICE C – PERFIL LVdt****C1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2015.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico

**LOCALIZAÇÃO:** Trecho Vacaria-São Pedro, 9,0 km após entrar na estrada para São Pedro pela BR-285, lado esquerdo. Vacaria (RS), 28°20'16,60''S e 50°54'5,95W''.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Terço superior da encosta.

**ALTITUDE** – 925 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração do material supracitado com provável contribuição de material de constituição mais arenosa nos horizontes superficiais.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Suave-ondulado a ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente drenado.

**USO ATUAL** – Lavoura de soja.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Jaime Barros dos Santos Junior, Luana da Silva, Gustavo Eduardo Pereira.

## C2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 a 10 cm; bruno muito escuro (10YR 2.5/2, úmido); vermelho (7,5YR 2.5/3, seco); franco-argilosa; fraca muito pequena granular e fraca pequena e muito pequena blocos subangulares; muito pequena; friável, macia, não plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 10 a 35 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); vermelho (7,5YR 3/3, seco); franco-argilosa; fraca muito pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A3** 35 a 55 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, úmido); vermelho (2,5YR 4/6, seco); argila; fraca pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- AB** 55 a 80 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco); argila; fraca pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA** 80 a 100 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, úmido); bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco); argila; fraca pequena blocos subangulares e fraca pequena granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw1** 100 a 119 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); vermelho-claro (2,5YR 6/6, seco); argilo-arenosa; moderada grande e média prismática que se desfaz em moderada a forte blocos angulares e subangulares; firme, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw2** 119 a 145 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, seco); franco-argilo-arenosa; moderada grande blocos angulares que se desfaz em moderada pequena e média blocos subangulares; firme, dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BC** 145 a 185+ cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); bruno-avermelhado-claro (2,5YR 6/4, seco); franco-arenosa; aspecto de maciça se desfaz em moderada média e pequena blocos angulares; firme, dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

**RAÍZES:** - Comuns, fasciculadas, finas e médias no A1, poucas e muito finas no A2 e AB, poucas a raras em BA e ausentes nos demais horizontes.

**OBSERVAÇÕES** – Cerosidade fraca e comum no Bw2. Presença de carácter retrátil no B (fendas de 3 a 15 cm)



**APÊNDICE D – PERFIL LVdh****D1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2015.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico

**LOCALIZAÇÃO:** Estrada para Coxilha Grande pela BR-285, lado direito. Vacaria (RS), 28°18'19,35''S e 50°59'28,80W''.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Terço superior da encosta.

**ALTITUDE** – 955 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Formação Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração do material supracitado.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Suave-ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente drenado.

**USO ATUAL** – Lavoura de soja.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Letícia Sequinatto, Jaime Barros dos Santos Junior, Marciano Istchuk Junior, Gustavo Eduardo Pereira.

## D2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 a 10 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/2, úmido); bruno-avermelhado-escuro (5YR 2.5/2, seco); argila; fraca pequena granular e fraca pequena e muito pequena blocos subangulares; friável, ligeiramente dura, não plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 10 a 30 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/2, úmido); bruno muito escuro (7,5YR 2.5/3, seco); argila; fraca pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A3** 30 a 45 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/3, úmido); bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, seco); argila; fraca pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- AB** 45 a 63 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/3, úmido); bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, seco); argila; fraca pequena e muito pequena granular e fraca pequena blocos subangulares; friável, dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BA** 63 a 82,5 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw1** 82,5 a 100 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, úmido); vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares se desfaz em fraca pequena e muito pequena granular; friável, dura, não plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2** 100 a 120 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/4, úmido); vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); argila; fraca pequena e média blocos subangulares e moderada pequena granular; friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw3** 120 a 150+ cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2.5/3, úmido); bruno-muito-escuro (7,5YR 2.5/3, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares e moderada pequena granular; friável, dura, ligeiramente plástica e muito pegajosa.

