

O estudo demonstra o potencial de variáveis ambientais relacionadas à geomorfologia (elevação e declividade) para caracterizar e identificar ambientes de ocorrência de solos com elevados teores de carbono orgânico no sul do Brasil.

A espectroscopia apresentou elevado potencial como ferramenta auxiliar para identificação dos solos com elevados teores de carbono orgânico, o que dispensa o preparo específico de amostras e uso de reagentes químicos, além do menor custo e maior rapidez que as análises convencionais.

Orientadora: Letícia Sequinatto

Coorientador: Jaime Antonio de Almeida

Lages, 2021

ANO
2021

GUSTAVO EDUARDO PEREIRA | SENSORIAMENTO REMOTO E PROXIMAL DE SOLOS COM ELEVADOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO NO SUL DO BRASIL



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

TESE DE DOUTORADO

**SENSORIAMENTO REMOTO E
PROXIMAL DE SOLOS COM ELEVADOS
TEORES DE CARBONO ORGÂNICO NO
SUL DO BRASIL**

GUSTAVO EDUARDO PEREIRA

LAGES, 2021

GUSTAVO EDUARDO PEREIRA

**SENSORIAMENTO REMOTO E PROXIMAL DE SOLOS COM ELEVADOS
TEORES DE CARBONO ORGÂNICO NO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Dra. Letícia Sequinatto

Coorientador: Jaime Antonio de Almeida

LAGES, SC

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Eduardo Pereira, Gustavo

Sensoriamento remoto e proximal de solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil / Gustavo Eduardo Pereira. -- 2021.

191 p.

Orientador: Letícia Sequinatto

Coorientador: Jaime Antonio de Almeida

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2021.

1. Campos de altitude. 2. Classificação de solos. 3. Organossolo.
4. SIG. I. Sequinatto, Letícia. II. Antonio de Almeida, Jaime. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
- IV. Título.

GUSTAVO EDUARDO PEREIRA

Sensoriamento remoto e proximal de solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca Examinadora:

Orientadora:

Prof. Dr^a. Letícia Sequinatto

UDESC - Lages, SC

Membro externo:

Dr^a. Elisângela Benedet da Silva

Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina

Membro externo:

Prof. Dr. Alexandre ten Caten

UFSC - Curitibanos, SC

Membro interno:

Prof. Dra. Mari Lucia Campos

UDESC - Lages, SC

Membro interno:

Prof. Dr. David José Miquelutti

UDESC - Lages, SC

Lages, 20 de Agosto de 2021

AGRADECIMENTOS

À Deus e minha família, especialmente à minha mãe pelo apoio.

À minha orientadora, professora Dra. Letícia Sequinatto pela confiança, apoio acadêmico e exemplo profissional durante os seis anos de orientação. Aos professores Alexandre ten Caten, Jaime Antonio de Almeida, Mari Lúcia Campos e David José Miquelutti pela colaboração fundamental no projeto de pesquisa, críticas e sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de doutorado.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pela infraestrutura e suporte necessário. Aos motoristas do Setor de Transporte pela ajuda, acompanhamento e paciência durante as coletas, em especial à capacidade técnica em locais de acesso limitado e/ou restrito.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa.

Aos membros do Grupo de Geotecnologias em Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, em especial ao prof. Dr. José Alexandre Demattê, Maria Eduarda Bispo de Resende e Nicolas Augusto Rosin pelo suporte e apoio necessário para realização das análises espectrais presencialmente, em período de pandemia.

Aos colegas, estagiários e bolsistas do Laboratório de Pedologia, pela disposição e ajuda nas coletas e análises realizadas.

Aos membros da banca de avaliação Dr^a Elisângela Benedet da Silva, prof. Dr. Alexandre tem Caten, prof. Dr^a Mari Lúcia Campos e prof. Dr. David José Miquelutti pelas correções e sugestões.

Agradecer a todos os colegas, bolsistas e estagiárias que auxiliaram durante as coletas de solos e análises laboratoriais, bem como aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização e conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

PEREIRA, Gustavo Eduardo. **Sensoriamento remoto e proximal de solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil.** 2021. 191 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, SC, 2021.

Estudos sobre os frágeis solos de ambientes altomontanos, na maioria das vezes com teores elevados de carbono orgânico, são restritos a pequenas áreas ou ambientes protegidos por lei. O uso destes solos para fins agrícolas é limitado para algumas culturas, em consequência às propriedades físicas e químicas destes solos as quais tornam mais suscetíveis a degradação e decomposição da matéria orgânica que ocasiona a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. O objetivo do estudo é propor uma metodologia para delimitar solos com expressivo conteúdo de carbono orgânico, para Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizando dados espectrais e variáveis ambientais extraídas do MDT do sensoriamento remoto. Foram coletados 135 pontos amostrais de solos em locais de elevada altitude (>800 m) nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os teores de carbono orgânico foram determinados nas camadas superficiais (0-20 cm) e subsuperficiais (20-40 cm) por dois métodos: Perda por ignição e oxidação via seca. Os dados espectrais foram obtidos através do sensor FieldSpec3 para a região do Vis-NIR-SWIR (360 a 2500 nm) e o sensor FT-IR Alpha II para a região do Mid-IR (4000 a 400 cm⁻¹). Os ambientes de ocorrência dos Organossolos avaliados apresentam valores de altimetria mais elevados quando comparados aos locais onde predominam os Cambissolos. Ao analisar as variáveis bioclimáticas referentes à precipitação é possível observar diferenças entre os solos avaliados com maior variação dos valores mínimos e máximos nos ambientes onde predominam os Cambissolos Hísticos. Os resultados obtidos demonstram o potencial das variáveis ambientais relativas à geomorfologia (elevação e declividade) para caracterizar e identificar ambientes mais favoráveis à ocorrência de solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil, de forma remota e com redução dos custos associados à coleta de dados em campo. A espectroscopia apresentou elevado potencial como ferramenta auxiliar para identificação de Cambissolos Húmicos e Organossolos Fólicos Sápicos líticos, por dispensar o preparo específico de amostras e uso de reagentes químicos, além do menor custo e maior rapidez que as análises convencionais.

Palavras-chave: Campos de altitude, Classificação de solos, Organossolo, SIG.

ABSTRACT

PEREIRA, Gustavo Eduardo. **Remote and proximal sensing of soils with high organic carbon content in southern Brazil.** 2021. 191 p. PhD Thesis in Soil Science. Santa Catarina State University, Graduate in Soil Sciences Program, Lages, SC, 2021.

Studies on soils of upland environments are restricted to small areas or environments protected by law. The use of these soils for agricultural purposes is limited or restricted for some crops, because of their high tendency to subsidence (lowering of the soil surface level caused by the retraction of the material). The use of these soils for agricultural purposes is limited for some crops, as a result of the physical and chemical properties of these soils which make them more susceptible to degradation and decomposition of organic matter that causes the emission of greenhouse gases into the atmosphere. The objective of this study is to propose a methodology to delimit soils with expressive organic carbon content, for Santa Catarina and Rio Grande do Sul, using radiometry and environmental variables obtained by remote sensing. A total of 135 soil sampling points were collected at high altitude locations (>800 m) in the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. Organic carbon contents were determined in the superficial (0-20 cm) and subsurface (20-40 cm) layers by two methods: Ignition loss and dry oxidation. Spectral data were obtained through the FieldSpec3 sensor for the Vis-NIR region (360 to 2500 nm) and the FT-IR Alpha II sensor for the Mid-IR region (4000 to 400 cm^{-1}). The environments of occurrence of the Organossolos evaluated present higher altimetry values when compared to the places where Cambissolos predominate. In the bioclimatic variables related to precipitation, it is possible to observe differences between the evaluated soils, with greater variation in the minimum and maximum values in environments where the Cambissolos Hísticos predominate. The results obtained demonstrate the potential of environmental variables related to geomorphology (elevation and slope) to characterize and identify more favorable environments for the occurrence of soils with high organic carbon content in southern Brazil, remotely and with reduced costs associated with data collection in the field. Spectroscopy has shown high potential as an auxiliary tool for the identification of Cambissolos Húmicos and Organossolos Fólicos Sápicos líticos, as it does not require the specific preparation of samples and the use of chemical reagents, in addition to being cheaper and faster than conventional analyses.

Keywords: GIS, High mountain fields, Organossolo, Soil classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de distribuição espacial dos solos com alto teor de carbono orgânico no Brasil.....	14
Figura 2 - Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Mista.	19
Figura 3 - Estratégias de sensoriamento remoto e próximo para avaliação da refletância espectral de solos.....	23
Figura 4 - Espectro eletromagnético e regiões espectrais mais empregadas em estudos aplicados a solos, com destaque a região do infravermelho.....	26
Figura 5 - Resposta espectral na faixa do Vis-NIR (400-2500 nm) de amostras de solos obtidas do banco de dados LUCAS (<i>Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey</i>) com diferentes teores de carbono orgânico.	29
Figura 6 - Relação entre a quantidade de material orgânico no solo e refletância espectral na faixa entre 400-1000 nm.....	31
Figura 7 - Localização geográfica da área de estudo com destaque para os locais de coleta de amostras de solos em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.....	33
Figura 8 - Fatores de formação dos solos com elevados teores de CO, indicadores de ocorrência e sensores recomendados para análise espacial em função da escala.....	37
Figura 9 - Representação esquemática da declividade, expressa em graus ou porcentagem em relação à inclinação de uma superfície.	40
Figura 10 - Representação esquemática das feições de curvatura horizontal.....	42
Figura 11 - Representação esquemática das feições de curvatura horizontal.....	42
Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos realizados para determinação dos teores de carbono orgânico, análise e processamento dos dados espectrais.....	44
Figura 13 - Box-plot dos teores de carbono orgânico na camada de 0-20 cm nas amostras de Cambissolos e Organossolos avaliados.	46
Figura 14 Box-plot dos teores de carbono orgânico na camada de 20-40 cm nas amostras de Cambissolos e Organossolos avaliados.	47

Figura 15 - Mapa (a) e histograma (b) das classes de vegetação nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	49
Figura 16 - Mapa (a) e histograma (b) da cobertura e uso da terra nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	52
Figura 17 - Mapa (a) e box-plot (b) da elevação (m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados	55
Figura 18 - Histograma da elevação (m) conforme as classes de solos avaliadas.....	56
Figura 19 - Histograma da declividade (%) conforme as classes de solos avaliadas.....	58
Figura 20 - Mapa (a) e box-plot (b) da declividade (%) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados	59
Figura 21 - Mapa (a) e box-plot (b) do índice de umidade topográfica (TWI), conforme classes propostas por Tarboton (1997) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados	62
Figura 22 - Histograma do Índice de Umidade Topográfica (TWI) conforme as classes de solos avaliadas	63
Figura 23 - Histograma da distância vertical da rede de drenagem (m) conforme as classes de solos avaliadas.....	65
Figura 24 - Mapa (a) e box-plot (b) da distância vertical da rede de drenagem – DVRD (m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados	66
Figura 25 - Mapa (a) e histograma (b) do plano de curvatura (º/m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	68
Figura 26 - Mapa (a) e histograma (b) do perfil de curvatura (º/m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	71
Figura 27 – Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média anual – TMA (ºC) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	74
Figura 28 - Histograma da temperatura média anual (ºC) conforme as classes de solos avaliadas.....	75
Figura 29 - Histograma da temperatura mínima do mês mais frio (ºC) conforme as classes de solos avaliadas.....	76

Figura 30 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura mínima do mês mais frio – TMMMF (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	77
Figura 31 - Histograma da temperatura máxima do mês mais quente (°C) conforme as classes de solos avaliadas.....	78
Figura 32 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura máxima do mês mais quente – TMMMQ (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	79
Figura 33 - Histograma da temperatura mínima do trimestre mais frio (°C) conforme as classes de solos avaliadas.....	80
Figura 34 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média do trimestre mais frio – TMTMF (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	81
Figura 35 - Histograma da temperatura máxima do trimestre mais quente (°C) conforme as classes de solos avaliadas.....	83
Figura 36 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média do trimestre mais quente – TMTMQ (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	84
Figura 37 - Histograma da precipitação anual (mm) conforme as classes de solos avaliadas.	86
Figura 38 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação anual – PA (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	87
Figura 39 - Histograma da precipitação do mês mais seco (mm) conforme as classes de solos avaliadas.....	89
Figura 40 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do mês mais seco – PMMS (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	90
Figura 41 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do mês mais úmido – PMMU (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	91
Figura 42 - Histograma da precipitação do mês mais úmido (mm) conforme as classes de solos avaliadas.....	92
Figura 43 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do trimestre mais seco – PTMS (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	94
Figura 44 - Histograma da precipitação do trimestre mais seco (mm) conforme as classes de solos avaliadas.....	95

Figura 45 - Histograma da precipitação do trimestre mais úmido (mm) conforme as classes de solos avaliadas.....	96
Figura 46 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do trimestre mais úmido – PTMU (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.....	97
Figura 47 - Análise de componentes principais (ACP) categorizados conforme as classes de solos avaliadas e a respectiva contribuição em cada componente para solos com elevados teores de CO (0-20 cm).	99
Figura 48 - Porcentagem de variância explicada conforme as componentes principais em solos com elevados teores de CO (0-20 cm).....	99
Figura 49 - Análise de componentes principais (ACP) categorizados conforme as classes de solos avaliadas e a respectiva contribuição em cada componente para solos com elevados teores de CO (20-40 cm).	101
Figura 50 - Porcentagem de variância explicada conforme as componentes principais em solos com elevados teores de CO (20-40 cm).....	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESES	17
3	OBJETIVOS	17
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	REVISÃO DA LITERATURA	18
4.1	MÉTODOS TRADICIONAIS DE ANÁLISES DE SOLOS	21
4.2	DEFINIÇÕES E FUNDAMENTOS DA REFLETÂNCIA ESPECTRAL.....	22
4.3	REGIÕES DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	25
4.4	REFLETÂNCIA ESPECTRAL DE SOLOS	27
4.5	REFLETÂNCIA ESPECTRAL E CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS	28
5	MATERIAIS E MÉTODOS	32
5.1	ÁREA DE ESTUDO E PONTOS AMOSTRAIS	32
5.2	PERFIS REPRESENTATIVOS E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	33
5.3	DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	35
5.4	VARIÁVEIS AMBIENTAIS	36
5.4.1	Variáveis e valores extraídos dos rasters	36
5.4.2	Atributos do solo	39
5.5	AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS E PRÉ-PROCESSAMENTO.....	43
5.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6.1	TEORES DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS	45
6.2	VEGETAÇÃO	48
6.3	COBERTURA E USO DA TERRA	51

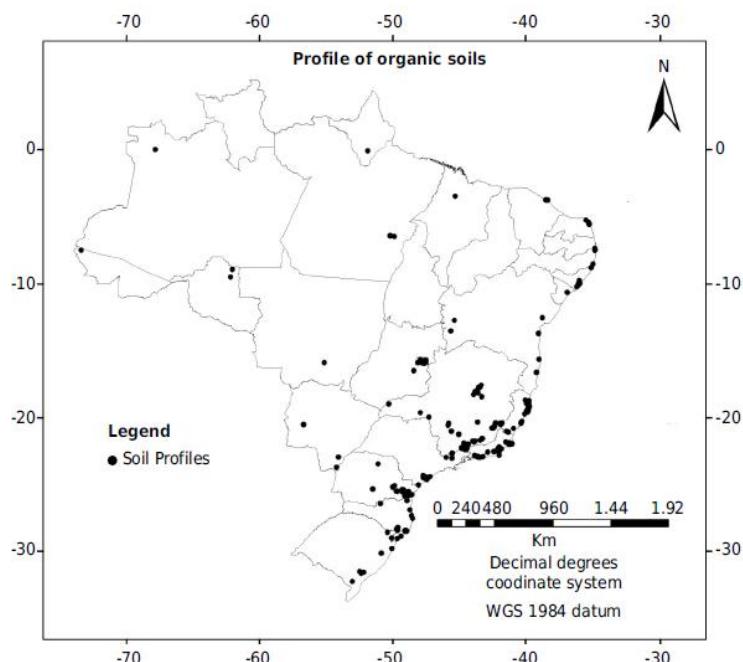
6.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	54
6.4.1 Elevação.....	54
6.4.2 Declividade.....	57
6.4.3 Índice de Umidade Topográfica – TWI.....	61
6.4.4 Distância Vertical da Rede de Drenagem (DVRD).....	64
6.4.5 Curvatura horizontal	67
6.4.6 Curvatura vertical	70
6.4.7 Temperatura.....	73
6.4.8 Precipitação	85
6.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	98
7 CONCLUSÕES.....	105
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
REFERÊNCIAS	108
APÊNDICES	126
ANEXOS	145

1 INTRODUÇÃO

Em escala global solos com elevados teores de carbono como as turfeiras representam 3% da superfície terrestre, no entanto estes podem armazenar cerca de 650 Gt de carbono nas camadas superficiais, o que corresponde a mais de 20% do estoque global de carbono orgânico nos solos (SCHARLEMANN et al., 2014; LEIFELD, MENICHETTI, 2018). Considerando que a grande parte da matéria orgânica desses solos está nas camadas mais superficiais (em média até os 40 cm de profundidade), há grande potencial de sua perda pela decomposição na forma de CO₂ para a atmosfera, caso a vegetação não seja mantida ou utilizados fora da capacidade com manejo inadequado (FELLER, BEARE, 1997; BAYER et al., 2000, PEREIRA et al., 2005, YIMER et al., 2006).

No Brasil solos com altos teores de carbono são encontrados em toda extensão territorial (Figura 1), desde áreas com mangues próximas ao litoral até regiões montanhosas com altitudes de 800 a 1600 m. A ocorrência desses solos tem sido frequentemente negligenciada por pesquisadores, evidenciado pela ausência em mapas de solos (IBGE; EMBRAPA, 2001) e falta de estudos sobre mapeamento digital em grande escala (MINASNY et al., 2019).

Figura 1 - Mapa de distribuição espacial dos solos com alto teor de carbono orgânico no Brasil.



Fonte: Beutler et al. (2017).

Mapas em escalas globais como proposto por Xu et al. (2018) não indicam a ocorrência desses solos em escalas regionais ou locais. Conforme Minasny et al. (2019) o mapeamento da extensão espacial dos Organossolos apresenta determinadas limitações, como diferentes resoluções espaciais e temporais das imagens de satélites disponíveis, além da dificuldade de quantificação das variáveis climáticas como temperatura e precipitação.

Diversos modelos foram desenvolvidos a fins de quantificar a perda de carbono em Organossolos (MORRIS et al., 2004; KIRK et al., 2015; GLUKHOVA; SIRIN, 2018) porém grande parte foi desenvolvido para grandes escalas sem coleta de amostras de solos a campo. Na literatura são encontradas funções de pedotransferência para predição da densidade de solos minerais a partir dos teores de matéria orgânica (RODRIGUEZ-LADO et al., 2015; XIANGSHENG et al., 2016; BEUTLER et al., 2017), no entanto essa relação também não é válida para solos com elevados teores de carbono (MINASNY et al., 2008).

Estudos sobre modelagem da dinâmica do carbono em diferentes tipos de solos relatam a necessidade de no mínimo 6 a 10 anos para detectar aumento de 15% nos teores de carbono no solo e destacam que os estoques são estabilizados após 20 anos conforme as diferentes práticas de manejo (SMITH, 2004). Porém vale ressaltar que em solos com altos teores de carbono o período de 20 anos pode ser relativamente curto para estabelecer o equilíbrio com qualquer prática de manejo ou uso do solo (NAYAK et al., 2019).

O carbono orgânico do solo tem papel fundamental nas interações que ocorrem no solo e é considerado um indicador da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). Existem diferentes métodos para determinação dos teores de carbono, como o método de oxidação via-úmido Walkley; Black (1934) e metodologias baseadas na combustão a seco. A determinação dos teores de carbono pelo método Walkley-Black, descrita em Tedesco (1995), consiste em oxidação parcial do carbono e medições indiretas dos teores, onde o resultado final é obtido a partir de um fator de conversão. Outro fator limitante deste método é observado na análise de solos com altos teores de carbono como os Organossolos, em que o peso inicial da amostra deve ser reduzido, o que pode conduzir a erros em análises e caracterização espectroscópica (SOARES, 2015).

Conforme exposto por Minasny et al. (2019) os solos com elevados teores de carbono se encontram constantemente submetidos a diversos processos de degradação e frente a isto ações imediatas são fundamentais para reduzir ou amenizar os prejuízos futuros. Uma das estratégias para conservação consiste no mapeamento da extensão e caracterização desses

solos a fins de identificar as áreas prioritárias para conservação assim como os principais fatores que aceleram a degradação (CRUMP, 2017).

As metodologias que utilizam combustão a seco automatizadas consistem em queimar a amostra em um forno a altas temperaturas ($>750^{\circ}\text{C}$) e o produto resultante da combustão (CO_2) é quantificado por um detector. Devido aos consideráveis avanços em desenvolvimento e utilização de analisadores elementares automáticos, atualmente é possível realizar análises rápidas e confiáveis. Estes equipamentos proporcionam uma determinação com alta precisão e não há geração de resíduos tóxicos (JIMENEZ; LADHA, 1993), no entanto não são comumente utilizados em laboratórios de análises de solos. Estudos destacam que os custos de manutenção destes equipamentos são elevados (SEGNINI et al., 2008), o que pode inviabilizar sua utilização para pequeno volume de amostras.

A técnica de espectroscopia de refletância tem se tornado uma ferramenta importante para estudos em ciência do solo nos últimos 20 anos, inclusive na predição de carbono orgânico do solo. A técnica permite a obtenção de informações quantitativas e qualitativas sobre diversas propriedades do solo e uma aproximação da composição do solo 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). Observa-se constante aumento do número de trabalhos publicados sobre as relações entre propriedades do solo e a refletância espectral de solos (BELLINASO et al., 2010; VISCARRA ROSSEL et al., 2010; TERRA, 2011). Isto pode estar relacionado à maior disponibilidade de equipamentos de alta resolução, maiores demandas em projetos de pesquisas e novas oportunidades de aplicações.

Outro fator que contribui para o desenvolvimento de novas metodologias, rápidas, econômicas e com alta precisão consiste na grande disponibilidade de dados obtidos por sensoriamento remoto e covariáveis ambientais derivadas de modelos digitais de elevação (DOBOS et al., 2005; ARRUDA et al., 2013). No estudo desenvolvido por Taques (2014) a associação entre covariáveis de diferentes fontes (Modelo digital de elevação, imagens de satélite e dados espectrais) melhorou os resultados dos modelos preditivos, com o uso de técnicas de mineração de dados, demonstrando a importância dessas informações para predição de atributos do solo, principalmente em áreas extensas e com escassez de dados sobre solos.

Conforme exposto por Ping (2005) os solos orgânicos de ambientes altomontanos podem ser identificados com base em aspectos da vegetação, para estudos voltados à ecologia,

e pela temperatura do solo, para estudos de ciência do solo. Devido aos elevados teores de carbono orgânico, concentrados nos horizontes hísticos e húmicos, estes solos desempenham função essencial na imobilização de carbono e regulação de fluxos hídricos (BRUIJNZEEL, 2000; SIMAS et al., 2005; BENITES et al., 2007; SCHEER et al., 2011).

Informações sobre solos de ambientes altomontanos são restritas a pequenas áreas ou ambientes protegidos por lei. No estudo realizado por Vashchenko et al. (2007) as classes de solos predominantes nos ambientes altomontanos foram Cambissolos e Neossolos Litólicos. Ao considerar as diferentes vegetações, Scheer et al. (2011) encontraram nos campos de altitude Organossolos Fólicos fíbricos/sápricos (líticos e típicos) e Organossolos Háplicos fíbricos/sápricos (típicos e téreos), e nas florestas altomontanas Gleissolos Háplicos alíticos típicos. Vale ressaltar que a maioria dos estudos realizados no Sul do Brasil teve como foco caracterizar solos sob florestas altomontanas (VASHCHENKO et al., 2007; SCHEER et al., 2011), porém informações sobre solos de campos altomontanos no Sul do Brasil são escassos.

Diante da importância da preservação dos solos frágeis que estocam carbono orgânico, nas áreas de maior altitude, o objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia que emprega técnicas de sensoriamento remoto e próximo para mapear solos com elevados teores de carbono orgânico no Sul do Brasil.

2 HIPÓTESES

É possível delimitar as áreas de ocorrência de solos com altos teores de carbono orgânico por meio de relações entre dados espectrais (Vis-NIR-SWIR-MIR) e variáveis ambientais.

3 OBJETIVOS

Desenvolver uma metodologia que emprega técnicas de sensoriamento remoto e próximo para mapear solos com elevados teores de CO.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar variáveis ambientais do sensoriamento remoto para modelagem e mapeamento de solos com elevados teores de carbono orgânico nas camadas superficiais (0-20 e 20-40 cm) no Sul do Brasil.

Analisar dados espectrais (Vis-NIR-SWIR-MIR) do sensoriamento próximo para modelagem e mapeamento de solos com elevados teores de carbono orgânico nas camadas superficiais (0-40 cm) no Sul do Brasil.

Avaliar a resposta espectral (Vis-NIR-SWIR-MIR) de amostras de solos e correlacionar com teores de carbono orgânico nas camadas superficiais (0-20 e 20-40 cm).

4 REVISÃO DA LITERATURA

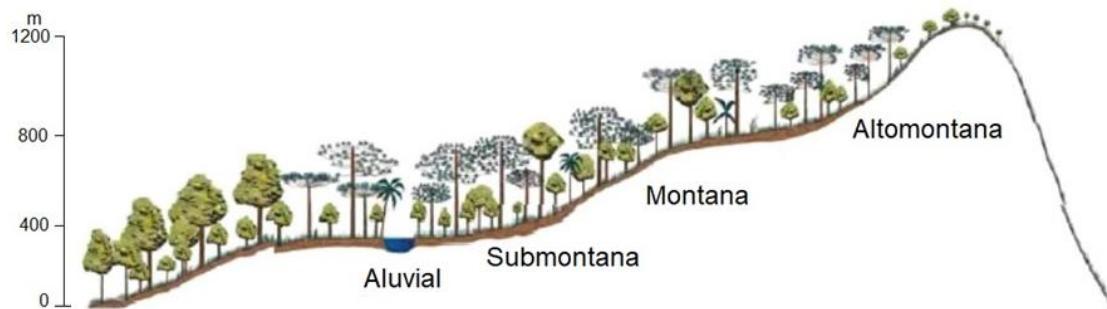
Os ambientes de altitude apresentam uma ampla variabilidade de fauna e flora, com características locais próprias e espécies endêmicas. Esses ecossistemas são instáveis sob a condição climática atual, a qual, em conjunto com a intervenção antrópica, constitui fatores de aceleração do processo de degradação (BENITES et al., 2007). Em consideração a isso, a Organização das Nações Unidas (ONU) por meio da Agenda 21 estabeleceu o Capítulo 13 intitulado “Gerenciamento de Ecossistemas Frágeis: Desenvolvimento sustentável das Montanhas”, o qual fomenta a reflexão sobre a conservação e desenvolvimento sustentável nesses ambientes (BRASIL, 2004; LOPEZ et al., 2011).

Em nível nacional a Lei 12.651/2012 considera como área de preservação permanente (APP) as florestas e demais formas de vegetação situadas nos topos de morros, montes, montanhas ou serras e em altitudes superiores a 1.800m. A vegetação predominante nestas áreas que ocorrem no Sul do Brasil são os Campos e a Floresta Ombrófila Mista (FOM) com inclusões de matas nebulares nos topos e vegetações rupícolas nos locais com maior declividade. Os Campos, ou também denominados “Campos de Altitude” acima de 800m, ocorrem preferencialmente sobre solos rasos, onde as temperaturas mais baixas predominam, normalmente de 4 a 6 meses com médias menores ou iguais a 15°C (ALVARES et al., 2013). A ocorrência frequente de geadas é característica durante o inverno, e curtos períodos de

temperaturas mais elevadas durante o verão, de 0 a 3 meses em que as médias são menores ou iguais a 20°C. Nas partes mais baixas dos campos, onde a umidade se concentra como nas margens dos rios, o solo é mais profundo e, nele, se desenvolvem os capões e as matas de galeria, que representam o primeiro estágio da sucessão dos pinheiros (KLEIN et al., 1978).

Segundo classificação do IBGE (2012) a FOM pode ser subdividida em classes distintas de acordo com a posição no relevo: i) Submontana: altitudes inferiores a 400m; ii) Montana: situada entre 400 e 1000m e caracterizada pela presença de *Araucaria angustifolia*, *Ocotea pulchella*, *Ocotea porosa*, *Matayba eleagnoides* entre outras (SCHÄFFER, 2002); e iii) Altomontana: localizada em altitudes superiores a 1000m, ocupa as encostas das colinas e predominam solos rasos (Figura 2). A Floresta Ombrófila Mista Altomontana ocorre nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2012).

Figura 2 - Perfil esquemático da Floresta Ombrófila Mista.



Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Os ambientes altomontanos apresentam condições ambientais peculiares como baixas temperaturas e alta umidade (ZECH et al., 1997; SIMAS et al., 2005; FALKENBERG, 2003) o que reduz a atividade da microbiota do solo e resulta em aumento gradativo dos teores de carbono no solo (SILVEIRA et al., 2016). Outro aspecto que dificulta a utilização da matéria orgânica pelos microorganismos se deve a presença de compostos organometálicos de ferro e alumínio fortemente humificados no solo (DON et al., 2011).

Solos desenvolvidos em ambientes altomontanos geralmente apresentam horizonte superficial hístico, com teores de carbono orgânico superior a 80 g kg⁻¹ (SANTOS et al., 2018). Neste tipo de horizonte predomina coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada com características relacionadas ao elevado teor de matéria orgânica. Os elevados teores de carbono observados são resultados da acumulação de resíduos vegetais em diferentes graus de

decomposição, depositados superficialmente, podendo encontrar-se recoberto por horizontes ou depósitos minerais e camadas orgânicas mais recentes (SANTOS et al. 2018). Na maioria das situações os solos de ambientes altomontanos apresentam horizontes superficiais espessos em que a natureza orgânica do solo é facilmente reconhecível, no entanto onde é apenas moderadamente espessa sobre um horizonte mineral ou é intercalado com camadas de material mineral, se torna mais complexa uma definição para distinguir entre Organossolos e outros solos.

Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul localizados na região Sul do Brasil ocorre expressiva quantidade de Cambissolos Húmicos, Cambissolos Hísticos e Organossolos Fólicos (SANTOS et al., 2018), situados nos rebordos da escarpa da Formação Serra Geral, em regiões onde predominam altitudes superiores a 1000 m, em muitos casos áreas de APPs. Nestes ambientes o clima frio e úmido e a vegetação altomontana resultam em redução da atividade biológica e consequente acúmulo de matéria orgânica no solo (VALLADARES, 2003; BENITES et al., 2007; EBELING et al., 2008). Além dos altos teores de carbono orgânico encontrados nos solos dessas áreas, trabalhos de caracterização já realizados, como exemplo Santos Junior (2017), mostram também que os solos são pouco desenvolvidos, extremamente ácidos, têm baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio trocável. Resultados similares são observados em estudos desenvolvidos em solos de outras regiões altomontanas do Brasil, desde os campos rupestres do Sudeste (BENITES et al. 2007; SILVA et al., 2009; SOARES, 2015) até as florestas nebulares nos Aparados da Serra Geral (FALKENBERG, 2003)

A obtenção de dados sobre solos por meio da utilização de covariáveis ambientais obtidas por sensoriamento remoto contribui na caracterização de solos, principalmente quando há escassez de recursos humanos e financeiros ou ausência de dados legados sobre os solos do local (ARRUDA et al., 2013). Segundo Moore et al. (1993) as covariáveis relacionadas ao relevo podem ser classificadas entre primárias e secundárias. As covariáveis primárias são obtidas diretamente do MDE (elevação, declividade, orientação, plano e perfil de curvatura), enquanto as secundárias envolvem a combinação de variáveis primárias (geralmente índices geomorfométricos).

Conforme exposto por Chagas et al. (2013) a elevação, declividade e aspecto, têm sido reconhecidos como os mais efetivos para a realização de levantamentos de solos de média escala (extensivos). No Brasil, Ippoliti et al. (2005) utilizaram o MDE para derivar atributos

do terreno como elevação, declividade e curvatura, os quais posteriormente foram utilizados para delimitar pedoformas na região de Viçosa, Minas Gerais. Entretanto para que as covariáveis descrevam a variabilidade dos solos na paisagem é fundamental o desenvolvimento de modelos e métodos específicos (FLORINSKY et al. 2002).

4.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE ANÁLISES DE SOLOS

As análises de solo tradicionais estão no mercado há muito tempo e são consideradas ferramentas essenciais para fins de recomendação de adubação, calagem e manejo do solo. Entretanto, com o aumento da demanda por alimentos e a necessidade de produtividade agrícola de forma sustentável, é fundamental evoluir em termos de qualidade, custos e o tempo demandado para a obtenção dos resultados destas análises (LOPES; GUILHERME, 2007).

Atualmente as principais limitações das análises tradicionais estão relacionadas à alta demanda, necessidade de velocidade da informação, uso intenso de produtos químicos, caráter ambiental (*eco-friendly*) e elevado custo para tratamento dos resíduos. Dentro as principais fontes de erro nas análises de rotina de solos é possível destacar variações da pesagem da amostra, preparação dos reagentes, tempos de repouso da reação, titulação (erro humano, expertise do operário, ponto de virada do indicador perceptível de maneira diferente por pessoas distintas), leitura errada do instrumento, anotação, erros de digitação e cálculo dos atributos (DEMATTÊ et al., 2016).

Diferentes métodos de análises são adotados para determinação dos teores de carbono no solo, os quais variam conforme o teor de carbono presente na amostra a ser analisada. Dentro os métodos mais utilizados destacam-se a digestão úmida (Walkley-Black, 1934), perda por ignição (SANTOS et al., 2018) e combustão seca em analisador elementar (TOC).

Com relação à temperatura utilizada durante a análise, são observadas diferentes temperaturas desde 375 até 800°C (DAVID, 1988) sendo o valor de 600°C indicado como a temperatura mais adequada para determinação dos teores de carbono (NAYAK et al., 2019). Em países como o Brasil é utilizado o aquecimento a 600°C durante 6 horas (SANTOS et al., 2018), enquanto na Europa estudos recomendam temperaturas superiores a 550°C durante 3h (HOOGSTEEN et al., 2015) e no trabalho desenvolvido por Catagña et al. (2017) no Equador foi utilizada a temperatura de 950°C por 15 minutos. Essa variabilidade nas faixas de

temperatura se deve a presença de teores variados de carbonatos e componentes inorgânicos nos solos os quais se deterioram em temperaturas superiores a 400°C (DAVID, 1988; NAYAK et al., 2019)

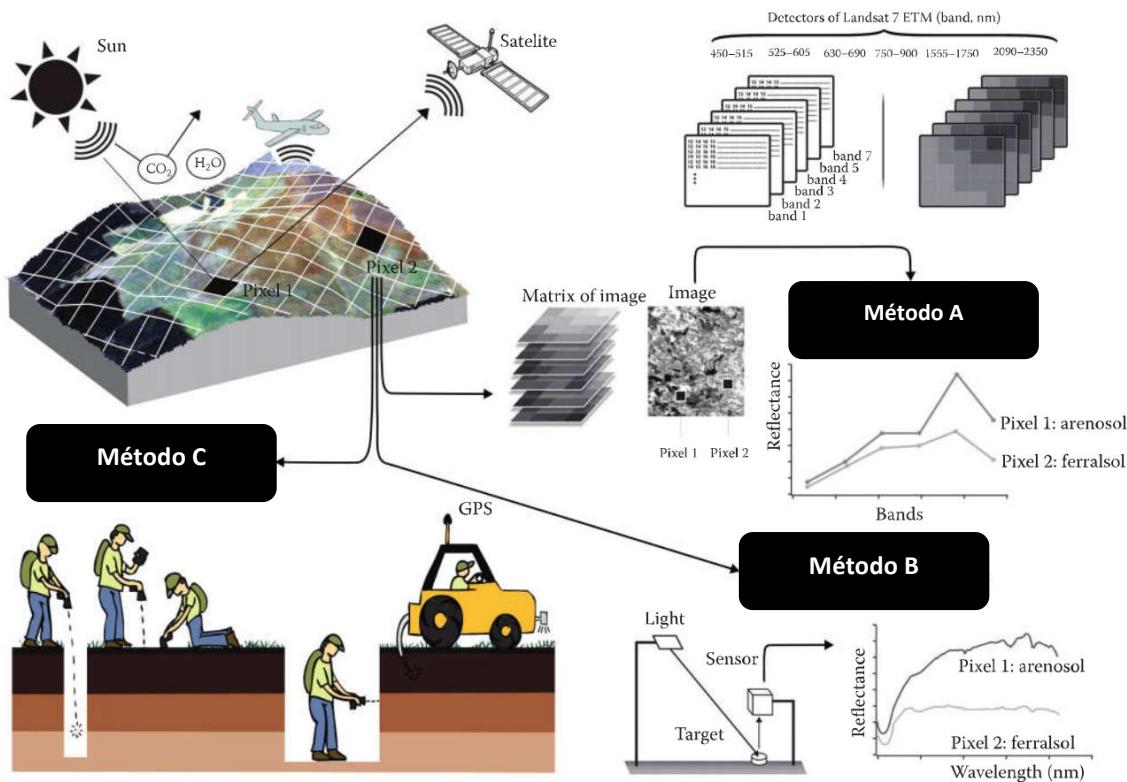
Nos últimos anos os sensores que operam sem contato físico têm se mostrado potenciais ferramentas para apoiar aos métodos tradicionais. As técnicas de sensoriamento remoto, incluindo as escalas laboratoriais, de campo, aéreas e orbitais, apresentam inúmeras vantagens, principalmente no que se refere à avaliação de áreas com grande extensão (COHEN et al., 2007).

A EMBRAPA Solos desenvolveu um pacote tecnológico com base na espectroscopia vibracional (SpecSolo), com capacidade de analisar amostras de solos em até 30 segundos. Novas tecnologias relacionadas à aplicação da espectroscopia em análises de solos são promissoras (DEMATTÊ et al., 2019), porém necessitam de avaliações e calibrações que permitam sua utilização para todas as classes de solos. A princípio não é esperada a substituição total das análises tradicionais por técnicas de sensoriamento remoto, porém pode ser incluída como apoio na sua otimização (DEMATTÊ et al., 2016).

4.2 DEFINIÇÕES E FUNDAMENTOS DA REFLETÂNCIA ESPECTRAL

A avaliação das características espectrais pode ser realizada em diversos níveis de aquisição de dados, conforme a figura 3 (DEMATTÊ et al., 2016). As variações são observadas quanto ao posicionamento do sensor, o qual pode estar localizado na terra, veículos aéreos ou em órbita. O sensoriamento é classificado como remoto (Método A) quando sensores são instalados em satélites, aviões, veículos aéreos não tripulados, drones e próximo quando usados manualmente em laboratório (Método B) ou no campo, manualmente ou transportados por veículos terrestres (Método C).

Figura 3 - Estratégias de sensoriamento remoto e próximo para avaliação da refletância espectral de solos.



Fonte: Adaptado de Demattê et al., 2016.

A partir dos sensores é possível a obtenção de dados espectrais, os quais representam a resposta espectral ou refletância espectral em determinadas faixas do espectro eletromagnético. A curva espectral, também denominada de assinatura espectral ou digital da amostra, é o resultado da interação da radiação eletromagnética com os atributos dos solos como: material de origem, matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia e granulometria, umidade, situação da superfície do solo (MORAES, 2002, DEMATTÊ et al., 2016).

Ao examinar o comportamento espectral dos solos, importantes informações podem ser extraídas a respeito da formação e composição desses, principalmente pelas variações na intensidade de refletância dos espectros e pela identificação de feições de absorção (depressões ou picos negativos) existentes nas curvas e indicativas de fenômenos de absorção específica da energia eletromagnética pelos átomos ou moléculas dos constituintes presentes nos solos (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001). Para aplicações relacionadas a solos, geralmente quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a intensidade de refletância. Entretanto para interpretação definitiva é necessário considerar todas as características do solo analisado.

Em países como Austrália (*Environmental Spectroscopy Laboratory/CSIRO*), África (*Soil-plant Spectral Diagnostics Laboratory/ICARFT*) e Brasil (Projeto SpecSolo da Embrapa) técnicas de espectroscopia vêm sendo utilizadas para analisar solos. No entanto a espectroscopia não é um método analítico e depende das análises de laboratório tradicionais (DEMATTÊ et al., 2016). Para determinados elementos químicos como nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo ainda são necessários estudos complementares devido à inconstância dos resultados observados (GANDARIASBEITIA et al., 2017; XU et al., 2018). Entre os principais atributos que têm obtido repetitividade e confiabilidade destacam-se a matéria orgânica (GERZABEK et al., 2006; ERTLEN et al. 2010, DOTTO et al. 2018; CEZAR et al., 2019) mineralogia (VISCARRA ROSSEL; WEBSTER, 2012) e granulometria (Minasny et al., 2008; PEREIRA et al., 2019; SILVA et al., 2019). Devido às técnicas de espectroscopia possibilitar a recuperação das informações sobre solos ao longo do tempo, inúmeras bibliotecas espetrais vêm sendo desenvolvidos para quantificação de propriedades do solo (KOKALY et al., 2017; ORGIAZZI et al., 2017).

A refletância espectral consiste em medições remotas da radiação eletromagnética emitida ou refletida pelos alvos e captadas por plataformas e sensores (MORAES, 2002). Quase toda radiação solar de ondas curtas no domínio óptico (de 300 a 2500 nm) incidente sobre determinada matéria é absorvida ou refletida e parte transmitida (FORMAGGIO; DEL'ARCO, 2017). As variações de energia eletromagnética são detectadas em determinadas faixas do espectro e transformada em sinais para posterior conversão em informações que contribuem para identificação dos objetos (MORAES, 2002).

O processo de absorção de radiação eletromagnética ocorre quando os fótons são absorvidos por determinada molécula, resultando em aumento da energia da molécula e consequente alteração do nível eletrônico (BARBOSA et al., 2019). Conforme Dwivedi (2017) durante o processo de absorção ou emissão de radiação eletromagnética geralmente ocorrem transições de nível de energia acompanhadas de redistribuição de carga, envolvendo a movimentação de núcleos atômicos ou a configuração de elétrons em estruturas atômica e moleculares (MADEIRA NETTO; BATISTA, 2000).

Uma molécula pode apresentar distintos modos de vibração, de acordo com o número e arranjo de átomos na molécula (MADEIRA NETTO; BATISTA, 2000). Parte da energia existente em um sistema atômico ou molecular se deve ao movimento transicional, rotacional

e vibracional dos núcleos atômicos (BARBOSA et al., 2019). Os movimentos vibracionais consistem em oscilações nas posições relativas dos núcleos atômicos ligados, as quais alongam os comprimentos das ligações moleculares ou dobram os ângulos entre as ligações. Essas transições de nível de energia resultam em absorção ou emissão de radiação dentro da porção infravermelha do espectro (DWIVEDI, 2017).

As vibrações das interações moleculares podem ser divididas em fundamentais e não-fundamentais (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001). Segundo Terra et al. (2015) as vibrações fundamentais ocorrem entre 2500 e 25000 nm e são consideradas principais devido à alta intensidade associada a elevada resolução, enquanto as vibrações não-fundamentais ocorrem entre 1100 e 2500 nm e são consideradas propagações das vibrações fundamentais. As vibrações não-fundamentais são denominadas *overtones* quando a excitação da molécula resulta em nova feição e *combination tones* quando a molécula é excitada pelo somatório de duas vibrações fundamentais (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001).

Diferentemente da associação entre as bandas do infravermelho com as transições vibracionais, as transições eletrônicas geralmente ocorrem na região do ultravioleta e visível do espectro eletromagnético e requerem maior quantidade de energia envolvida. A localização das bandas se deve ao espaço relativamente grande entre os estados de energia dos elétrons (JENSEN, 2009). Conforme os princípios da mecânica quântica, cada elétron de um átomo, íon ou molécula pode existir em apenas alguns estados correspondentes para níveis discretos de energia.

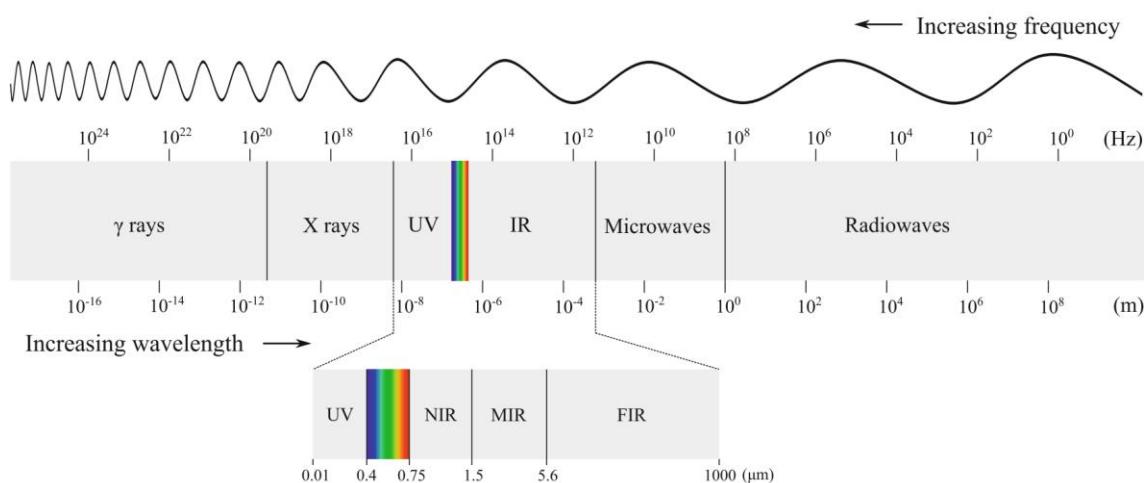
Quanto ao processo de absorção, dependendo dos constituintes presentes no solo, a radiação eletromagnética afeta as ligações moleculares individuais, ocasionando vibração destas, as quais absorvem a luz, em vários graus, correspondente à diferença entre dois níveis de energia. As frequências nas quais ocorre absorção da luz resulta na geração de sinal reduzido de radiação refletida, expressos em %R (Porcentagem de refletância), a qual pode ser transformada posteriormente em absorbância (DWIVEDI, 2017; BARBOSA et al., 2019).

4.3 REGIÕES DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

As regiões do espectro eletromagnético variam de acordo com o comprimento de onda, abrangendo desde os raios gama, raio X, ultravioleta (UV), luz visível (VIS), infravermelho (IR) até ondas de rádio (JENSEN, 2009). Nesses comprimentos de onda, a

energia eletromagnética pode ser refletida e refratada com materiais sólidos, onde a região entre 0,38 e 3,0 μm é frequentemente referida como a porção reflexiva do espectro (Figura 4). Entretanto, as divisões são arbitrariamente definidas, não havendo linha divisória clara entre uma região espectral e a seguinte (DWIVEDI, 2017). Conforme TERRA et al. (2015) as faixas espectrais mais empregadas em estudos relacionados à refletância espectral aplicada a solos destacam-se os comprimentos de onda correspondentes ao visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (Mid-IR).

Figura 4 - Espectro eletromagnético e regiões espetrais mais empregadas em estudos aplicados a solos, com destaque a região do infravermelho.



Fonte: Lillesand et al. (2015)

A faixa do visível (Vis) abrange a faixa de 380 - 760 nm (Figura 4) e corresponde ao conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano (MORAES, 2002). Essa faixa espectral é caracterizada pela alta intensidade de fluxo radiante, responsável pela interação com os minerais e cores do solo. A maioria dos trabalhos envolvem estudos quantitativos e qualitativos da relação com atributos físicos, químicos e mineralógicos, e caracterização de classes de solos para classificação e levantamentos (DEMATTÊ et al. 2004; SHEPHERD; WALSH, 2007; BEN-DOR et al. 2008; AWITI et al., 2008; VISCARRA ROSSEL; CHEN, 2011; VISCARRA ROSSEL; WEBSTER, 2011, TERRA et al., 2015).

A faixa espectral do infravermelho pode ser subdividida em três faixas (Figura 4): Infravermelho próximo (NIR – *Near Infra Red*) compreende a faixa de 760 a 1200nm, infravermelho de ondas curtas (SWIR – *Short Wave Infra Red*) de 1200 a 3000nm e o infravermelho médio (Mid-IR – *Mid Infra Red*) que abrange a faixa de 3000 a 5000 nm (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Na faixa do infravermelho próximo (NIR) ocorrem interações entre a REM com os níveis de energia eletrônica dos átomos, a qual fornece evidências da presença de vários grupos funcionais na estrutura orgânica, principalmente compostas por metais de transição (MENESES; ALMEIDA, 2012). A região do NIR é caracterizada por vibrações fracas e sobrepostas, com menores feições de absorção quando comparada a região do Mid-IR (REEVES et al., 2010). Quando a radiação do NIR interage com uma amostra de solo somente as combinações das vibrações fundamentais no Mid-IR são detectadas (STENBERG; VISCARRA ROSSEL, 2010). Isto se deve aos grupos funcionais moleculares absorverem energia no Mid-IR com feições detectadas nas regiões do Mid-IR e NIR (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A região do infravermelho termal (5000 nm – 1,0 mm) a radiação emitida se deve a temperatura dos objetos, sendo útil para localizar atividade geotermal, mapeamento de inércia termal para investigações geológicas, classificação e análise de estresse da vegetação e estudos de umidade do solo. Uma das potencialidades dessa banda consiste na mesma captar informações únicas sobre diferenças em aspecto topográfico em áreas montanhosas (JENSEN, 2009).

4.4 REFLETÂNCIA ESPECTRAL DE SOLOS

A refletância espectral 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., 2008; VISCARRA ROSSEL et al., 2010, JIA et al., 2017). A refletância dos solos é uma propriedade inerente que não deve ser afetada por condições externas como intensidade de radiação e instrumento utilizado (THENKABAIL et al., 2011). Para amostras de solos, o tipo e quantidade de pré-processamento dos dados espectrais variam de acordo com o conjunto de dados (STENBERG; VISCARRA ROSSEL, 2010).

A coleta de dados espectrais é variável em função da distância entre o sensor e o objeto estudado, podendo ser classificada em orbital, aéreo (alta, média e baixa intensidade), de campo e laboratório (THENKABAIL et al., 2011; FORMAGGIO; DEL'ARCO, 2017). 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. Com isso a refletância de um solo analisado nessas condições pode não ser

diretamente comparável com a refletância do mesmo solo analisado em condições laboratoriais (DWIVEDI, 2017).

Através da análise da refletância espectral nas regiões do visível (Vis: 400 - 700 nm), infravermelho próximo (NIR: 700 - 1100 nm) e de ondas curtas (SWIR: 1100 - 2500 nm), associada a modelos matemáticos específicos, é possível a quantificação de atributos físicos (argila, areia e silte), químicos (CTC, pH, CO e MO) e mineralógicos dos solos (KEMPER; SOMMER, 2002; VISCARRA ROSSEL et al., 2010).

Os fatores que mais exercem influência no comportamento espectral de solos são os teores de matéria orgânica, granulometria, capacidade de troca de cátions (CTC), composição mineralógica e umidade (DWIVEDI, 2017). Com o aumento da matéria orgânica, teor de argila e CTC ocorre uma redução da resposta espectral, principalmente da região do visível (LIU, 2007). No estudo desenvolvido por Krankina et al. (2008) os solos com altos teores de matéria orgânica apresentaram menor refletância na faixa do infravermelho próximo e ondas curtas.

4.5 REFLETÂNCIA ESPECTRAL E CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

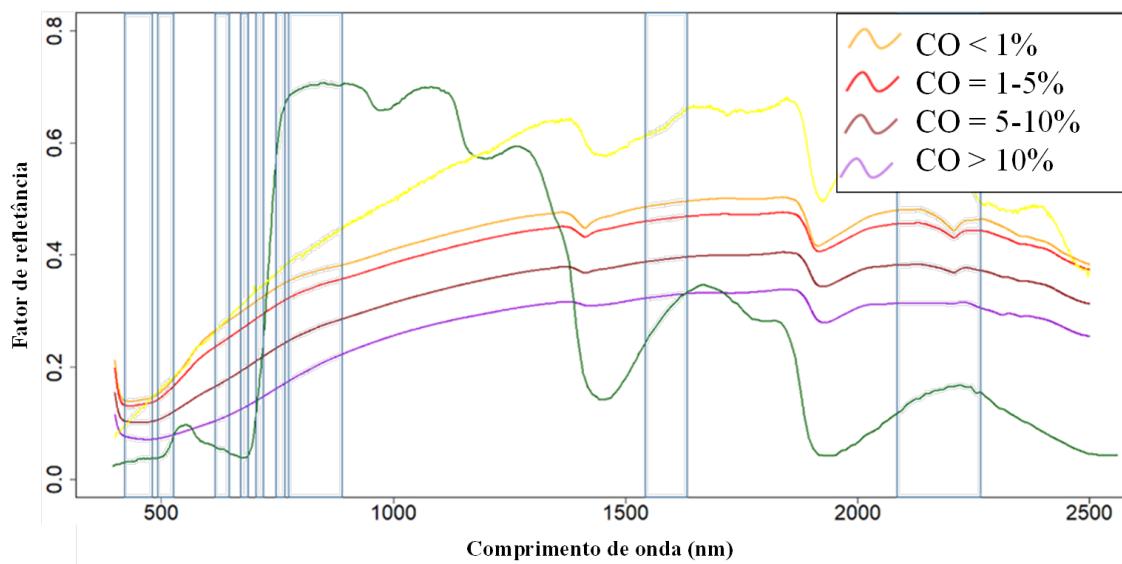
As técnicas de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e no infravermelho médio (Mid-IR) estão sendo cada vez mais utilizadas para determinação de diversos atributos do solo relacionados à sua composição química como teores de carbono orgânico, capacidade de troca catiônica, pH e composição mineralógica (JANIK et al., 1998; MCCARTY et al., 2002; FIDENCIO; POPPI, 2002; DEMATTÉ et al., 2004; MCCARTY; REEVES, 2006; REEVES et al., 2006; CAÑASVERAS et al., 2010; FONTÁN et al., 2010; MOUAZEN et al., 2010; STENBERG et al., 2010; VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010; NOCITA et al., 2011; VOHLAND et al., 2011),, porém problemas de acurácia e precisão das determinações ainda persistem devido a variabilidade espacial em cada local.

Ao analisar espectros de solos minerais onde os teores de carbono orgânico são geralmente inferiores a 8% é possível detectar absorções nas faixas NIR-SWIR (IUSS, 2015). A quantidade de matéria orgânica no solo influencia significativamente nas características de refletância espectral dos solos e conforme Baumgardner (1985) pode ser representada por uma função exponencial curvilínea. A matéria orgânica do solo apresenta atividade espectral ao longo de toda região espectral, especialmente na região do Vis-NIR e Mid-IR (KURUKU

et al., 2009), sendo a região do que a região do Mid-IR contém informações mais úteis que a região Vis-NIR (JIA et al. 2017).

Na figura 5 é possível observar redução no albedo do solo conforme diminuem os teores de CO, ou seja, as amostras com teores mais elevados de CO ($\text{CO} > 5\%$) tendem a apresentar menor fator de refletância enquanto as amostras com teores menos elevados ($\text{CO} < 5\%$) o fator de refletância é superior na faixa do Vis-NIR (CASTALDI et al., 2019).

Figura 5 - Resposta espectral na faixa do Vis-NIR (400-2500 nm) de amostras de solos obtidas do banco de dados LUCAS (*Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey*) com diferentes teores de carbono orgânico.



Fonte: Adaptado de Castaldi et al., 2019.

Outros estudos têm demonstrado que a região do VIS-NIR se relaciona melhor com a matéria orgânica do solo que somente a região do visível isoladamente (CHANG et al., 2001; BROWN et al., 2006). No entanto diversos autores (Stenberg; Viscarra Rossel, 2010; JIA et al., 2017) ressaltam o potencial da região espectral do infravermelho médio (Mid-IR) como a mais adequada para análise de matéria orgânica do solo e composição mineral. Esse efeito se deve as bandas de absorção relacionadas a matéria orgânica do solo nessa região, as quais resultam do alongamento e estiramento das ligações dos grupos fundamentais como N-H, C-H e C-O (MENESES; ALMEIDA, 2012) presentes com frequência em compostos orgânicos. Isto pode estar relacionado a abundância de grupos funcionais em moléculas orgânicas que absorvem nessa região (ISLAM et al., 2003, FYSTRO, 2002).

Cabe destacar que não apenas a quantidade de matéria orgânica afeta o padrão de resposta espectral dos solos, mas também o estado de decomposição da mesma (DWIVEDI, 2017). 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.

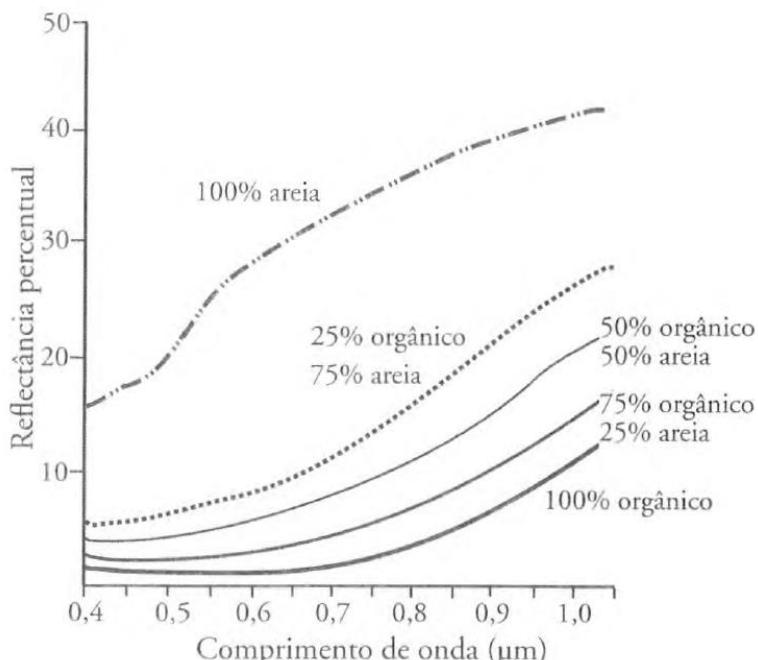
No estudo desenvolvido por Islam et al. (2003) os autores obtiveram resultados significativamente melhores incluindo a região do VIS (350-700nm) na calibração do modelo. Essa mesma tendência foi observada no estudo de Fystro (2002) para solos da Noruega, o que pode estar relacionado ao maior efeito do brilho da amostra na região do VIS para estudos de carbono orgânico (UDELHOVEN et al., 2003). Entretanto também são observadas situações onde a região do NIR apresentou potencial para predição dos teores de carbono no solo (CHANG et al., 2001; DUNN et al., 2002). Em estudo conduzido por Jia et al. (2017) os autores obtiveram resultados significativos para predição dos teores de carbono na região do VNIR e destacam que a absorção próxima a 2200 nm se deve a matéria orgânica (VISCARRA ROSSEL et al., 2010; SHI et al., 2014).

Em estudo realizado por Dalmolin (2002) a técnica de refletância espectral auxiliou na identificação e na quantificação de atributos do solo, como matéria orgânica e óxidos de ferro. Este mesmo autor encontrou correlações significativas entre refletância e os teores de matéria orgânica, no entanto ressalta para necessidade de estudos mais aprofundados para estabelecer índices que auxiliem no estudo da matéria orgânica do solo. Diversos estudos destacam que a heterogeneidade do solo pode diminuir a precisão dos modelos (DOTTO et al., 2018; JIA et al., 2017). Conforme exposto por Stenberg; Viscarra Rossel (2010) na maioria dos casos solos escuros possuem maiores teores de matéria orgânica, porém outras propriedades do solo como textura, mineralogia e estrutura também influenciam a resposta espectral (Figura 6), sendo recomendada a utilização das cores escuras como um potencial indicador para solos situados dentro da mesma litologia (HUMMEL et al., 2001).

Estudos específicos para solos com altos teores de carbono são escassos na literatura. Limitações ocorrem uma vez que os custos de coleta de solos são mais altos em regiões inacessíveis quando comparados a outras áreas (JIA et al., 2017). No estudo desenvolvido por

Chang et al. (2001) foi analisada a refletância espectral de amostras com teores de carbono até 285 g kg⁻¹ enquanto Brown et al. (2006) avaliaram somente cinco amostras de solos com teores de carbono superior a 200 g kg⁻¹. Jia et al. (2017) avaliaram o potencial das regiões espectrais VNIR e Mid-IR para predição de carbono orgânico em amostras de solos coletadas em áreas com elevadas altitudes (5000 m) porém os teores de carbono das amostras avaliadas não ultrapassaram 130 g kg⁻¹.

Figura 6 - Relação entre a quantidade de material orgânico no solo e refletância espectral na faixa entre 400-1000 nm.



Fonte: Jensen (2009).

Na última década houve um considerável aumento do número de publicações sobre as relações entre propriedades do solo e dados espectrais (BELLINASO et al., 2010; VISCARRA ROSSEL et al., 2010; TERRA et al., 2015; DOTTO et al., 2018; SILVA et al., 2019). Ao considerar a menor quantidade de reagentes utilizados e resíduos gerados assim como o menor tempo de análise em comparação aos métodos atuais, a espectroscopia se mostra uma ferramenta com elevado potencial para o estudo de características físico-químicas do solo. 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 (DEMATTÊ et al., 2019). 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.

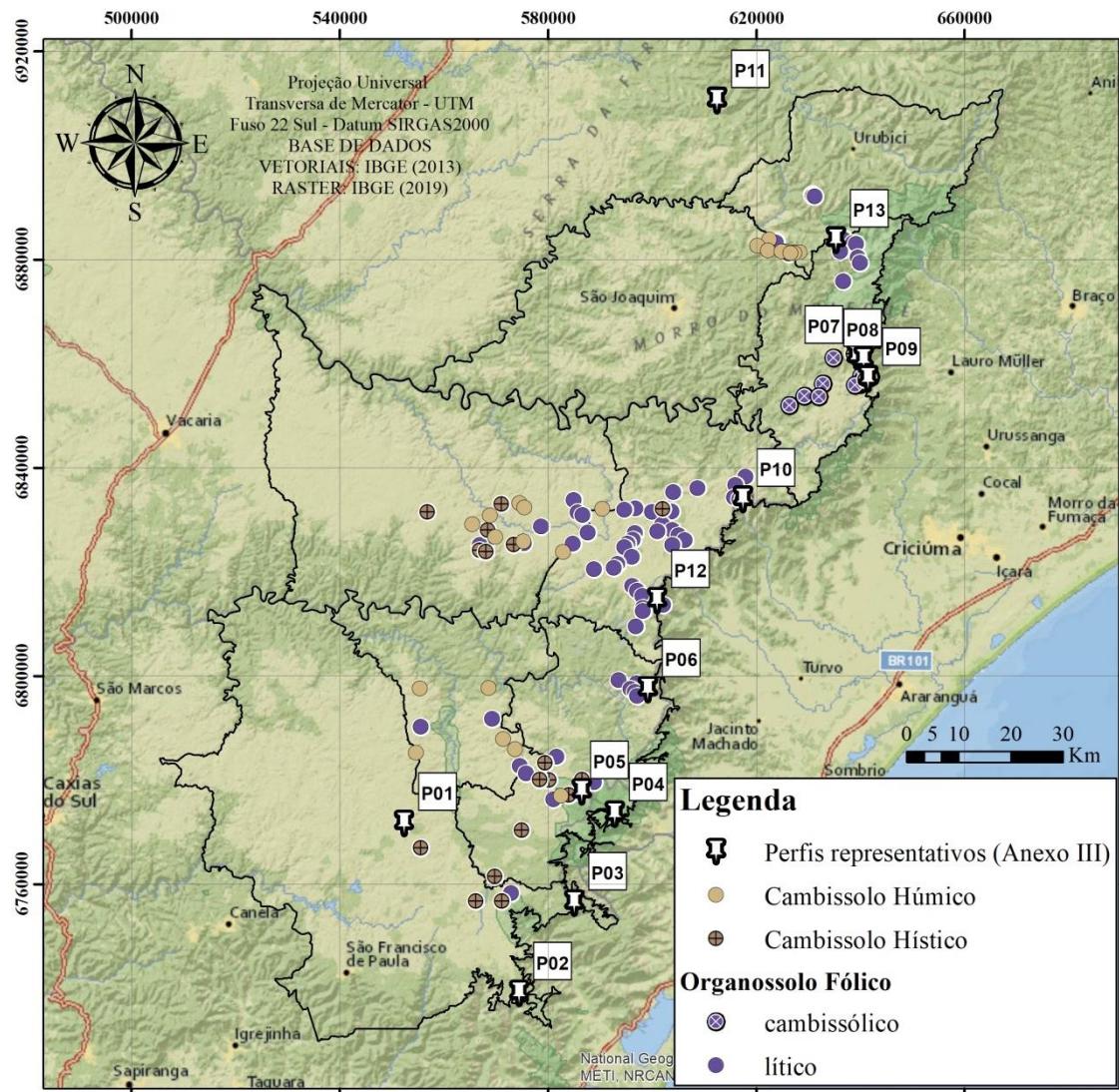
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO E PONTOS AMOSTRAIS

A área de estudo situa-se nas mesorregiões dos Campos de Cima da Serra, localizada no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul e no Planalto Serrano Catarinense, a qual abrange uma área de 12.737,5 km² e altitudes acima de 900 m. O relevo na região varia de suave a forte ondulado, com predomínio de rochas vulcânicas ácidas (BEHLING; PILLAR, 2007). A temperatura média anual é de 14,1° C e a precipitação média anual de 2.470mm ano⁻¹, sendo esta a região mais fria do Brasil (ALVARES et al., 2013). As autorizações necessárias para coleta de solos nas áreas de preservação permanente, como o Parque Nacional de Aparados da Serra e Serra Geral, foram obtidas na plataforma do SISBIO/IBAMA (Anexos I e II). Em todas as situações as amostras foram coletadas em locais sem interferência antrópica e próximo às vias de acesso.

Foram amostrados os solos de 135 locais (Figura 7), georreferenciados em *grid* irregular, recobrindo aproximadamente 6.000km², a fins de determinação da classe de solo, teores de carbono orgânico em cada camada avaliada (0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m), profundidade efetiva, testes para caracterização de Organossolos (LYNN et al., 1974; SANTOS et al., 2018), variáveis ambientais (temperatura, precipitação, vegetação, uso da terra) e variáveis geomorfológicas (elevação, declividade, orientação, perfil e plano de curvatura, forma do terreno, índice de umidade topográfica e distância vertical à drenagem mais próxima).

Figura 7 - Localização geográfica da área de estudo com destaque para os locais de coleta de amostras de solos em Santa Catarina e Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

5.2 PERFIS REPRESENTATIVOS E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

A definição das classes de solos, no primeiro nível categórico (ordem), foi determinada segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS (SANTOS et al., 2018), nos 135 pontos amostrais, através de avaliações dos perfis de solo. A amostragem das camadas em cada ponto foi realizada por tradagem sucessiva até o contato com o material de origem. Com auxílio da fita métrica foi mensurada a profundidade efetiva, a qual foi considerada como critério auxiliar para identificação e classificação dos solos. A classificação realizada a campo foi comparada com os 11 perfis representativos (Tabela 1) descritos por Santos Junior; Almeida (2021).

Tabela 1 - Classificação dos solos predominantes na área de estudo, localização geográfica e teores de carbono orgânico (CO) relativos às camadas avaliadas (0-20 cm) e subsuperficiais (20-40 cm).

Classificação dos solos		Altitude (m)	Município/ UF	CO 0-20 cm	CO 20-40 cm
Sistema Brasileiro de Classificação de Solos	<i>Soil Survey Staff USDA</i>			g kg^{-1}	
Cambissolo Húmico Alítico típico	<i>Cambic Umbrisol</i>	989	Bom Jesus/RS	49,5	22,5
Cambissolo Hístico Distrófico típico	<i>Hyperdystric Aluandic Andosol</i>	919	São Francisco de Paula/RS	89,5	71,6
Cambissolo Hístico Distrófico típico	<i>Hyperdystric Aluandic Andosol</i>	978	Tainhas/RS	96,8	54,5
Organossolo Fólico Sáprico lítico	<i>Hyperdystric Leptic Aluandic Andosol</i>	1003	Cambará do Sul/RS	179,4	118,4
Cambissolo Húmico Alítico típico	<i>Cambic Umbrisol</i>	1023	Cambará do Sul/RS	58,9	46,8
Cambissolo Hístico Distrófico típico	<i>Hyperdystric Aluandic Andosol</i>	1130	Cambará do Sul/RS	118,3	123,1
Cambissolo Húmico Distroférrico típico	<i>Hyperdystric Cambisol</i>	1423	Bom Jardim da Serra/SC	60,4	22,2
Cambissolo Hístico Distrófico típico	<i>Hyperdystric Aluandic Andosol</i>	1372	Bom Jardim da Serra/SC	121,4	105,8
Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	<i>Ombric Sapric Folic Histosol</i>	1445	Bom Jardim da Serra/SC	259,7	206,6
Cambissolo Hístico Distrófico léptico	<i>Folic Leptic Aluandic Andosol</i>	1330	São José dos Ausentes/RS	274,3	111,1
Organossolo Fólico Sáprico típico	<i>Hyperdystric Folic Aluandic Andosol</i>	1676	Urupema/SC	222,3	124,4
Organossolo Fólico Sáprico lítico	<i>Hyperdystric Leptic Aluandic Andosol</i>	1213	São José dos Ausentes/RS	98,5	96,1
Organossolo Fólico Sáprico lítico	<i>Sapric Folic Rockic Histosol</i>	1721	São Joaquim/SC	278,7	272,2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para distinção entre os Organossolos Fólicos foram adotados os critérios expostos por Santos et al. (2018) onde os Organossolos Fólicos Sápicos cambissólicos devem apresentar horizonte B incipiente abaixo do horizonte hístico ou horizonte A e os Organossolos Fólicos Sápicos líticos devem apresentar contato lítico dentro de 50 cm a partir da superfície.

As descrições gerais, morfológicas e as análises físicas e químicas de cada perfil estão apresentadas no Anexo III. As análises granulométricas, físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Solos, no Rio de Janeiro, RJ. As análises descritas a seguir foram feitas nos laboratórios do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC) em Lages, SC.

5.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Os teores de carbono orgânico foram determinados para todos os pontos amostrais através do método da perda por ignição. Este método consiste no aquecimento de uma amostra de solo a temperatura de aproximadamente 600°C e determinação da massa perdida após a combustão, a qual é considerada a matéria orgânica do solo e o resíduo da queima representa a fração mineral do solo. Cada amostra de solo coletada foi analisada em triplicata, conforme metodologia descrita a seguir.

De acordo com Santos et al. (2013) devem ser pesados aproximadamente 5,0g de solo e acondicionadas em cadinho de porcelana para posterior aquecimento a 105°C durante 24 horas para eliminar toda umidade existente no solo. Com isso obtém-se a massa de solo inicial ($M_{105^{\circ}C}$) a qual será aquecida em forno tipo mufla por 600°C durante 6 horas ($M_{600^{\circ}C}$). Após esse procedimento o teor de matéria orgânica do solo é calculado pela seguinte fórmula:

$$MOS_{PPI}(\%) = \frac{M_{105^{\circ}C} - M_{600^{\circ}C}}{M_{105^{\circ}C}} \times 100$$

Onde:

$MOS_{PPI}(\%)$ = Teor em porcentagem de matéria orgânica no solo.

$M_{105^{\circ}C}$ = Massa (g) de solo após aquecimento a 105°C.

$M_{600^{\circ}C}$ = Massa (g) de solo após aquecimento a 600°C.

Como o resultado final é expresso em teor de matéria orgânica, foi aplicado o fator de “van Bemmelen” de 1,724, comumente utilizado para estimar o teor de carbono orgânico (CO) a partir da matéria orgânica (PRIBYL, 2010).

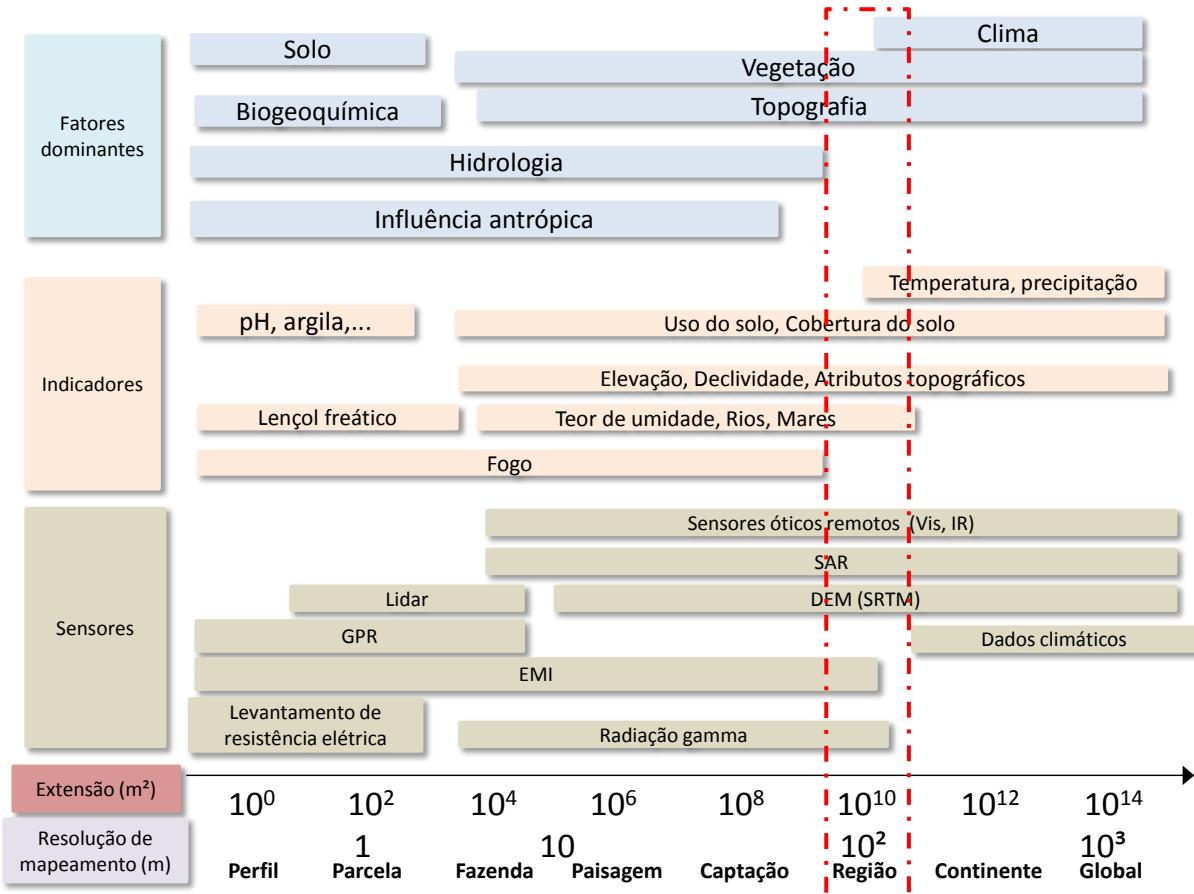
Conforme as observações de Soares (2015) alguns dos testes apresentados por Lynn et al. (1074) como Escala de Decomposição de von Post, índice de pirofosfato de sódio e teor de fibras apresentam alto grau de subjetividade e dependem da experiência do pedólogo e na maioria das vezes são necessárias adaptações para sua execução. Assim estes testes não serão discutidos a fim de evitar possíveis interferências metodológicas nos resultados.

5.4 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

5.4.1 Variáveis e valores extraídos dos rasters

As variáveis ambientais utilizadas para caracterização ambiental e geomorfológica dos ambientes de ocorrência dos solos com elevados teores de CO seguiram a recomendação proposta por Minasny et al. (2019). Conforme estes autores para estudos de mapeamento ao nível de região (Figura 8) recomenda-se a utilização de variáveis relacionadas ao clima (temperatura e precipitação), vegetação (uso do solo e cobertura do solo) e topografia (elevação, declividade, atributos topográficos e recursos hídricos).

Figura 8 - Fatores de formação dos solos com elevados teores de CO₂, indicadores de ocorrência e sensores recomendados para análise espacial em função da escala.



Fonte: Adaptado de Minasny et al. (2019).

5.4.1.1 Vegetação, cobertura e uso da terra

As informações sobre vegetação foram adquiridas no Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA (IBGE 2018; IBGE 2019), por meio dos arquivos vetoriais na escala 1:250.000 produzidas pelo IBGE ao longo de 20 anos através do projeto SIVAM e Mapeamento Sistemático de Recursos Naturais (IBGE, 2019). A classificação da vegetação foi realizada conforme os padrões do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012).

Os mapas de uso e cobertura do solo foram obtidos a partir das informações do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra no Brasil 2016-2018 (IBGE, 2020), na escala 1:250.000, disponibilizado pelo IBGE para reconhecimento da ocupação e uso do solo no Brasil (IBGE, 2019; IBGE, 2020). As classes foram elaboradas a partir da compatibilização entre o Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra do IBGE-SCUT, as classes propostas no *Land Cover Functional Unit* (JAFFRAIN, 2012) e as descrições contidas na

obra Sistema de Contas Econômicas Ambientais, editado pela Comissão Europeia e pela FAO (NAÇÕES UNIDAS, 2018). As distintas coberturas e uso da terra são categorizados nas seguintes classes: Área Artificial; Área Agrícola; Pastagem com Manejo; Mosaico de Ocupação em Área Florestal; Silvicultura; Vegetação Florestal; Área Úmida; Vegetação Campestre; Mosaico de Ocupação em Área Campestre; Corpo d’água Continental; Corpo d’água Costeiro e Área Descoberta.

5.4.1.2 Clima

Os dados climáticos sobre precipitação e temperatura foram adquiridos no banco de dados mundial do WorldClim2 versão 2.1 (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>), disponibilizados em janeiro de 2020 com resolução de 1 Km². Os valores de temperatura são fornecidos em °C (grau Celsius) e os valores de precipitação em mm (milímetros).

As informações disponibilizadas nessa nova versão são provenientes de dados climáticos médios mensais de estações meteorológicas em nível global, regional, nacional e local, principalmente para o período entre 1970 a 2000, além de considerar a temperatura da superfície terrestre detectada remotamente e covariáveis topográficas para produzir os mapas de temperatura e precipitação com alta resolução espacial (FICK; HIJMANS, 2017).

Para fins de caracterização dos efeitos da temperatura foram consideradas as seguintes variáveis:

- i. TMA: Temperatura Média Anual (*BIO 1 - Annual Mean Temperature*);
- ii. TMQQ: Temperatura Máxima do Mês Mais Quente (*BIO5 – Max Temperature of Warmest Month*);
- iii. TMMMF: Temperatura Mínima do Mês Mais Frio (*BIO6 – Min Temperature of Coldest Month*);
- iv. TMTMU: Temperatura Média do Trimestre Mais Úmido (*BIO8 – Mean Temperature of Wettest Quarter*).
- v. TMTMS: Temperatura Média do Trimestre Mais Seco (*BIO9 – Mean Temperature of Driest Quarter*),
- vi. TMTMQ: Temperatura Média do Trimestre Mais Quente (*BIO10 – Mean Temperature of Warmest Quarter*),

- vii. TMTMF: Temperatura Média do Trimestre Mais Frio (*BIO11 – Mean Temperature of Coldest Quarter*),

O efeito da pluviosidade foi avaliado por meio das variáveis a seguir:

- i. PA: Precipitação Anual (*BIO12 – Annual Precipitation*);
- ii. PMMU: Precipitação do Mês Mais Úmido (*BIO13 – Precipitation of Wettest Month*);
- iii. PMMS: Precipitação do Mês Mais Seco (*BIO14 – Precipitation of Driest Month*);
- iv. PTMU: Precipitação do Trimestre Mais Úmido (*BIO16 – Precipitation of Wettest Quarter*);
- v. PTMS: Precipitação do Trimestre Mais Seco (*BIO17 – Precipitation of Driest Quarter*);
- vi. PTMQ: Precipitação do Trimestre Mais Quente (*BIO18 – Precipitation of Warmest Quarter*);
- vii. PTMF: Precipitação do Trimestre Mais Frio (*BIO19 – Precipitation of Coldest Quarter*);

As variáveis TMTMF e TMTMQ expressam os valores médios dos trimestres em questão e com isso fornecem informações mais condizentes sobre o efeito das temperaturas extremas nos processos de formação dos solos, quando comparadas a análise de um período específico como ocorre em TMMMF e TMMMQ.

5.4.2 Atributos do solo

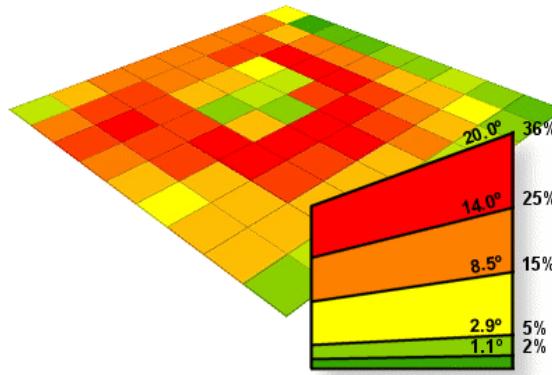
5.4.2.1 Relevo

As variáveis geomorfológicas como elevação, declividade, índice de umidade topográfica (TWI), distância vertical à rede de drenagem (DVRD) e plano e perfil de curvatura foram derivadas do modelo digital de elevação SRTM (USGS, 2018). Os dados originais disponíveis para a América do Sul apresentam resolução de 30m, sendo trabalhados na projeção UTM – Universal Transversa de Mercator, utilizando o *datum* SIRGAS2000. Todas foram obtidas em ambiente SIG, utilizando *software* ArcGIS® v. 10.4 com a ferramenta *Spatial Analyst*.

Os valores relativos à elevação foram extraídos diretamente do modelo digital de elevação SRTM. Para determinação da declividade foi utilizada uma matriz de 3x3 em cada um dos pixels (Figura 9), estimada a partir da primeira derivada de Z com relação ao aspecto,

centradas em cada ponto da grade de dados (NEUMAN et al., 2018), a qual resulta no *raster* de declividade conforme polinômio Horn (1981).

Figura 9 - Representação esquemática da declividade, expressa em graus ou porcentagem em relação à inclinação de uma superfície.



Fonte: Adaptado de Albrecht (2005).

Posteriormente todos os valores foram agrupados em classes (Tabela 2) para comparação entre os diferentes solos avaliados conforme classificação proposta por Embrapa (1999).

Tabela 2 - Limites rígidos de classes de declividade.

Embrapa (1999)	
Relevo	Faixa (%)
Plano	0—3
Suave ondulado	3—8
Ondulado	8—20
Forte ondulado	20—45
Montanhoso	45—75
Escarpado	Acima de 75

Fonte: Valeriano (2008).

O índice de umidade topográfica (*Topography Wetness Index – TWI*) considera a declividade e a área de contribuição no cálculo (BEVEN; KIRKBY, 1979) conforme Equação 1. Esse índice indica a distribuição de áreas com maior probabilidade de saturação hídrica do solo, sendo útil para identificar ambientes de planalto e planície (NOWATZKI et al. 2018). Na classificação desse índice os valores entre a faixa de 5,4 a 7,8 indicam áreas muito bem drenadas; 7,81 a 9,3 ambientes bem drenados; de 9,31 a 11,7 locais moderadamente drenados; de 11,71 a 15,5 representam áreas mal drenadas e valores entre 15,5 a 21,4 os ambientes muito mal drenados (TARBOTON, 1997).

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan\beta}\right)$$

Onde:

A= área de contribuição;

β = declividade.

A distância vertical à drenagem mais próxima (*Height Above the Nearest Drainage*) corresponde à diferença altimétrica entre o ponto de interesse em relação à drenagem mais próxima (RENNÓ et al, 2008). Pode ser definida também como a distância vertical entre cada célula de uma grade raster em relação a elevação da célula do canal de drenagem mais próximo (MENEZES et al., 2018). No cálculo o algoritmo considera a rede de drenagem mais próxima, oriunda do dado topográfico (MDE), para extrair a diferença entre cada elemento da grade e o ponto mais próximo, assim o nível de referência deixa de ser o mar e passa a ser relativo à rede de drenagem mais próxima (NOBRE et al. 2011). Vale destacar o potencial de aplicação dessa variável, pois considera os efeitos da altitude em relação a profundidade do lençol freático, o que influencia diretamente os teores de água no solo e disponibilidade de água às plantas. Para o cálculo das curvaturas são considerados os valores das diferenças finitas, nas direções norte-sul e leste-oeste e a inclinação do terreno, representada por β (Equação 1). Os gradientes de diferença finita são representados por f_y (norte-sul) e f_x (leste-oeste), calculados a partir de todas as colunas da matriz 3x3 em relação a coluna central (JENESS, 2012; NEUMAN et al., 2018). Maiores detalhes sobre o método podem ser observados nas equações a seguir.

$$f_y = \frac{[(Z7 + 2Z8 - Z9) - (Z1 + 2Z2 - Z3)]}{8L_y}$$

$$f_x = \frac{[(Z3 + 2Z6 - Z9) - (Z1 + 2Z4 - Z7)]}{8L_x}$$

Onde:

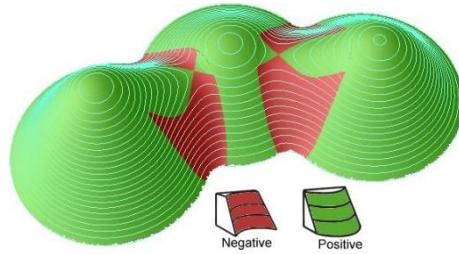
Zn = valor de elevação no ponto;

L = resolução espacial da grade regular.

O plano de curvatura ou curvatura horizontal representa a curvatura da linha de contorno hipotético que passa por uma célula específica (ZEVENBERGEN; THORNE, 1987)

a qual permite a distinção entre vales e topos de morros. A classificação dos dados foi realizada conforme proposta de Valeriano (2008) onde é considerado o intervalo de -0,038 a 0,051 para representar superfícies planares, valores superiores a 0,051 indicam feições divergentes e valores inferiores a -0,038 são consideradas como convergentes (Figura 10).

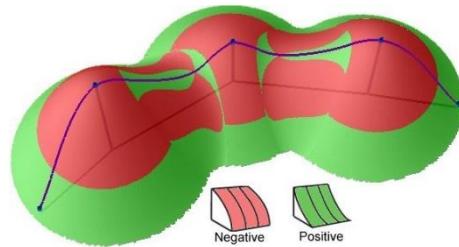
Figura 10 - Representação esquemática das feições de curvatura horizontal.



Fonte: Valeriano, 2008.

A curvatura da superfície na direção da inclinação mais acentuada é representada pelo perfil de curvatura, ou curvatura vertical. Pode auxiliar na identificação de ambientes mais suscetíveis a erosão e deposição além de afetar a velocidade do fluxo de água superficial. Com base em valores descritos na literatura e pelo próprio conhecimento de campo (VALERIANO, 2008) é recomendando a seleção do intervalo entre -0,55 a +0,55°/m para a classe de vertentes retilíneas. Valores acima desse intervalo são classificados como convexos em que predomina o depósito de sedimento e valores abaixo do intervalo supracitado prevalece processos erosivos devido ao perfil de curvatura côncavo (Figura 11).

Figura 11 - Representação esquemática das feições de curvatura horizontal.



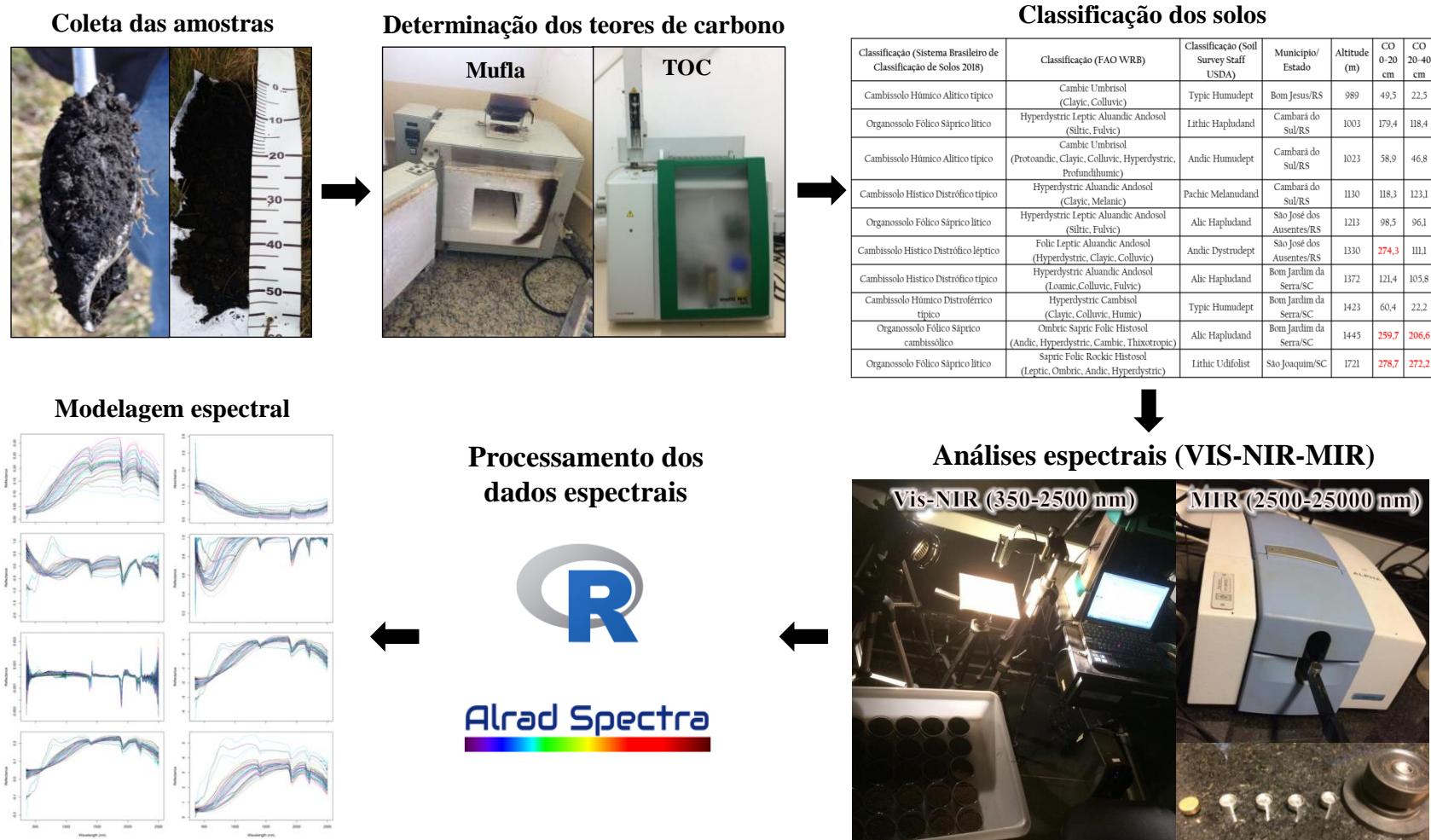
Fonte: Valeriano, 2008.

5.5 AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS E PRÉ-PROCESSAMENTO

Os dados espectrais das 234 amostras de foram obtidos através do sensor FieldSpec3® (ASD Inc.) para a região do visível e infravermelho próximo – Vis-NIR (400 a 2500 nm) e o sensor FT-IR Alpha II (Bruker Optik GmbH) para a região do infravermelho médio – Mid-JR (4000 a 400 cm⁻¹). As análises espectrais foram realizadas no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade de São Paulo ESALQ/USP (Figura 12) com a configuração do sensor, alvo e fonte de radiação padronizados conforme Demattê; Garcia (1999). Após a obtenção dos dados espectrais foi realizada a filtragem e eliminação do excesso de ruídos provenientes do equipamento.

Ao avaliar a resposta espectral valores que apresentam distância (dissimilaridade) significativamente da média geral do espectro podem ser considerados como *outliers* espectrais. A identificação e remoção são de suma importância para definir quais destes serão inclusos nas análises subsequentes. Os outliers espectrais podem ocorrer devido a variações relacionadas à erros durante as leituras espectrais, variações entre os espectroradiômetros ou por variação físicas e químicas das amostras analisadas (WADOUX et al., 2021).