**RAÍZES:** - Muitas, Fasciculadas, muito finas em A1, A2 e A3. Comum, fasciculadas, muito finas em AB e BA. Poucas, fasciculadas, muito finas em Bw1, Bw2. Raras, fasciculadas, muito finas em Bw3.

## D3 – ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila Disp. em água	Grau de Floc.	Rel. Silte/Argila
Simb	Prof.	Calh	Casc	T.Fina	Areia	Silte	Argila				
	cm	gkg <sup>-1</sup>							%		
A1	0 – 10	0	0	1000	259	341	400	145	64	0,85	
A2	10 – 30	0	0	1000	287	281	432	230	47	0,65	
A3	30 – 45	0	0	1000	199	253	548	183	67	0,46	
AB	45 – 63	0	0	1000	222	183	595	15	97	0,31	
BA	63 – 82,5	0	0	1000	181	199	620	254	59	0,32	
Bw1	82,5 – 100	0	0	1000	188	204	607	266	56	0,34	
Bw2	100 – 120	0	0	1000	224	180	596	28	95	0,30	
Bw3	120 – 150+	0	0	1000	220	135	646	4	99	0,21	
pH (1:2,5)				Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )						V	m
Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	(%)	(%)
5,1	4,1	1,0	0,6	0,59	0,00	2,2	3,2	16,8	19,0	12	59
4,9	4,0	0,4	0,4	0,18	0,00	1,0	4,4	16,7	17,7	6	81
5,0	4,1	0,3	0,3	0,14	0,00	0,8	4,3	15,8	16,6	5	84
4,9	4,1	0,1	0,2	0,09	0,01	0,4	4,7	13,9	14,3	3	91
4,9	4,1	0,2	0,2	0,05	0,00	0,5	4,4	13,0	13,5	3	91
5,0	4,1	0,1	0,2	0,04	0,00	0,3	4,1	10,1	10,4	3	92
5,1	4,1	0,0	0,1	0,05	0,00	0,2	3,5	9,6	9,8	1	96
5,3	4,2	0,0	0,1	0,00	0,00	0,1	3,3	7,7	7,8	1	97
C-Org	Ataque Sulfúrico								SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
	gkg <sup>-1</sup>										
32,6	188,2		190,2		115,7		1,7		1,2	1,7	
30,0											
22,7											
16,6	236,1		225,0		128,5		1,8		1,3	1,7	
12,6											
8,9	248,2		242,1		137,8		1,7		1,3	1,8	
7,7											
5,5	176,1		310,0		152,2		1,0		0,7	2,0	

**APÊNDICE E – PERFIL LBat****E1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2015.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO BRUNO Alumínoférrico típico

**LOCALIZAÇÃO:** Estrada para Coxilha Grande pela BR-285, lado direito. Vacaria (RS), 28°17'18,28''S e 50°54'48,90W''.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Terço superior da encosta.

**ALTITUDE** – 890 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto do intemperismo da rocha supracitada.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Suave-ondulado a ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Bem drenado.

**USO ATUAL** – Lavoura de soja.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Letícia Sequinatto, Jaime Barros dos Santos Junior, Marciano Istchuk Junior, Gustavo Eduardo Pereira.

## E2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 a 5 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/2, úmido); bruno muito escuro (7,5YR 2.5/2, seco); franco-argilosa; fraca pequena granular; friável, macia, não plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 5 a 20 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido); bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seco); argila; fraca pequena granular e fraca pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca pequena granular; friável, ligeiramente dura, não plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- A3** 20 a 42,5 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/3, úmido); bruno-escuro (7,5YR 3/3, seco); muito argilosa; fraca média blocos subangulares que se desfaz em fraca pequena granular; friável, ligeiramente dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- AB** 42,5 a 60 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em fraca pequena granular; friável, dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- BA** 60 a 77,5 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido) e bruno-escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares que se desfaz em fraca pequena granular; friável, muito dura, não plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw1** 77,5 a 110 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares que se desfaz em fraca a média pequena granular; friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2** 110 a 142,5 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares que se desfaz em fraca a média pequena granular; friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw3** 142,5 a 150+ cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares e fraca pequena e média granular; friável, dura, ligeiramente plástica e pegajosa.