Figura 12 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos realizados para determinação dos teores de carbono orgânico, análise e processamento dos dados espectrais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas dos dados espectrais foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2021) através da interface gráfica Alrad Spectra (<https://github.com/AlradSpectra/AlradSpectra>), a qual permite o pré-processamento e análise estatística multivariada especificamente para dados espectrais (DOTTO et al., 2019).

Na análise estatística descritiva dos teores de CO foram avaliados os valores mínimos e máximos, média e mediana, 1º e 3º Quantis, desvio padrão, assimetria e curtose. O índice IQR/Mediana (ZENG et al., 2017) também foi determinado para análise da variação dos teores de CO em cada solo avaliado.

Para análise do conjunto de variáveis foi utilizado o método multivariado, por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), o qual analisa os dados de forma reducionista, a fim de eliminar sobreposições e identificar as melhores representações de dados (KASSAMBARA, 2017). A ACP auxilia na elaboração de hipóteses gerais a partir dos dados coletados, contrastando com estudos direcionados nos quais hipóteses prévias são testadas (ANTON, 2004). Devido à variância heterogênea (escalas distintas) entre as variáveis analisadas foi empregada a matriz de correlação. Todos os procedimentos foram realizados no software R através dos pacotes ggplot2, factoextra e FactoMineR (LÊ et al.; 2008).

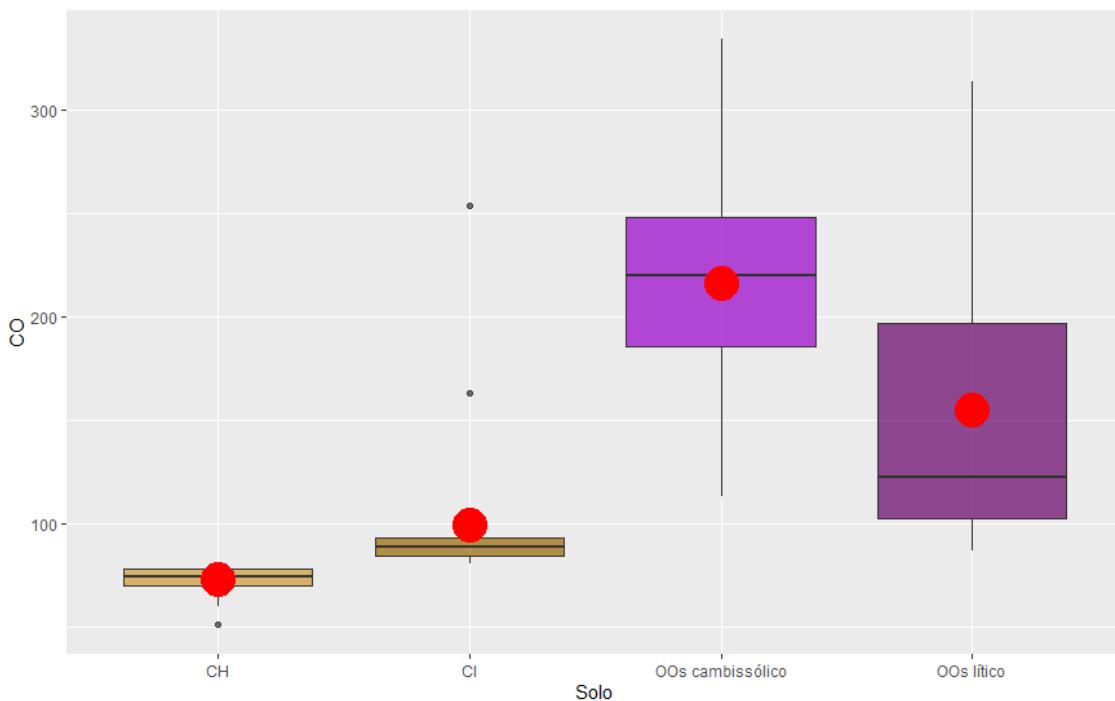
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 TEORES DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

Os teores de matéria orgânica obtidos pelo método da perda por ignição (Santos et al., 2018) foram expressos em carbono orgânico (PRYBIL, 2010) para comparação com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos para horizonte hístico ($\text{CO} \geq 80 \text{ g kg}^{-1}$). Foram identificados 17 ambientes de ocorrência de OO cambissólicos, os quais apresentaram teor médio de CO na camada de 0-20 cm de $216,2 \text{ g kg}^{-1}$, com mínimo de $112,9 \text{ g kg}^{-1}$ e máximo de $333,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 13). Dentre os perfis de OO cambissólicos em 10 deste foram coletadas amostras do horizonte na profundidade de 20 a 40 cm as quais apresentaram teor de CO médio de $147,5 \text{ g kg}^{-1}$, com mínima de $88,1 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $194,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 8).

Com relação aos 74 pontos de ocorrência dos OOs líticos estes apresentaram teor médio de CO na profundidade de 0-20 cm de $154,6 \text{ g kg}^{-1}$ com mínima de $86,9 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $313,5 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 13). Nesse caso 48 dos perfis de solos avaliados apresentaram horizonte entre 20-40 cm onde foi observado teor médio de carbono orgânico de $126,6 \text{ g kg}^{-1}$, com mínima de $80,2 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $279,4 \text{ g kg}^{-1}$.

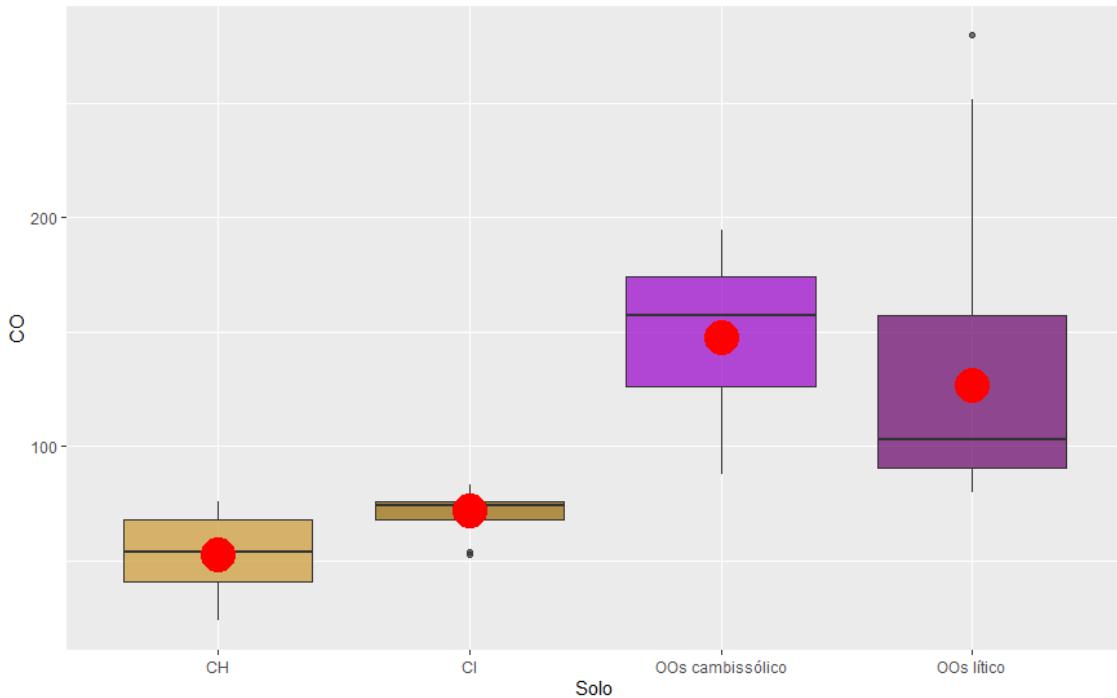
Figura 13 - Box-plot dos teores de carbono orgânico na camada de 0-20 cm nas amostras de Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As áreas com predomínio de CH apresentaram teores de CO médio na profundidade de 0-20 cm de $72,8 \text{ g kg}^{-1}$ com mínima de $51,0 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $80,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 14). Em todos os locais foram coletadas amostras de solos na profundidade de 20-40 cm, as quais apresentaram teor de CO médio de $53,0 \text{ g kg}^{-1}$, mínima de $23,9 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $76,0 \text{ g kg}^{-1}$. Nos ambientes onde ocorrem os CI foram observados teores de CO na profundidade de 0-20 cm com média de $99,5 \text{ g kg}^{-1}$, mínimo de $80,5 \text{ g kg}^{-1}$ e máximo de $253,5 \text{ g kg}^{-1}$ enquanto na profundidade de 20-40 cm os teores de CO apresentaram média de $71,95 \text{ g kg}^{-1}$, mínima de $52,6 \text{ g kg}^{-1}$ e máxima de $83,6 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 14).

Figura 14 Box-plot dos teores de carbono orgânico na camada de 20-40 cm nas amostras de Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os teores de CO são fortemente influenciados pelo equilíbrio entre as taxas de entrada e saída de CO do ecossistema. No caso de ecossistemas naturais (estepe, campos) é possível supor a existência de um estado estacionário entre as entradas de MO e taxas de decomposição. De forma contrastante nos ecossistemas sob manejo agrícola (cultivos agrícolas, pecuária, agropecuária) essa relação é observada com menor frequência devido às alterações na dinâmica dos nutrientes e taxa de decomposição (WANG et al., 2018).

Os resultados obtidos por Gerschlauer et al. (2019) demonstram que os teores de CO são superiores em ambientes frios e úmidos de elevadas altitudes quando comparados a locais manejados de baixa altitude. Práticas de manejo agrícola como preparo do solo e colheita intensificam as perdas de CO, com aumento da decomposição da matéria orgânica principalmente em locais de clima quente e drenagem moderada situados nas posições inferiores da encosta.

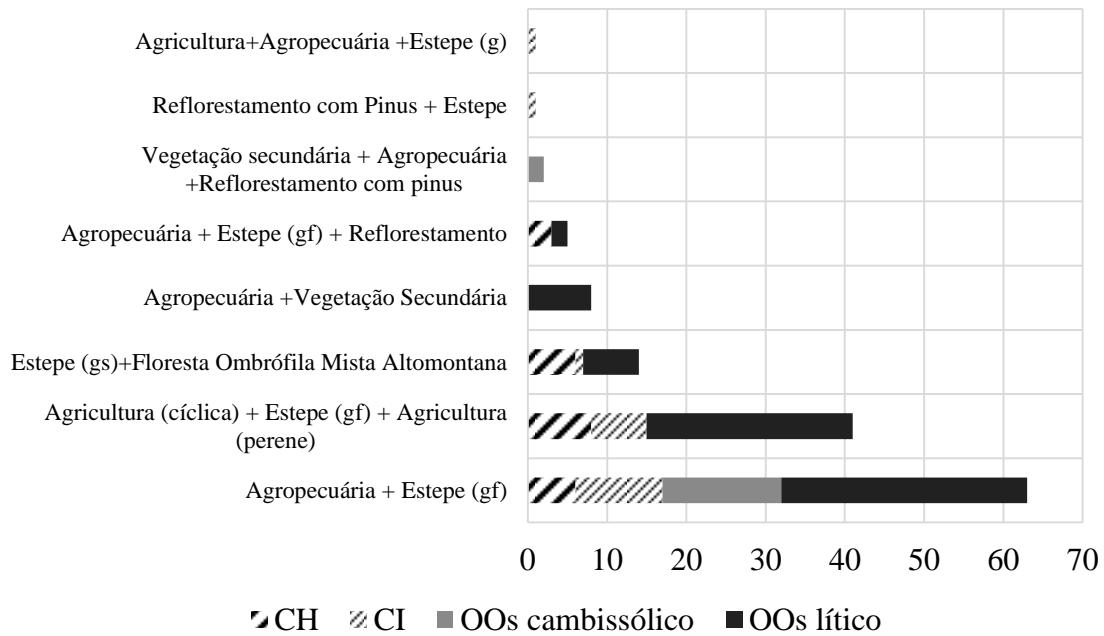
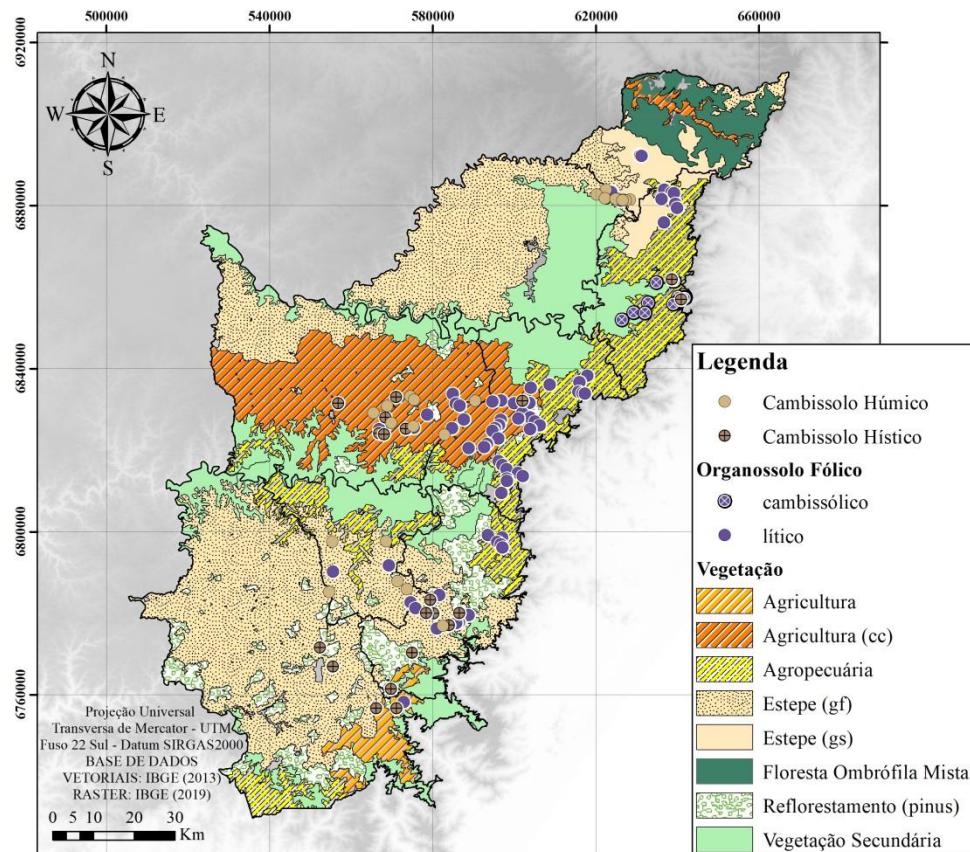
Conforme os levantamentos de solos realizados nos campos altomontanos no Paraná predominam Organossolos e Neossolos Litólicos, ambos com a presença de horizontes hísticos e ausência de horizontes minerais ou com sua ocorrência somente após os 40 cm de profundidade (SCHEER et al., 2011). Nos locais com maiores teores de CO a formação de

complexos organometálicos é favorecida (SHOJI; FUJIWARA, 1984), devido à grande quantidade de alumínio nesses solos ($>4,0 \text{ cmolc/kg-1}$), que em associação com o acúmulo de matéria orgânica em clima frio e úmido, resulta em alta estabilidade física e biológica, baixa mobilidade e grande acúmulo de matéria orgânica (ARAN et al., 2001; PEREIRA et al., 2005; SANTOS JUNIOR, 2017) com importante função no estoque de carbono e estabilidade das frações húmicas.

6.2 VEGETAÇÃO

Em relação à classificação da vegetação proposta pelo IBGE (2019), no Estado de SC é possível identificar o predomínio de áreas naturais, como estepes (1833 km²) subdivididos entre estepe gramíneo-lenhosa com florestal de galeria – Egf (1436 km²) e estepe gramíneo-lenhosa sem florestal de galeria – Egs (397,5 km²). Em menor abrangência ocorrem áreas com vegetação secundária (847 km²), áreas sob influência antrópica tais como agricultura (93,5 km²) e agropecuária (591 km²) e áreas com predomínio da Floresta Ombrófila Mista Altomontana (464 km²). No estado do RS (Figura 15) diferentemente de SC, predominam as áreas antropizadas como reflorestamentos com *Pinus* – Rp (873,5 km²), vegetação secundária (1760 km²), agropecuária (1152 km²) e agricultura com culturas cíclicas (1714 km²). Nesse caso as áreas que preservam as características naturais, como estepes (3333 km²) são restritas às proximidades dos municípios de São Francisco de Paula e Cambará do Sul. Vale ressaltar que no estado do RS não foram identificadas áreas de Floresta Ombrófila Mista Altomontana, sendo a ocorrência desta classe de vegetação restrita ao estado de SC (IBGE, 2019).

Figura 15 - Mapa (a) e histograma (b) das classes de vegetação nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para os ambientes de ocorrência dos CH foi observada elevada variabilidade de classes de vegetação, assim como ocorre nos ambientes onde predominam os OOs líticos. Os perfis de CH avaliados ocorrem 35% em Agricultura (cíclica) + Estepe (gf) + Agricultura (perene), 26% em áreas de Agropecuária + Estepe (gf), 26% em Estepe (gs) + Floresta Ombrófila Mista Altomontana e 13% em áreas com Agropecuária + Estepe (gf) + Reflorestamento. Esses solos ocorrem principalmente na Floresta Ombrófila Mista associados a ambientes com maior precipitação e temperatura média, o que acelera a decomposição microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; STRECK et al., 2008). Outro fator que favorece a ocorrência dos Cambissolos na Floresta Ombrófila Mista consiste no baixo aporte de material orgânico proveniente da decomposição dos resíduos da *Araucaria angustifolia*, que devido a sua composição estrutural contribui pouco com o aumento dos teores de CO no solo.

Nos locais onde predominam os CI 52% da vegetação é caracterizada por áreas com Agropecuária + Estepe (gf) e 33% por Agricultura (cíclica) + Estepe (gf) + Agricultura (perene). Em menor frequência esses solos também são observados em ambientes com Agricultura + Agropecuária + Estepe (g), Reflorestamento com Pinus + Estepe (g) e Estepe (gs) + Floresta Ombrófila Mista Altomontana, com 5% de representatividade cada classe.

É possível identificar maior variação de vegetação nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos, os quais estão localizados 42% em áreas de Agropecuária + Estepe (gf), 35% com Agricultura (cíclica) + Estepe (gf) + Agricultura (perene), 9% em Estepe (gs) + Floresta Ombrófila Mista Altomontana, 11% em Agropecuária + Vegetação Secundária e 3% em ambientes com Agropecuária + Estepe (gf) + Reflorestamento com Pinus. Os ambientes de formação dos OOs cambissólicos apresentam menor variabilidade das classes de vegetação, sendo restritos a dois ambientes específicos: Agropecuária + Estepe (gf) totalizando 88% e Vegetação secundária + Agropecuária + Reflorestamento com pinus com 12% de representatividade.

As variações de vegetação são fatores que influenciam a MO do solo (GESSLER et al., 2000) e resultam na formação de solos com menor densidade, maior porosidade total e maior retenção de água nas mesmas posições da paisagem, sob condições de mata nativa ou vegetação secundária (MENEZES et al., 2018). No estudo desenvolvido por Gerschlauer et al. (2019) os autores avaliaram diferentes formas de vegetação nas encostas ao sul do Monte Kilimanjaro na Tanzânia e verificaram que os teores de CO foram superiores em locais com

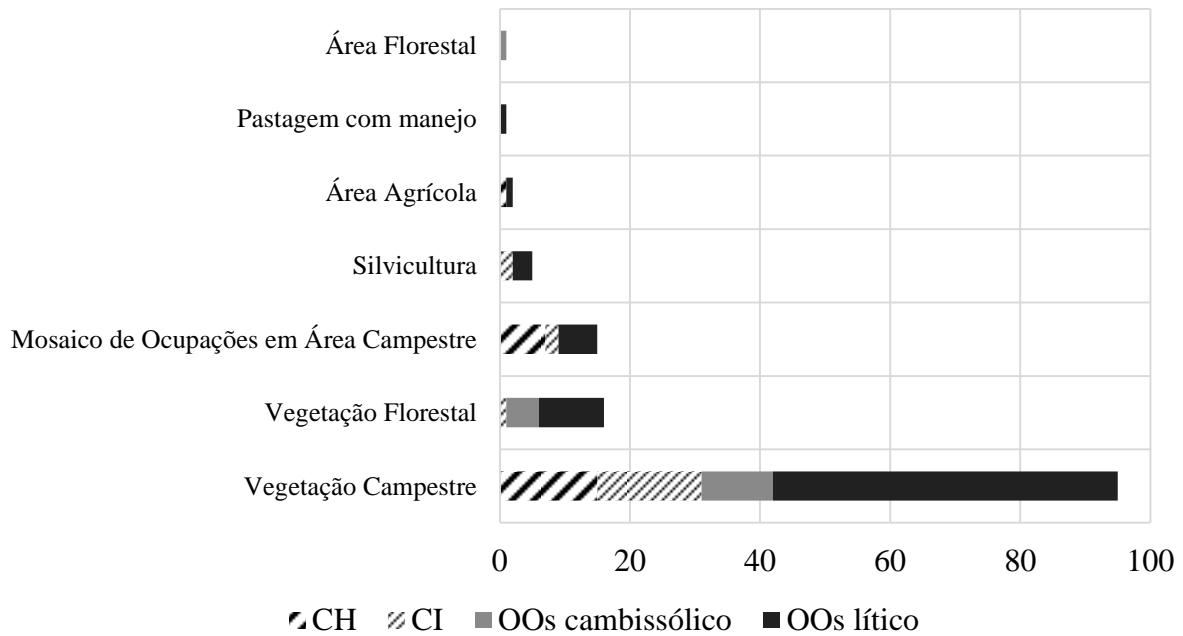
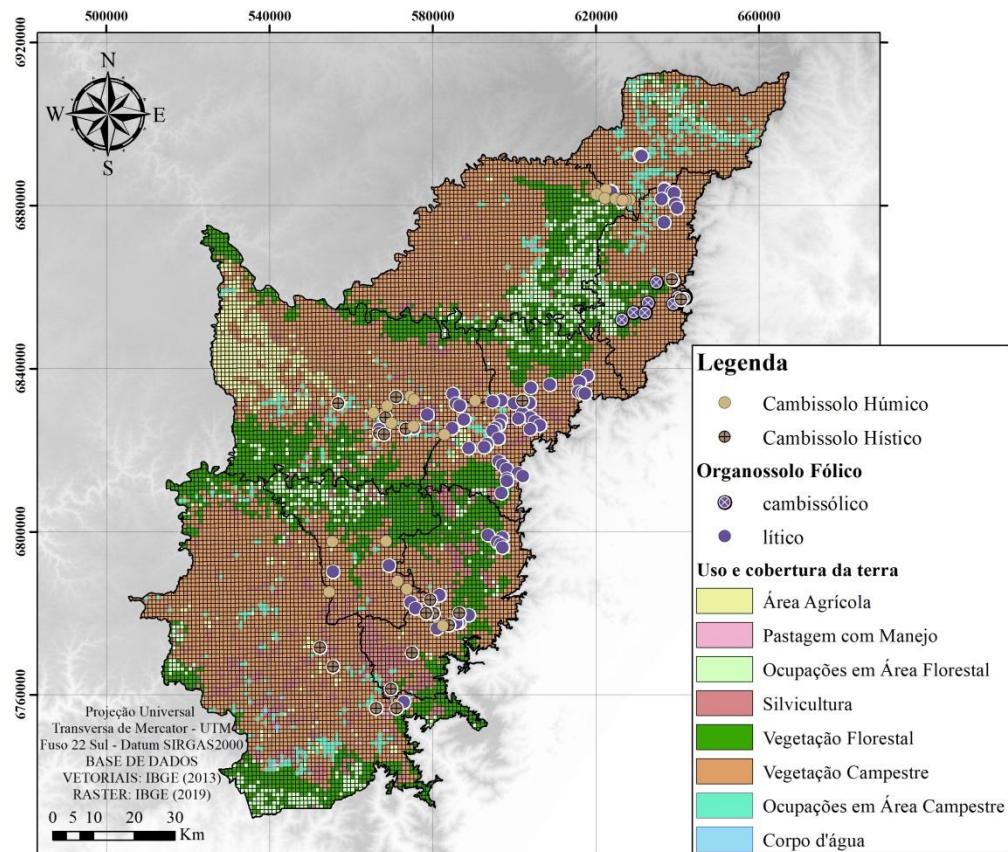
formações florestais, sem influência antrópica, enquanto os menores valores foram observados em ambientes manejados (agricultura e agropecuária).

Os resultados obtidos por Franciscon et al., (2019) destacam que a variabilidade de solos ao longo de diferentes ambientes fisiográficos apresenta forte relação com o relevo, o qual condiciona a drenagem e o escoamento superficial. Foi constatado o predomínio de espécies gramíneas em condições de solos com espessura do horizonte hístico maior do que 20 cm sem horizonte mineral dentro dos 40 cm (Organossolos). Vale destacar que nestes locais não foram observados indivíduos arbóreos com porte maior do que 1m, devido às condições edáficas (pH e Al^{3+}) e hídricas que restringem o desenvolvimento radicular em profundidades maiores que 40 cm. Conforme exposto por Scheer et al. (2011) os processos pedogenéticos responsáveis pela gênese dos horizontes hísticos e a baixa densidade global, aliada à alta densidade de raízes de espécies típicas de campo restringem o crescimento e o estabelecimento de indivíduos arbóreos de maior porte para propiciar o avanço da floresta altomontana (IBGE, 2012).

6.3 COBERTURA E USO DA TERRA

Os dados relativos à cobertura e uso da terra (IBGE, 2020) podem ser observados na figura 16, onde é apresentada a distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos avaliados nos estados de SC e RS. Cabe destacar que a baixa resolução dos mapas (1 pixel = 1 km²) se deve a baixa resolução espacial dos dados disponibilizados pelo IBGE (2020) e para manter a qualidade original dos dados não foram aplicadas técnicas de interpolação dos dados.

Figura 16 - Mapa (a) e histograma (b) da cobertura e uso da terra nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Todas as nove classes de vegetações identificadas em SC foram similares às classes de vegetações identificadas no estado do RS. No estado de SC as classes de uso e cobertura da terra que predominam são: Vegetação Campestre (2778 km^2) e Mosaico de Ocupações em Área Florestal (432 km^2). Conforme IBGE (2020) as maiores mudanças no período entre 2000 a 2018 foram a redução da Vegetação Campestre (-1,3%) e o aumento da Área Agrícola (+33,3%). No estado do RS as classes de uso e cobertura da terra predominantes no estado são: Vegetação Campestre (4890 km^2), Vegetação Florestal (2338 km^2), Silvicultura (926 km^2) e Áreas agrícolas (512 km^2). Nessa situação as maiores mudanças no período 2000 a 2018 foram a redução do Mosaico de Ocupações em Área Florestal (-6,9%) e o aumento da Área Agrícola (+95,4%) e da Silvicultura (+193%).

Foi observada maior ocorrência dos solos avaliados em ambientes com vegetação campestre, vegetação florestal e mosaico de ocupações em área campestre. Nos ambientes onde ocorrem os CH predominam as áreas de vegetação campestre (65%), mosaico de ocupações em área campestre (30%) e áreas agrícolas em menor quantidade (5%). A ocorrência dos CI avaliados foi observada preferencialmente em locais com vegetação campestre (76%) e com menor representatividade as áreas com mosaico de ocupações em área campestre (10%), silvicultura (10%) e vegetação florestal (5%).

Ao analisar a relação entre as formas de vegetação e os diferentes Organossolos avaliados, é possível observar ocorrência preferencial dos Organossolos em ambientes onde predominam vegetação campestre e vegetação florestal. No caso dos ambientes de ocorrência dos OOs líticos estes ocorrem em todas as classes avaliadas, exceto área florestal enquanto a ocorrência dos OOs cambissólicos é restrita aos ambientes com vegetação campestre, vegetação florestal e áreas florestais. Práticas agrícolas como remoção da cobertura vegetal, preparo do solo e colheita degradam a MO, principalmente em sistemas de cultivo intensivo (cultivos agrícolas anuais, pastagens cultivadas), o que leva uma redução dos teores de CO (GERSCHLAUER et al. 2019).

Com isso é possível inferir sobre o efeito dos cultivos agrícolas no acúmulo e manutenção do CO do solo, onde devido ao intenso revolvimento do solo nesses locais os teores de CO tendem a diminuir pela mineralização da MO e posterior emissão de gases de efeito estufa para atmosfera (MENEZES et al., 2018; LEIFELD, MENICHETTI, 2018). Os resultados obtidos por Nair et al. (2010) ressaltam a influência do histórico de uso da terra como um dos principais fatores determinantes dos estoques de CO nos solos, pois as variações

de cobertura e uso da terra determinam a quantidade e qualidade do material que servirá de aporte para acúmulo ou perda de CO (OLIVEIRA et al.; 2012ASSAD et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2014).

No presente estudo a maioria dos locais com condições impróprias para agricultura como restrições hídricas, declividade, rochosidade e pedregosidade são utilizados com vegetação florestal (896 km^2) e em menor frequência para fins agrícolas (532 km^2). Nos locais onde predominam vegetações florestais o revolvimento do solo é menos intenso ou inexistente, o que favorece os processos de acúmulo e manutenção dos teores de CO nos solos. Isto indica o possível efeito do acúmulo de matéria orgânica na formação do horizonte hístico nesses solos, onde a vegetação florestal disponibiliza menor quantidade de material orgânico em relação a vegetação campestre, o que torna o horizonte superficial menos espesso e limita o acúmulo e manutenção de CO nos solos (SCHEER et al., 2011).

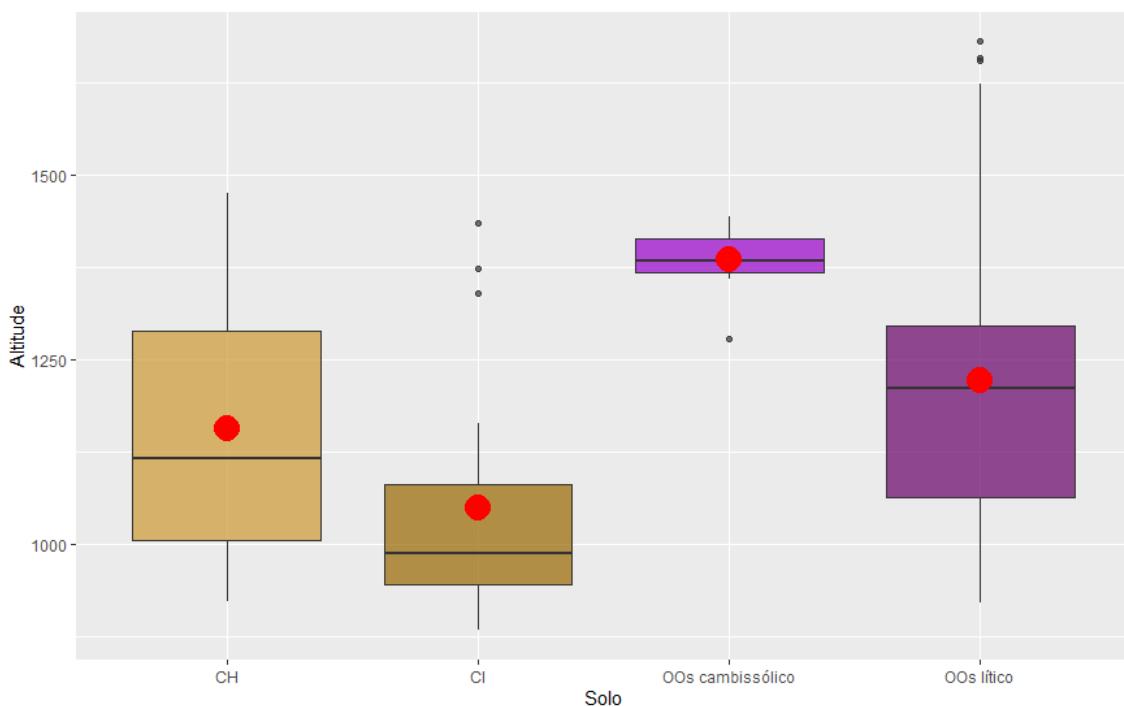
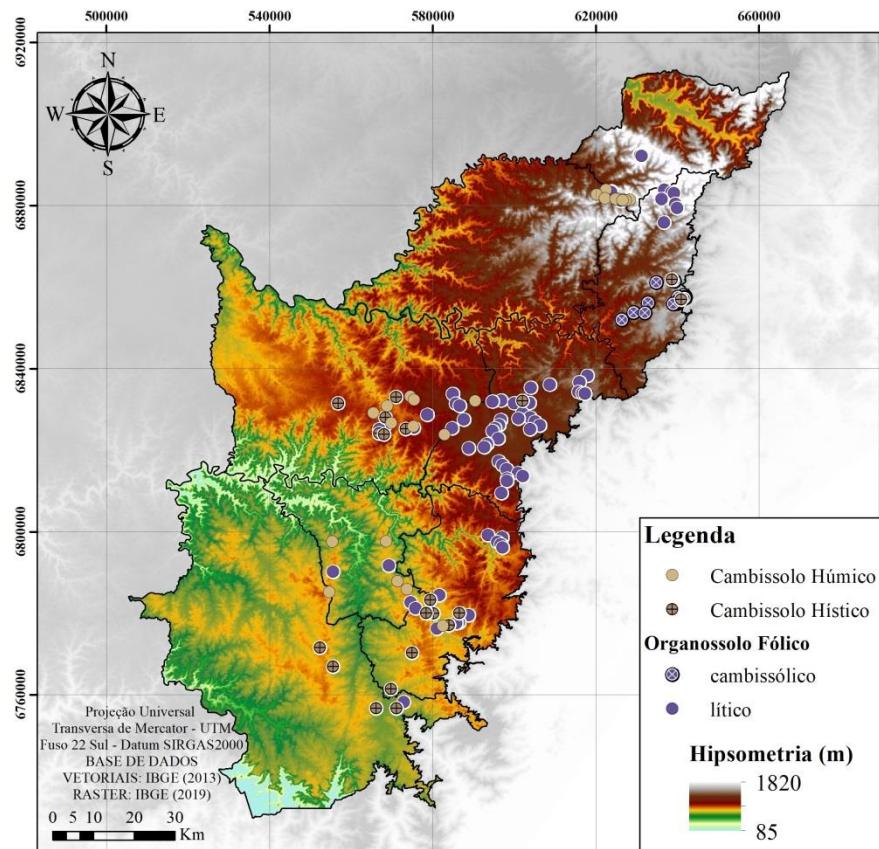
6.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A estatística descritiva e o detalhamento dos dados sobre geomorfologia como elevação, declividade, curvaturas, índice de umidade topográfica (TWI) e distância vertical a rede de drenagem (DVRD) são descritos a seguir.

6.4.1 Elevação

A distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos e os dados referentes à elevação são apresentados e discutidos a seguir (Figura 17). Os ambientes de ocorrência dos Organossolos avaliados apresentam valores de altimetria mais elevados quando comparados aos ambientes onde predominam os Cambissolos. Os OOs líticos ocorrem em locais com elevação média de 1223m, podendo variar desde 921 a 1680m com maior ocorrência no intervalo entre 1064 a 1296m. Os OOs cambissólicos ocorrem em ambientes com elevações menos variáveis, sendo encontrados em condições de altitudes entre 1278 a 1443m, com altitude média de 1385m. O intervalo de ocorrência preferencial desses solos também é inferior variando de 1368 a 1414m.

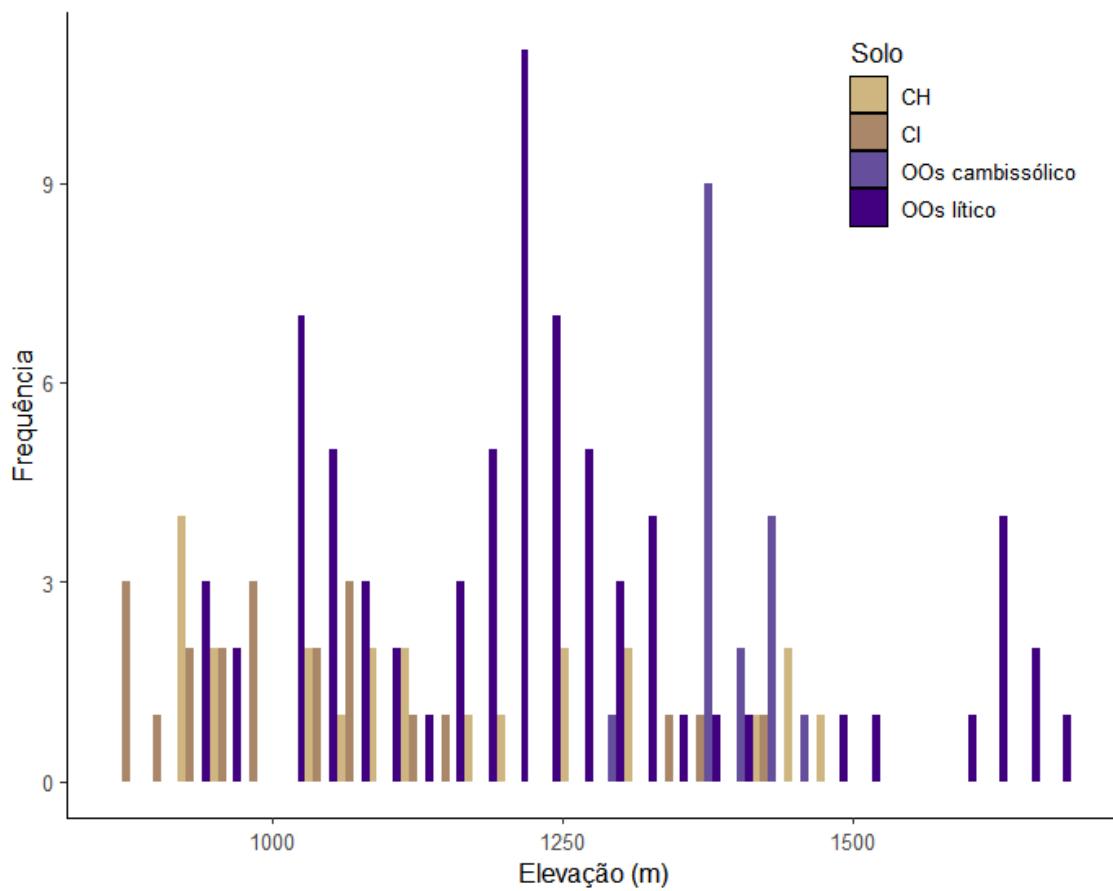
Figura 17 - Mapa (a) e box-plot (b) da elevação (m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A relação entre elevação e os ambientes de ocorrência dos CH e CI foi similar ao observado nas áreas que ocorrem os Organossolos. Nos ambientes onde predominam os CI são observadas as menores elevações, com média de 1050m e valores entre 884 a 1434m, com ocorrência preferencial no intervalo entre 946 a 1082m, enquanto os CH ocorrem em ambientes com elevação mais variável, com média de 1157m podendo ocorrer desde 923 a 1475m com maior ocorrência no intervalo entre 1005 a 1288m (Figura 18).

Figura 18 - Histograma da elevação (m) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As condições locais de relevo como altitude, declividade, orientação preferencial das vertentes, superfície de curvaturas, condições de drenagem e vegetação são considerados os principais atributos topográficos que condicionam a dinâmica hídrica e transporte de partículas e sedimentos (CALIL et al., 2012). Por meio da combinação entre os atributos topográficos e o teor de MOS é possível o mapeamento da variável principalmente em regiões pouco amostradas e com baixo custo (OLIVEIRA et al., 2012).

Em comparação aos ambientes altomontanos, as condições climáticas em condições de elevações médias (<1000m) são mais favoráveis a atividade dos organismos decompositores de MO (GERSCHLAUER et al., 2019). Nesses locais as temperaturas são mais elevadas e a precipitação também é inferior quando comparada aos ambientes frios e úmidos situados em elevadas altitudes (BECKER; KUZYAKOV, 2018; BORKEN; MATZNER, 2009; GARTEN et al., 2009).

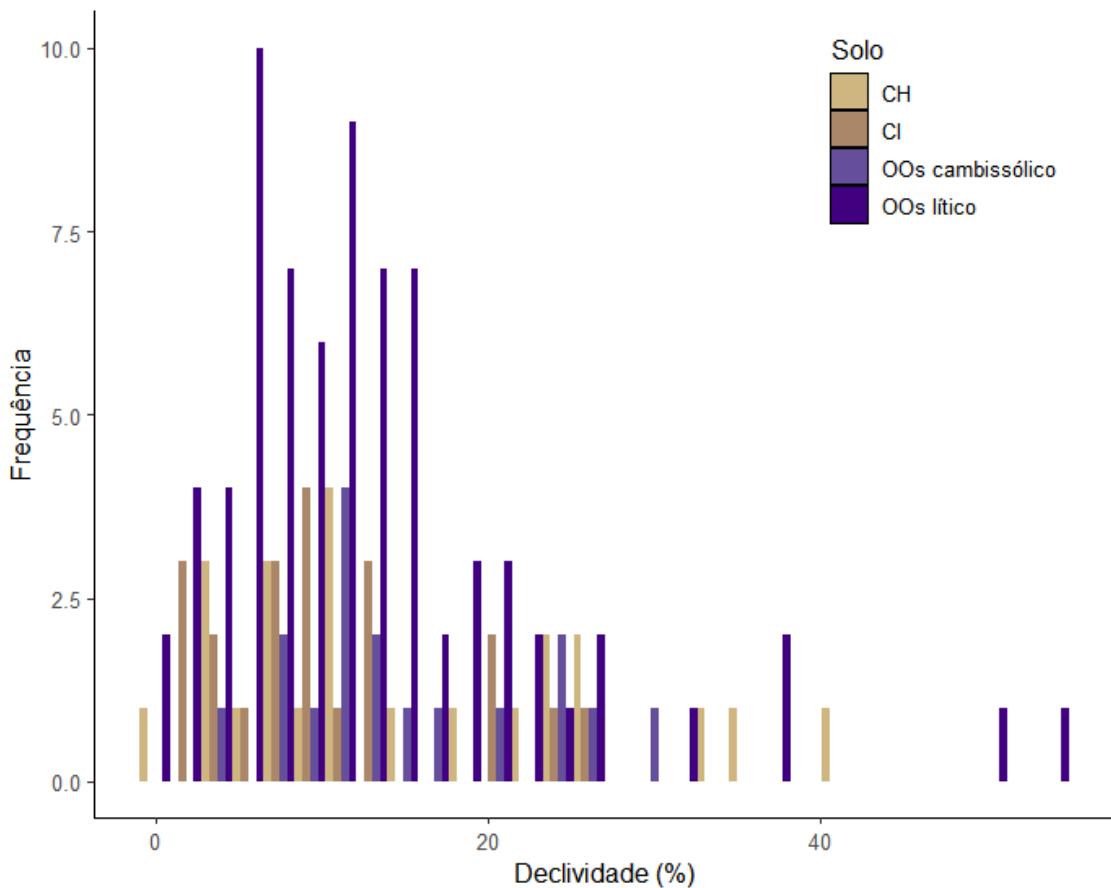
No estudo conduzido por Gerschlauer et al. (2019) os autores avaliaram ecossistemas semi-naturais no Monte Kilimanjaro e constataram aumento dos teores de CO conforme a elevação, o que está de acordo com resultados observados em ecossistemas montanhosos na América do Norte e Europa (ZHU et al., 2009; ZHOU et al., 2011 ORTIZ et al., 2016). Conforme as conclusões de Oliveira et al. (2012) onde os autores avaliaram diferentes classes de vegetação, a maior quantidade de biomassa foi observada nas posições mais elevadas, o que pode estar relacionado as temperaturas mais amenas que predominam nesses locais.

Os solos altomontanos apresentam forte relação com a altitude, ocorrendo em locais com temperaturas baixas, elevado índice pluvial e neblina frequente, o que resulta em considerável acúmulo de MO pela baixa taxa de mineralização (ROCHA, 1999; SCHEER et al., 2011), O inverso é observado nas áreas mais baixas as quais são mais permeáveis ao escoamento superficial (MOGHADDAM et al., 2015) o que não favorece o acúmulo de água por longos períodos de tempo e resulta em maior taxa de mineralização. Nos locais situados em posições de baixa e média altitude (<800m) ocorre grande acúmulo de MO após os períodos de menor disponibilidade hídrica, principalmente na forma particulada. Entretanto estudos destacam que períodos de maior precipitação podem resultar no aumento da mineralização e lixiviação de nutrientes nesses locais (BECKER et al., 2015; MGANGA; KUZYAKOV, 2014; GÜTLEIN et al., 2018).

6.4.2 Declividade

Com relação à declividade foram observadas variações nos valores máximos entre os ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos avaliados (Figura 19). Entre os Organossolos os valores de declividades médias foram similares, assim como observado para o intervalo de ocorrência preferencial.

Figura 19 - Histograma da declividade (%) conforme as classes de solos avaliadas.

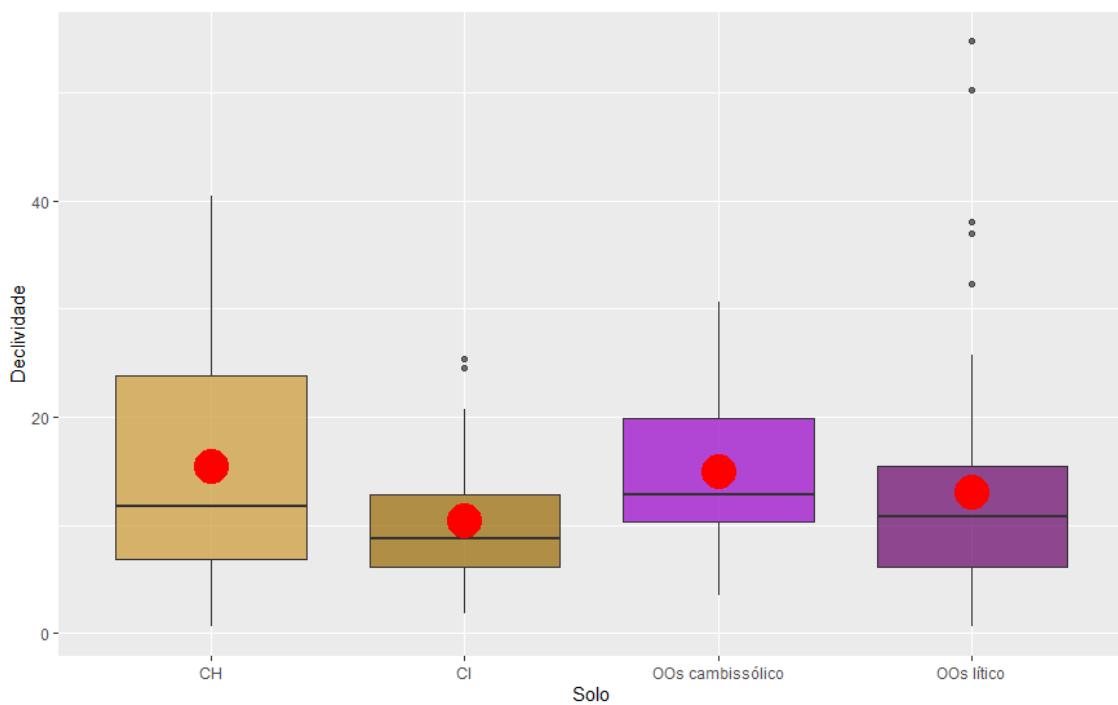
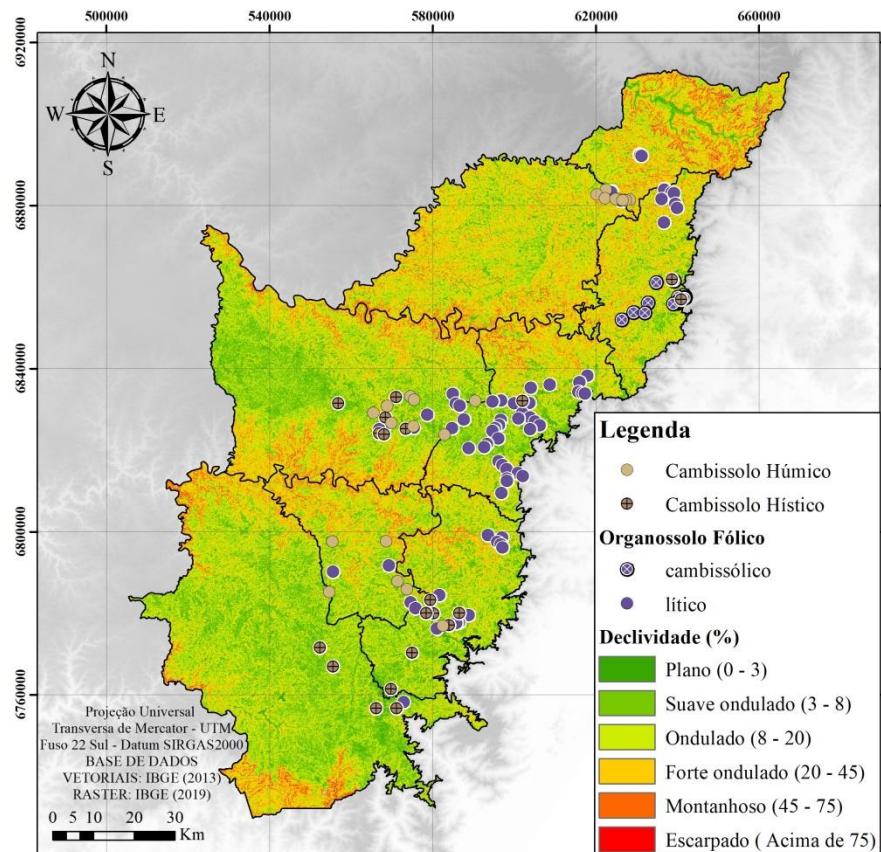


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos locais onde predominam os OOs cambissólicos a declividade média é de 14,96% com valores variando entre 3,54 (relevo suave ondulado) e 30,59% (relevo forte ondulado) e maior ocorrência no intervalo entre 10,38 a 19,90%. Os OOs líticos são observados em condições com declividade média de 13,05% variando entre 0,61 (relevo plano) a 54,71% (relevo montanhoso) e a faixa de ocorrência preferencial varia de 8,1 (relevo ondulado) a 17,6% (relevo ondulado).

As maiores variações de declividades foram observadas nos ambientes onde predominam os Cambissolos. Os CH ocorrem em locais com declividades mais acentuadas com média de 15,47%, variando entre 0,61 (relevo plano) a 40,41% (relevo forte ondulado), com maior ocorrência na faixa de 6,86 (relevo suave ondulado) a 23,85% (relevo forte ondulado). Nas áreas onde ocorrem os CI a declividade média é de 10,39%, com variação entre 1,82 (relevo plano) a 25,37% (relevo forte ondulado), no entanto o intervalo de ocorrência preferencial varia de 6,10 (relevo suave ondulado) a 12,81% (relevo ondulado), inferior ao observado nos locais onde ocorrem os CH (Figura 20).

Figura 20 - Mapa (a) e box-plot (b) da declividade (%) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De forma geral os maiores valores de declividade foram observados nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos. Os menores valores de declividades observados nos ambientes em que predominam os CI evidenciam o potencial de acúmulo de material orgânico para formação do horizonte hístico ($> 80\text{g kg}^{-1}$). Em condições de declividades mais acentuadas os efeitos dos processos erosivos são mais intensos, o que resulta em maior perda de solo nas camadas superficiais, favorecendo a ocorrência dos Organossolos Fólicos Sápicos líticos nos locais com maiores declividades. Nas áreas de relevo menos acentuado o efeito dos processos erosivos é reduzido, o que consequentemente diminui as perdas de solo e sedimentos e favorece o acúmulo de material orgânico nos horizontes superficiais (GUERRA et al., 2007; BRANDÃO et al., 2009).

Segundo Gallant; Wilson (2000) a declividade afeta diretamente a velocidade do fluxo superficial de água e consequentemente o teor de água no solo e o potencial de erosão, assim quanto maior a declividade, maiores devem ser os cuidados com as práticas de conservação de solo e água. Em situações com declividades entre 20 a 45% a superfície é fortemente inclinada e com isso o escoamento superficial é intensificado e favorece maior arraste de partículas e sedimentos para posições inferiores na paisagem (CALDERANO FILHO et al. 2003). Vale ressaltar que nessas condições de relevo forte ondulado é favorecido o escoamento lateral de água no solo o que torna mais suscetível a erosão hídrica e aumenta a necessidade da adoção de práticas conservacionistas (OLIVEIRA et al., 2012).

Conforme as considerações descritas por Coelho; Giasson (2010) o conjunto de variáveis que melhor explicou a relação entre a distribuição espacial das classes de solos e as formas do terreno foram declividade, perfil de curvatura, elevação, curvatura planar e índice de umidade topográfica. De forma similar, no trabalho de Oliveira et al. (2012) o conjunto de atributos que estimou com maior precisão o teor de matéria orgânica foram a declividade, perfil de curvatura, NDVI e TWI, sendo que a declividade representou o principal atributo na predição.

Os resultados obtidos por Razavi-Termeh et al. (2019) demonstram que os locais com menores declividades apresentam maior correlação com a disponibilidade hídrica enquanto situações de declividade mais elevadas essa relação apresenta menor efeito devido ao aumento do escoamento nas partes mais altas (MOORE et al., 1986). Com a finalidade de avaliar as relações pedomorfogeológicas e a distribuição de solos na paisagem, o estudo desenvolvido por Lacerda; Barbosa (2012) identificou a ocorrência dos Cambissolos nas

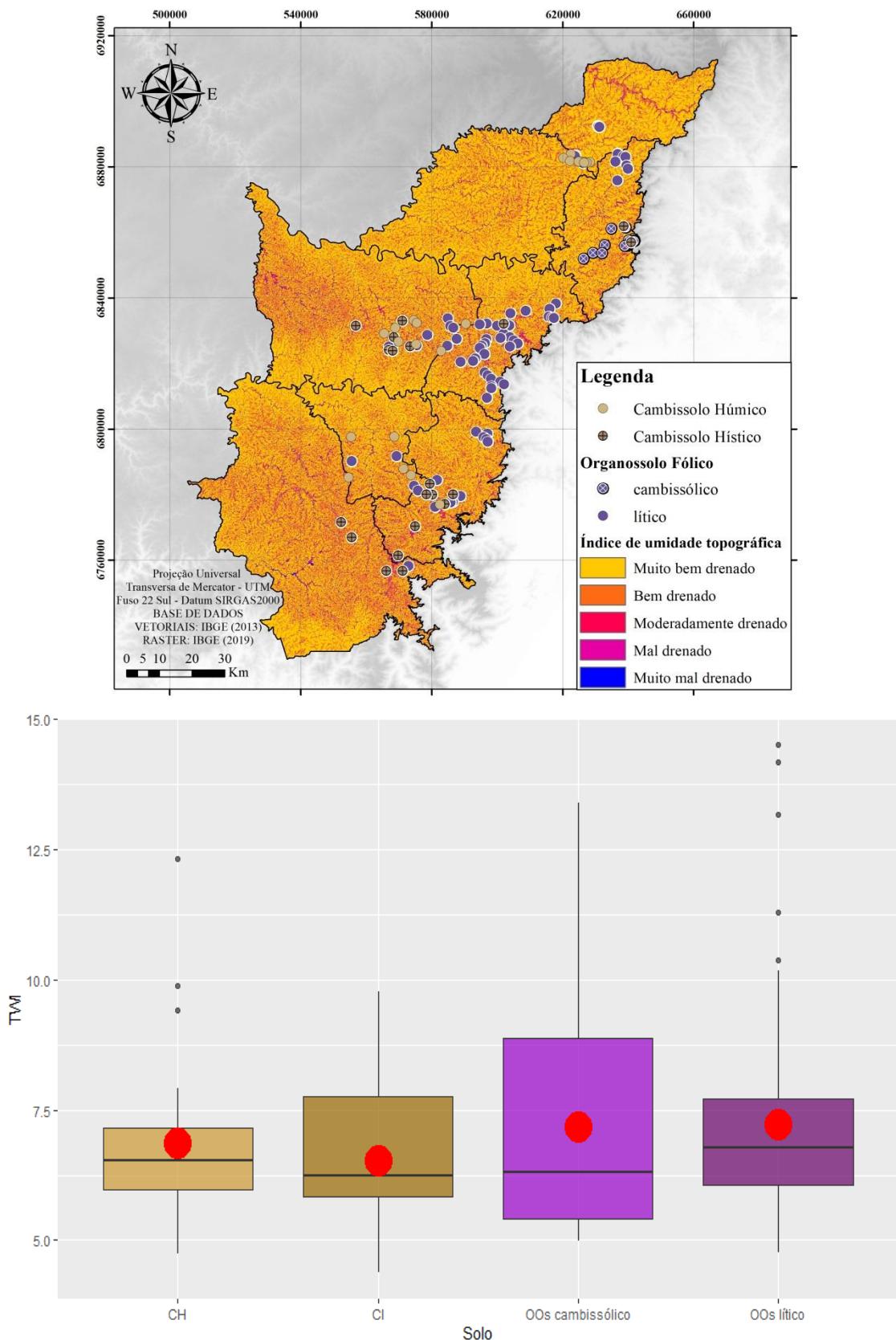
posições mais inclinadas (>45%), enquanto nas áreas com declividades planas (0-2%) predominam solos hidromórficos.

No estudo conduzido por Gomes et al. (2019) o autor avaliou diferentes covariáveis para predição de estoques de CO em solos do Brasil e a declividade foi uma covariável utilizada para predição em todas as camadas avaliadas (0 a 5, 5 a 15, 15 a 30, 30 a 60 e 60 a 100 cm). Nos atributos topográficos avaliados por Chagas et al. (2013) a covariável declividade também foi um atributo efetivo para distinguir Argissolos no Estado do Rio de Janeiro. Com a finalidade de avaliar atributos de relevo e suas relações com solos, os autores concluíram que a declividade foi o atributo que apresentou melhor relação com as unidades de solos, onde solos com caráter hidromórfico ocorrem predominantemente em declividade inferior a 3%, Latossolos em declividades de até 8% e Cambissolos preferencialmente em declividades até 20% (SIRTOLI et al., 2008). As conclusões obtidas por Silva et al. (2007) confirmam a forte correlação negativa entre a declividade e os teores de CO no solo, ou seja, em condições de declividades mais elevadas ocorre redução dos teores de CO no solo, o que concorda com os resultados observados no presente estudo.

6.4.3 Índice de Umidade Topográfica – TWI

A distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos em relação ao índice de umidade topográfica (TWI) pode ser observada na figura 21. A maior variação nos dados foi observada na faixa de ocorrência preferencial para o OOs cambissólicos. Os ambientes de ocorrência dos CI apresentaram maior variação dos valores de TWI em relação aos ambientes onde predominam os CH.

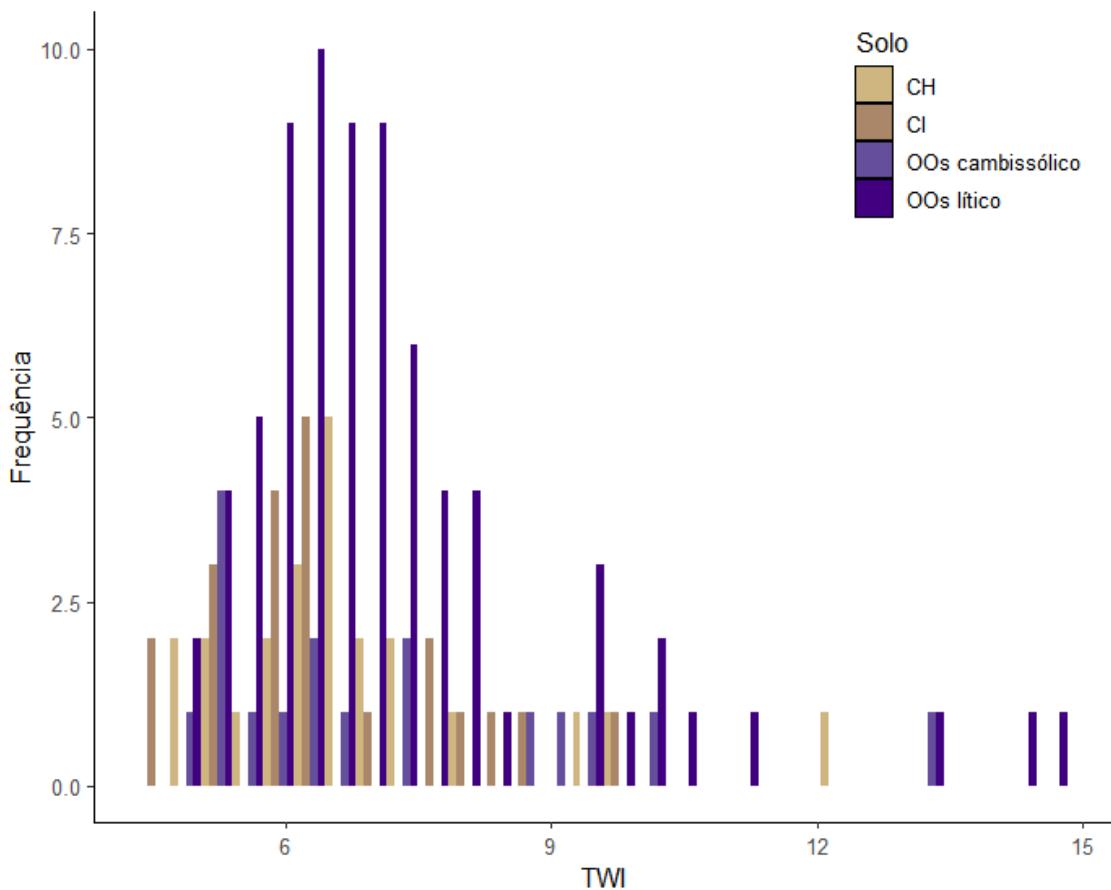
Figura 21 - Mapa (a) e box-plot (b) do índice de umidade topográfica (TWI), conforme classes propostas por Tarboton (1997) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos ambientes onde ocorrem os OOs cambissólicos são observados valores de TWI médio de 7,19 com variação entre 4,98 (muito bem drenado) a 13,40 (mal drenado). Esse intervalo de ocorrência é mais variável quando comparado aos ambientes onde predominam os OOs líticos, os quais apresentam TWI média de 7,23 variando entre 4,76 (muito bem drenado) a 14,45 (mal drenado), conforme a figura 22.

Figura 22 - Histograma do Índice de Umidade Topográfica (TWI) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com relação ao intervalo de ocorrência preferencial, nos locais em que predominam os OOs cambissólicos o intervalo varia de 5,41 (muito bem drenado) a 8,88 (bem drenado) enquanto nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos esse intervalo é inferior, na faixa de 6,06 (muito bem drenado) a 7,71 (muito bem drenado).

Quanto aos ambientes onde predominam os CH são observados valores de TWI entre 4,74 (muito bem drenado) a 12,33 (mal drenado), com ocorrência preferencial no intervalo entre 5,96 a 7,15 (muito bem drenado). Os CI ocorrem em situações com TWI desde 4,38

(muito bem drenado) a 9,77 (moderadamente drenado), no entanto o intervalo de ocorrência preferencial é mais variável, entre 5,85 a 7,58 (muito bem drenado).

Ao analisar os valores máximos onde os CI podem ocorrer em locais com TWI até 9,77 (moderadamente drenado) enquanto os CH e os Organossolos são encontrados em ambientes com TWI acima de 12,33 (mal drenado). A distribuição da água nas paisagens afeta significativamente a dinâmica de CO do solo (GESSLER et al., 2000). Nas áreas mais elevadas as condições de umidade são afetadas pela profundidade dos solos, grau estrutural e permeabilidade (LIN et al. 2006; POPPIEL et al., 2019), o que resulta em menor quantidade de água disponível e consequente acúmulo de matéria orgânica devido a redução da atividade microbiológica e menor taxa de mineralização da mesma (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A aplicação do TWI apresenta elevado potencial para identificação de ambientes com restrição hídrica, como Gleissolos, devido ao índice representar a influência da topografia na localização e dimensão das áreas com saturação de escoamento superficial (POPPIEL et al., 2019) A alta umidade, identificada pelos valores mais altos do índice favorece o acúmulo de CO nas camadas inferiores enquanto a camada superficial fica exposta a constantes ciclos de umedecimento e secagem, o que acelera a mineralização do carbono orgânico das camadas superficiais (CAMPOS et al., 2013; GOMES et al., 2019).

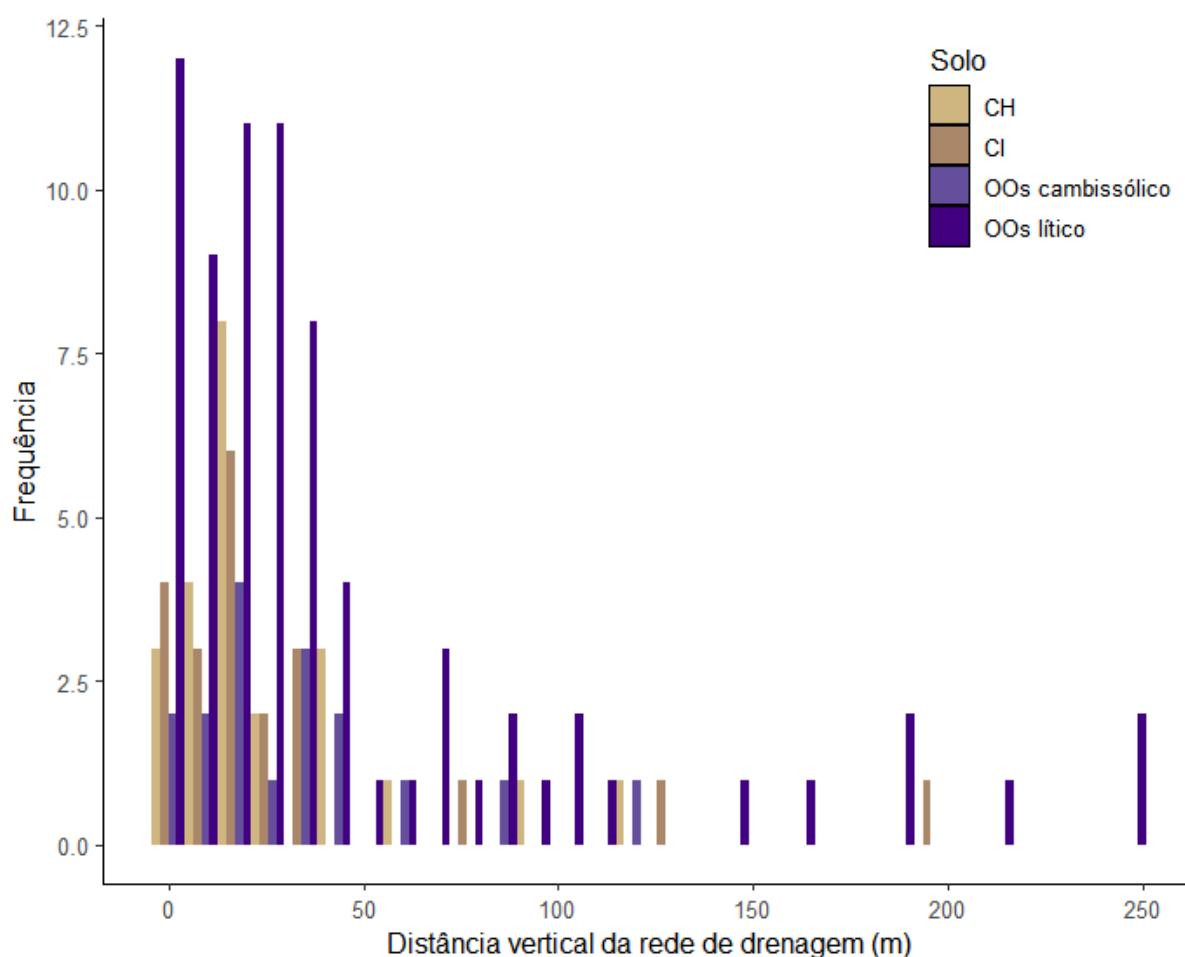
Os resultados obtidos concordam com as conclusões de Pei et al. (2010) onde o TWI foi índice que apresentou correlação mais forte entre os atributos topográficos e a MOS para mapeamento da matéria orgânica na Província de Heilongjiang na China. De acordo com Vidal-Torrado et al. (2005) as formas do relevo influenciam significativamente a dinâmica da água no solo, o que afeta os processos pedogenéticos e consequentemente a formações de solos com características distintas.

6.4.4 Distância Vertical da Rede de Drenagem (DVRD)

Na figura 24 pode ser observada a distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos em relação a distância vertical a rede de drenagem (DVRD). Os ambientes de ocorrência dos OOs líticos apresentaram os valores mais elevados de DVRD. Para todos os solos avaliados os valores mínimos de DVRD foram similares (0,00), o que permite inferior que a utilização dos valores mínimos dessa variável não contribui para distinção dos solos avaliados. No entanto os intervalos de ocorrência preferencial e valores máximos apresentaram maiores variações.

Ao analisar a relação entre os ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos com a DVRD os valores mínimos foram similares, porém os valores máximos e intervalos de ocorrência preferencial apresentaram maiores variações. Nos locais onde ocorrem os OOs cambissólicos a faixa de ocorrência preferencial dos solos em relação a DVRD varia de 13,12 a 39,63m com média de 32,72m e valor máximo de 120,66m enquanto nos ambientes onde ocorrem os OOs líticos esse intervalo varia de 8,63 a 46,77m com média de 45,45m e máxima de 246,61m (Figura 23).

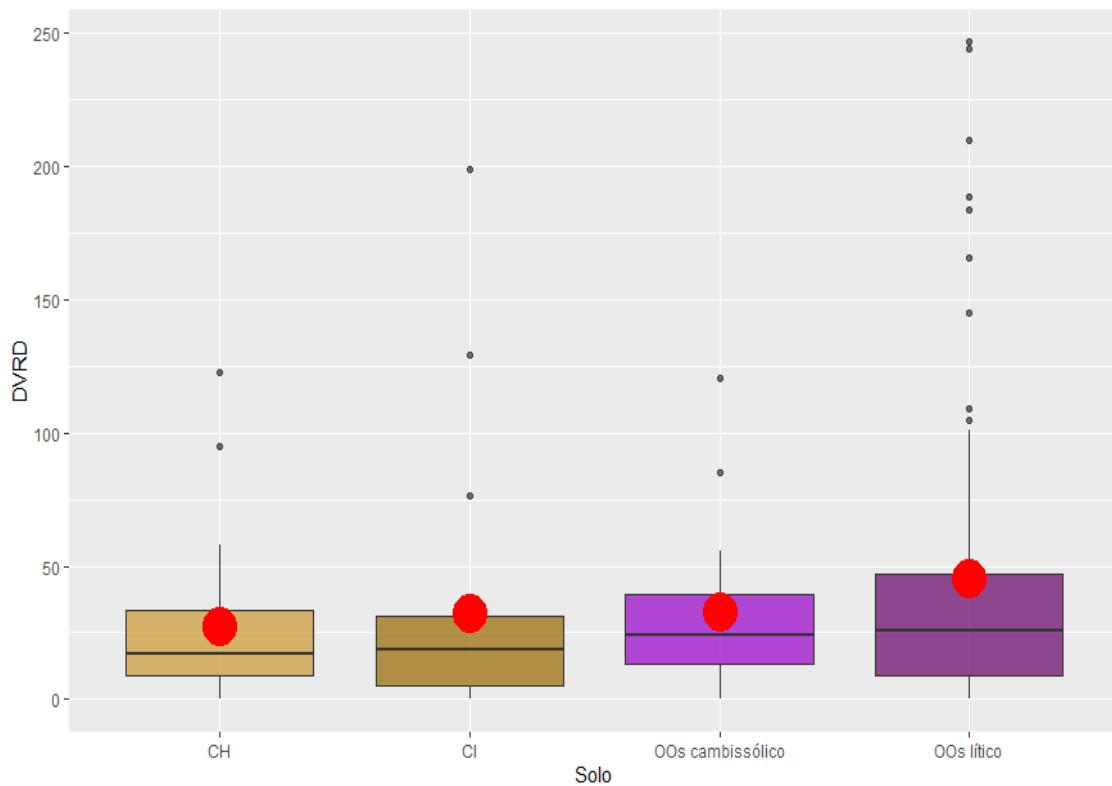
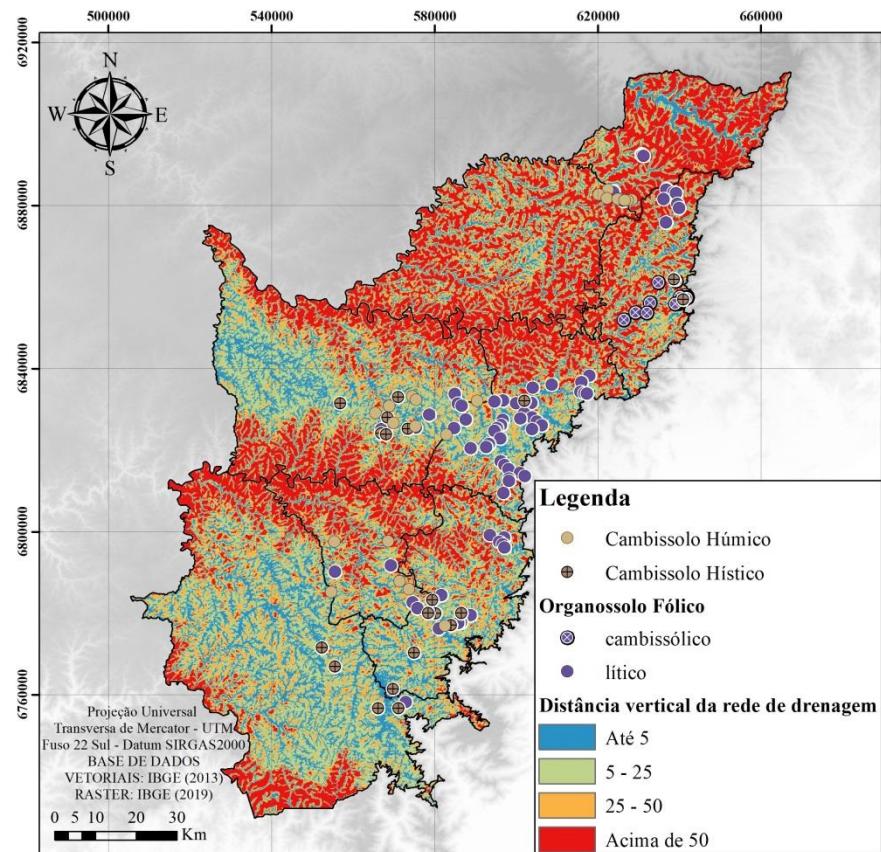
Figura 23 - Histograma da distância vertical da rede de drenagem (m) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os CH ocorrem em ambientes com DVRD média de 27,35m com valores máximos de 122,69m, enquanto nos locais onde predominam os CI foi observada DVRD média de 32,56m e máxima de 198,82m. Quanto ao intervalo de ocorrência preferencial os CH ocorrem entre 8,96 a 33,55m e os CI apresentaram esse intervalo entre 5,14 a 31,05m.

Figura 24 - Mapa (a) e box-plot (b) da distância vertical da rede de drenagem – DVRD (m) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

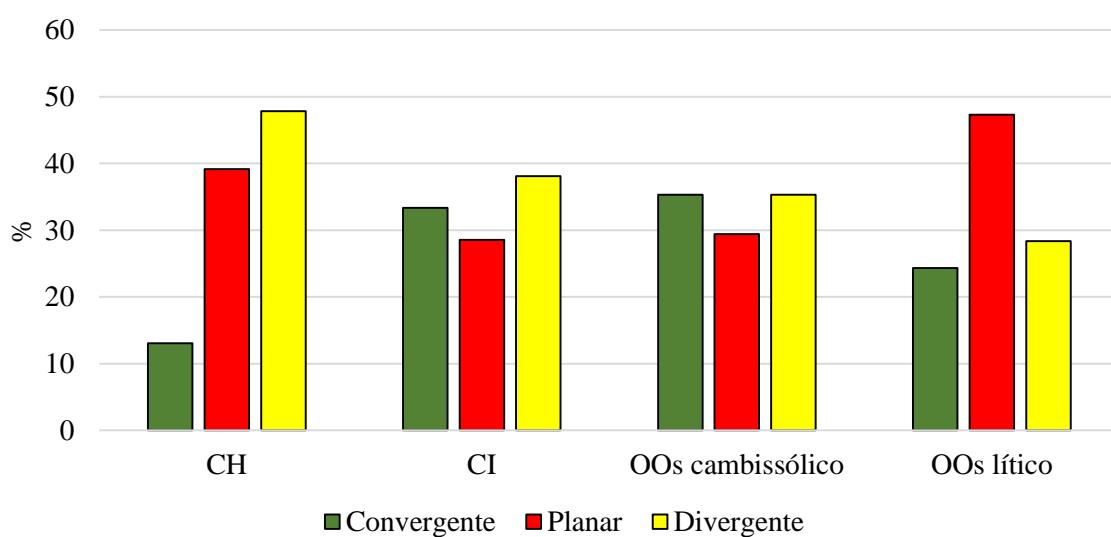
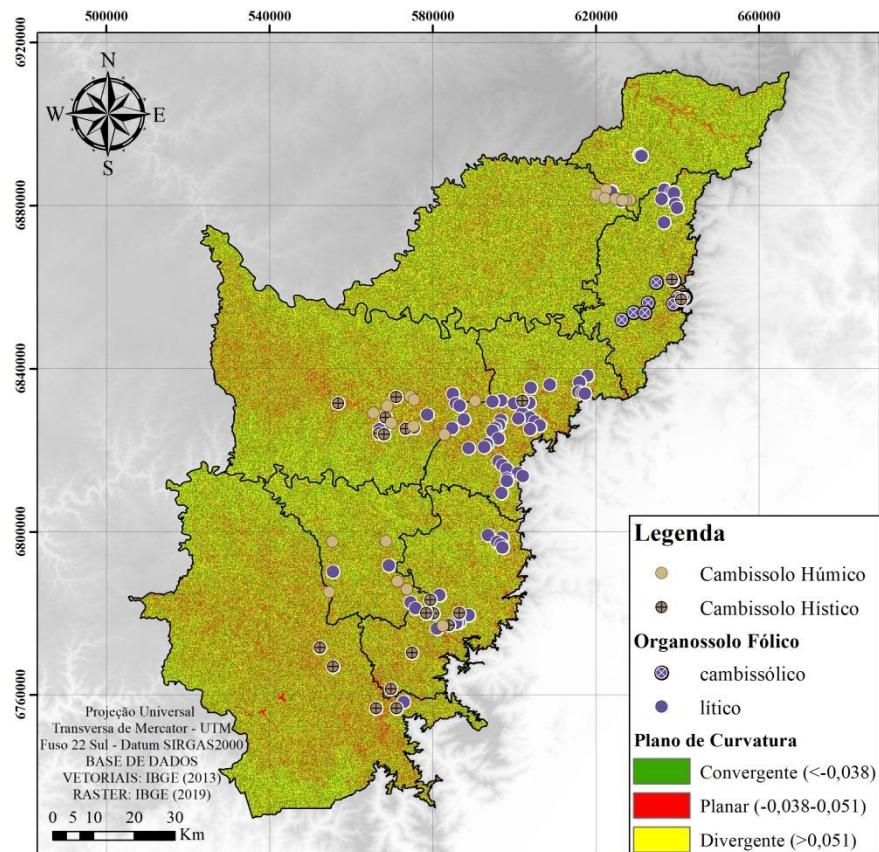
Com a finalidade de avaliar diferentes modelos para determinar o potencial de água nos solos, o estudo desenvolvido por Razavi-Termeh et al. (2019) destaca a utilização das variáveis declividade, orientação, distância da rede de drenagem e precipitação, as quais apresentaram grande importância em todos os modelos avaliados. Nesse estudo a classe entre 0-100m apresentou a maior importância para representar a distância a rede de drenagem mais próxima. Isso permite inferir que solos localizados em DVRD menores apresentam maior influência de águas subterrâneas nos processos de formação dos solos, conforme descrito por Moghaddam et al. (2015).

6.4.5 Curvatura horizontal

A figura 25 apresenta os dados referentes ao plano de curvatura ou curvatura horizontal em relação a distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos avaliados nos dois estados. Nos ambientes de ocorrência dos CH e OOs líticos foram observadas maiores diferenças entre as curvaturas horizontais. Não foram identificadas classes preferenciais que permitam a distinção entre os CI e OOs cambissólicos avaliados.

Nas áreas de ocorrência dos CH foram observadas maiores diferenças entre as curvaturas horizontais. Nesse caso foram identificados predomínio de ambientes com planos de curvatura divergente (48%), planar (39%) e convergente (13%). Os locais onde predominam os CI não apresentaram classes predominantes, com ocorrência em ambientes com planos de curvaturas divergentes com representatividade de 38%, convergente 33% a planar 29%.

Figura 25 - Mapa (a) e histograma (b) do plano de curvatura ($^{\circ}/\text{m}$) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos foi observado predomínio do plano de curvatura classificado como planar (47%) e em menor proporção as classes divergentes (28%) e convergentes (24%). A ocorrência dos OOs líticos está relacionada a ambientes com curvaturas planas onde os processos de dispersão e acúmulo de partículas e sedimentos são menos frequentes na formação do solo (MOGHADDAM et al., 2015; RAZAVI-TERMEH et al., 2019).

Assim como observado nos locais onde predominam os CI, dentre os OOs cambissólicos avaliados não foram identificadas classes preferenciais de curvatura horizontal, com ocorrência desse solo em situações de relevos divergentes (35%), convergentes (35%) e planar (30%). Vale destacar que a classe divergente apresentou menor representatividade, visto que nessa situação predominam os processos de dispersão e transporte, os quais não contribuem para o desenvolvimento do horizonte superficial hístico.

É de suma importância considerar aspectos relacionados às formas de curvaturas para o estudo da relação com CO nos solos devido ao efeito direto nas variações de temperatura, evapotranspiração e umidade (SENTHILKUMAR et al., 2009; OLVIEIRA et al., 2013). A curvatura da superfície influencia o armazenamento e dispersão dos fluxos ao longo da encosta, o que controla o conteúdo de água disponível e a taxa de erosão (WILSON; GALLANT, 2000; WOLSKI, 2016).

As curvaturas representam a variação espacial da paisagem, onde situações de curvaturas convergentes representam os vales e curvaturas divergentes os interflúvios. Nos ambientes situados em planos de curvaturas planares e divergentes os processos de concentração e acúmulo de partículas e sedimentos ocorrem com menor intensidade, com isso o horizonte superficial recebe menores quantidades de material orgânico (MOGHADDAM et al., 2015). Em situações de curvaturas divergentes onde ocorre a dispersão e transporte de partículas e sedimentos, os horizontes superficiais são formados a partir de material de origem autóctone e consequentemente apresentam menores teores de carbono orgânico (SCHEER et al., 2011).

Na literatura são encontradas informações contrastantes quanto à relação entre formas de curvaturas e tipos de solos. De acordo com Sirtoli (2008) os solos mais profundos e desenvolvidos tendem a ocupar encostas divergentes e planares enquanto os solos menos desenvolvidos e mais rasos tendem a ocorrer em situações de curvaturas convergentes e divergentes. Por outro lado, Chagas (2013) destacam que os solos menos desenvolvidos

ocorrem somente em condições de curvatura plano convergente, onde a ocorrência está relacionada com a declividade e com o maior fluxo convergente de água nestas áreas, motivo que favorece a morfogênese, levando estes solos a uma constante remoção da camada superficial por processos erosivos. Isto evidencia a limitada profundidade efetiva dos Organossolos Fólicos Sápicos líticos, pois em situações de relevos divergentes ocorre a máxima perda de solos e sedimentos para posições inferiores do declive (SCHEER et al., 2011). Isto permite inferir sobre maiores efeitos dos processos de concentração e acúmulo de partículas e sedimentos, e favorece a formação do horizonte superficial hístico ($>80\text{ g kg}^{-1}$) nesses solos.

A menor ocorrência dos OOs líticos em situações de curvaturas convergentes e planares está de acordo com a literatura (ROSOLEN; HERPIN, 2008; FRANCISCON et al., 2019) pois nessas situações ocorre a máxima concentração e acúmulo de sedimentos, o que tende a tornar o horizonte superficial mais espesso ao longo dos anos. No estudo desenvolvido por Razavi-Termeh et al. (2019) os autores avaliaram o efeito do plano de curvatura para modelagem hídrica e verificaram que a classe planar apresentou o maior peso na avaliação. Essa categoria de curvatura planar retém maior quantidade de água por um longo período de tempo (MOGHADDAM et al., 2015), o que intensifica as variações dos processos pedogenéticos e resulta na formação de solos com características distintas.

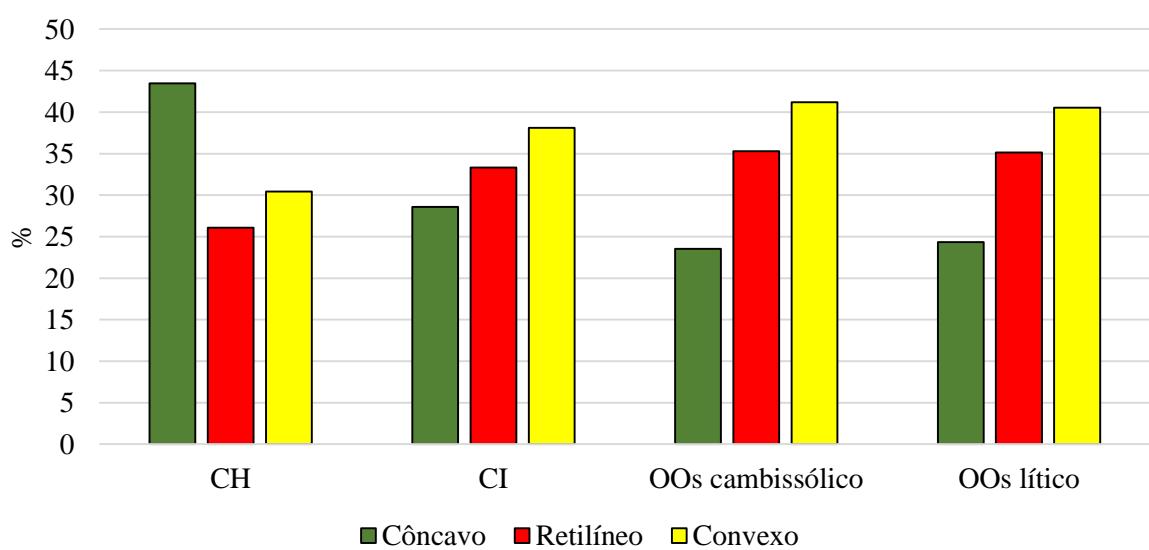
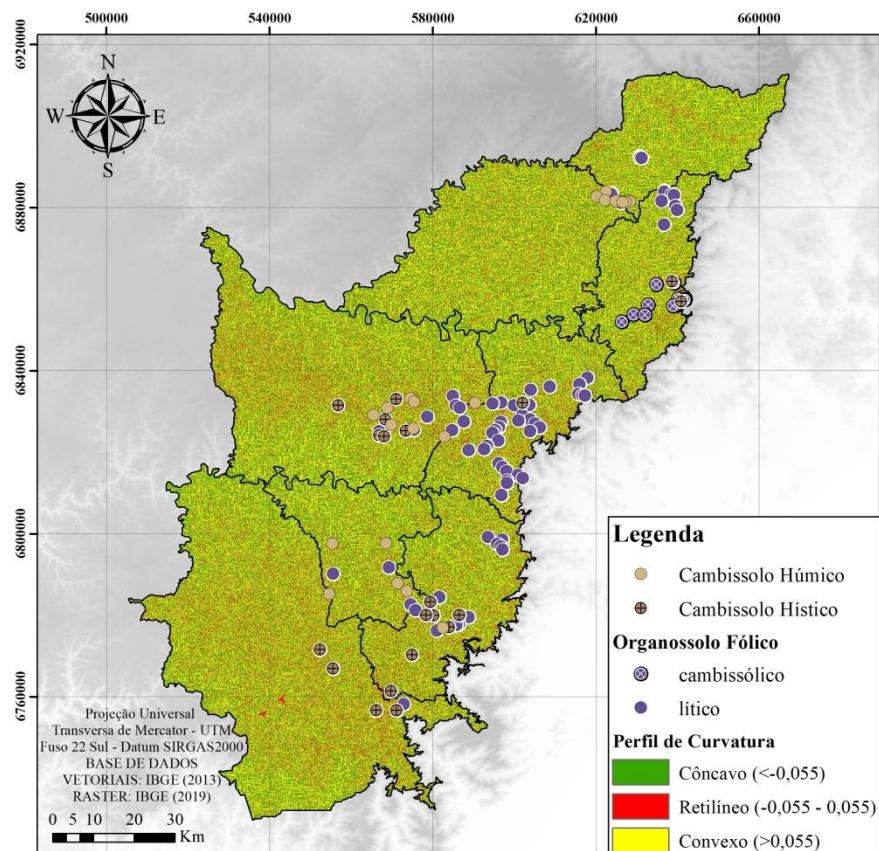
6.4.6 Curvatura vertical

Na figura 26 é apresentada a distribuição espacial dos ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos em relação ao perfil de curvatura ou curvatura vertical. Os ambientes de ocorrência dos CI, OOs cambissólicos e OOs líticos apresentaram características similares quanto ao perfil de curvatura com maior representatividade de curvaturas convexas (38%) e menor proporção de curvaturas no formato côncavo.

Nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos foi observado predomínio do perfil de curvatura convexo (41%), seguido pelo retilíneo (35%) e em menor frequência a classe côncava (24%). Onde ocorrem os OOs cambissólicos a relação com o perfil de curvatura foi similar com predomínio da classe convexa (41%), seguida pela retilínea (35%) e côncava (24%). Assim como observado nos Organossolos, os ambientes de ocorrência dos CI

apresentaram maior frequência de curvaturas convexas (38%) e menor proporção de curvaturas no formato côncavo (29%).

Figura 26 - Mapa (a) e histograma (b) do perfil de curvatura ($^{\circ}/m$) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nessas duas situações o transporte e acúmulo de partículas e sedimentos pode ocorrer ao longo da vertente, devido a ação preferencial do fluxo laminar, o qual apresenta baixa capacidade de transporte de sedimentos (SILVA NETO, 2014). Isto justifica a menor ocorrência dos CI em perfis de curvatura côncavos, pois nestas condições o transporte de partículas e sedimentos é intensificado e pode atingir fluxo linear, o qual possui maior energia para transportar partículas e sedimentos de maiores tamanhos para áreas mais distantes (BIGARELLA, 2003; SILVA NETO, 2014).

As maiores diferenças entre os solos foram observadas nos locais onde ocorrem os CH, com predomínio de perfis de curvatura côncavos (44%), convexos (30%) e retilíneos (26%). Em condições de relevos côncavos o escoamento e transporte de partículas atinge maiores velocidade, com energia suficiente para deslocar partículas superficiais do solo para pontos mais baixos da paisagem (SILVA NETO, 2014; POPPIEL et al., 2019). Os menores teores de CO observados nos horizontes superficiais também indicam o maior efeito dos processos erosivos e maior escoamento superficial, os quais dificultam o crescimento vegetal e restringe o aporte de matéria orgânica nesses solos.

Em condições de curvaturas convexas os processos de escoamento e dispersão de partículas e sedimentos é intensificado (MONTANARI et al., 2005), o que limita o desenvolvimento do horizonte superficial nesses solos. Outro fator que contribui para baixa proporção de OOs líticos em perfis de curvaturas côncavos e retilíneos se deve ao aumento da infiltração nessas condições, o que favorece o desenvolvimento de horizontes superficiais mais espessos e torna o mesmo menos suscetível aos processos erosivos (POPPIEL et al., 2019).

Conforme descrito por Menezes et al. (2018) os teores mais elevados de MO foram observados em situações de relevo convexo. Isto reflete a combinação do maior intemperismo, fertilidade natural muito baixa, baixas temperaturas passadas e atividade limitada de microorganismos, fatores que podem ter contribuído para o maior acúmulo de MO nessa posição da paisagem. (GESSLER et al., 2000). Na avaliação dos solos que ocorrem nos campos altomontanos do Paraná, em locais com curvatura convexa-divergente predominam os solos com horizontes hísticos, de maior espessura, com destaque aos Organossolos Fólicos Fíbricos e Organossolos Fólicos Sápicos. Em condições de relevo forte ondulado e curvaturas côncava-convergente é favorecida a formação dos horizontes minerais por meio da

ação combinada de processos morfogenéticos (coluvamento) e pedogenéticos (MONTANARI et al., 2005; SCHEER et al., 2011).