## E3 – ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Horizontes		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina				Argila Disp. em água	Grau de Floc.	Rel. Silte/Argila
Simb	Prof.	Calh	Casc	T.Fina	Areia	Silte	Argila				
	cm				gkg <sup>-1</sup>					%	
A1	0 – 5	0	0	1000	215	353	432		173	60	0,82
A2	5 – 20	0	0	1000	168	328	505		210	58	0,65
A3	20 – 42,5	0	0	1000	133	180	687		255	63	0,26
AB	42,5 – 60	0	0	1000	116	135	749		270	64	0,18
BA	60 – 77,5	0	0	1000	102	162	736		360	51	0,22
Bw1	77,5 – 110	0	0	1000	97	179	724		309	57	0,25
Bw2	110 – 142,5	0	0	1000	126	166	708		14	98	0,23
Bw3	142,5 – 150+	0	0	1000	129	160	711		9	99	0,23
pH (1:2,5)		Complexo Sortivo (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )								V	m
Água	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	(%)	(%)
5,1	4,0	0,9	0,9	0,19	0,00	2,0	3,1	17,7	19,7	10	61
5,0	4,0	0,4	0,4	0,09	0,01	0,9	4,3	17,8	18,7	5	83
5,0	4,0	0,2	0,2	0,04	0,00	0,4	4,9	17,1	17,5	2	92
5,0	4,0	0,2	0,2	0,03	0,01	0,4	4,6	14,6	15,0	2	91
5,0	4,1	0,1	0,2	0,03	0,00	0,3	4,6	13,3	13,6	2	93
5,0	4,1	0,1	0,1	0,02	0,00	0,2	4,0	10,3	10,5	2	95
5,2	4,2	0,0	0,1	0,01	0,00	0,1	3,3	9,2	9,3	1	97
5,5	4,2	0,0	0,1	0,02	0,00	0,1	2,7	8,2	8,3	1	96
C-Org		Ataque Sulfúrico							SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			(Ki)	(Kr)	
		gkg <sup>-1</sup>									
	31,0	187,0		165,3		148,6			1,9	1,2	1,1
	24,8										
	19,6										
	14,6	282,2		241,0		190,0			2,0	1,3	1,3
	12,7										
	8,5	297,8		269,1		215,6			1,9	1,4	1,3
	5,3										
	3,8	274,6		215,0		185,5			2,2	1,4	1,16

**APÊNDICE F – PERFIL LVAdh****F1 - DESCRIÇÃO GERAL**

**Data:** Março de 2015.

**CLASSIFICAÇÃO SiBCS:** LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico

**LOCALIZAÇÃO:** Estrada sentido Vacaria-Coxilha Grande pela BR-285, lado direito. Vacaria (RS), 28°14'17,87''S e 51°00'03,19W''.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – Terço superior da encosta.

**ALTITUDE** – 970 m

**LITOLOGIA** – Basalto

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA** – Serra Geral

**CRONOLOGIA** – Juro-cretáceo

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto do intemperismo da rocha supracitada.

**PEDREGOSIDADE** – Não pedregosa.

**ROCHOSIDADE** – Não rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Ondulado a forte-ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Bem drenado.

**USO ATUAL** – Lavoura de soja.

**CLIMA** – Cfb, da classificação de Köppen.

**DESCRITO E COLETADO POR** – Letícia Sequinatto, Jaime Barros dos Santos Junior, Marciano Istchuk Junior, Gustavo Eduardo Pereira.

## F2 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 a 12 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/2, úmido); bruno muito escuro (7,5YR 2.5/3, seco); argila; fraca pequena granular; friável, macia, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 12 a 31 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/3, seco); muito argilosa; fraca pequena granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena granular; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- A3** 31 a 45 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2.5/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- AB** 45 a 65 cm; bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno-forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- BA** 65 a 85 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno-forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw1** 85 a 100 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw2** 100 a 114 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- Bw3** 114 a 145 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, muito dura, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bw4** 145 a 160+ cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido); vermelho-amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena e média granular e fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em moderada pequena e média granular; friável, dura, não plástica e pegajosa.

**RAÍZES:** - Muitas, fasciculadas, muito finas em A1 e A2. Comum, fasciculadas, muito finas em A3 e AB. Raras, fasciculadas, muito finas em BA e Bw1.



## APÊNDICE G – CÓDIGO CLHS

```

> attach(Export_Output)
> df <- data.frame(Export_Output)
> df
  POINT_X POINT_Y   orientacao declividade elevacao
1  502809.8 6879032 317.96109009  1.6011337  932.623
[ reached getOption("max.print") -- omitted 2875 rows ]
> nrow(df)
[1] 2876
> library(clhs)
> res <- clhs(df, size = 100, iter = 10000)
> res
[1] 817 1492 2820 620 1195 325 1348 2860 2450 2644 98
[12] 140 990 1238 2110 1128 1812 1679 2383 423 1417 2796
[23] 181 727 1525 1091 1298 1565 667 2851 2043 1837 957
[34] 1955 410 1531 1228 2223 1965 363 452 1940 2347 1852
[45] 982 1443 2439 1389 1138 2553 85 1293 218 2756 2000
[56] 558 773 1155 2438 797 1713 539 1095 1883 1972 1089
[67] 2010 1586 894 513 303 404 644 2660 174 2705 584
[78] 1514 2087 2096 1371 2021 401 2174 2408 1753 1861 1059
[89] 1014 2474 2595 468 479 2246 881 703 2366 2314 14
[100] 2284

```

**APÊNDICE H                      COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE COLETA**

Identificação	E	N
01	504003	6878918
02	504259	6878918
03	502071	6878833
04	504487	6878748
05	504543	6878691
06	503265	6878520
07	500564	6878293
08	506362	6877611
09	500081	6877355
10	499996	6877184
11	499939	6876474
12	501360	6859015
13	507414	6875138
14	507329	6874968
15	507386	6874939
16	507442	6874399
17	505481	6874371
18	507471	6874285
19	505169	6853615
20	502469	6858589
21	504998	6873774
22	503094	6861005
23	504885	6873632
24	504316	6873120
25	500422	6872978
26	504146	6872978
27	507215	6872864
28	503748	6872637
29	500735	6872552
30	502099	6872211
31	502355	6872125
32	502270	6857083
33	503975	6871585
34	504288	6871244
35	504288	6871216
36	504316	6871188
37	500451	6859413
38	501161	6856657
39	504686	6870420
40	503662	6850404
41	508551	6869880
42	508409	6869596
43	501673	6869568

---

44	501815	6869226
45	502071	6860096
46	501815	6868999
47	505737	6868885
48	505794	6868829
49	508380	6868743
50	508352	6868686
51	500536	6868516
52	508238	6868289
53	500422	6868203
54	498859	6868118
55	501986	6868090
56	498888	6868061
57	509659	6868004
58	506476	6867947
59	507158	6867891
60	507357	6867862
61	509489	6867834
62	507670	6867720
63	499200	6867692
64	499229	6867663
65	506135	6867464
66	509062	6867464
67	499627	6867379
68	505567	6867322
69	505737	6867294
70	499769	6866811
71	504600	6866498
72	502270	6866299
73	504316	6866242
74	499257	6866185
75	499001	6865844
76	509517	6865759
77	509688	6865048
78	509745	6864963
79	498888	6864736
80	498831	6864111
81	502213	6863826
82	502042	6863542
83	497069	6863144
84	497381	6863144
85	498632	6862974
86	501218	6862604
87	501218	6862576
88	498433	6862036
89	498404	6861695

---



---

90	498404	6861524
91	498518	6859819
92	499286	6859734
93	500024	6858085
94	500138	6856550
95	500422	6855812
96	502298	6854419
97	502526	6853708
98	502696	6853140
99	502725	6853055
100	502099	6852401

---