Com a finalidade de desenvolver uma modelagem aproximada para prever o padrão espacial de solos, de forma simples, aceitável, eficaz e de baixo custo, Li et al. (2017) avaliaram sete índices quantitativos de terreno, dentre os quais a elevação, orientação, posição relativa do declive e o índice de umidade topográfica foram as variáveis de maior importância no modelo. No estudo conduzido por Kokulan et al. (2018) os autores correlacionaram covariáveis relativas ao relevo, como elevação, posição relativa do declive, índice de umidade topográfica, distância vertical da rede de drenagem, perfil e plano de curvaturas com parâmetros físico-químicos e concluíram que a elevação, posição relativa do declive e a distância vertical da rede de drenagem foram os mais significativos para explicar a variabilidade espacial dentro os parâmetros físicos e químicos avaliados.

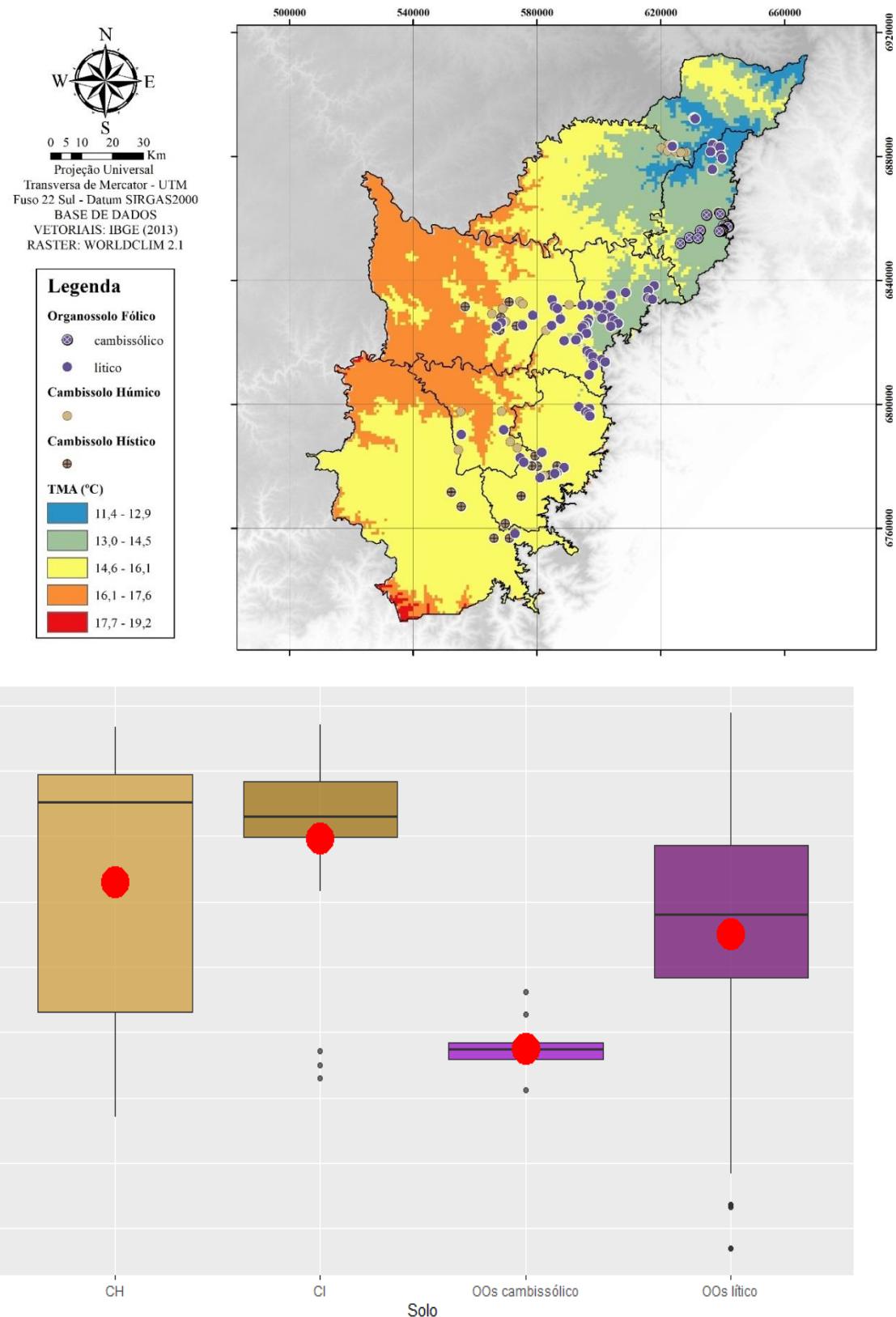
6.4.7 Temperatura

A tabela 4 apresenta a estatística descritiva referente aos dados de temperatura média anual (TMA), temperatura mínima do mês mais frio (TMMMF), temperatura máxima do mês mais quente (TMMMQ), temperatura do trimestre mais frio (TMTMF) e temperatura média do trimestre mais quente (TMTMQ) para os Cambissolos e Organossolos avaliados. Todas as variáveis climáticas foram obtidas na plataforma WorldClim 2.1 e posteriormente categorizados de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Os solos avaliados apresentaram diferenças quanto aos valores médios e mínimos de TMA, TMMMF, TMMMQ, TMTMF e TMTMQ, principalmente nos ambientes onde predominam os OOs cambissólicos. Não foram observadas diferença nos valores máximos de TMA, TMMMF, TMMMQ, TMTMF e TMTMQ nos locais onde ocorrem os CH, CI e OOs lítico (Tabela 4).

Os OOs líticos ocorrem em locais com TMA de 14,25°C com variação entre 11,85 até 15,94°C. Em ambientes com TMA mais baixa predominam os OOs cambissólicos, principalmente em locais com TMA de 13,37°C e a variação de valores mínimos e máximos também é inferior aos demais solos avaliados, com valores entre 13,06 a 13,81°C (Figura 27).

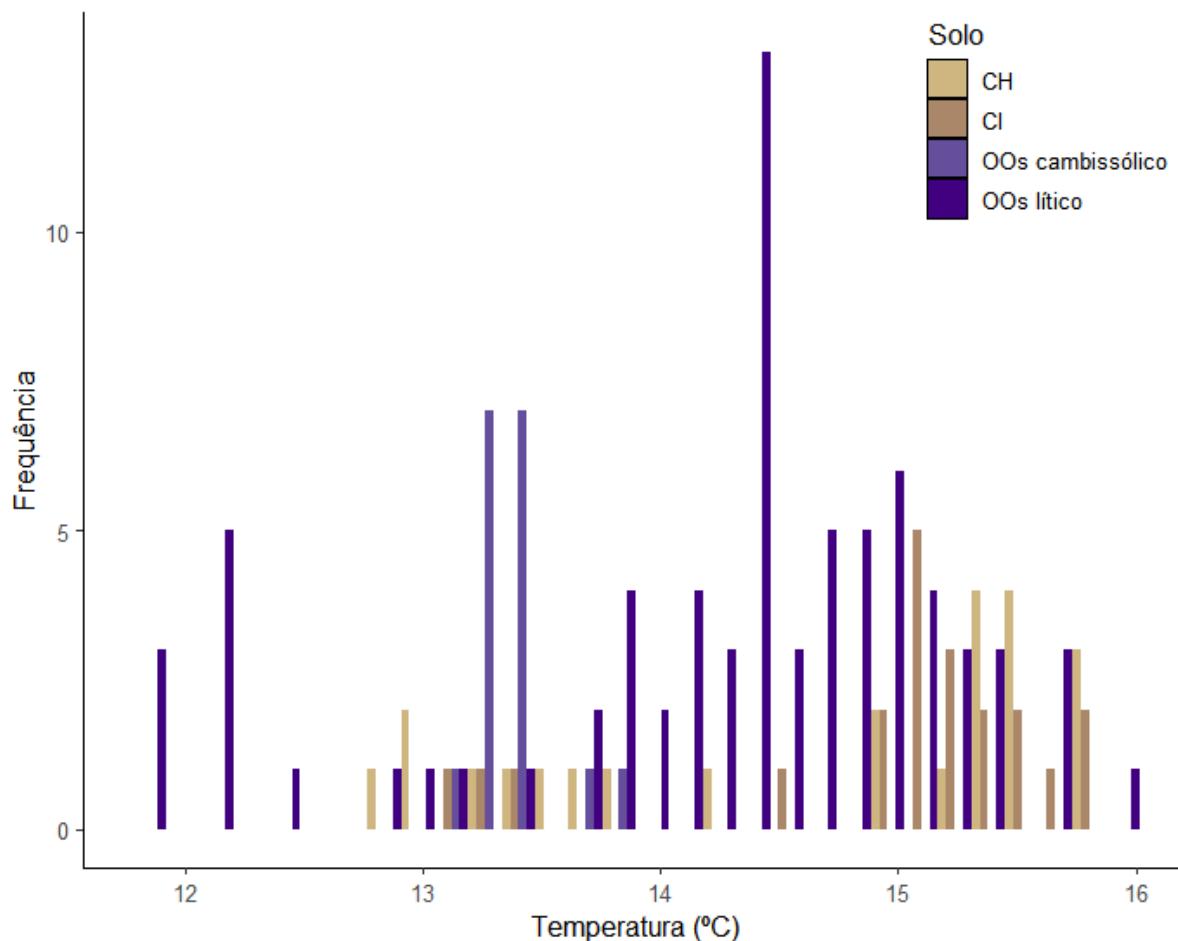
Figura 27 – Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média anual – TMA (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Ao analisar os valores de média, mínimos e máximos da variável TMA é possível observar que os ambientes de ocorrência dos CH apresentaram valores de TMA mais variáveis quando comparados aos locais onde predominam os CI. Foi observada ocorrência dos CH em ambientes com TMA de 14,65°C, variando desde 12,85 a 15,83°C enquanto os ambientes onde ocorrem os CI a TMA foi de 14,99°C com variação entre 13,15 a 15,85°C. As áreas com predomínio de CH apresentam valores de TMA entre 13,65 a 15,47°C, enquanto nos locais de ocorrência dos CI foi observada menor variabilidade, com valores de TMA no intervalo entre 14,99 a 15,42°C (Figura 28).

Figura 28 - Histograma da temperatura média anual (°C) conforme as classes de solos avaliadas.

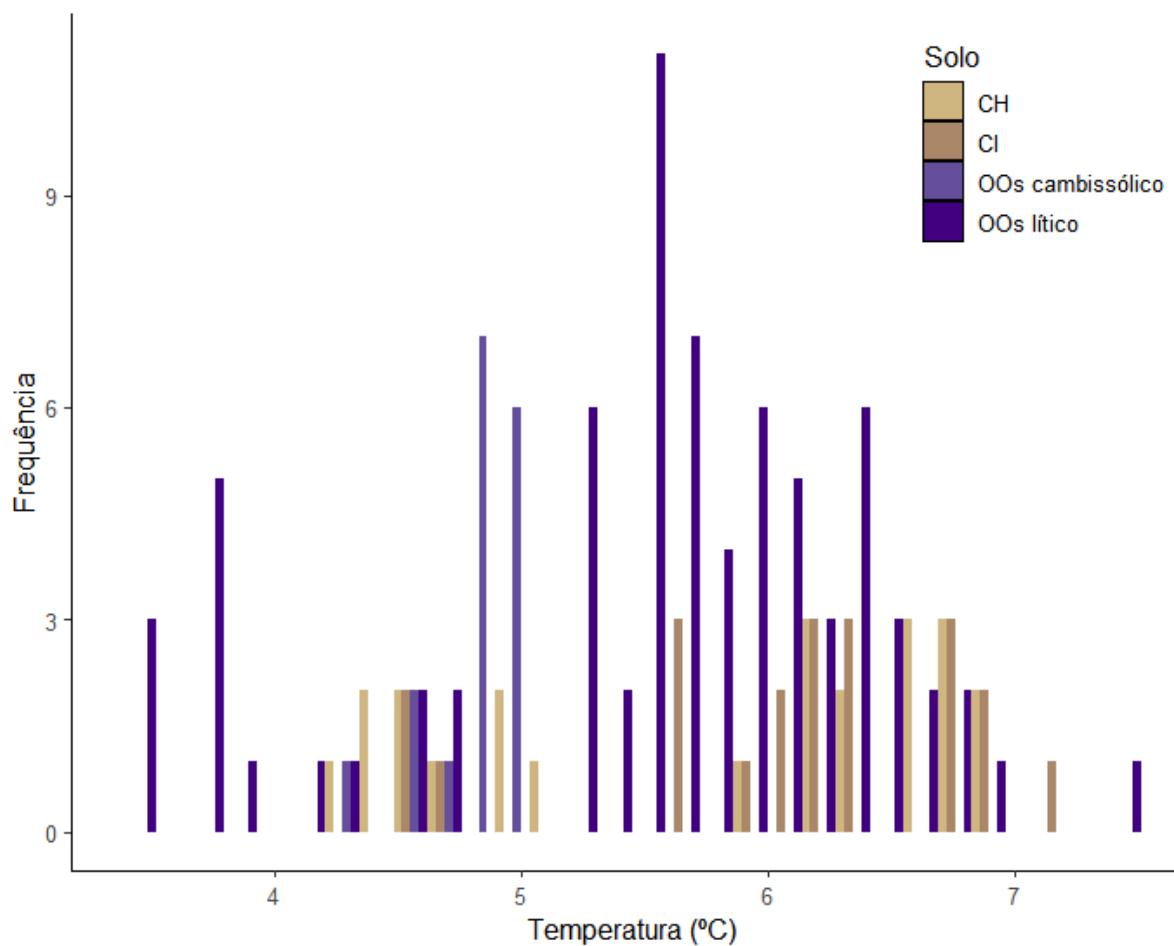


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para a variável climática TMMMF a distribuição dos dados foi similar ao padrão observado para TMA, com valores inferiores nos ambientes de formação dos OOs cambissólicos e similaridade entre os valores máximos nos locais onde ocorrem os CH, CI e OOslítico (Figura 29).

Foi observada ocorrência dos OOs líticos em locais com TMA de 14,25°C com variação entre 11,85 até 15,94°C. Em ambientes com TMA mais baixa predominam os OOs cambissólicos, principalmente em locais com TMA de 13,37°C e a variação de valores mínimos e máximos também é inferior aos demais solos avaliados, com valores entre 13,06 a 13,81°C. Os ambientes de formação dos CH apresentam TMMMF com média de 5,78°C e variação entre 4,3 a 6,9°C, enquanto nos locais onde ocorrem os CI os valores são menos variáveis, porém mais elevados, com média de 6,10°C e variação no intervalo de 4,6 a 7,2°C.

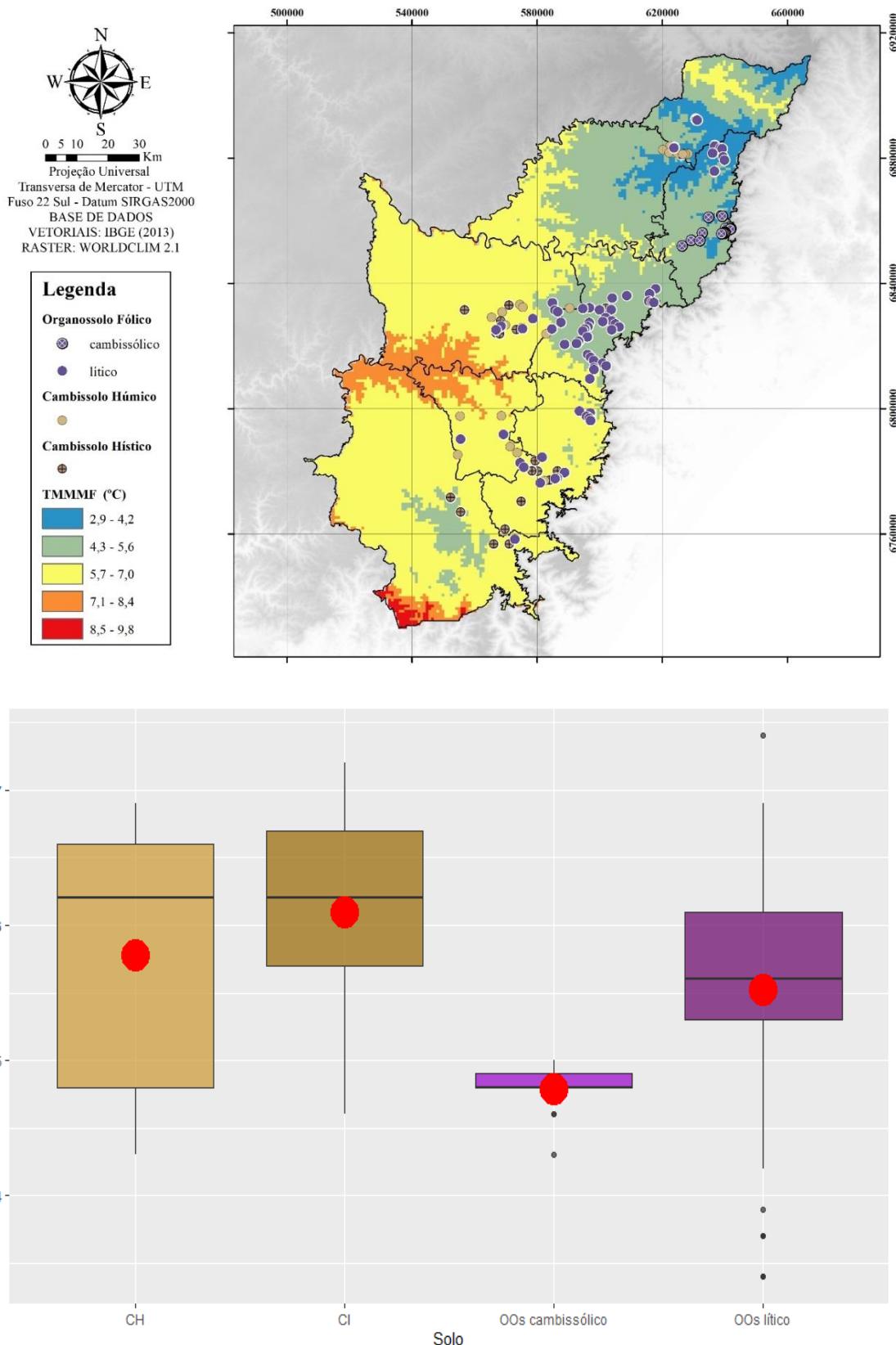
Figura 29 - Histograma da temperatura mínima do mês mais frio (°C) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As áreas onde ocorrem os OOs líticos apresentam TMMMF mais variável que os demais solos avaliados, com média de 5,52°C e valores entre 3,4 a 7,4°C. As condições mais específicas de TMMMF foram observadas nos ambientes onde predominam os OOs cambissólicos, com média de 4,78°C e variação entre 4,3 a 5,0°C (Figura 30).

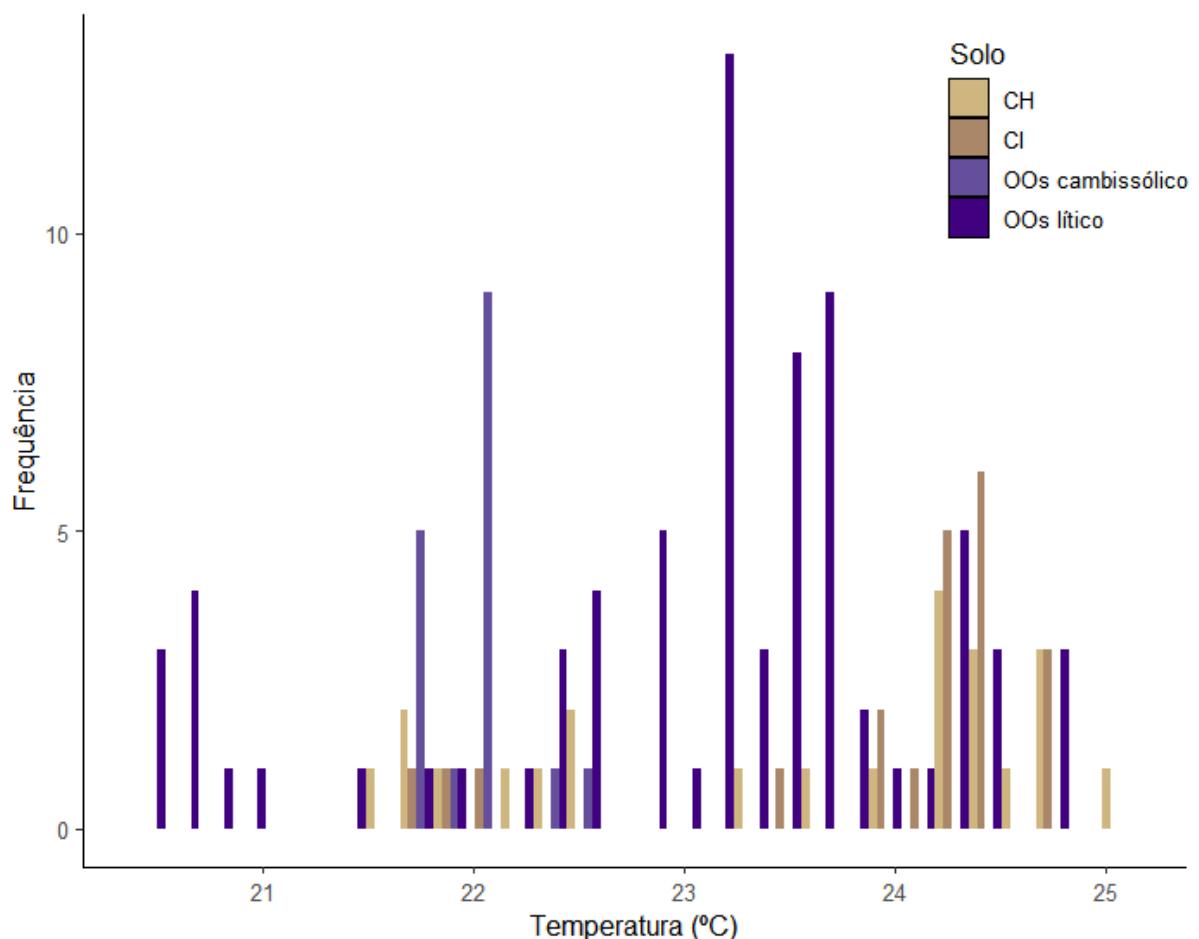
Figura 30 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura mínima do mês mais frio – TMMMF (°C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quanto a variável climática TMMMQ foram observadas diferenças entre os valores médios e mínimos nos ambientes avaliados. A relação observada foi similar às variáveis TMA e TMMMF com valores inferiores nos ambientes onde ocorrem os OOs cambissólicos (Figura 19). Os valores mais elevados foram observados para os ambientes onde ocorrem os CH, CI e OOs líticos. Os CH ocorrem em locais com TMMMQ entre 21,5 a 25,0°C com média de 23,54°C enquanto os CI ocorrem em ambientes com TMMMQ menos variável, no intervalo de 21,7 a 24,7°C e média de 23,96°C (Figura 31).

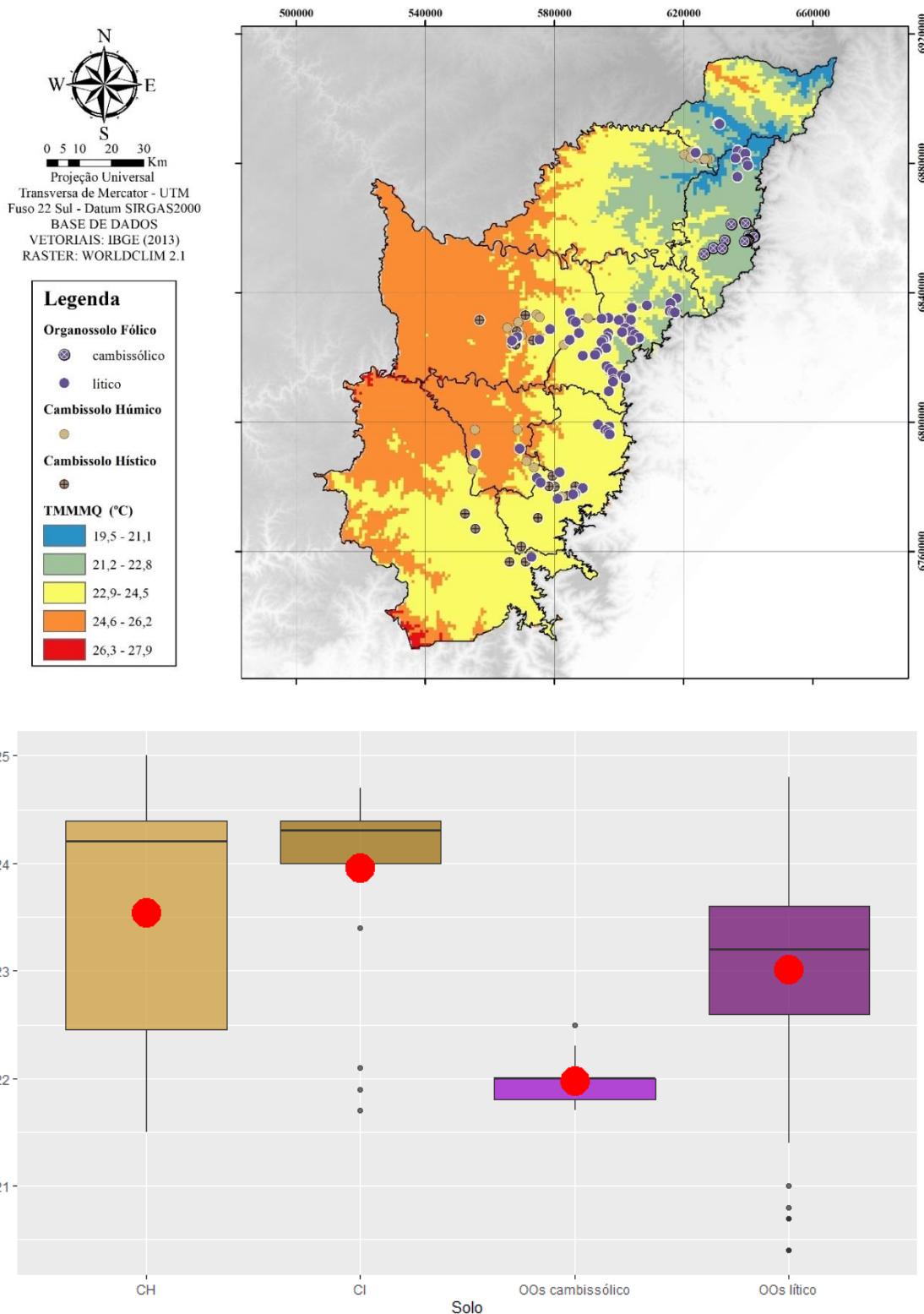
Figura 31 - Histograma da temperatura máxima do mês mais quente (°C) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os ambientes de formação dos OOs cambissólicos apresentaram TMMMQ média de 21,98°C com variação no intervalo entre 21,7 a 22,5°C, inferior ao observado nos demais solos. Nos locais onde predominam os OOs líticos a TMMMQ apresentou a maior variabilidade dentre os solos avaliados com variação no intervalo entre 20,4 a 24,8°C e média de 23,01°C (Figura 32).

Figura 32 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura máxima do mês mais quente – TMMMQ ($^{\circ}\text{C}$) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



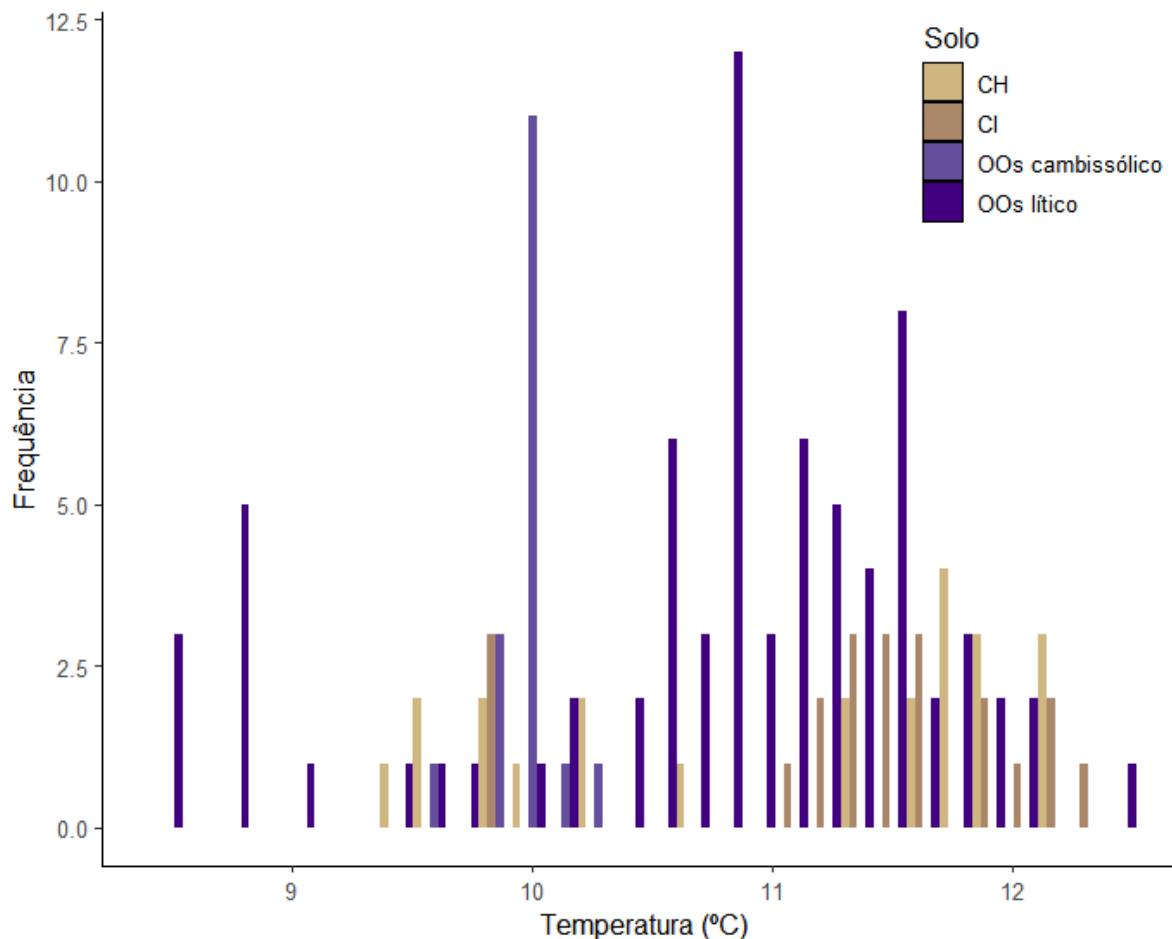
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para a variável climática trimestral referente a temperatura mínima do mês mais frio (TMTMF) foi observada tendência similar às variáveis que consideram um único mês

específico (TMMMQ e TMMMF). As menores TMTMF foram observadas nos locais onde predominam os OOs líticos. Os ambientes onde predominam os CI e OOs líticos apresentam intervalos de ocorrência preferencial mais específicos que os demais solos avaliados (Figura 33).

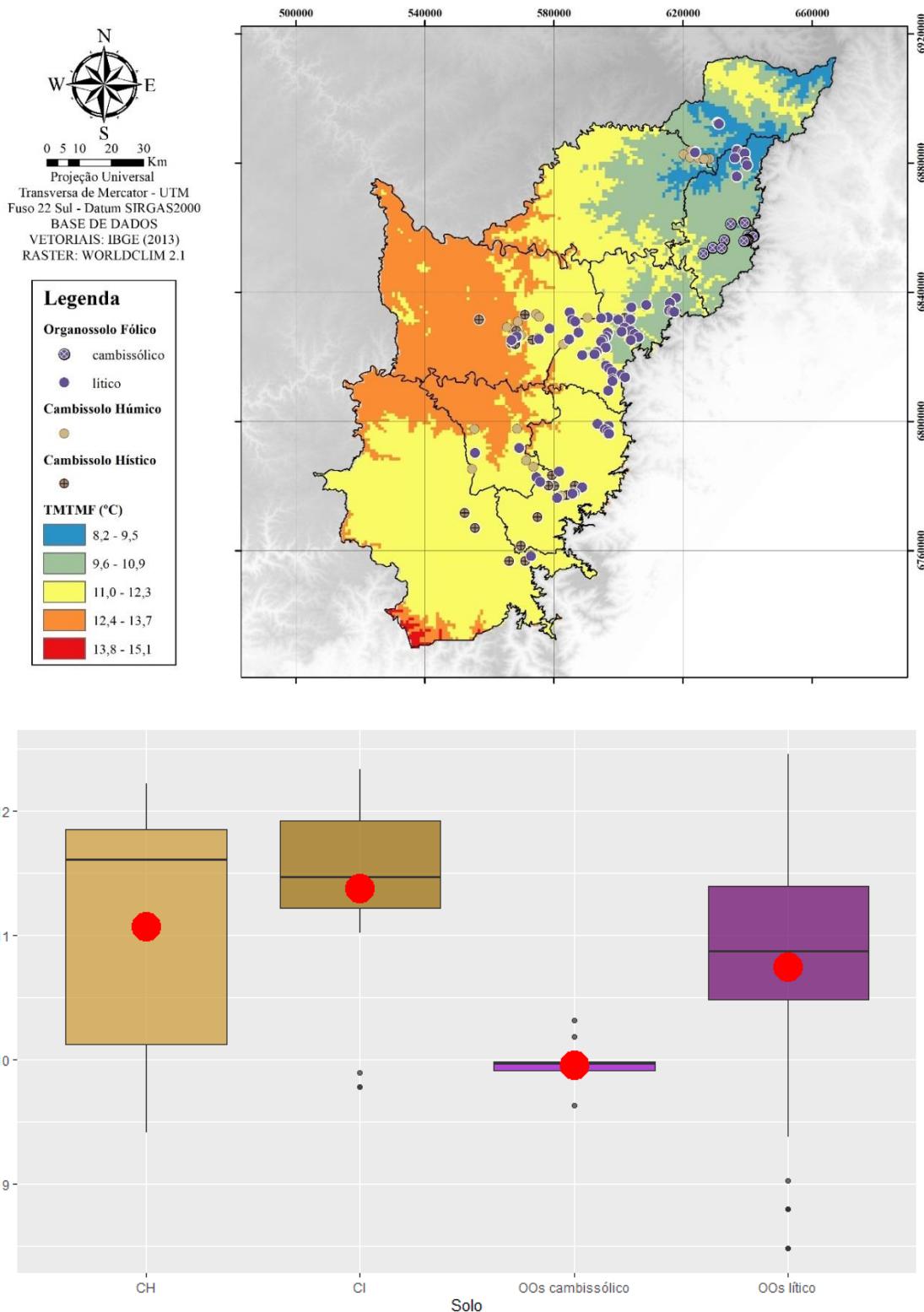
Ao analisar os valores médios, mínimos e máximos de TMTMF são observadas similaridades entre os Cambissolos (Figura 34). Foi observada ocorrência dos CH em áreas com TMTMF média de 11,07°C com variação no intervalo de 9,42 a 12,22°C enquanto os CI ocorrem em locais com TMTMF médio de 11,38°C e os dados variam no intervalo de 9,78 a 12,33°C. As maiores diferenças entre os Cambissolos avaliados são observadas ao analisar o intervalo de ocorrência preferencial de TMTMF. Os CH apresentam predomínio de ocorrência na faixa de 10,12 a 11,85°C enquanto os CI ocorrem preferencialmente no intervalo entre 11,22 a 11,92°C.

Figura 33 - Histograma da temperatura mínima do trimestre mais frio (°C) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 34 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média do trimestre mais frio – TMTMF ($^{\circ}\text{C}$) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

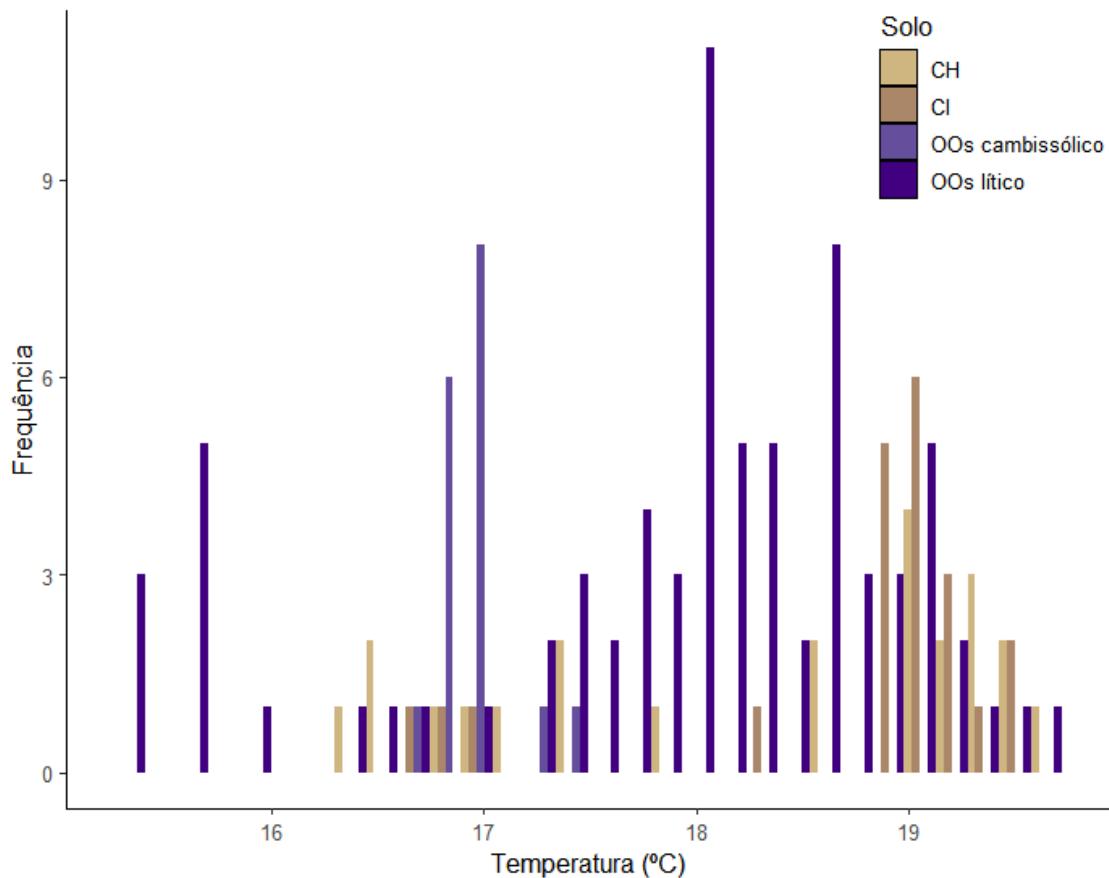
Foram observadas diferenças entre os ambientes de formação dos Organossolos avaliados, com destaque aos valores médios, mínimos e máximos. Os OOs líticos ocorrem em locais com TMTMF média de 10,74°C e variação de 8,48 a 12,45°C com ocorrência preferencial entre 10,49 a 11,40°C.

Assim como foi observado para as variáveis TMA e TMMMF, os OOs cambissólicos ocorrem em condições específicas de TMTMF com média de 9,96°C e valores entre 9,63 a 10,32°C. A faixa de ocorrência preferencial dos OOs cambissólicos também é mais específica que os demais solos, com ocorrência preferencial no intervalo entre 9,92 a 9,98°C.

A variável TMTMQ seguiu a mesma tendência das demais variáveis climáticas de temperatura avaliadas (TMA, TMMMF, TMMMQ e TMTMF), com valores médios de TMTMQ e intervalo de ocorrência preferencial inferiores nos ambientes onde predominam os OOs cambissólicos. Foi observada similaridade entre os valores máximos dos Cambissolos e OOs líticos avaliados (Figura 35).

Os ambientes de formação dos OOs líticos apresentam as temperaturas mais elevadas, os quais ocorrem em condições de TMTMQ média de e variação de 15,3 a 17,3°C. Os OOs cambissólicos ocorrem em ambientes com TMTMQ média de 16,94°C e variação de 16,63 a 17,43°C com predomínio na faixa de 16,83 a 16,98°C enquanto a ocorrência dos OOs líticos é mais variável, com TMTMQ média de 17,9°C variando de 15,33 a 19,58°C com predomínio de ocorrência na faixa de 17,53 a 18,60°C (Figura 36).

Figura 35 - Histograma da temperatura máxima do trimestre mais quente (°C) conforme as classes de solos avaliadas.

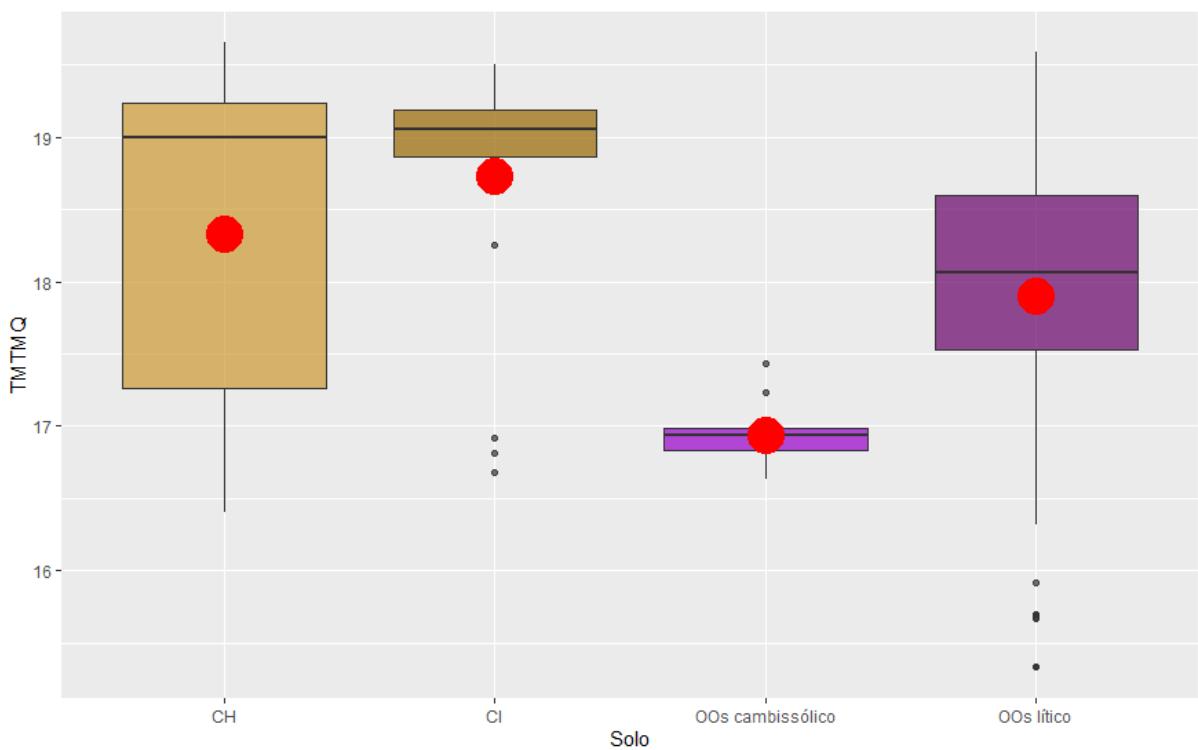
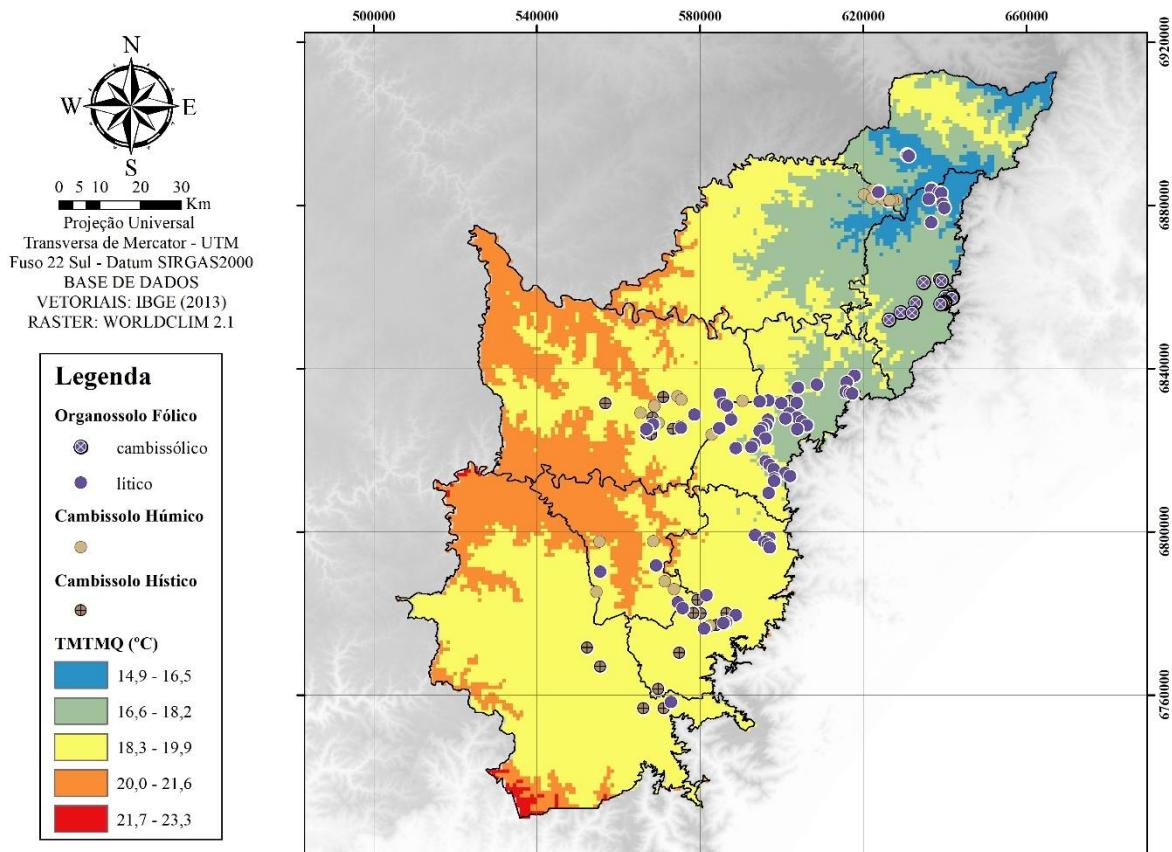


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos locais onde ocorrem os CH foram observadas condições de TMTMQ com média de 18,33°C com variação de 16,4 a 19,65°C. Para os ambientes onde predominam os CI foram observadas condições específicas de ocorrência com relação a TMTMQ. Os locais onde ocorrem os CI apresentaram valores de TMTMQ médio de 18,73°C com valores entre 16,68°C a 19,5°C. Essa diferença se torna mais evidente ao analisar o intervalo de ocorrência preferencial entre os Cambissolos avaliados, onde nos locais onde predominam os CH esse intervalo varia de 17,26 a 19,23°C enquanto a ocorrência preferencial dos CI é restrita ao intervalo entre 18,87 a 19,18°C.

Conforme descrito na literatura (BECKER; KUZYAKOV, 2018; GERSCHLAUER et al.; 2019) é essencial considerar a variação sazonal da temperatura, nesse caso representada pelas variáveis TMMF, TMMQ, TMTMF e TMTMQ, as quais representam um fator significativo na dinâmica e decomposição da MO. Esses mesmos autores destacam que pequenas variações sazonais de temperatura em locais de elevadas altitudes influenciam significativamente a taxa de decomposição da serapilheira.

Figura 36 - Mapa (a) e box-plot (b) da temperatura média do trimestre mais quente – TMTMQ ($^{\circ}$ C) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os resultados obtidos por Gerschlauer et al. (2019) destacam a relação entre a temperatura e variáveis diretamente relacionadas a dinâmica da MO no solo. De forma similar, no presente estudo também foi observada relação entre temperatura e os solos avaliados, o que concorda com as conclusões obtidas em estudos sobre a dinâmica da decomposição da matéria orgânica em solos (BECKER; KUZYAKOV, 2018).

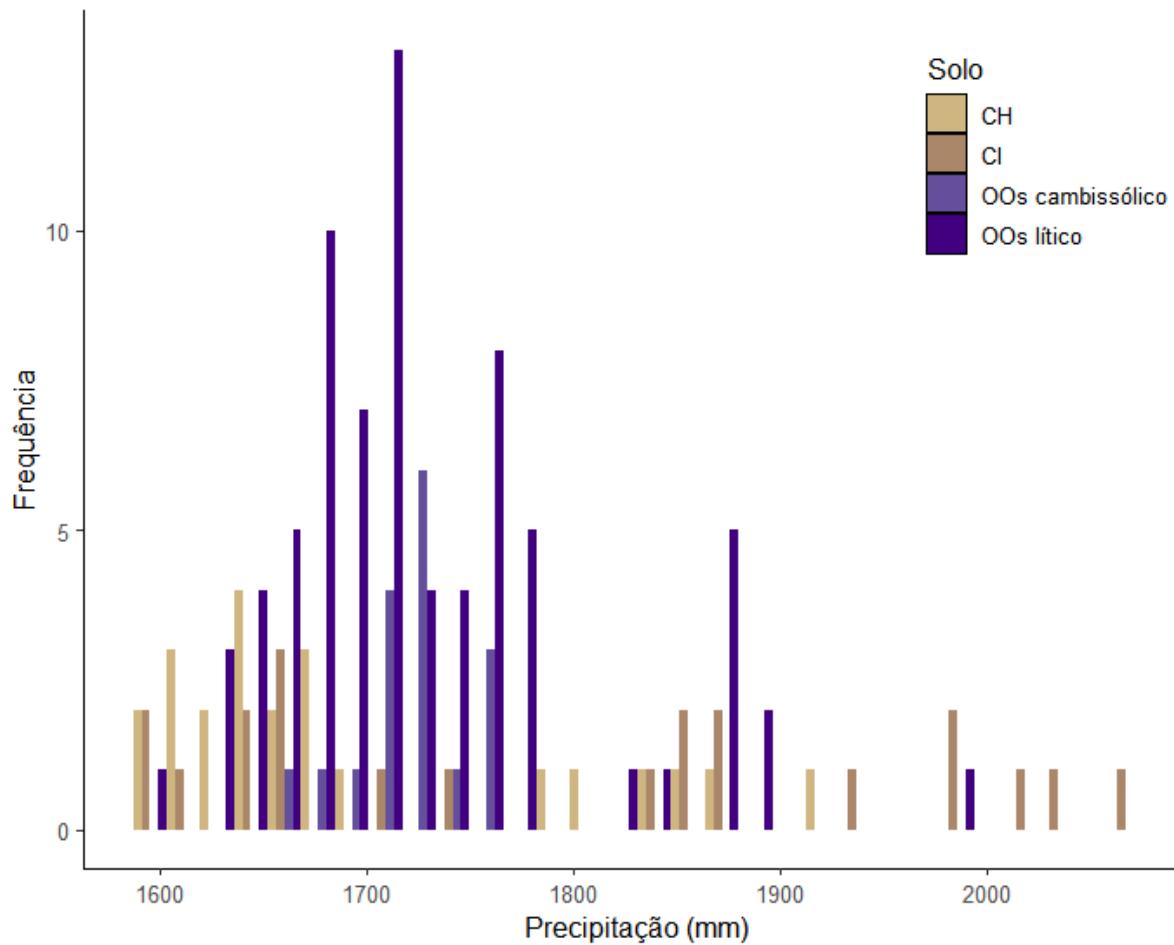
A diferença de temperatura observada nas variáveis climáticas analisadas indica o efeito do clima no acúmulo de CO nas camadas superficiais, onde é mais acentuado em locais de clima ameno o que favorece a formação dos solos com horizonte hístico (CI, OOs cambissólico e OOs lítico) enquanto nos ambientes com temperaturas mais elevadas a ação dos microorganismos e mineralização da matéria orgânica ocorre com maior intensidade com menor acúmulo de MO nas camadas superficiais (SILVA; MENDONÇA, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), o que favorece a formação dos CH.

6.4.8 Precipitação

Quanto as variáveis climáticas relativas as precipitações foram avaliadas a precipitação anual (PA), precipitação do mês mais seco (PMMS), precipitação do mês mais úmido (PMMU), precipitação do trimestre mais seco (PTMS) e precipitação do trimestre mais úmido (PTMU). Todas as variáveis foram obtidas na plataforma WorldClim 2.1 e posteriormente categorizados de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). A tabela 5 apresenta a estatística descritiva das variáveis climáticas relativas a precipitação conforme os diferentes solos avaliados.

Ao analisar os valores de PA é possível observar diferenças entre os solos avaliados com maior variação dos valores mínimos e máximos nos ambientes onde predominam os CI (Figura 37). Nas áreas de ocorrência dos OOs cambissólicos foram observadas condições específicas de PA, com destaque ao intervalo de ocorrência preferencial (Figura 38).

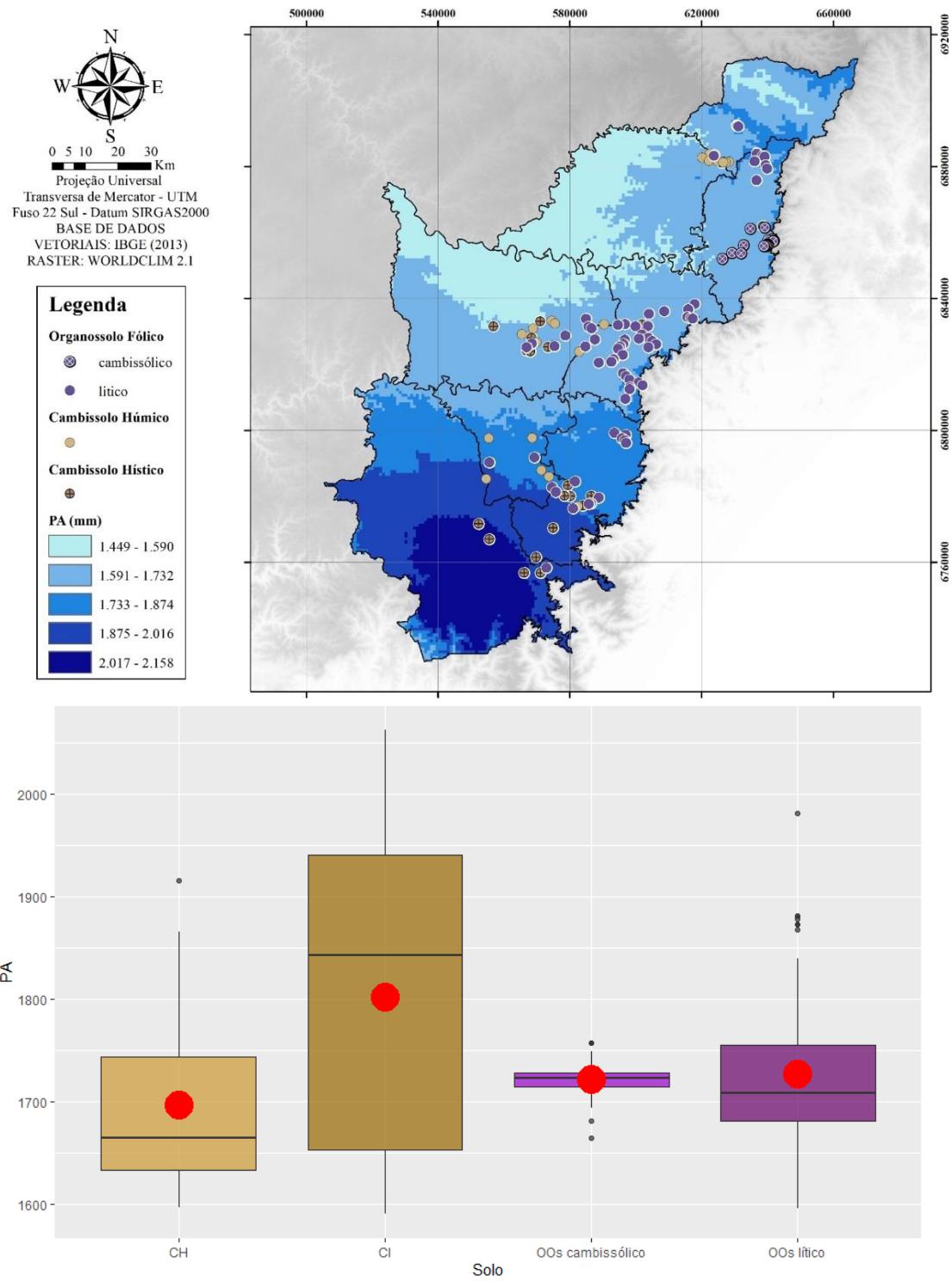
Figura 37 - Histograma da precipitação anual (mm) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos ambientes de formação dos Cambissolos foram observadas diferenças de PA entre os CH e CI avaliados, com maior variabilidade nos locais onde ocorrem os CI. Nas áreas com predomínio de CH a PA variou de 1597 a 1915 mm, com média de 1697 mm, enquanto nos locais onde ocorrem os CI a PA apresentou intervalo de variação superior, com média de 1802 mm e valores entre 1590 a 2062 mm. Ao analisar o intervalo de ocorrência preferencial fica evidente a relação observada, onde os CH ocorrem preferencialmente no intervalo de 1633 a 1744 mm enquanto os CI ocorrem entre 1653 a 1941 mm.

Figura 38 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação anual – PA (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



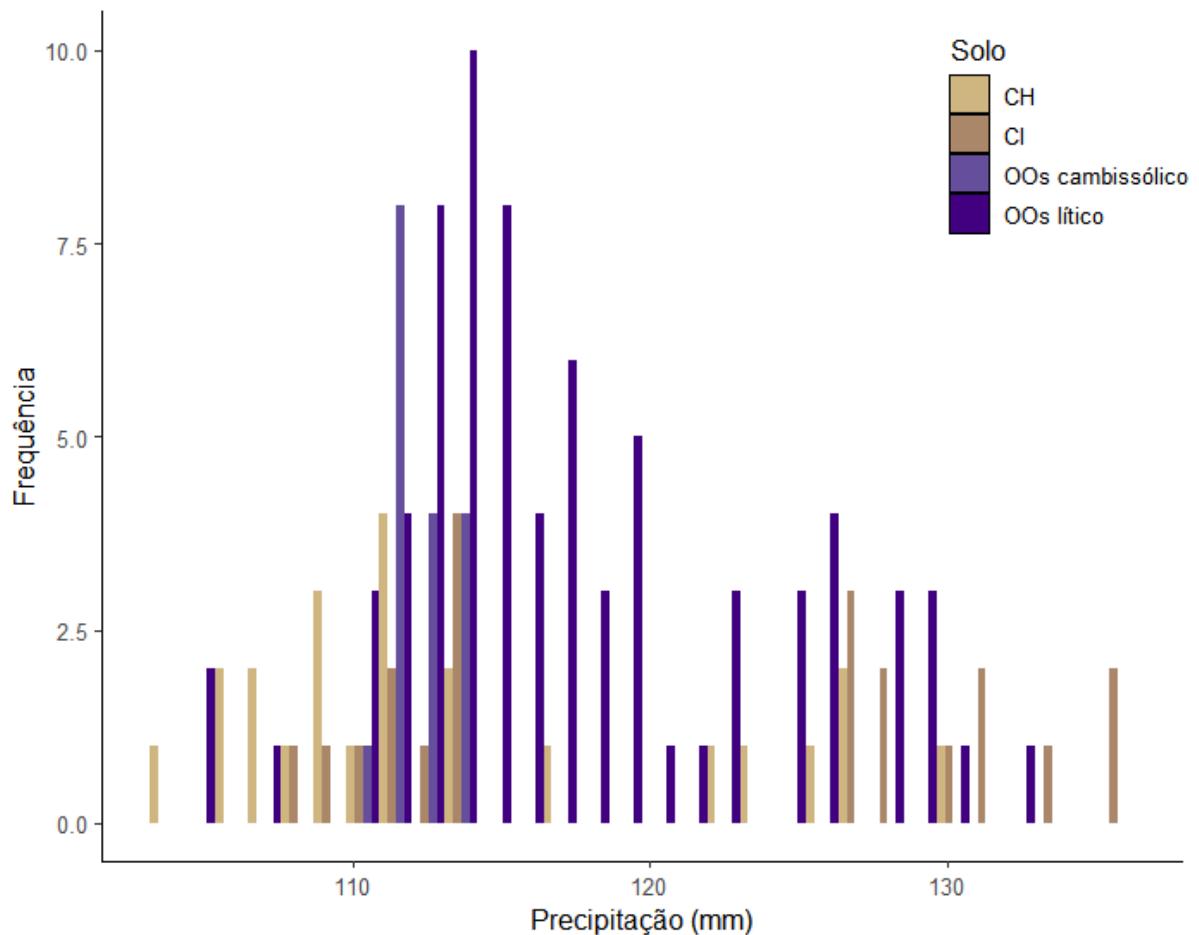
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos locais onde predominam os OOs cambissólicos foi observada a menor variação dos valores de PA, com média de 1722 mm e variação entre 1664 à 1757 mm. O intervalo de ocorrência preferencial foi inferior aos demais solos avaliados, com valores no intervalo de 1714 à 1728 mm. Com relação aos valores médios os ambientes de formação dos OOs líticos apresentam PA média de 1727 mm, similar ao observado nos locais onde ocorrem os OOs cambissólicos. No entanto a variação entre valores mínimos e máximos é superior, com valores entre 1596 à 1981 mm assim como o intervalo de ocorrência preferencial, o qual é mais variável com valores no intervalo de 1681 a 1755mm.

Quanto a PMMS a relação foi similar a PA, com maior variabilidade nos ambientes onde predominam os CI e valores inferiores de PMMS nas áreas onde ocorrem os OOs cambissólicos (Figura 39).

Os ambientes de formação dos CH apresentam PMMS com média de 114 mm e variação entre 104 a 130 mm com maior ocorrência no intervalo de 108,5 a 120 mm. Os valores mais elevados de PA foram observados nos ambientes de formação dos CI, onde a PMMS apresentou média de 121,6 mm. O intervalo entre os valores mínimos e máximos também foi mais variável, com variação de 108 a 136 mm e maior ocorrência entre 113 a 130 mm (Figura 40).

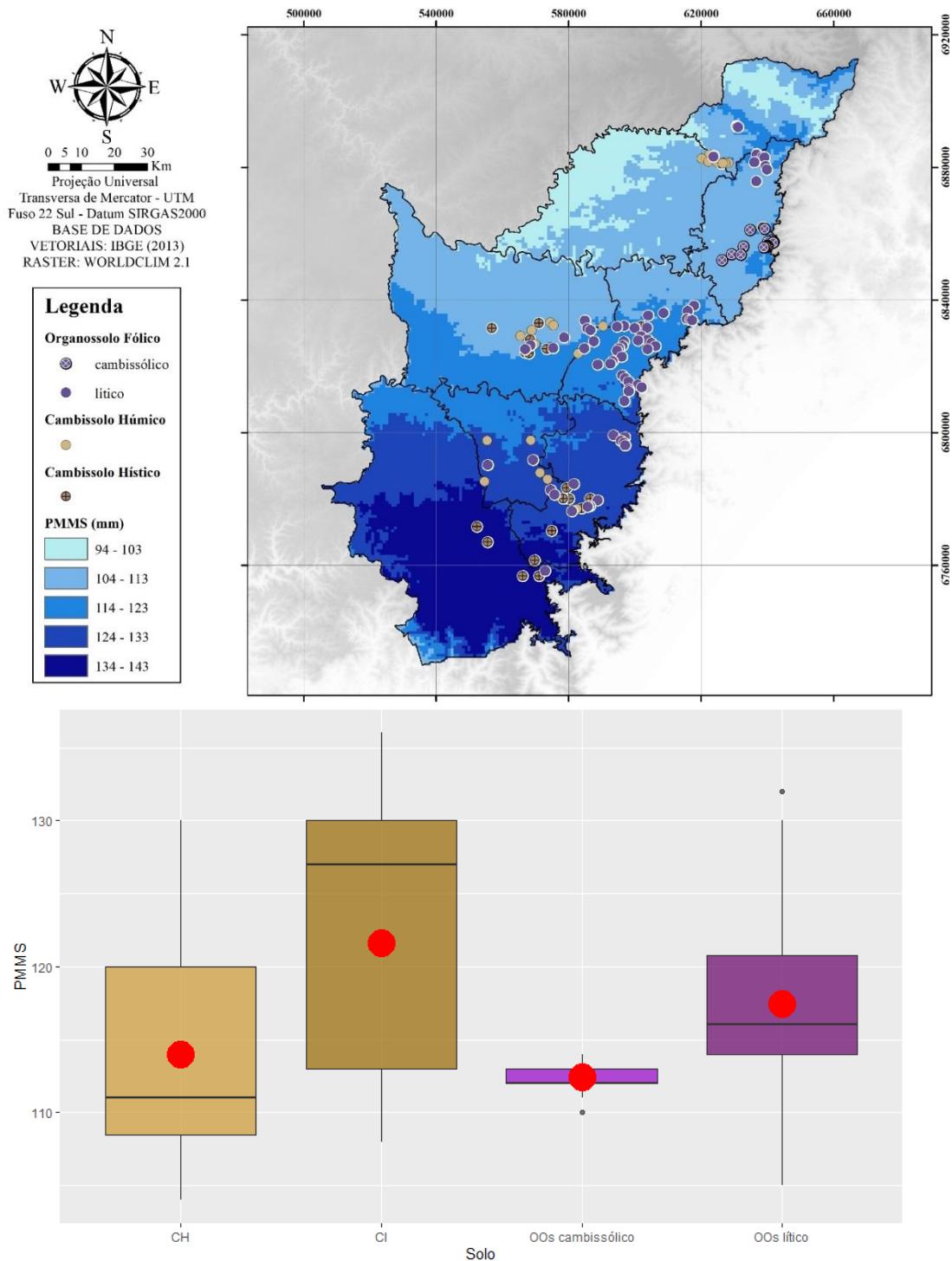
Figura 39 - Histograma da precipitação do mês mais seco (mm) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nos ambientes de formação dos OOsc cambissólicos a PMMS apresentou média de 112,4 mm com variação de 110 a 114 mm enquanto os OOslíticos ocorrem em ambientes com PMMS mais elevada, com média de 117,4 mm e valores entre 105 à 132 mm. O intervalo de ocorrência preferencial dos Organossolos também apresentou diferenças onde os OOsc cambissólicos ocorrem preferencialmente no intervalo de 112 à 113 mm enquanto os OOslíticos ocorrem em locais com PMMS mais variável, entre 114 a 120,8 mm.

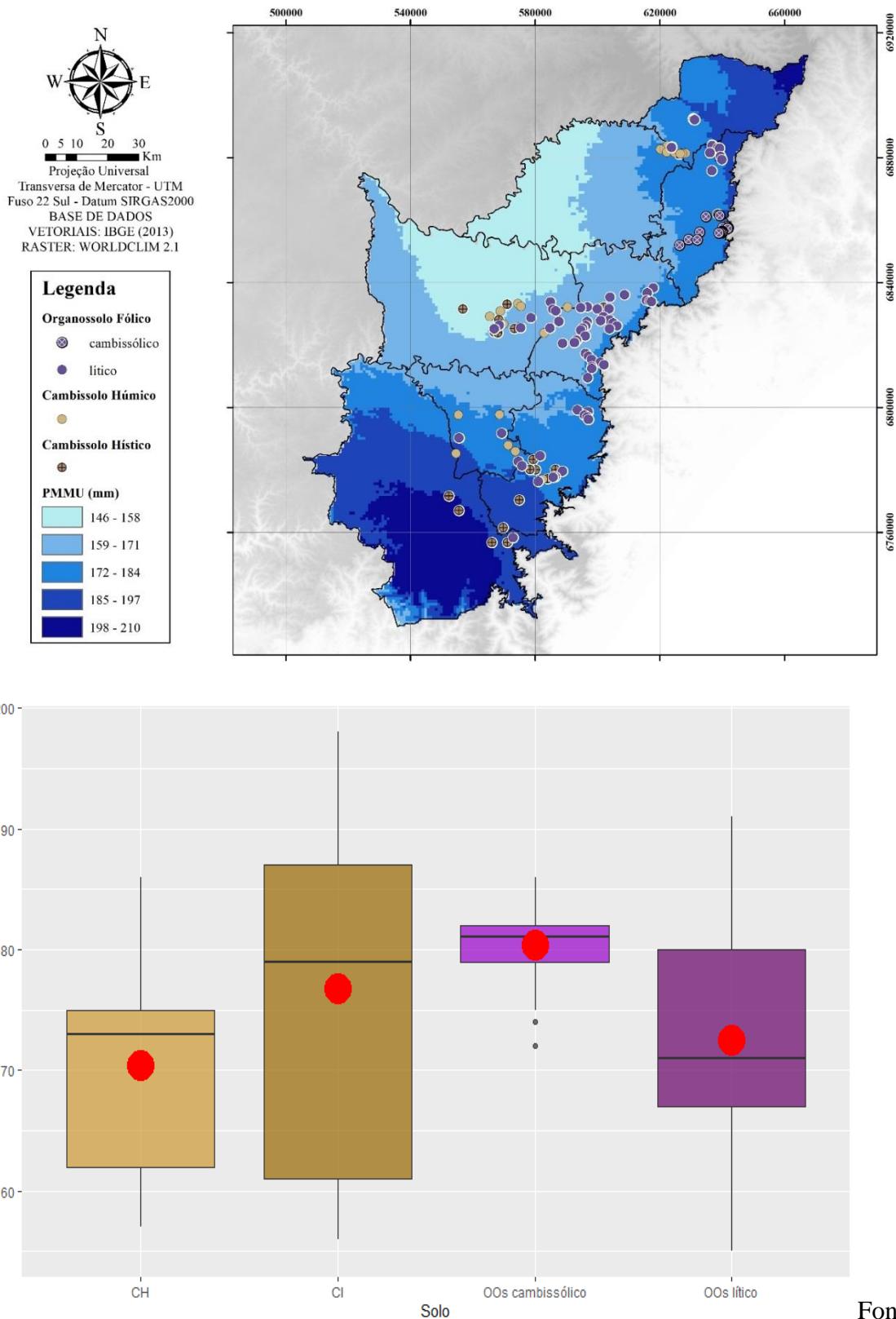
Figura 40 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do mês mais seco – PMMS (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para a variável climática PMMU foram observadas diferenças entre os ambientes de ocorrência dos Organossolos avaliados, principalmente quanto a média e o intervalo de ocorrência preferencial (Figura 41).

Figura 41 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do mês mais úmido – PMMU (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



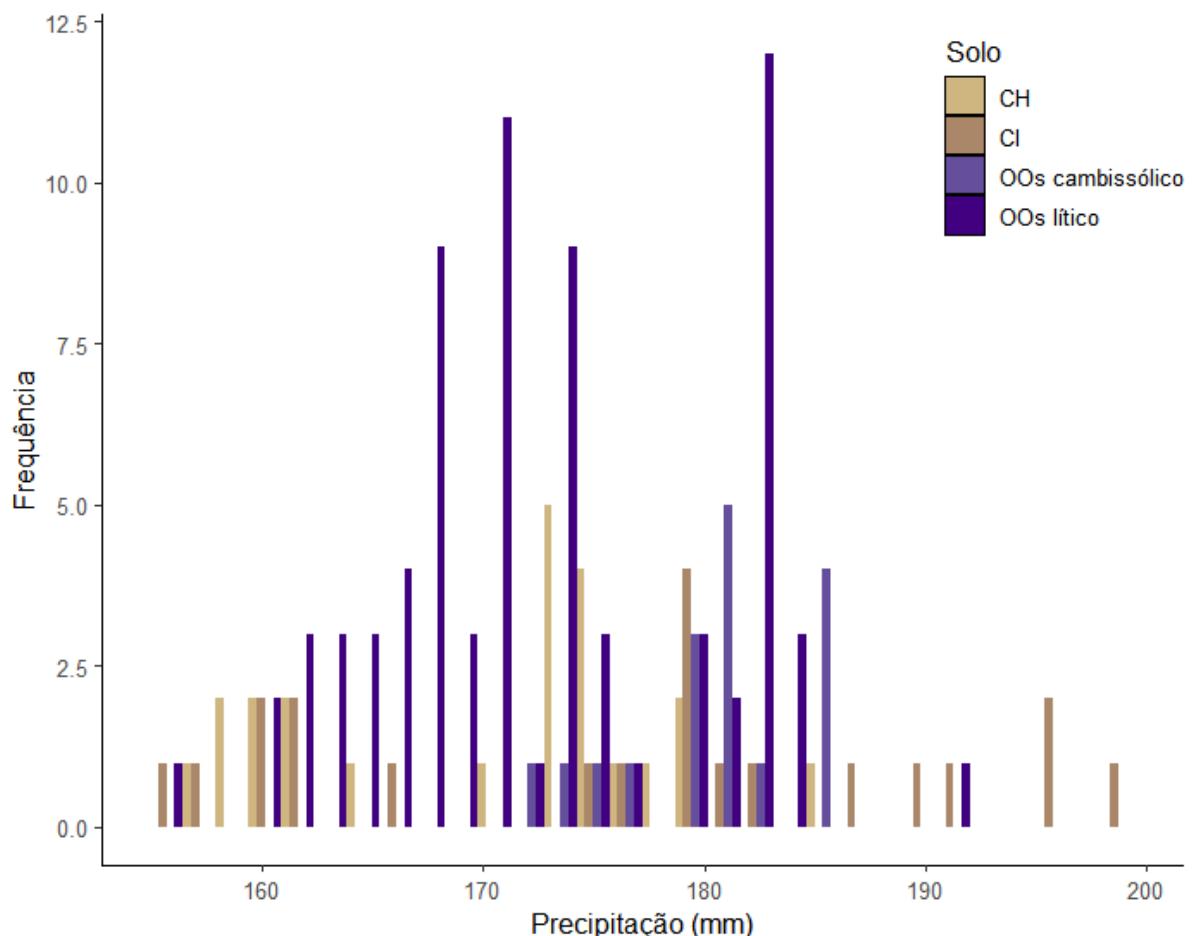
Fonte:

Elaborado pelo autor, 2021.

. Diferentemente da relação observada para PA e PMMS, os OOs cambissólicos ocorrem em ambientes com PMMU mais elevada quando comparado aos locais onde predominam os OOs líticos. Nos locais onde ocorrem os Cambissolos foi observada relação similar à PA e PMMS, com maior variabilidade onde ocorrem os CI (Figura 42).

A variável climática PMMU foi similar entre os Cambissolos avaliados, com menor variabilidade dos dados nos ambientes de ocorrência dos CH e valores mais elevados e maior variação nos locais onde predominam os CI. Nos locais onde predominam os CH a PMMU apresentou média de 170,4 mm e variou de 157 a 186 mm com ocorrência preferencial no intervalo de 162 a 175 mm, enquanto os CI ocorrem em ambientes com PMMU média de 176,8 mm com variação de 156 a 198 mm e maior ocorrência entre 161 a 187 mm (Figura 43).

Figura 42 - Histograma da precipitação do mês mais úmido (mm) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

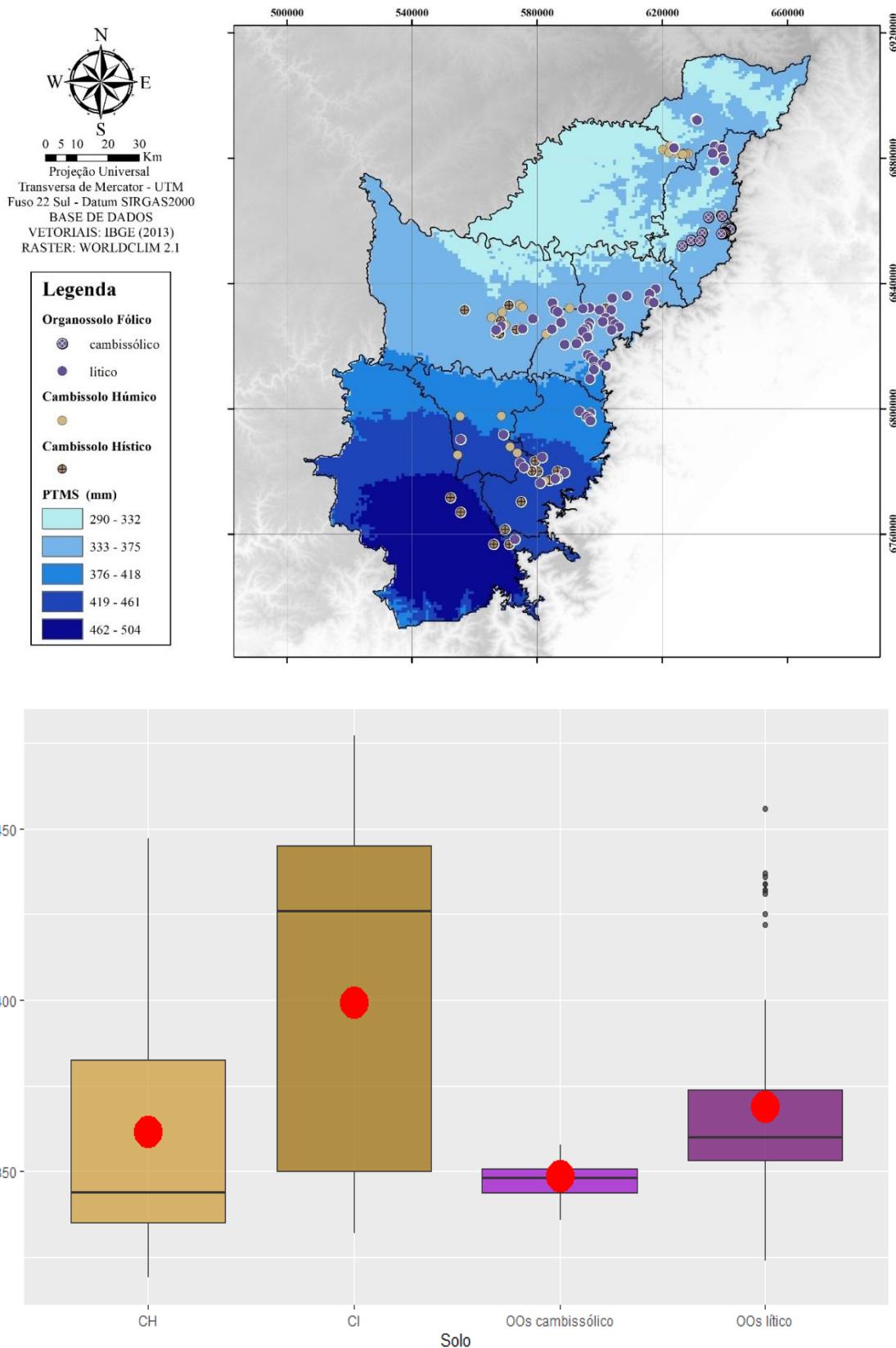
Os OOs cambissólicos ocorrem em locais com PMMU média de 180,4 mm com variação entre 172 à 186 mm e maior ocorrência no intervalo entre 179 a 182 mm. Nos ambientes de ocorrência dos OOs líticos foram observadas condições mais variáveis de PMMU, com média de 172,5 mm e valores entre 115 a 191 mm com ocorrência preferencial entre 167 a 180 mm.

Ao analisar a PTMS a relação entre os dados é similar à variável climática PMMS para os solos avaliados, principalmente em relação aos valores mínimos, médios e intervalo de ocorrência preferencial. Nas áreas com predomínio de CI o intervalo de ocorrência preferencial foi mais variável que os demais solos avaliados (Figura 43).

Os valores mínimos de PTMS foram similares entre os solos avaliados, onde os CH ocorrem em ambientes com PTMS de 319 a 447 mm e os CI entre 332 a 477 mm. Os valores da média e intervalo de ocorrência preferencial apresentaram maiores diferenças, onde nos locais onde predominam os CI foi observada PTMS média de 399,5 mm com ocorrência preferencial de 350 a 445 mm enquanto os CH ocorrem preferencialmente em locais com PTMS média de 361,8 mm e maior ocorrência na faixa de 335 a 382,5 mm.

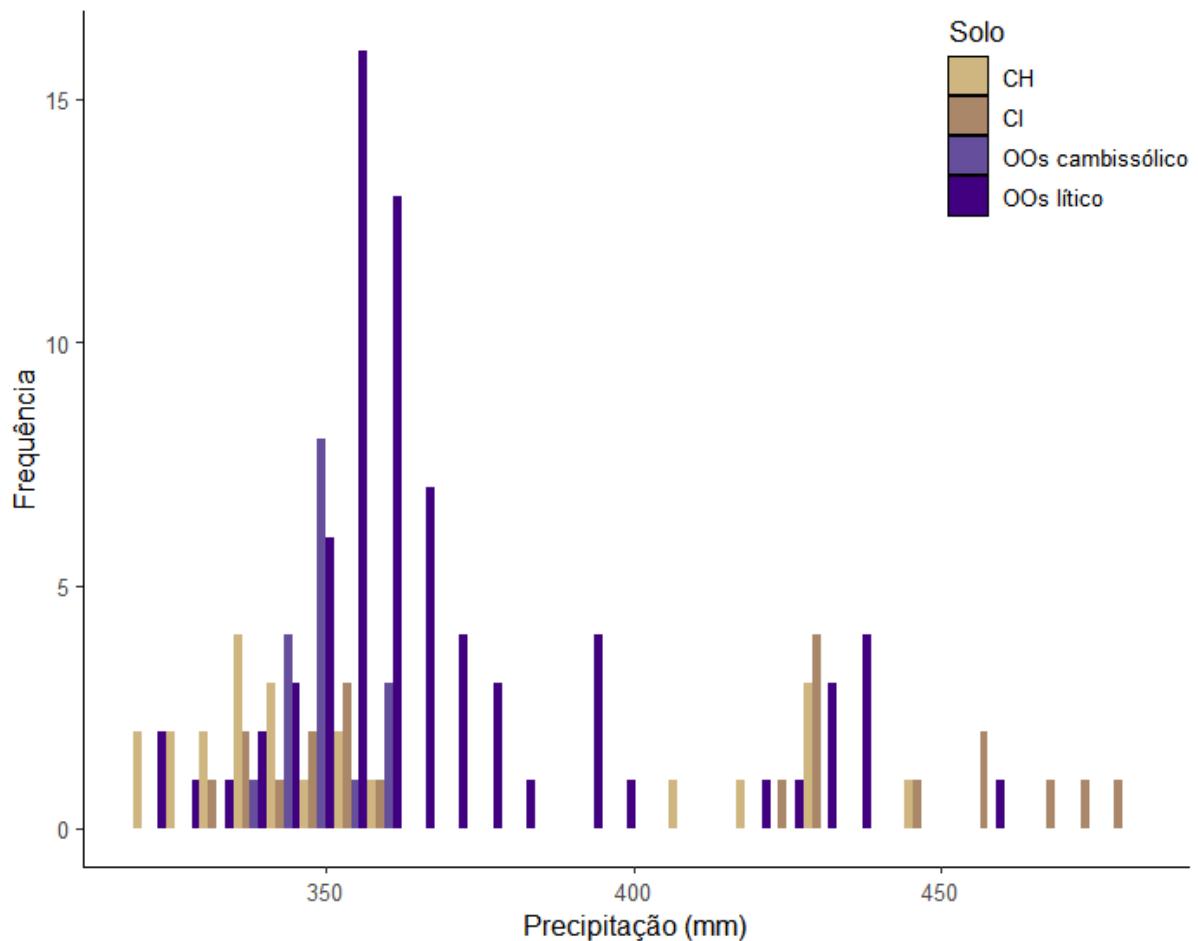
Os menores valores da média e intervalo de ocorrência preferencial foram observados para os ambientes de formação dos OOs cambissólicos, os quais ocorrem em ambientes com PTMS média de 348,9 mm, variando entre 336 a 358 mm com ocorrência preferencial no intervalo de 344 a 351 mm (Figura 44). Nos ambientes onde ocorrem os OOs líticos foram observadas situações mais variáveis de PTMS com média de 369,1 mm e variação de 324 a 456 mm com maior ocorrência na faixa de 353,2 a 373,8mm. Nos ambientes altomontanos em períodos de menor precipitação, evidenciados pela PMMS e PTMS, é comum a interceptação direta da água presente nas nuvens, a qual é retida pela vegetação e drenada lentamente às nascentes dos rios (HAMILTON et al., 1995; BRUIJNZEEL; PROCTOR, 1995).

Figura 43 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do trimestre mais seco – PTMS (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 44 - Histograma da precipitação do trimestre mais seco (mm) conforme as classes de solos avaliadas.



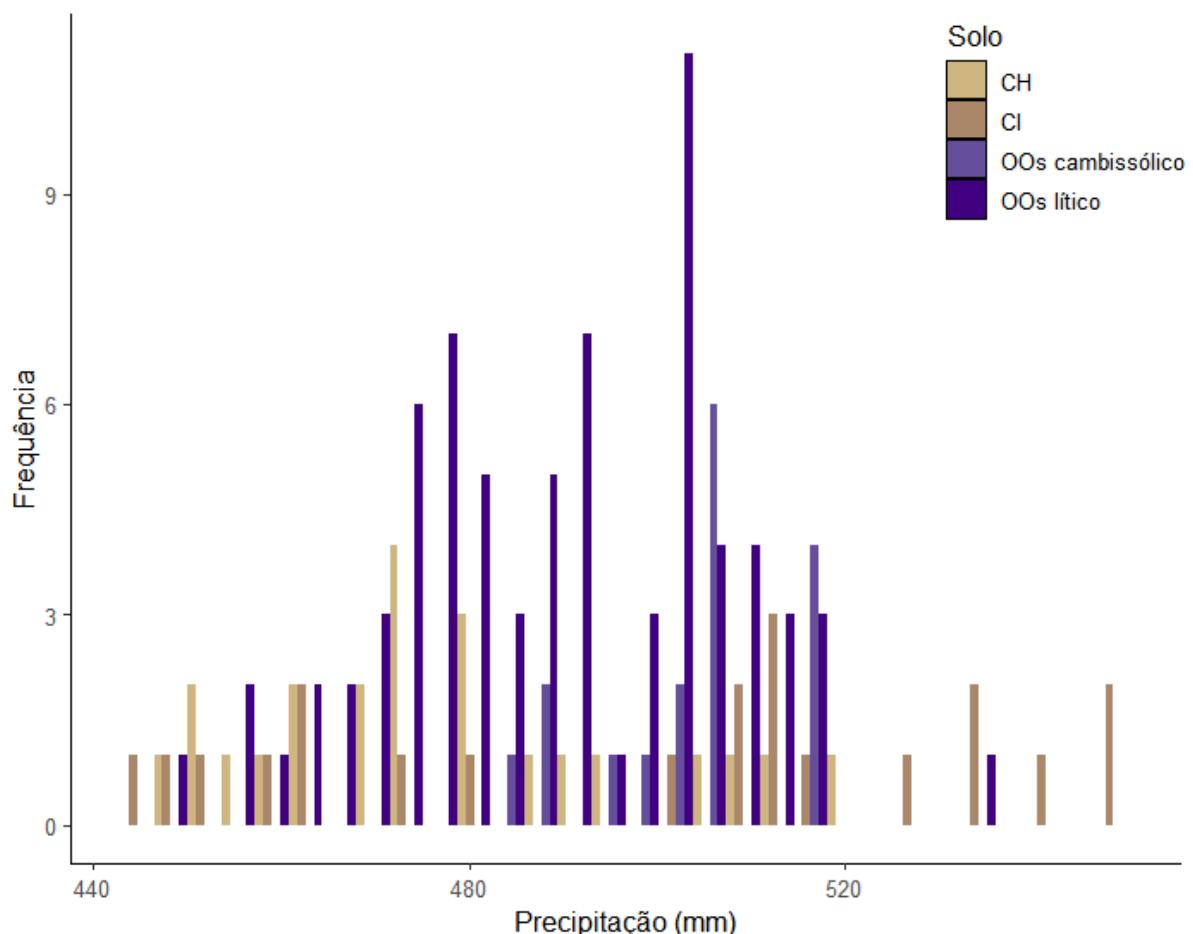
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com relação aos valores de PTMU é possível identificar a ocorrência dos OOs cambissólicos em ambientes com PTMU superior aos OOs líticos, assim como foi observado para a variável PMMU. A similaridade entre as relações observadas para as variáveis trimestrais (PTMS e PTMU) e as variáveis que consideram um único mês (PMMS e PMMU) se deve ao fato das variáveis trimestrais considerarem os três meses mais secos ou mais úmidos, dentre os quais envolve a PMMS e PMMU no cálculo (FICK; HIJMANS, 2017). Dentre os Cambissolos a variável climática PTMU apresentou relação similar às demais variáveis climáticas relativas a precipitação, com maior variabilidade nos ambientes onde predominam os CI (Figura 45).

Nos ambientes de formação dos CI foram observados os valores mais elevados de PTMU, com média de 499,6 mm e variação entre 446 a 550 mm enquanto os CH ocorrem em locais com PTMU média de 477,7mm e valores entre 449 a 521 mm. O intervalo de

ocorrência preferencial segue a mesma tendência, com valores mais elevados nos locais onde predominam os CI, os quais variam entre 464 a 526 mm enquanto nos ambientes de ocorrência dos CH a variação foi entre 462 a 489,5 mm (Figura 45).

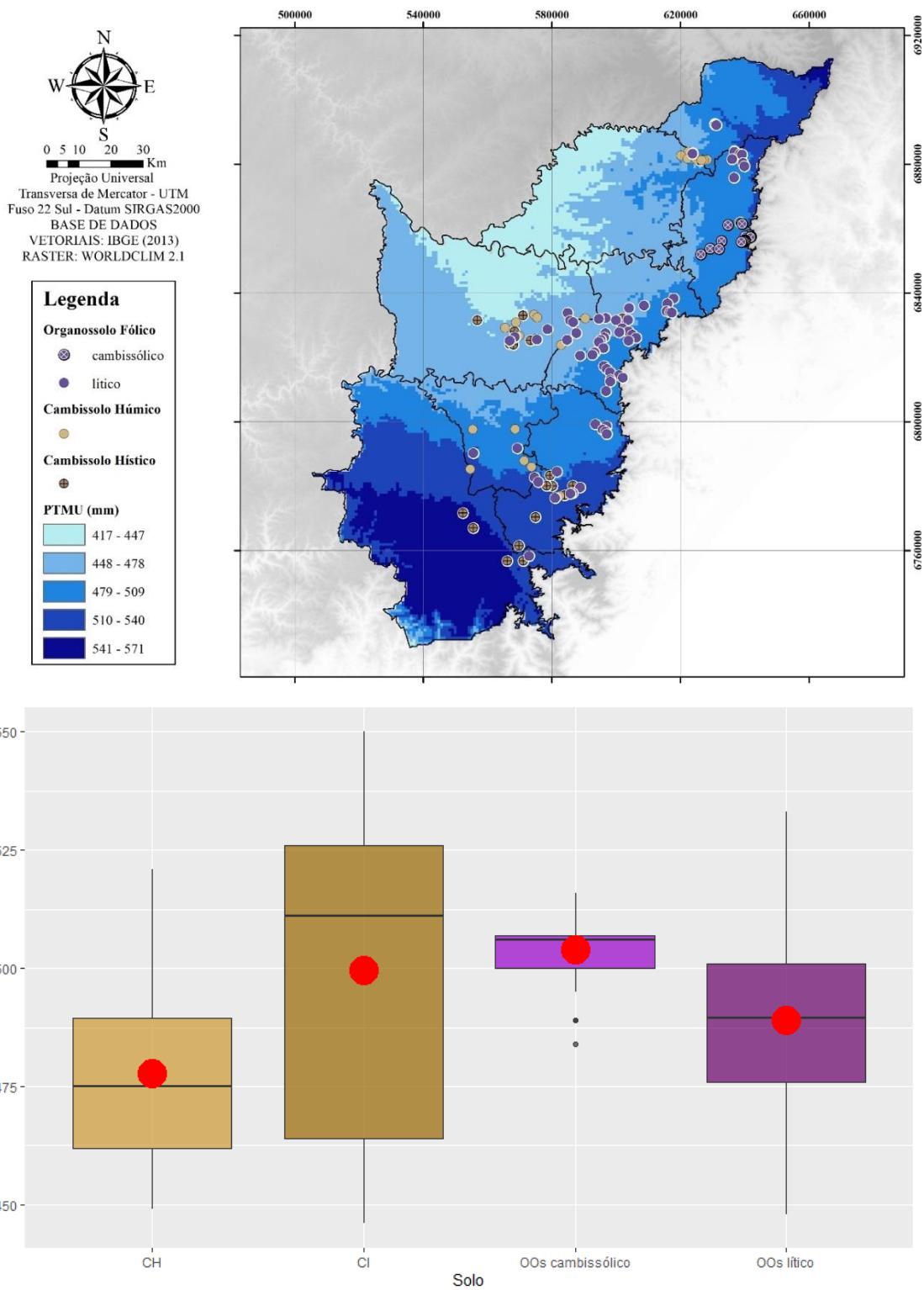
Figura 45 - Histograma da precipitação do trimestre mais úmido (mm) conforme as classes de solos avaliadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quanto aos locais onde predominam os OOs cambissólicos foi observada a menor variação de PTMU com média de 503,9 mm e valores entre 484 a 516 mm. O intervalo de maior ocorrência dos solos em questão também é inferior aos demais solos avaliados variando de 500 a 507 mm. Os OOs líticos ocorrem em ambientes com PTMU média de 489,1mm e variação entre 448 a 533 mm, porém o intervalo de ocorrência preferencial varia entre 476 a 501 mm (Figura 46).

Figura 46 - Mapa (a) e box-plot (b) da precipitação do trimestre mais úmido – PTMU (mm) nos ambientes de ocorrência dos Cambissolos e Organossolos avaliados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os solos de ambientes altomontanos apresentam efeitos na regulação dos fluxos hídricos das bacias hidrográficas e associado a vegetação pode reduzir os riscos de erosão (BENITES et al., 2007; MARTÍNEZ et al., 2009). Isto se deve às elevadas quantidades de água retida durante períodos chuvosos as quais são gradualmente drenados ao longo do tempo (SCHEER et al., 2011). As conclusões obtidas por Silva et al. (2005) ressaltam que as perdas de solo, água, nutrientes e CO em Cambissolos são fortemente influenciadas pelo efeito das chuvas e devido ao predomínio de caulinita na composição mineralógica, esses solos apresentam menor permeabilidade e maior potencial de perdas.

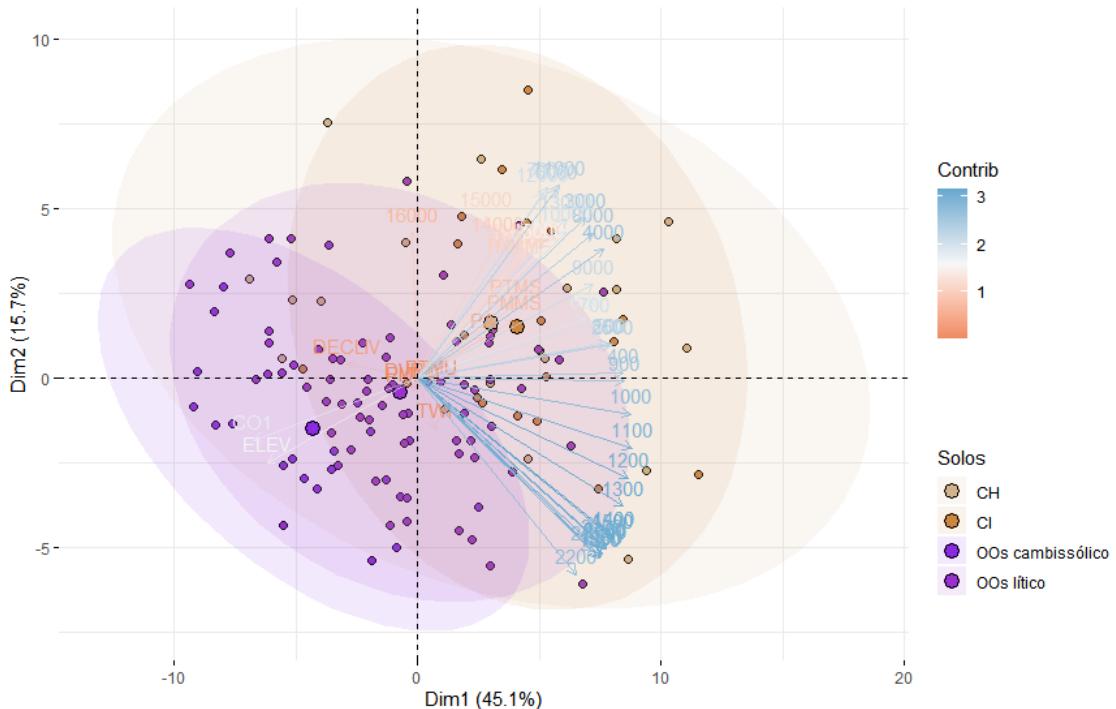
Para fins de conservação dos solos é fundamental considerar o efeito de diferentes cenários de mudanças climáticas futuras com relação ao aumento da TMA e diminuição da PA. O aumento da temperatura da superfície terrestre em ambientes de elevadas altitudes pode resultar em significativas perdas de CO dos solos (BLAGODATSKAYA et al., 2016). As considerações obtidas por Scheer et al. (2011) também ressaltam o risco dos campos altomontanos desaparecer ou reduzir sua extensão devido ao aumento da temperatura global tornar mais suscetível a oxidação e consequente erosão dos horizontes hísticos.

6.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

De acordo com a ACP a maior influência positiva foi identificada para a refletância espectral na faixa Vis-NIR-SWIR, com destaque para a faixa entre 900 a 1300 nm, a qual apresentou contribuição superior a 2 (Figura 47) nas primeira componente (Dimensão 1) e para faixa espectral de 2200 nm no segundo eixo (Dimensão 2). A refletância espectral na faixa MIR apresentou maior contribuição na segunda componente avaliada (Dimensão 2), principalmente na região espectral de 6000 a 12000 nm.

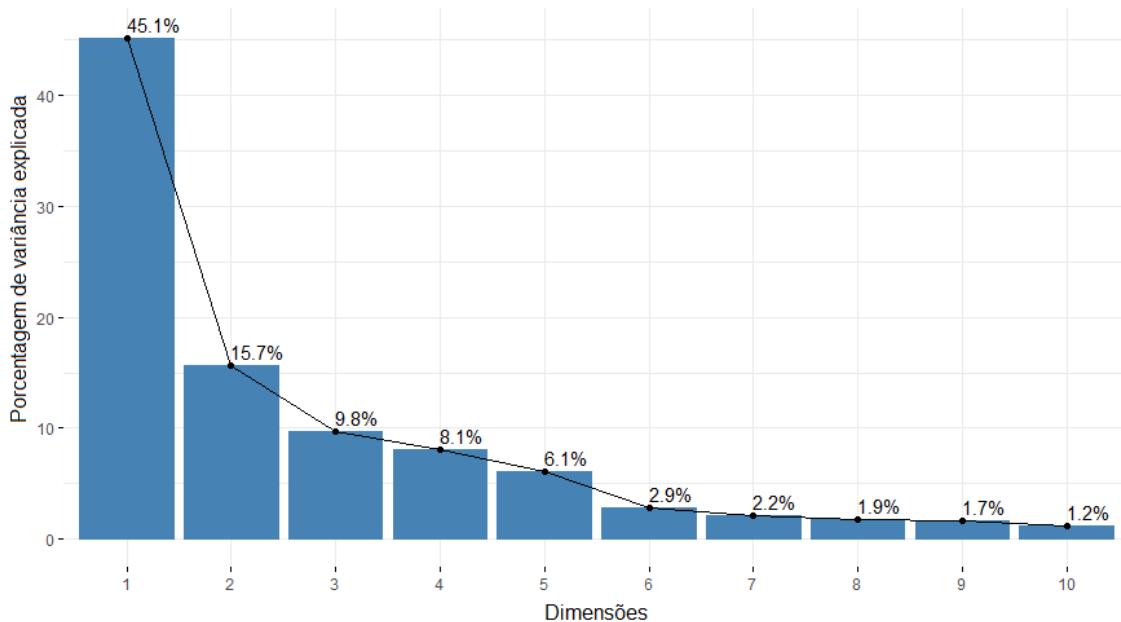
A elevação apresentou a maior influência na dimensão 1, enquanto na dimensão 2 a refletância espectral em 2200 nm foi a variável que mais influenciou as variações existentes no conjunto de dados (Figura 47).

Figura 47 - Análise de componentes principais (ACP) categorizados conforme as classes de solos avaliadas e a respectiva contribuição em cada componente para solos com elevados teores de CO (0-20 cm).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 48 - Porcentagem de variância explicada conforme as componentes principais em solos com elevados teores de CO (0-20 cm).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

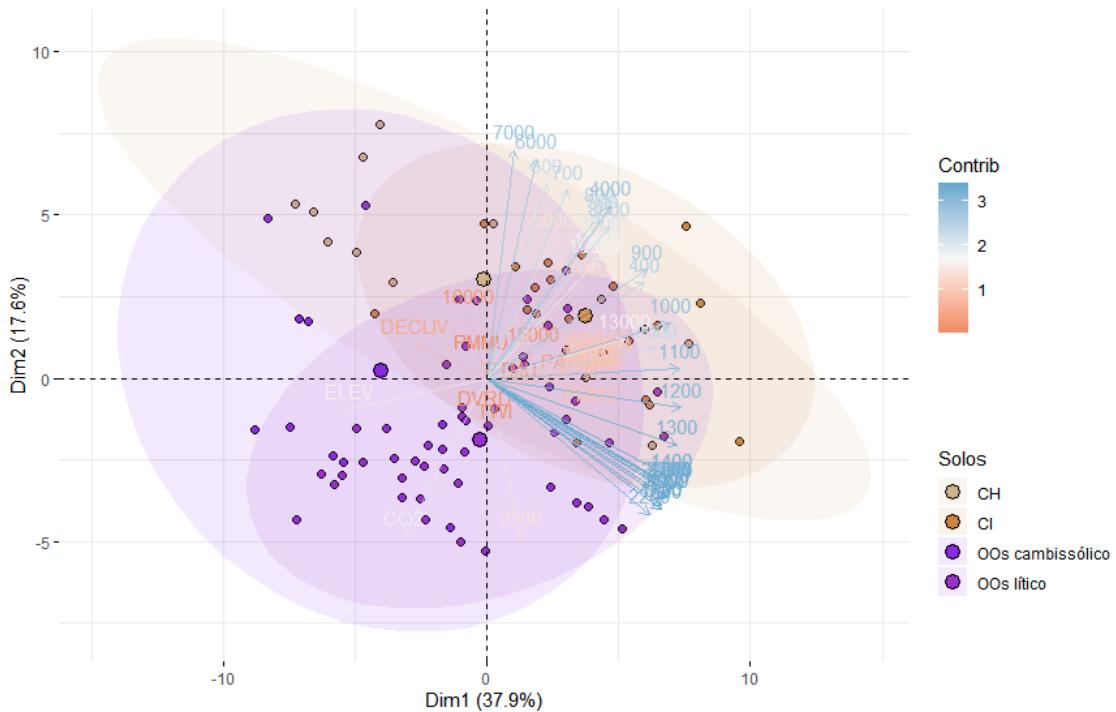
Conforme a figura 48 é possível concluir que as três dimensões avaliadas da ACP foram responsáveis por representar 70,6% da variância existente no conjunto de dados avaliados, o que permite utilizar as dimensões em questão para explicar a variância existente no conjunto de dados (JOHNSON; WICHERN, 1999). A dimensão 1 (eixo 1) representou 45,1% da variância explicada enquanto para a dimensão 2 (eixo 2) foi observado um total de 15,7% de variância explicada. As demais dimensões avaliadas apresentaram menor porcentagem de variância explicada, com valores inferiores a 10%.

Na figura 49 é possível observar os resultados da ACP para a camada de 20-40 cm, agrupados conforme os solos avaliados e a respectiva contribuição em cada componente. Com relação às principais variáveis que contribuíram destaca-se a refletância espectral na faixa do Vis-NIR-SWIR, principalmente entre 1100 a 1400nm, a qual apresentou contribuição superior a 4% na primeira componente avaliada. Na faixa do MIR a maior contribuição na PCA foi observada no intervalo entre 6000-7000nm, com contribuição superior a 7% na dimensão 2. As variáveis obtidas por sensoriamento remoto apresentaram menor contribuição para a camada de 20-40 cm conforme as componentes avaliadas. A elevação apresentou contribuição de 1,58% enquanto as variáveis relacionadas à temperatura variaram de 0,9 a 1,1%.

Para a camada de 20-40 cm a ACP demonstrou que as três dimensões avaliadas explicaram somente 65% da variância existente no conjunto de dados (Figura 50), o que não permite utilizar as componentes em questão para explicar a variância dos dados. De acordo com Johnson; Wichern (1999) para aplicações da ACP em diversas áreas do conhecimento o número de componentes da análise deve representar 70% ou mais de proporção da variância total.

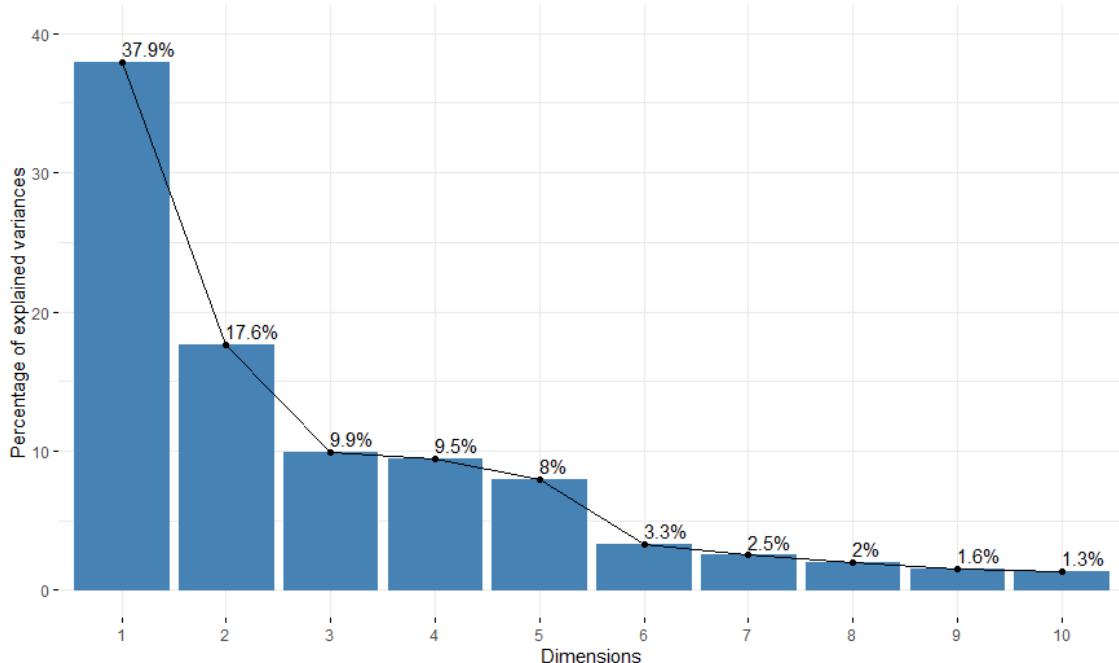
Inúmeras estratégias para integração dos dados espectrais vêm sendo estudadas tais como sistemas de classificação de solos alternativos, onde é determinado um conceito central para cada solo e com base na distância taxonômica deste é possível definir a classe de solos desconhecidos (ZENG et al., 2016; DEMATTÊ, 2019).

Figura 49 - Análise de componentes principais (ACP) categorizados conforme as classes de solos avaliadas e a respectiva contribuição em cada componente para solos com elevados teores de CO (20-40 cm).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 50 - Porcentagem de variância explicada conforme as componentes principais em solos com elevados teores de CO (20-40 cm).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A maioria dos estudos desenvolvidos para modelagem de CO exploram principalmente a ligação entre o teor de CO e o albedo (brilho) do solo. Entretanto essa relação pode ser influenciada devido a variações mineralógicas (tipo de argilomineral e teor de óxidos de ferro) os quais podem alterar significativamente a cor do solo (CASTALDI et al., 2019). Esses modelos assumem padrões de variação espectral associados a diferenças nos teores de CO das amostras analisadas, assim amostras heterogêneas quanto à composição mineral resultam em variação espectral que não está associada com CO dos solos (ARAÚJO et al., 2014; VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010).

O carbono orgânico do solo é uma característica fundamental da qualidade do solo, influenciando a variabilidade de compostos orgânicos e propriedades físicas dos solos (CARTER, 2002; MOHAMED et al., 2017). A matéria orgânica do solo é representada por compostos de carbono orgânico com características físico-químicas variáveis decorrentes dos distintos processos de decomposição das plantas. Solos com elevados teores de matéria orgânica tendem a absorver maior quantidade de energia e como consequência diminui a intensidade de refletância (THENKABAIL et al., 2011).

A complexidade estrutural da matéria orgânica compreende uma ampla heterogeneidade dos componentes e consequentemente uma grande variabilidade de respostas espetrais (CASTALDI et al., 2019). Uma forma de reduzir esse efeito consiste no ajuste e calibração de modelos preditivos em nível local com amostras semelhantes conforme proximidade geográfica ou espectral (MOURA-BUENO et al., 2019).

De acordo com Rosin et al. (2021) os melhores resultados de acurácia e calibração dos modelos foram obtidos para conjuntos de dados compostos por amostras com semelhança pedológica e conjunto de validação independente. A mesma tendência foi observada por Helfenstein et al. (2021) onde os modelos locais apresentaram menor viés, independentemente do número de amostras utilizadas na calibração.

Conforme exposto por Stoner; Baumgardner (1981) em solos com teores de CO superiores a 2% a refletância espectral diminui na faixa Vis-NIR, principalmente entre 520 a 800 nm (MOHAMED et al., 2017). Isso explica os melhores resultados observados para os modelos que incluem somente a camada superficial, pois a matéria orgânica é o principal fator que afeta a resposta espectral na faixa Vis (BEN-DOR et al., 1997 DEMATTÊ et al. 2014)

Estudos destacam o potencial da região espectral acima de 2000 nm (VISCARRA ROSSEL et al., 2016), devido a maior importância e contribuição para os modelos de predição de CO com base em conjuntos de dados com ampla gama de variação dos teores de CO e número de amostras superior a 1000 (CASTALDI et al., 2019). A região espectral do Mid-IR apresenta maiores informações relacionadas aos componentes orgânicos e minerais dos solos quando comparado à faixa do Vis-NIR (WADOUX et al. 2021). Isto se deve às vibrações fundamentais das moléculas, as quais ocorrem especificamente nessa região espectral enquanto as sobreposições e combinações de bandas ocorrem na faixa do Vis-NIR (MCCARTY et al., 2002).

A faixa do Mid-IR apresenta resultados mais promissores em comparação à faixa Vis-NIR devido às interações fundamentais com as propriedades dos solos (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; KNOX et al., 2015; TERRA et al., 2015). No entanto conforme exposto por Helfenstein et al. (2021) poucos estudos avaliaram o potencial de predição de CO em solos orgânicos, principalmente na faixa Mid-IR. Além disso, esses estudos foram realizados em escala local ou de fazenda, sendo necessária a avaliação destes em sistemas de informações de solos em larga escala (município, região ou estado).

A precisão adequada para predição dos teores de CO é variável de acordo com o nível ou grau de detalhamento do estudo. Para solos orgânicos em nível local (fazenda) a acurácia da predição entre 2-3% é adequada para estimativa de CO (HELPENSTEIN et al. 2021). Entretanto em solos minerais, principalmente em clima tropical, essa precisão não é adequada devido aos baixos teores de CO nos solos (<3%). Nessa situação a resposta espectral na faixa Mid-IR pode fornecer a precisão necessária para solos com teores de CO <3% (BAUMANN et al., 2021).

Assim como destacado por Chicati et al. (2016) o aumento do número de amostras pode resultar em maior variância da resposta espectral, devido a inclusão de amostras com diferenças pedológicas em relação às amostras utilizadas na calibração dos modelos. As conclusões obtidas por Lucà et al. (2017) também destacam o aumento da capacidade preditiva dos modelos PLSR com o aumento do conjunto de amostras homogêneas.

Essa tendência evidencia a importância da representatividade das amostras utilizadas no conjunto de calibração dos modelos. Segundo Grunwald et al. (2015) os modelos espetrais de predição de CO deveriam considerar amostras locais para calibração a fim de aumentar a precisão da predição. Assim como observados por Chicati et al. (2016) a maior

precisão de predição e, consequentemente, os menores erros de predição na validação foram observados nos conjuntos de dados com maior semelhança pedológica e menor amplitude dos dados de CO no conjunto de calibração.

Vale destacar que os resultados observados são válidos para o conjunto de dados avaliado e pode apresentar diferenças significativas para outros casos (ZENG et al., 2016). Um ponto a ser definido em futuros estudos consiste na quantidade e diversidade das classes de solos avaliadas, a qual pode reduzir a precisão dos modelos conforme aumenta a variabilidade entre as classes de solos. No entanto fica evidente a capacidade da espectroscopia como método de inferência geral para classificação de solos.

Possíveis aplicações futuras da metodologia desenvolvida no presente estudo podem ser observadas em Cambou et al. (2016), onde os autores utilizaram a espectroscopia na faixa Vis-NIR para estimar teores de CO a campo, utilizando equipamento portátil e amostragem por tradagem. Isto reduz os custos associados à coleta, transporte e preparo das amostras de solos, além de permitir a análise de maior quantidade de amostras, devido ao menor tempo de análise (DEMATTÊ et al., 2016).

As informações de sensores que operam em tempo real (acoplados em VANTS, drones e satélites multiespectrais) também podem ser relacionadas com dados de refletância obtidos em laboratório, os quais possuem um menor erro acumulativo, devido à mínima preparação e manipulação das amostras de solo.

7 CONCLUSÕES

Na área de estudo predominam OOs líticos, CH, CI e OOs cambissólicos utilizados com maior frequência para agropecuária e campo nativo, situados em locais de elevadas altitudes ($>880\text{m}$) e relevo menos acidentado ($<20\%$). Os ambientes de ocorrência dos Organossolos avaliados apresentam valores de altimetria mais elevados quando comparados aos ambientes onde predominam os Cambissolos.

Com relação à declividade foram observadas variações nos valores máximos entre os ambientes de ocorrência dos Organossolos e Cambissolos avaliados. Entre os Organossolos os valores de declividades médias foram similares, assim como observado para o intervalo de ocorrência preferencial.

Os ambientes de ocorrência dos CI apresentaram maior variação dos valores de TWI em relação aos ambientes onde predominam os CH. A maior variação nos dados foi observada na faixa de ocorrência preferencial de TWI para os OOs cambissólicos. Para todos os solos avaliados os valores mínimos de DVRD foram similares (0,00), o que permite inferir que a utilização dos valores mínimos dessa variável não contribui para distinção dos solos avaliados.

Nos ambientes de ocorrência dos CH e OOs líticos foram observadas maiores diferenças entre as curvaturas horizontais. Não foram identificadas classes preferenciais que permitam a distinção entre os CI e OOs cambissólicos avaliados.

Os solos avaliados apresentaram diferenças quanto aos valores médios e mínimos de TMA, TMMMF, TMMMQ, TMTMF e TMTMQ, principalmente nos ambientes onde predominam os OOs cambissólicos. Não foram observadas diferença nos valores máximos de TMA, TMMMF, TMMMQ, TMTMF e TMTMQ nos locais onde ocorrem os CH, CI e OOs líticos.

Com relação às variáveis climáticas TMA, TMMMF e TMMMQ os menores valores foram identificados nos ambientes de formação dos OOs cambissólicos enquanto nos locais onde ocorrem os CH, CI e OOs lítico foi observada similaridade entre os valores máximos. Para a variável climática TMMMQ foram observadas diferenças entre os valores médios e mínimos nos ambientes avaliados. As menores TMTMF foram observadas nos locais onde predominam os OOs líticos.

Ao analisar os valores de PA, PMMS, PTMS é possível observar diferenças entre os solos avaliados com maior variação dos valores mínimos e máximos nos ambientes onde predominam os CI. Nas áreas de ocorrência dos OOs cambissólicos foram observadas condições específicas de PA, com destaque ao intervalo de ocorrência preferencial.

Para a variável climática PMMU foram observadas diferenças entre os ambientes de ocorrência dos Organossolos avaliados, principalmente quanto à média e o intervalo de ocorrência preferencial. Diferentemente da relação observada para PA e PMMS, os OOs cambissólicos ocorrem em ambientes com PMMU e PTMU mais elevada quando comparado aos locais onde predominam os OOs líticos. Nos locais onde ocorrem os Cambissolos foi observada relação similar à PA, PMMS e PTMS com maior variabilidade onde ocorrem os CI.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido demonstra o potencial de variáveis ambientais relacionadas à geomorfologia (elevação e declividade) para caracterizar e identificar ambientes de ocorrência de solos com alto teor de carbono orgânico no sul do Brasil.

A obtenção remota de variáveis ambientais reduz os custos associados à coleta de dados em campo, como veículos de transporte, deslocamentos, mão de obra, além de fornecer informações sobre ambientes de difícil acesso como topos de morros e ambientes hidromórficos.

A espectroscopia apresentou elevado potencial como ferramenta auxiliar para identificação dos solos com elevados teores de carbono orgânico, por dispensar o preparo específico de amostras e uso de reagentes químicos, além do menor custo e maior rapidez que as análises convencionais.

Para fins de conservação dos solos é fundamental considerar o efeito de diferentes cenários de mudanças climáticas futuras com relação ao aumento da temperatura e redução da precipitação média. Além disso, é de suma importância analisar os fatores que afetam o risco dos campos altomontanos desaparecer ou reduzir sua extensão devido ao constante aumento da temperatura média global, a qual torna mais suscetível a oxidação do carbono orgânico presente nas camadas superficiais e consequente erosão dos horizontes hísticos.

REFERÊNCIAS

- ALVARES C.A.; STAPE J.L.; SENTELHAS P.C.; DE MORAES GONCALVES J.L.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v 22, n.6, 711–728, 2013.
- ARAÚJO, S. R.; WETTERLIND, J.; DEMATTÉ, J.A.M.; STENBERG, B. Improving the Prediction Performance of a Large Tropical Vis-NIR Spectroscopic Soil Library from Brazil by Clustering into Smaller Subsets or Use of Data Mining Calibration Techniques, **European Journal of Soil Science**, v.65, p.718–729, 2014.
- ARRUDA, G.P.; DEMATTÉ, J.A.M.; CHAGAS, C.S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.327-338, 2013.
- AWITI, A.O.; WALSH, M.G.; SHEPHERD, K.D.; KINYAMARIOET, J. Soil condition classification using infrared spectroscopy: A proposition for assessment of soil condition along a tropical forest-cropland chronosequence. **Geoderma**, v.143, p.73-84, 2008.
- BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: Princípios e Aplicações**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2019. 178p.
- BARNES, R.J.; DHANOA, M.S.; LISTER, S.J. Standard normal variate transformation and detrending of near-infrared diffuse reflectance spectra. **Applied Spectroscopy**, v.43, p.772-777, 1989.
- BAUMANN, P.; HELFENSTEIN, A.; GUBLER, A.; KELLER, A.; MEULI, R. G.; WÄCHTER, D.; LEE, J.; VISCARRA ROSSEL, R.; SIX, J. Developing the Swiss soil spectral library for local estimation and monitoring, **SOIL**, 2021.
- BAUMGARDNER, M.F.; SILVA, L.F.; BIEHL, L.L.; STONER, E.R. Reflectance properties of soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.1-43, 1985.
- BECKER, J. N.; KUZYAKOV, Y. Teatime on Mount Kilimanjaro: Assessing climate and land use effects on litter decomposition and stabilization using the tea Bag Index. **Land Degradation & Development**, v.29, n.8, p.2321-2329, 2018.

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means. **Soil Science of America Journal**, v.72, p.1113-1123, 2008.

BEN-DOR, E.; INBAR, Y.; CHEN, Y. The reflectance spectra of organic matter in the visible near-infrared and short wave infrared region (400-2500nm) during a controlled decomposition process. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.1-15, 1997.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.4, p. 569-577. 2007.

BEUTLER, S.J.; PEREIRA, M.G.; TASSINARI, W.S.; MENEZES, M.D.; VALLADARES, G.S.; ANJOS, L.H.C. Bulk density prediction for Histosols and soil horizons with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.41, 2017.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M. J.A. Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology, **Hydrological Sciences Bulletin**, v.24, n.1, p.43-69. 1979.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, v.3, p.877-1436, 2003.

BLAGODATSKAYA, E.V.; SEMENOV, M.V.; YAKUSHEV, A.V., **Activity and Biomass of Soil Microorganisms in Changing of Environmental Conditions**, Moscow: KMK, 2016.

BORKEN, W.; MATZNER, E. Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. **Global Change Biology**, v.15, p.808-824, 2009.

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 120p.

BRASIL, República Federativa do. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 Brasileira: Ações Prioritárias/Ministério do Meio Ambiente**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

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

- BRUIJINZEEL, L.A.; PROCTOR, J. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In: HAMILTON, L.S.; JUVIK, J.O.; SCATENA, F.N. (Eds.) **Tropical Montane Cloud Forests**. New York, Springer Verlag. 1995.
- CALIL, P.M.; OLIVEIRA, L.F.C.; KLIEMANN, H.J.; OLIVEIRA, V.A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.433-442. 2012.
- CAMBOU, A.; CARDINAEL, R.; KOUAKOUA, E.; VILLENEUVE, M. DURAND, C. Prediction of soil organic carbon using visible and near-infrared reflectance spectroscopy (VNIRS) in the field. **Geoderma**, v.261, p.151-159, 2016.
- CAÑASVERAS, J.C.; BARRÓN, V.; DEL CAMPILLO, M.C.; TORRENT, J.; GÓMEZ, J. A., Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v.158, p.78–84. 2010.
- CARTER, R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil function. **Agronomic Journal**, v.94, p. 38-47, 2002.
- CASTALDI, F.; CHABRILLAT, S.; DON, A.; WESEMAEL, B.V. Soil organic carbon mapping using LUCAS topsoil database and Sentinel-2 data: An approach to reduce soil moisture and crop residue effects. **Remote Sensing**, v.11, n.2121, 2019.
- CATAGÑA, F.E.C.; LLERENA, M.V.R.; CARRIÓN, D.A.D.; MORENO, C.G.R.; LIMA, G.P.S. Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. **Acta Agronómica**, v.66, n.3, p.408-413, 2017.
- CEZAR, E.; NANNI, M.R.; GUERRERO, C.; SILVA JUNIOR, C.A.; CRUCIOL, G.T.; CHICATI, M.L.; SILVA, G.F.C. Organic matter and sand estimates by spectrorradiometry: strategies for the development of models with applicability at a local scale. **Geoderma**, v.340, p.224-233, 2019.
- CHABRILAT, S.; GOETZ, A.F.H.; KROSLEY, L.; OLSEN, H.W. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**, v.82, p.431-445, 2002.

CHAGAS, C.S.; FONTANA, A.; CARVALHO JUNIOR, W.; CAIRES, S.M. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.6, p.1441-1453. 2013.

CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBUGH, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.480–490, 2001.

CHICATI, M.L.; NANNI, M.R.; CÉZAR, E.; OLIVEIRA, R.B.; CHICATI, M.S. Diffuse reflectance spectroscopy to estimate soil attributes of Brazilian wetlands. **International Journal of Environmental Agriculture Research**. v.2, n.8, p.62-66, 2016.

COHEN, W.; MYLAVARAPU, R.S.; BOGREKCI, I.; LEE, W.S.; CLARK, M.W. Reflectance spectroscopy for routine agronomic soil analyses. **Soil Science**, v.172, n.6, p.469-485, 2007.

CRUMP, J. Smoke on Water – Countering Global Threats from Peatland Loss and Degradation. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, 2017.

DAVID, M.B. Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1593-1599, 1988.

DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C.; FIORIO, P.R.; NANNI, M.R., Visible–NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, v.121, p.95–112. 2004.

DEMATTÊ, J.A.M.; DOTTO, A.C.; PAIVA, A.F.S.; SATO, M.V.; DALMOLIN, R.S.D.; ARAÚJO, M.S.B.; SILVA, E.B.; NANNI, M.R.; TEN CATEN, A.; NORONHA, N.C.; LACERDA, M.P.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; RIZZO, R.; BELLINASO, H.; FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VICENTE, L.E.; SANTOS, U.J.; SÁ, E.B.S.; MENEZES, R.S.C.; SOUZA, J.J.L.L.; ABRAHÃO, W.A.P.; COELHO, R.M.; GREGO, C.R.; LANI, J.L.; FERNANDES, A.R.; GONÇALVES, D.A.M.; SILVA, S.H.G.; MENEZES, M.D.; CURI, N.; COUTO, E.G.; ANJOS, L.H.C.; CEDDIA, M.B.; PINHEIRO, É.F.M.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G.M.; MARQUES JÚNIOR J.; SILVA, A.J.; BARRETO, M.C.V.; NÓBREGA, G.N.; SILVA, M.Z.; SOUZA, S.F.; VALLADARES, G.S.; VIANA, J.H.M.; TERRA, F.S.; HORÁK-TERRA, I.; FIORIO, P.R.; SILVA, R.C.; FRADE JÚNIOR, E.F.; LIMA, R.H.C.; ALBA, J.M.F.; SOUZA JUNIOR, V.S.; BREFIN, M.D.L.M.S.; RUIVO, M.D.L.P.;

FERREIRA, T.O.; BRAIT, M.A.; CAETANO, N.R.; BRINGHENTI, I.; SOUSA MENDES, W.; SAFANELLI, J.L.; GUIMARÃES, C.C.B.; POPPIEL, R.R.; SOUZA, A.B.; QUESADA, C.A.; COUTO, H.T.Z. The brazilian soil spectral library (BSSL): A general view, application and challenges. **Geoderma**, v.354, 2019.

DEMATTÊ, J.A.M.; MORGAN, C.L.S.; CHABRILLAT, S.; RIZZO, R.; FRANCESCHINI, M.H.D.; TERRA, F.S.; VASQUES, G.M.; WATTERLIND, J. Spectral Sensing from Ground to Space in Soil Science: State of the Art, Applications, Potential, and Perspectives. In: THENKABAIL, P.S. **Remote Sensing handbook (Land resources monitoring, modeling and mapping with remote sensing)**, v.2, Boca Raton: CRC Press, 2016, p.661-732.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.17, p.1658-1670, 2011.

DOTTO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; TEN CATEN, A.; GRIS, D.J.; RUIZ, L.F.C. AlradSpectra: A quantification tool for soil properties using spectroscopic data in R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

DOTTO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; TEN CATEN, A.; GRUNWALD, S. A systematic study on the application of scatter-corrective and spectral-derivative pre-processing for multivariate prediction of soil organic carbon by Vis-NIR spectra. **Geoderma**, v.314, p.262-274, 2018.

DUNN, B.W.; BEECHER, H.G.; BATTEN, G.D.; CIAVARELLA, S. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the riverine plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.42, p.607–614, 2002.

DWIVEDI, R.S. **Remote Sensing of Soils**. Springer: Amsterdam, 2017, 518p.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v.67, p.261-266, 2008.

ERTLEN, D.; SCHWARTZ, D.; TRAUTMANN, M.; WEBSTER, R.; BRUNET, D. Discriminating between organic matter in soil from grass and forest by near-infrared spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v.61, p.207-216, 2010.

FALKENBERG, D.B. Matinhos nebulares e vegetação rupícola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), sul do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Biologia UNICAMP, Campinas, 2003. 558 p.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v.37, n.12, p.4302–4315, 2017.

FIDENCIO, P.; POPPI, R., Determination of organic matter in soils using radial basis function networks and near infrared spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, v.453, p.125–134. 2002.

FONTÁN, J.M.; CALVACHE, S.; LÓPEZ-BELLIDO, R.J.; LÓPEZ-BELLIDO, L., Soil carbon measurement in clods and sieved samples in a Mediterranean Vertisol by Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. **Geoderma**, v.156, p.93–98. 2010.

FYSTRO, G. The prediction of C and N content and their potential mineralization in heterogeneous soil samples using vis-NIR spectroscopy and comparative methods. **Plant Soil**, v.246, p. 139-149, 2002.

GANDARIASBEITIA, M.; BESGA, G.; ALBIZU, I.; LARREGLA, S.; MENDARTE, S. Prediction of chemical and biological variables of soil in grazing areas with visible and near-infrared spectroscopy. **Geoderma**, v.305, p.228-235, 2017.

GERSCHLAUER, F.; SAIZ, G.; COSTA, D.S.; KLEYER, M.; DANNEMANN, M.; KIESE, R. Stable carbon and nitrogen isotopic composition of leaves, litter, and soils of various ecosystems along an elevational and land-use gradient at Mount Kilimanjaro. **Biogeosciences**, v.16, n.2, p.409–424, 2019.

GERZABEK, M.H.; ANTIL, R.S. KOGEL-KNABER, I.; KNICKER, H.; KIRCHMANN, H.; HABERHAUER, G. How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: a spectroscopic approach. **European Journal of Soil Science**, v.57, p.485-494, 2006.

GESSLER, P.E.; CHADWICK, O.A.; CHAMRAN, F.; ALTHOUSE, L.; HOLMES, K. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.6, p.2046-2056, 2000.

- GLUKHOVA, T.V.; SIRIN, A.A. Losses of soil carbon upon a fire on a drained forested raised bog. **Eurasian Soil Science**, v.51, n.5, p.542-549, 2018.
- GOMES, L.C.; FARIA, R.M.; SOUZA, E.; VELOSO, G.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil, **Geoderma**, v.340, p.337-350, 2019.
- GRUNWALD, S.; VASQUES, G.M.; RIVERO, R.G. Fusion of soil and remote sensing data to model soil properties. **Advances in Agronomy**, v.131, p.1-109, 2015.
- GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 337p.
- HAMILTON, L.S.; JUVIK, J.O.; SCATENA, F.N. The Puerto Rico tropical cloud forest symposium: introduction and workshop synthesis. In: HAMILTON, L.S.; JUVIK, J.O.; SCATENA, F.N. (Eds.) **Tropical Montane Cloud Forests**. New York, Springer Verlag. 1995.
- HELPENSTEIN, A.; BAUMANN, P.; VISCARRA ROSSEL, R.; GUBLER, A.; OECHSLIN, S.; SIX, J. Quantifying soil carbon in temperate peatlands using a mid-IR soil spectral library. **Soil**, v.7, p.193-215, 2021.
- HOOGSTEEEN, M.J.J.; LANTINGA, E.A.; BAKKER, E.J.; GROOT, J.C.J.; TITTONELL, P.A. Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. **European Journal of Soil Science**, v.66, p.320-328, 2015.
- HORN, B.K.P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, v.69, n.1, p.14–47, 1981.
- HUMMEL, J.W.; SUDDUTH, K.A.; HOLLNGER, S.E. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.32, p.149–165, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha geométrica dos municípios brasileiros**, 2016. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dataset/malha-geometrica-dos-municípios-brasileiros>>. Acesso em 06 mai. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema fitogeográfico, Inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos.** Rio de Janeiro: Manuais Técnicos em Geociências. 276p. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro: Manuais Técnicos em Geociências. 2015. 425p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Mapa de solos do Brasil – Escala 1:5.000.000. 2001.

ISLAM, K.; SINGH, B.; MCBRATNEY, A. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible and near-infrared reflectance spectroscopy. **Australian Journal of Soil Researches**, v.41, p. 1101-1114, 2003.

IUSS WORKING GROUP WRB. **Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014, Actualización 2015, Sistema Internacional de Clasificación de Suelos.** Roma: FAO, 2015, 205p.

JANIK, L.J.; MERRY, R.H.; SKJEMSTAND, J.O. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, p. 681-696, 1998.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604p.

JIA, X.; CHEN, S.; YANG, Y.; ZHOU, L.; SHI, Z. Organic carbon prediction in soil cores using VNIR and MIR techniques in an alpine landscape. **Scientific Reports**, v. 7, n. 2144, 9 p. 2017.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** New Jersey: Prentice-Hall, 1999, 815p.

KEMPER, T.; SOMMER, S.R. Estimate of heavy metal contamination in soils after a mining accident using reflectance spectroscopy. **Environmental Science and Technology**, v.36, n.12, p.2742-2747, 2002.

- KIRK, E.R.; KESSEL, C.V.; HORWATH, W.R.; LINQUIST, B.A. Estimating annual soil carbon loss in agricultural peatland soils using a nitrogen budget approach. **Plos One**, 2015.
- KNOX, N.M.; GRUNWALD, S.; McDOWELL, M.L.; BRULAND, G.L.; MYERS, D.B.; HARRIS, W.G. Modelling soil carbon fractions with Visible Near-Infrared (VNIR) and Mid-Infrared (MIR) spectroscopy. **Geoderma**, v.239-240, p.229-239, 2015.
- KOKALY, R.F.; CLARK, R.N. SWAYZE, G.A.; LIVO, K.E.; HOEFEN, T.M.; PEARSON, N.C.; WIS, R.A.; BENZEL, W.M.; LOWERS, H.A.; DRISCOLL, R.L.; KLEIN, A.J. **USGS Spectral Library Version 7**. U.S. Geological Survey Data Series 1035, 2017, 61p.
- KOKULAN, V.; AKINREMI, O.; MOULIN, A.P.; KMARAGAMAGE, D. Importance of terrain attributes in relation to the spatial distribution of soil properties at the micro scale: a case study. **Canadian Journal of Soil Science**, v.98, p.1-14, 2018.
- KRANKINA, O.; PFLUGMACHER, D.; FRIEDL, M.; COHEN, W.; NELSON, P.; BACCINI, A. Meeting the challenge of mapping peatlands with remotely sensed data. **Biogeosciences**, v.5, p.1809-1820, 2008.
- KURUKU, Y.; SANLI, F.B.; ESETILILI, M.T.; BOLCA, M.; GOKSEL, C. Contribution of SAR images to determination of surface moisture on the Menemen Plain, Turkey, **Journal of Remote Sensing**, v.30, n.7, p.1805–1817. 2009.
- LACERDA, M.P.C.; BARBOSA, I. O. Relações pedomorfogeológicas e distribuição de pedoformas na Estação Ecológica e Águas Emendadas, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.709-722, 2012.
- LI, A.; TAN, X.; WU, W.; LIU, H.; ZHU, J. Predicting active-layer soil thickness using topographic variables at small watershed scale. **Plos One**, v.12, n.9, p.1-17. 2017.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. Nova York: Wiley, 2015.
- LIN, H.S., KOGLMANN, W., WALKER, C.; BRUNS, M.A. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydropedological perspective. **Geoderma**, v.131, p.345-368, 2006.
- LIU, W. T. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007, 908p.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e Produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.1-64.

LOPEZ, A.; AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. Pagamento por serviços ambientais e ambientes de montanha. **Cadernos de Agroecologia**, v.6, n.2, 2011.

LUCÀ, F.; CONFORTI, M.; CASTRIGNANO, A.; MATTEUCCI, G.; BUTTAFUOCO, G. Effects of calibration set size on prediction at local scale of soil organic carbon by Vis-NIR spectroscopy. **Geoderma**, v.288, p.175-183, 2017.

MADEIRA NETTO, J.S.; BAPTISTA, G.M.M. **Refletância espectral de solos**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2000. 55p.

MCCARTY, G.W.; REEVES, III J.B. Comparison of near infrared and mid infrared diffuse reflectance spectroscopy for field-scale measurements of soil fertility parameters. **Soil Science**, v. 171, p.94–102, 2006.

MCCARTY, G.W.; REEVES, III J.B.; REEVES, V.B.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J.M. Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurement. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 640–64, 2002.

MENESES, P.R.; ALMEIDA T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília: Brasília, 2012, 276p.

MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J. (Ed.) **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Universidade de Brasília: Brasília, 2001, 262p.

MENEZES, J.P.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIA, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.21, n.3, p.519-534, 2016.

MINASNY, B.; BERGLUND, O.; CONNOLLY, J.; HEDLEY, C.; DE VRIES, F.; GIMONA, A.; KEMPEN, B.; KIDD, D.; LILJA, H.; MALONE, B.; MCBRATNEY, A.; ROUDIER, P.; O'ROURKE, S.; RUDYANTO, R.; PADARIAN, J.; POGGIO, L.; TEN

CATEN, A.; THOMPSON, D.; TUVE, C.; WIDYATMANTI, W. Digital mapping of peatlands – A critical review. **Earth-Science Reviews**, n. 196, 2019. 38 p.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B.; TRANTER, G.; MURPHY, B.W. Using soil knowledge for the evaluation of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for predicting soil physical and mechanical properties. **European Journal of Soil Science**, v.59, p.960-971, 2008.

MINASNY, B.; TRANTER, G.; MCBRATNEY, A.B.; BROUH, D.M.; MURPHY, B.W.; Regional transferability of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy prediction for soil chemical properties. **Geoderma**, v.153, p.155-162, 2009.

MOHAMED E.S.; SALEH A.M.; BELAL A.B.; GAD A.A. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. **Egypt Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.22, n.1, p.1-14, 2017.

MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p.69-77, 2005.

MOORE, I.D.; GEISSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2002. 22p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2a ed, Editora UFLA, Lavras, 2006. 729p.

MORRIS, D.R.; GILBERT, R.A.; REICOSKY, D.C.; GESCH, R.W. Oxidation potentials of soil organic matter in Histosols under different tillage methods. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.817-826, 2004.

MOUAZEN, A.M.; KUANG, B.; BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. **Geoderma**, v.158, p.23–31. 2010.

MOURA-BUENO, J.M.; DALMOLIN, R.S.D.; TEN CATEN, A.; DOTTO, A.C.; DEMATTÊ, J.A.M. Stratification of a local VIS-NIR-SWIR spectral library by homogeneity criteria yields more accurate soil organic carbon predictions. **Geoderma**, v.337, p.565-581.

NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D.; KUMAR, B.M.; SHOWALTER, J.M. Carbon sequestration in agroforestry system. **Advances in Agronomy**, v.108, p.237-307, 2010.

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

NAYAK, A.K.; RAHMAN, M.M.; NAIDU, R.; DHAL, B.; SWAIN, C.K.; NAYAK, A.D.; TRIPATHI, R.; SHAHID, M.; ISLAM, M.R.; PATHAK, H. Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. **Science of the Total Environment**, v.665, p.890-912, 2019.

NOCITA, M.; KOOISTRA, L.; BACHMANN, M.; MÜLLER, A.; POWELL, M.; WEEL, S. Predictions of soil surface and topsoil organic carbon content through the use of laboratory and field spectroscopy in the Albany Thicket Biome of Eastern Cape Province of South Africa. **Geoderma**, v.167-168, p.295–302. 2011.

OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.A.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N.; LIMA, G.C.; PEREIRA, P.H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina**, v.33, n.1, p.143-154, 2012.

ORGIAZZI, A.; BALLABIO, C.; PANAGOS, P.; JONES, A.; FERNANDÉZ-UGAL, O. LUCAS Soil, the largest expandable soil data-set for Europe: a review. **European Journal of Soil Science**, v.69, p.140-153, 2017.

ORTIZ, C.; VÁZQUEZ, E.; RUBIO, A.; BENITO, M.; SCHINDLBACHER, A.; JANDL, R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; DÍAZ-PINÉS, E. Soil organic matter dynamics after afforestation of mountain grasslands in both a Mediterranean and a temperate climate, **Biogeochemistry**, v.131, p.267–280, 2016.

PEI, T.; QIN, C.Z.; ZHU, A.X.; YANG, L.; LUO, M.; LI, B.; ZHOU, C. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: a comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. **Ecological Indicators**, v.10, n.3, p.610-619. 2010.

PEREIRA, G.E.; SEQUINATTO, L.; ALMEIDA, J.A.; TEN CATEN, A.; MORAES, J.M. VIS-NIR spectral reflectance for discretization of soils with high sand content. **Semina**, v.40, n.1, p.99-112, 2019.

POPPIEL, R.R.; LACERDA, M.P.C.; DEMATTÉ, J.A.M.; OLIVEIRA, M.P.; GALLO, B.C.; SAFANELLI, J.L. Pedology and soil class mapping from proximal and remote sensed data. **Geoderma**, v.348, p.189-206, 2019.

PRIBYL, D.W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v.156, p.75-83, 2010.

R CORE TEAM. 2021. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Austria.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 29 jun. de 2021.

RAZAVI-TERMEH, S.V., SADEGHI-NIARAKI, A.; CHOI, S.M. Groundwater potential mapping using an integrated ensemble of three bivariate statistical models with random forest and logistic model tree models. **Water**, v.11, n.8, 2019.

REEVES, J.B.; MCCARTY, G.W.; HIVELY, W.D. Mid- Versus Near-Infrared Spectroscopy for On-Site Analysis of Soil. In: VISCARRA ROSSEL, R.A.; MCBRATNEY, A.B.; MINASNY, B. **Proximal Soil Sensing**, Springer: Amsterdam, 2010.

RODRIGUEZ-LADO, L.; RIAL, M.; TABOADA, T.; CORTIZAS, A.M. A pedotransfer function to map soil bulk density from limited data. **Procedia Environmental Sciences**, v.27, p.45-48, 2015.

ROSIN, N.A.; DALMOLIN, R.S.D.; HORST-HEINEN, T.Z.; MOURA-BUENO, J.M.; SANGOI, D.V.S.; SILVA, L.S.S. Diffuse reflectance spectroscopy for estimating soil organic carbon and make nitrogen recommendations. **Scientia Agricola**, v.78, n5, e20190246, 2021.

SANTOS JUNIOR, J.B. Solos com propriedades ândicas derivados de litologias da Formação Serra Geral em ambientes altomontanos do Sul do Brasil. **Tese de Doutorado**, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017, 185p.

SANTOS JUNIOR, J.B.; ALMEIDA, J.A. Andic properties in soil with histic horizon “O” in the highlands of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45e0200152, 2021.

SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., ARAUJO FILHO, J.C., OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2018. 590p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5^a ed., Brasília: EMBRAPA, 2018, 590p.

SCHÄFFER, W.B.; PROCHNOW, M. **A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira**. Brasília: APREMAVI, 2002. 156p.

SCHEER, M.B.; CURCIO, G.R.; RODERJAN, C.V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1113-1126, 2011.

SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Infrared spectroscopy – enabling an evidence-based diagnostic surveillance approach to agriculture and environmental management in developing countries. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.15, p. 1-19, 2007.

SHI, Z.; WANG, Q.L.; PENG, J. Development of a national VNIR soil-spectral library for soil classification and prediction of organic matter concentrations. **Science China: Earth Sciences**, v. 44, p. 978-988, 2014.

SILVA, A. M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p.1223-1230, 2005.

SILVA, E.B.; GIASSON, E.; DOTTO, A.C.; TEN CATEN, A.; DEMATTÉ, J.A.M.; BACIC, I.L.Z.; VEIGA, M. A regional legacy soil dataset for prediction of sand and clay content with Vis-NIR-SWIR, in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.43, 2019.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L (Ed.). **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SILVA NETO, J.C.A. Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do Rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS. **Revista Ra'e Ga**, v.32, p.119-142, 2014.

SIMAS, F.N.B.; SCHAEFFER, C.E.R; FERNANDES, E.I.; CHAGAS, A.C.; BRANDAO, C.P. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra of Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, v.125, p.187-201, 2005.

SIRTOLI, A.E.; SILVEIRA, C.T.; MANTOVANI, L.E.; SIRTOLI, A.R.A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agraria**, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

SMITH, P. How long before a change in soil organic carbon can be detected? **Global Changes Biology**, v.10, p.1878-1883, 2004.

SOARES, P.F.C.; ZUCHELLO, F.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; OLIVEIRA, A.P.P. Soil attributes and C and N variation in Histosols under different agricultural usages in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Bioscience Journal (Online)**, v.31, p.1349-1362, 2015.

STENBERG, B. VISCARRA ROSSEL, R.A. Diffuse Reflectance Spectroscopy for High-Resolution Soil Sensing. In: VISCARRA ROSSEL, R.A.; MCBRATNEY, A.B.; MINASNY, B. **Proximal Soil Sensing**, Springer: Amsterdam, 2010.

STENBERG, B.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; MOUAZEN, A.M.; WETTERLIND, J., Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. **Advances in Agronomy**, p.163–215. 2010.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.45, p.1161-1165, 1981.

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, UFRGS, 2008. 126p.

TARBOTON, D.G.A. New Method for The Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Data, **Water Resources Research**, v.33, n.2, p.309-319, 1997.

TERRA, F.S.; DEMATTÊ, J.A.M.; VISCARRA ROSSEL, R.A. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis-NIR and mid-IR reflectance data. **Geoderma**, v.255-256, p.81-93, 2015.

THENKABAIL, P.S.; LYON, G.J.; HUETE, A. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. Boca Raton: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2011, 781p.

UDELHOVEN, T.; EMMERLING, C.V; JARMER, T. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. **Plant Soil**, v.251, p.319–329, 2003.

VALERIANO, M.D.M. **Topodata: Guia Para Utilização De Dados**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2008, 73p.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra**, v.20, p.95-104, 2008.

VASHCHENKO, Y.; PIOVESAN, R.P.; LIMA, M.R.; FAVARETTO, N. Solos e vegetação dos picos Camacuã, Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR. **Scientia Agraria**, v.8, n.4, p.411-419, 2007.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, v.158, p.46–54. 2010.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; BEHRENS, T.; BEN-DOR, E.; BROWN, D.; DEMATTÊ, J.A.M.; SHEPHERD, K.D.; SHI, Z.; STENBERG, B.; STEVENS, A.; ADAMCHUK, V. A global spectral library to characterize the world's soil. **Earth-Science Reviews**, v.155, p.198-230, 2016.

- VISCARRA ROSSEL, R.A.; CHEN, C. Digitally mapping the information content of visible-near infrared spectra of surficial Australian soils. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.1443-1455, 2011.
- VISCARRA ROSSEL, R.A.; JEON, Y.S.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Soil Research**, v.46, p.1-16, 2008.
- VISCARRA ROSSEL, R.A.; MCGLYNN, R.N.; MCBRATNEY, A.B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v.137, p.70-82, 2006.
- VISCARRA ROSSEL, R.A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, v.62, p.637-647, 2011.
- VISCARRA ROSSEL, R.A.; WEBSTER, R. Predicting soil properties from the Australian soil visible-near infrared spectroscopy database. **European Journal of Soil Science**, v.63, p.848-860, 2012.
- VOHLAND, M.; BESOLD, J.; HILL, J.; FRÜND, H. Comparing different multivariate calibration methods for the determination of soil organic carbon pools with visible to near infrared spectroscopy. **Geoderma**, v.166, p.198–205. 2011.
- WADOUX, A.M.J.C.; BRUS, D.J.; HEUVELINK, G.B.M. Accounting for non-stationary variance in geostatistical mapping of soil properties. **Geoderma**, v.324, p.138–147, 2018.
- WALKLEY, A.; BLACK, L.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v.37, p.29-38, 1934.
- XIANGSHENG, Y.I.; GUOSHENG, L.I.; YANYU, Y.I.N. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density: A study in the Three-River Headwater Region of Qinghai Province, China. **Pedosphere**, v.26, n.3, p.362-373, 2016.
- XU, J.; MORRIS, P.J.; LIU, J.; HOLDEN, J. Peatmap: refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. **Catena**, v.160, p.134-140, 2018.

ZECH, W; SENSI, N; GUGGENBERGER, G; KAISER, K; LEHMANN, K; MILTNER, A.; MIANO, TM; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.

ZENG, R.; ROSSITER, D.G.; YANG F.; LI D.C.; ZHAO Y.G.; ZHANG, G.L. How accurately can soil classes be allocated based on spectrally predicted physio-chemical properties? **Geoderma**, v.303, p.78-84, 2017.

ZENG, R.; ZHANG, G.L.; LI, D.C.; ROSSITER, D.G.; ZHAO, Y.G. How well can VNIR spectroscopy distinguish soil classes? **Biosystems Engineering**, v.152, p.117-125, 2016.

ZEVENBERGEN, L.W.; THORNE, C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography, **Earth Surface Processes and Landforms**, v.12, p.12-56, 1987.

ZHOU, Y.; FAN, J.; ZHANG, W.; HARRIS, W.; ZHONG, H.; HU, Z.; SONG, L. Factors influencing altitudinal patterns of C₃ plant foliar carbon isotope composition of grasslands on the Qinghai-Tibet Plateau, China, **Alpine Botany**, v.121, p.79-90, 2011.

ZHU, Y.; JIANG, Y.; LIU, Q.; KANG, M.; SPEHN, E.M.; KÖRNER, C. Elevational Trends of Biodiversity and Plant Traits Do Not Converge – A Test in the Helan Range, NW China, **Plant Ecology**, v.205, p.273–283, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Identificação dos pontos amostrais com as respectivas coordenadas geográficas (UTM), altitude, localização (município e estado) e teores de carbono orgânico nas duas camadas avaliadas (0-20 e 20-40 cm).

Identificação	Longitude (W)	Latitude (N)	Altitude (m)	Município	Estado	Carbono orgânico (g/kg) 0-20 cm	Carbono orgânico (g/kg) 20-40 cm
1	636115,6071	6881570,99	1623	Bom Jardim da Serra	SC	459,5	323,9
2	636755,4326	6883802,711	1655	Bom Jardim da Serra	SC	439,1	454,7
3	636765,1655	6883821,677	1658	Bom Jardim da Serra	SC	487,4	-*
4	636773,6978	6884027,903	1680	Bom Jardim da Serra	SC	193,7	-
5	638582,8679	6883150,385	1521	Bom Jardim da Serra	SC	186,7	146,8
6	639153,5037	6883004,504	1487	Bom Jardim da Serra	SC	192,1	159,8
7	639453,7075	6880406,443	1355	Bom Jardim da Serra	SC	178,2	154,5
8	639940,9007	6879344,82	1363	Bom Jardim da Serra	SC	436,2	277,2
9	636740,7055	6875807,801	1330	Bom Jardim da Serra	SC	522,3	-
14	634844,8676	6861054,888	1443	Bom Jardim da Serra	SC	211,7	159,6
15	632778,1799	6856067,663	1278	Bom Jardim da Serra	SC	177,2	150,1
16	632044,6485	6853613,574	1384	Bom Jardim da Serra	SC	328,9	-
17	629289,6864	6853685,984	1379	Bom Jardim da Serra	SC	185,7	153,8
18	626370,6594	6851899,906	1360	Bom Jardim da Serra	SC	203	168,5
19	639227,1927	6861371,41	1418	Bom Jardim da Serra	SC	269,9	194,4
41	543395,8354	6831768,805	1020	Bom Jesus	RS	77,4	68,2
42	545605,6619	6832217,057	1014	Bom Jesus	RS	79	72,5
43	553128,7592	6830732,942	1028	Bom Jesus	RS	76,9	69
44	553114,6026	6830332,829	1023	Bom Jesus	RS	97,5	91,2
45	557165,0961	6834679,132	1069	Bom Jesus	RS	102,9	95,9
46	556862,6608	6831470,986	1082	Bom Jesus	RS	84,3	75,2
47	556891,2077	6828945,159	1065	Bom Jesus	RS	86,9	82,6
48	565423,0921	6829126,876	1052	Bom Jesus	RS	72	-
49	568489,5268	6826291,139	1063	Bom Jesus	RS	108,4	94,3
50	573408,1043	6825171,939	1076	Bom Jesus	RS	94,1	75,3
51	582845,0973	6823748,376	1171	São José dos Ausentes	RS	79	-
52	588785,1998	6820468,257	1205	São José dos Ausentes	RS	99,9	-
53	592656,2858	6820698,396	1247	São José dos Ausentes	RS	117,1	90,7
54	593252,6128	6821445,657	1225	São José dos Ausentes	RS	140,6	136,8
55	596115,2845	6822847,486	1230	São José dos Ausentes	RS	111,7	-
56	600976,8104	6827756,207	1179	São José dos Ausentes	RS	120,7	102,2
57	601897,8236	6829035,857	1203	São José dos Ausentes	RS	122	126,1
58	603713,5028	6831556,099	1216	São José dos Ausentes	RS	100,5	91

59	601994,7581	6832045,338	1164	São José dos Ausentes	RS	93,3	74,1
60	604039,6733	6835243,177	1151	São José dos Ausentes	RS	102,3	83
61	617092,216	6833837,227	1326	São José dos Ausentes	RS	204	170,9
62	616733,1816	6833933,371	1298	São José dos Ausentes	RS	223,4	199,5
63	615687,8161	6834212,115	1268	São José dos Ausentes	RS	233,5	159,3
64	616010,7681	6836645,137	1302	São José dos Ausentes	RS	169,7	-
65	617942,5948	6838263,069	1249	São José dos Ausentes	RS	191,2	-
66	568871,3045	6830768,301	1038	Bom Jesus	RS	77	69
67	571073,6291	6832999,233	1045	Bom Jesus	RS	80,5	71,4
68	574492,2799	6833157,579	1078	Bom Jesus	RS	79	71
69	575412,5467	6832317,513	1116	Bom Jesus	RS	79	69
70	578674,6967	6828637,192	1113	Bom Jesus	RS	95	-
71	566894,2228	6825093,987	1106	Bom Jesus	RS	93,3	80,4
72	566863,8744	6824054,684	1062	Bom Jesus	RS	92,2	75,7
73	568109,0827	6823849,923	1116	Bom Jesus	RS	92,8	73,6
74	568431,1273	6828023,95	1055	Bom Jesus	RS	86	76,3
75	569852,6759	6826603,323	1106	Bom Jesus	RS	66	-
76	575357,3944	6825415,026	1102	Bom Jesus	RS	89,4	-
77	575266,3533	6825821,821	1087	Bom Jesus	RS	74	-
78	594614,379	6824662,762	1212	São José dos Ausentes	RS	108,7	91,9
79	595261,4044	6825354,637	1217	São José dos Ausentes	RS	99,5	88
80	596288,0816	6826086,303	1240	São José dos Ausentes	RS	111,4	99,7
81	596711,1069	6827379,497	1240	São José dos Ausentes	RS	98,7	86,3
82	596742,0516	6832161,621	1214	São José dos Ausentes	RS	102,4	89,6
83	599997,7744	6831448,319	1212	São José dos Ausentes	RS	112,2	-
84	608683,62	6836050,004	1256	São José dos Ausentes	RS	112,6	85,5
85	617294,0975	6833857,42	1323	São José dos Ausentes	RS	285,5	165,6
86	603856,5548	6825077,049	1203	São José dos Ausentes	RS	193,9	199,9
87	605090,0447	6826992,686	1263	São José dos Ausentes	RS	151,1	129,3
88	606215,0544	6826002,023	1291	São José dos Ausentes	RS	197,3	143,5
89	603872,097	6827969,497	1252	São José dos Ausentes	RS	119,6	98,2
91	596200,0107	6817270,729	1230	São José dos Ausentes	RS	262,5	156,7
92	597142,5557	6816294,682	1186	São José dos Ausentes	RS	149,9	115,1
93	598083,9072	6815304,593	1162	São José dos Ausentes	RS	273,9	238,2
94	600940,5981	6814396,437	1219	São José dos Ausentes	RS	179,8	-
95	602119,7549	6813564,71	1222	São José dos Ausentes	RS	313,5	-
96	584722,0128	6825341,161	1144	Bom Jesus	RS	104,4	82
97	587630,4904	6827440,134	1208	Bom Jesus	RS	100,8	88,4
98	586584,3701	6830879,337	1194	Bom Jesus	RS	107,5	92,6
99	584930,714	6833724,357	1187	Bom Jesus	RS	125,9	-
100	585701,0572	6831357,596	1205	Bom Jesus	RS	99,7	80,2
102	590408,4241	6832057,487	1125	Bom Jesus	RS	70	68
103	594672,8807	6831904,539	1179	São José dos Ausentes	RS	217,2	-

104	598215,2138	6812980,555	1064	São José dos Ausentes	RS	146,5	-
105	598204,9923	6812416,698	1041	São José dos Ausentes	RS	174,2	130,2
106	596853,1311	6809412,682	1022	São José dos Ausentes	RS	137,2	102,4
107	593538,9653	6799110,507	1035	Cambará do Sul	RS	139,4	114,7
108	597126,2608	6796088,266	1007	Cambará do Sul	RS	155,6	115,5
109	596676,4133	6796865,931	1011	Cambará do Sul	RS	214,8	-
110	595855,2729	6797425,034	1036	Cambará do Sul	RS	151,7	123,1
111	597014,6105	6798542,105	1004	Cambará do Sul	RS	100,8	104,1
112	586397,6957	6777730,657	1023	Cambará do Sul	RS	119,2	98,6
113	588790,9615	6779458,062	1045	Cambará do Sul	RS	136,1	106
114	586507,9418	6780029,806	966	Cambará do Sul	RS	86	68,3
115	555376,453	6797498,674	934	Jaquirana	RS	70	63
116	555516,7566	6790148,029	1002	Jaquirana	RS	123	-
117	554592,8379	6785152,136	946	Jaquirana	RS	80	76
118	552309,3387	6771551,158	988	São Francisco de Paula	RS	81,8	67,8
119	555580,6274	6766903,601	983	São Francisco de Paula	RS	84,4	74,5
120	566111,0177	6756627,094	884	São Francisco de Paula	RS	83,6	54,2
122	571127,2312	6756667,691	890	São Francisco de Paula	RS	85,4	79,1
123	572938,234	6758211,651	926	São Francisco de Paula	RS	100,8	80,4
124	569762,5366	6761387,506	896	Cambará do Sul	RS	92,7	79,2
125	574967,5334	6770306,173	946	Cambará do Sul	RS	90,7	76,2
126	585719,424	6777519,045	1041	Cambará do Sul	RS	132,5	-
127	584009,7497	6777010,604	979	Cambará do Sul	RS	92,5	83,6
128	582483,0085	6776880,042	923	Cambará do Sul	RS	78,9	65,5
129	581015,6547	6776172,18	947	Cambará do Sul	RS	97,4	-
130	580143,823	6779920,037	933	Cambará do Sul	RS	88,6	77
131	579426,1655	6783181,251	887	Cambará do Sul	RS	82,3	73,4
132	581650,2352	6784370,864	921	Cambará do Sul	RS	95,3	-
133	578438,2196	6779979,251	951	Cambará do Sul	RS	82,7	66,3
134	575787,494	6781215,719	1003	Jaquirana	RS	89,4	-
135	574612,4909	6782644,414	972	Jaquirana	RS	98,3	-
136	573648,7516	6785842,301	972	Jaquirana	RS	77,1	-
137	571341,8443	6787794,109	944	Jaquirana	RS	77,2	-
138	569281,7483	6791708,189	928	Jaquirana	RS	88,2	-
139	568546,3784	6797614,106	968	Jaquirana	RS	71,5	57,8
165	640961,8785	6856951,293	1434	Bom Jardim da Serra	SC	253,5	64,2
166	640116,6732	6856293,481	1384	Bom Jardim da Serra	SC	333,8	175,7
167	639970,9406	6856034,26	1372	Bom Jardim da Serra	SC	236,7	144,6
168	639886,5342	6856071,431	1369	Bom Jardim da Serra	SC	222,9	-
169	639812,1394	6856055,408	1368	Bom Jardim da Serra	SC	289,9	177
170	639484,728	6856001,688	1366	Bom Jardim da Serra	SC	247,7	-
171	638985,9812	6855834,106	1367	Bom Jardim da Serra	SC	210,9	-
172	640177,663	6857474,935	1414	Bom Jardim da Serra	SC	225,5	119,9

173	641920,2077	6857538,525	1407	Bom Jardim da Serra	SC	162,3	-
175	641984,0756	6857320,293	1399	Bom Jardim da Serra	SC	120,5	-
177	641766,4992	6857253,013	1431	Bom Jardim da Serra	SC	219,7	160,8
179	641944,3503	6857927,315	1414	Bom Jardim da Serra	SC	312,3	-
180	638645,4394	6861826,974	1373	Bom Jardim da Serra	SC	162,9	73
182	622197,4417	6881760,395	1313	São Joaquim	SC	79,8	35,8
183	622476,0441	6883840,767	1197	São Joaquim	SC	51	37
184	623750,2108	6883261,015	1330	Urubici	SC	131,4	-
185	623877,2902	6883407,803	1389	Urubici	SC	115,9	-
186	631177,2911	6892113,356	1591	Urubici	SC	257,5	-
187	630845,1364	6892194,419	1621	Urubici	SC	255,6	174,6
188	630693,8367	6892473,237	1623	Urubici	SC	284,2	215,3
189	630796,2394	6892471,096	1623	Urubici	SC	278,7	251,6
191	628355,7105	6881344,769	1475	Urubici	SC	74,1	49,9
192	627301,4872	6881216,439	1467	Urubici	SC	75,4	40,9
193	626825,7381	6881370,39	1450	Urubici	SC	69,9	35,8
194	626516,4791	6881196,063	1425	Urubici	SC	72,8	54,2
195	626203,3498	6881147,098	1339	Urubici	SC	98,7	52,6
196	625560,379	6881582,754	1254	Urubici	SC	72,1	23,9
197	624860,96	6881528,227	1270	São Joaquim	SC	60,2	41,6
198	620221,6686	6882674,611	1307	São Joaquim	SC	68,2	43,2

*(-) solo não apresenta horizonte abaixo de 20cm

APÊNDICE U – Fotos dos perfis de solos e relevo local nos pontos de amostragens nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.





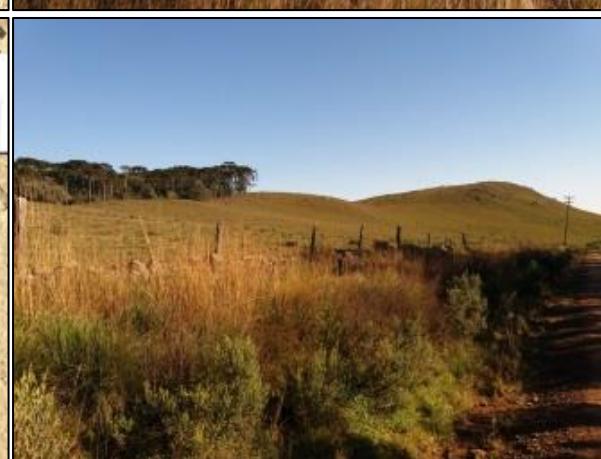








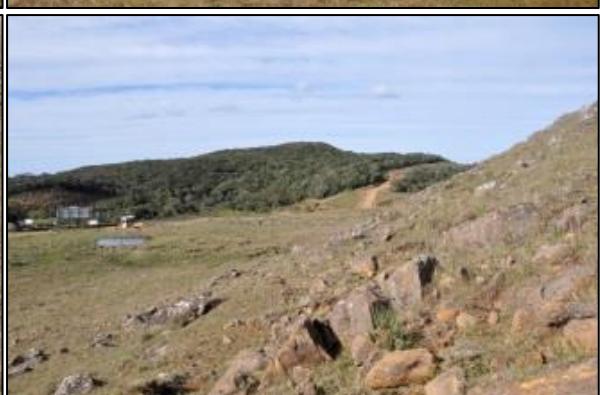


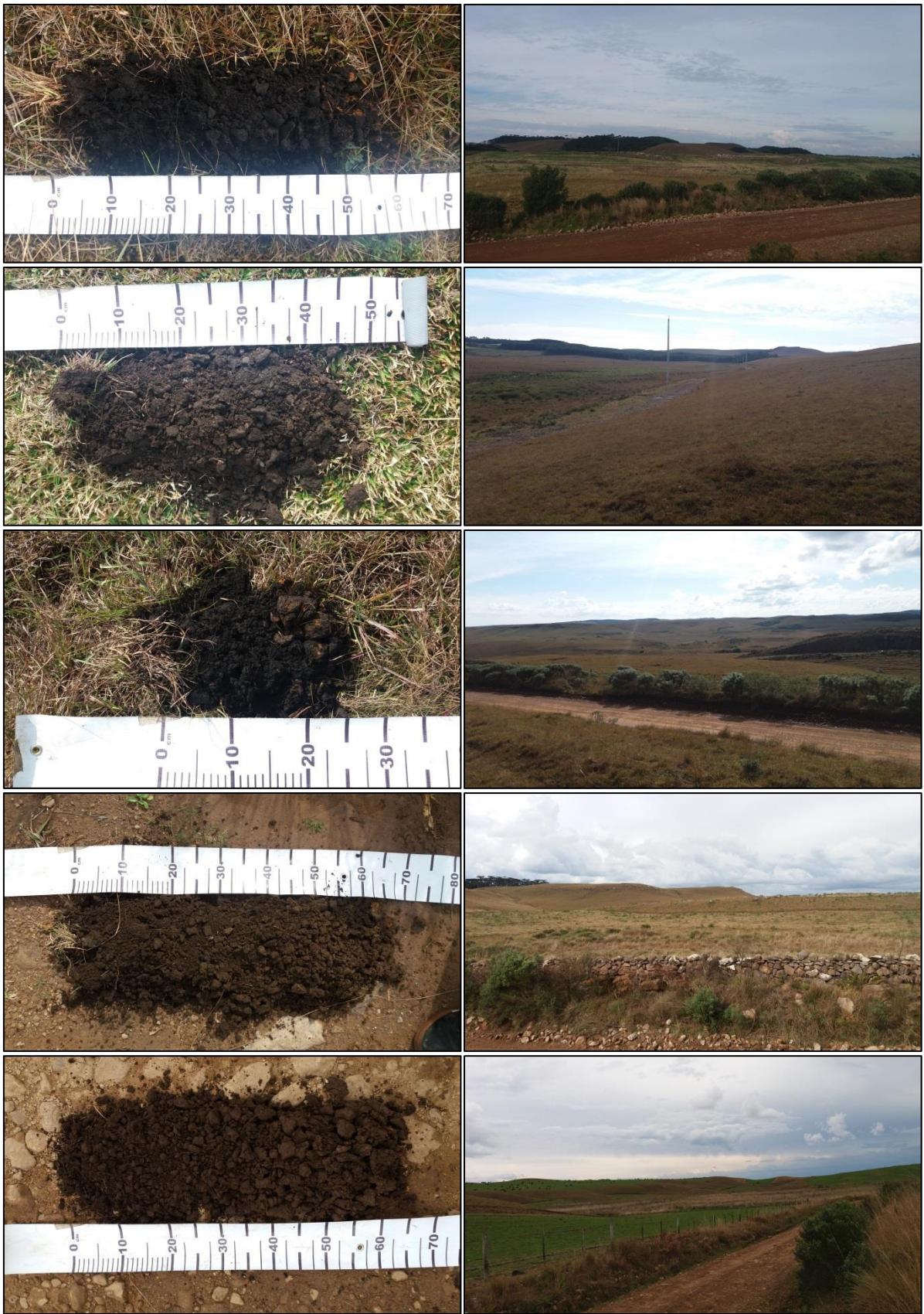
















ANEXOS

ANEXO I – Autorização para atividades com finalidade científica (SISBIO nº: 61131).

ANEXO II – Autorização para atividades com finalidade científica (SISBIO nº 61880).

ANEXOS III – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas dos perfis de solos representativos (SANTOS JUNIOR, 2017).

III.A – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-01 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

III.B – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-02 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.C – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-03 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.D – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-04 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

III.E – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-05 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

III.F – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-06 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.G – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-07 CAMBISSOLO HÚMICO Distroférrico típico.

III.H – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-08 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico típico.

III.I – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-09 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico.

III.J – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-10 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) léptico.

III.K – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-11 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

III.L – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-12 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

III.M – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-13 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

ANEXO I – Autorização para atividades com finalidade científica (SISBIO nº61131).

Número: 61131-1	Data da Emissão: 20/11/2017 16:19	Data para Revalidação*: 20/12/2018
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição: UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Seleção das áreas de estudo	11/2017	01/2018
2	Coleta das amostras de solo	11/2017	06/2018
3	Coleta dos perfis de solo	11/2017	06/2018

Observações e ressalvas

1	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
2	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
3	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
4	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição <i>in situ</i> .
5	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
6	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
7	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade.

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Doc. Identidade	Nacionalidade
1	Giordano Augusto Sandi	Colaborador			Brasileira
2	LETICIA SEQUINATTO	Coordenadora do projeto			Brasileira
3	Renan Carneiro da Cunha Silveira	Colaborador			Brasileira
4	Milena do Amaral	Colaboradora			Brasileira

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Município	UF	Descrição do local	Tipo
1		SC	PARQUE NACIONAL DE SÃO JOAQUIM	UC Federal

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo Destino

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 55284944



Página

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61131-1	Data da Emissão: 20/11/2017 16:19	Data para Revalidação* : 20/12/2018
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição : UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

1 UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
--

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 55284944



Página

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61131-1	Data da Emissão: 20/11/2017 16:19	Data para Revalidação*: 20/12/2018
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição: UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

Registro de coleta imprevista de material biológico

De acordo com a Instrução Normativa nº 03/2014, a coleta imprevista de material biológico ou de substrato não contemplado na autorização ou na licença permanente deverá ser anotada na mesma, em campo específico, por ocasião da coleta, devendo esta coleta imprevista ser comunicada por meio do relatório de atividades. O transporte do material biológico ou do substrato deverá ser acompanhado da autorização ou da licença permanente com a devida anotação. O material biológico coletado de forma imprevista, deverá ser destinado à instituição científica e,

* Identificar o espécime no nível taxonômico possível.

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 55284944



Página

ANEXO II – Autorização para atividades com finalidade científica (SISBIO nº61880).

Número: 61880-1	Data da Emissão: 20/02/2018 12:06	Data para Revalidação*: 22/03/2019
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição : UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de amostras de solo	01/2018	01/2019
2	Descrição e caracterização do solo	01/2018	01/2019
3	Seleção das áreas de estudo	01/2018	01/2019

Observações e ressalvas

1	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
2	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
3	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
4	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição <i>in situ</i> .
5	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
6	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
7	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infra-estrutura da unidade.

Outras ressalvas

1	i) Todo material utilizado em campo deverá ser removido ao término das coletas. ii) Locais onde forem instaladas estruturas e efetuadas as coletas deverão ser informados ao gestor da UC. iii) Buracos abertos p/ coletas deverão ser tapados, deixando área recomposta após conclusão das coletas. iv) Comunicar equipe da UC localização e situação caso verifique em campo presença de espécie exótica invasora (<i>pinnus</i> , javali, tojo, etc) e-mail parnaaparadosdaserra@icmbio.gov.br v) Nem todo território do PNAS está regularizado fundiariamente, consultar equipe da UC antes de entrar nas áreas.
2	A ocorrência de varas de javalis deve ser observada em campo e noticiada à administração da UC. Sempre que possível devem ser acompanhados por equipe dos PN's, principalmente em regiões de ocorrência de javalis.

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Doc. Identidade	Nacionalidade
1	LETICIA SEQUINATTO	Coordenadora			Brasileira
2	Giordano Augusto Sandi	Colaborador			Brasileira
3	Regiane Farias Batista	Colaboradora			Brasileira
4	suelen fernanda muller	Colaboradora			Brasileira
5	Milena do Amaral	Colaboradora			Brasileira
6	Lucas Raimundo Rauber	Colaborador			Brasileira

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 69751549



Página

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61880-1	Data da Emissão: 20/02/2018 12:06	Data para Revalidação*: 22/03/2019
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição : UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Município	UF	Descrição do local	Tipo
1		RS	PARQUE NACIONAL DA SERRA GERAL	UC Federal
2		RS	PARQUE NACIONAL DE APARADOS DA SERRA	UC Federal

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo Destino
1	UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 69751549



Página

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61880-1	Data da Emissão: 20/02/2018 12:06	Data para Revalidação* : 22/03/2019
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Gustavo Eduardo Pereira	CPF: 078.587.579-46
Título do Projeto: Desenvolvimento de metodologia para identificação de solos com altos teores de carbono por radiometria para o Sul do Brasil	
Nome da Instituição : UDESC - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	CNPJ: 83.891.283/0001-36

Este documento (Autorização para atividades com finalidade científica) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 69751549



Página

ANEXOS III – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas dos perfis de solos representativos (SANTOS JUNIOR, 2017).

III.A – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-01 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

III.B – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-02 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.C – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-03 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.D – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-04 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

III.E – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-05 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

III.F – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-06 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

III.G – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-07 CAMBISSOLO HÚMICO Distroférrico típico.

III.H – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-08 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico típico.

III.I – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-09 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico.

III.J – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-10 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) léptico.

III.K – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-11 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

III.L – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-12 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

III.M – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-13 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

ANEXO III.A – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P-01 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P1

Perfil n° P1

DATA – 27 de agosto de 2014

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Cambic Umbrisol (Clayic, Colluvic);
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Typic Humudept.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Rodovia RS-110, trecho Bom Jesus – Várzea do Cedro, 500m antes trevo (passo da Ilha) lado direito.

COORDENADAS – 29° 10' 59,2" S; 50° 27' 42,7" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior da encosta, com ± 6 a 7% de declividade, cobertura predominante de gramíneas, principalmente Poaceae, destacando-se *Andropogon lateralis* (Capim caninha), *Piptochaetium sp.* (Piptoquecium) e *Schizachyrium sp.*

ALTITUDE – 989 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários – Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos com contribuição de material alóctone de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – não pedregoso

ROCHOSIDADE – não rochoso

RELEVO LOCAL – suave ondulado

RELEVO REGIONAL – suave ondulado com porções onduladas

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – pastagem

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Jaime Antonio de Almeida.

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P1

A1 – 0-7 cm; preto (10YR 2/1, úmida) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seca); argilossiltosa; moderada pequena e muito pequena granular; dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

A2 – 7-22,5 (20-25) cm; preto (10YR 2/1, úmida) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seca); argilosa; moderada pequena e muito pequena granular; dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

AB – 22,5-37,5 (35-40) cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida) e bruno- acinzentado-escuro (10YR 4/2, seca); argilosa; fraca média e pequena blocos subangulares; dura a muito dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

BA – 37,5-65 cm; bruno-oliváceo-escuro (2,5Y 3/3, úmida) e bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/3, seca); argilosa; fraca média e pequena blocos subangulares; muito dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

Bi – 65-90 cm; bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/4, seca); argilosa pouco cascalhenta; fraca média blocos subangulares; dura a muito dura, friável a firme; muito plástica e pegajosa; transição clara e plana.

2BC/Cr – 90-102 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno-amarelada- o-claro (10YR 6/4, seca) com mosqueado bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/2, seca); argilossiltosa; fraca grande blocos subangulares; muito dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

2C1 – 102-125 (120-130) cm; coloração variegada, composta de bruno-amarelado e cinzento-rosado (10YR 5/6 e 7,5YR 7/2, úmida); bruno-amarelado-claro e branco (10YR 6/4 e 7,5YR 8/1 seca); argilossiltosa; aspecto de maciço que se desfaz em fraca grande blocos angulares; muito dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.

2C2 – 125 (120-130)-135 (130-140)cm⁺; não coletado.

OBSERVAÇÕES – Linha de fragmentos angulosos da rocha semi alterada no 2BC/Cr, ausentes no 2C1 e 2C2, indicativo de descontinuidade do material de origem; O 2C2 apresenta cores gleizadas (variegados de cor bruna, cinzenta e bruno- avermelhada); Presença de cascalhos de quartzo e calcedônia no Bi com diâmetros entre 2 e 6mm.

Raízes: Fasciculadas, muitas, finas e muito finas no A1 e A2; fasciculadas, comuns, finas e muito finas no AB; fasciculadas, comuns, finas no BA e fasciculadas, poucas, finas no Bi.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-01

ANEXO III.B – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P2 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P2

Perfil n° P2

DATA – 27 de agosto de 2014

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Aluandic Andosol (Clayic);
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Alic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Partindo de São Francisco de Paula, RS pela RS-020, entrando à direita na RS-484, seguindo aproximadamente 9,5 km, virar à esquerda em estrada vicinal seguindo até a localidade de Gaúcha em direção a Reserva PROMATA, 800 m após entroncamento, lado direito, perfil em barranco.

COORDENADAS – 29° 28' 34,6" S; 50° 13' 56,7" W (*Datum SIRGAS 2000*)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior da elevação com ± 12% de declividade, cobertura gramíneas, campo recém queimado.

ALTITUDE – 919 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos com possível contribuição coluvionar de material alterado de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico) PEDREGOSIDADE – ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE – não rochoso

RELEVO LOCAL – ondulado;

RELEVO REGIONAL – ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – pastagem

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Jaime Antonio de Almeida.

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P2

O– 27-0cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seca); moderada pequena e muito pequena granular; extremamente dura, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição difusa e plana.

A – 0-10cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); fraca média e pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; extremamente dura, firme, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

AB – 10-25cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); fraca média e pequena blocos subangulares e moderada média granular; dura, firme, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

BA – 25-38cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 5/3, seca); fraca média e pequena blocos subangulares; dura a muito dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Bi1 – 38-68cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca); fraca grande e média blocos subangulares; muito dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

Bi2 – 68-83cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca); fraca grande e média blocos subangulares; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

C/Cr – 83-97cm; bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seco); aspecto de maciço que se desfaz em fraca média blocos angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.

Cr – 97-103cm⁺; não coletado.

OBSERVAÇÕES – Poucos fragmentos centimétricos no Cr e no Bi1; Bolsões centimétricos de material orgânico preto no Bi1 (atividade de cupins); Canais escuros de formigas e algumas fendas preenchidas por material orgânico proveniente dos horizontes superiores no Bi1 e Bi2; Poucos fragmentos de cascalho, alguns de calcedônias no AB e BA.

Raízes: Fasciculadas, muitas, finas e muito finas no O e A; fasciculadas, comuns, finas no AB; fasciculadas, poucas, finas no BA e fasciculadas, raras, finas no Bi1 e Bi2.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-02

ANEXO III.C – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P3 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P3

Perfil n° P3

DATA – 28 de agosto de 2014

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Aluandic Andosol (Clayic, Colluvic, Fulvic)

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Alic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Estrada secundaria no trecho entre Tainhas-Litoral, na BR453, entrando a esquerda em direção ao Canyon Josafá, a 9km da rodovia, lado esquerdo.

COORDENADAS – 29º 19' 10,02" S; 50º 07' 29,5" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio da encosta com 10% de declividade, cobertura Floresta Ombrófila Mista.

ALTITUDE – 978 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos com forte influência de material coluvionar alterado de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico) PEDREGOSIDADE – ligeiramente pedregoso

ROCHOSIDADE – não rochoso

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – forte ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – Floresta

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Jaime Antonio de Almeida.

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P3

O – 41-21cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); fraca media blocos subangulares e angulares e moderada pequena granular; extremamente dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

AO – 21-0cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); fraca média blocos subangulares e moderada pequena granular; muito dura, firme, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

2A – 0-10cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); fraca média e pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

2BA – 10-20cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno- acinzentado escuro (10YR 3/1, seca); fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; abundantes “organs”; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2Bi1 – 20-60cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/4, seca); fraca a moderada média blocos subangulares; comuns ”organs”; dura, friável a firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2Bi2 – 60-100(90-110)cm; bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); fraca média blocos subangulares; poucos “organs”; muito dura, friável a firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.

2Cr – 100-115cm; bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, seco); fraca média blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

R – 115-130cm+;

OBSERVAÇÕES – Linha de cascalhos milimétricos e centímetros de riodacitos alterados no AO; fragmentos de rocha semi-intemperizada no 2Bi1; 2Cr constituído de saprolitos fragmentados dos riodacitos, cortáveis com faca e quebradiços.

Raízes: Fasciculadas, comuns, médias e finas no O e AO; fasciculadas, poucas, finas no A; fasciculadas, raras, finas 2Bi1 e 2Bi2.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-03

ANEXO III.D – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P4 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

DESCRIÇÃO GERAL – P4

Perfil n° P4

DATA – 28 de agosto de 2014

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Leptic Aluandic Andosol (Siltic, Fulvic)
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Lithic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Rodovia RS427, trecho Cambará do Sul – Borda da escarpa, ± 3km após a entrada do Parque Nacional de Aparados da Serra, lado esquerdo.

COORDENADAS – 29° 09' 51,8" S; 50° 02' 44,3" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil em meia encosta com aprox. 25 de declividade, cobertura com Poaceas, destacando-se *Andropogon lateralis* (Capim caninha) e *Schizachyrium sp.* Alguns arbustos como Vassouras.

ALTITUDE – 1003 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos com acúmulo de material orgânico

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – pedregoso

ROCHOSIDADE – ligeiramente rochoso

RELEVO LOCAL – forte ondulado

RELEVO REGIONAL – forte ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – bem a moderadamente drenado

USO ATUAL – campos naturais

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Jaime Antonio de Almeida.

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P4

O1 – 0-14cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); moderada media e pequena granular e fraca média blocos subangulares; muito dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição difusa e plana.

O2 – 14-30cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); fraca média e grande blocos subangulares que se desfazem em moderada média e pequena granular; dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

Cr/R – 30-55cm; bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, seco); ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa.

R – 55-88cm+

OBSERVAÇÕES – Horizonte Cr/R representado por fragmentos irregulares e alguns horizontalizados do Cr em mistura com fragmentos irregulares do R, não cortáveis com a faca, ligados por material argiloso pouco expressivo de C; Alguns afloramentos de rocha à montante; atividades de cupins nos horizontes O1 e Cr/R.

Raízes: Fasciculadas, muitas, finas e muito finas no O1 e O2.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-04

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg					Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Sítio/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Sítio 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Solo	Partículas			Solo	Partículas	
O1	0-14	0	26	974	190	31	533	246	134	46	2,17	0,4378			
O2	-30	55	139	806	162	15	582	241	131	46	2,41	0,5365			
Or/R	-55	243	302	455	68	8	565	359	275	23	1,57				
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo						cmolc/kg			Valor V (sat. por bases) %	100.Al3+ S + Al3+ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T					
O1	4,4	3,4	0,9	1	0,26	0,13	2,3	8,5	58	68,8	3	79	4		
O2	4,4	3,7	0,8	1	0,13	0,1	2	9,8	47,3	59,1	3	83	2		
Or/R	4,7	4,1	1		0,07	0,07	1,1	3,3	9,6	14	8	75	2		
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico					g/kg		Relações Moleculares			Fe2O3 livre g/kg	Equivalente de CaCO3 g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO		SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
O1	179,4	9,3	19												
O2	118,4	6,9	17												
Or/R	17,2	1,5	11	183	207	93	13,3	1,1	0,6	1,5	1,17	3,49			

ANEXO III.E – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P5 CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P5

Perfil n° P5

DATA – 28 de agosto de 2014

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018):
CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Cambic Umbrisol (Protoandic, Clayic, Colluvic, Hyperdystric, Profundihumic)

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Andic Humudept

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Trecho Cambará do Sul – escarpa de Aparados da Serra, 15 km após entrada de Cambará do Sul, entrando a direita e percorrendo aproximadamente 1 km em direção a localidade de Crespos, lado esquerdo.

COORDENADAS – 29° 07' 33,5" S; 50° 06' 42,6" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Barranco

marginal à estrada, no terço superior da encosta, com aproximadamente 10% de declividade, cobertura de gramíneas, área recém queimada.

ALTITUDE – 1023 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos com forte influência de material coluvionar alterado de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – não pedregoso

ROCHOSIDADE – ligeiramente rochoso nos topos de morro

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – ondulado com partes forte ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – Campos naturais

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Jaime Antonio de Almeida.

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P5

A1– 0-13cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); moderada media e pequena granular; dura a muito dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição difusa e plana.

A2 – 13-48cm; preto (10YR 2/1, úmida e seca); fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada média granular; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

AB – 48-62cm; preto (10YR 2/1, úmida) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seca); fraca a moderada pequena blocos subangulares e moderada média e pequena granular; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

2BA1 – 62-77cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno- acinzentado escuro (10YR 4/2, seca); fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; muito dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2BA2 – 77-92cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, seca) fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

2Bi – 92-107,5(105-110)cm; bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/4, seca); fraca média blocos subangulares; dura a muito dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

2BC – 107,5-132,5(130-135)cm; bruno (10YR 4/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); maciça; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

2C – 132,5-152,5(145-160); bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida) e bruno- amarelado (10YR 5/4, seca) com mosqueado bruno-vermelhado (2,5YR 4/4, úmida) e bruno-vermelhado-claro (2,5YR 6/4, seca); maciça; dura, friável a firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e irregular.

R – 152,5-180cm+

OBSERVAÇÕES – Presença de linha de cascalhos centimétricos ocupando toda uma extensão lateral de ± 80 m, separando nitidamente o AB do 2BA1; Intensa presença de fragmentos de riodacitos róseos e cinzentos com diâmetros entre 2 e 5cm, muito quebradiços, outros pouco alterados ao longo do 2BA2 e 2Bi e em menor quantidade no 2BC e 2C; Linha de cascalhos constituída de fragmentos duros e semi-alterados de riodacitos, em conjunto com fragmentos de calcedônia e quartzo; Intensa atividade de cupins no 2BA2, 2Bi e 2BC.

Raízes: Fasciculadas, muitas, finas e muito finas no A1; fasciculadas, comuns, finas e muito finas no A2 e AB; fasciculadas, poucas, finas e muito finas em 2BA1 e 2BA2; fasciculadas, raras, finas e muito finas nos demais.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-05

ANEXO III.F – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P6 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P6

Perfil n° P6

DATA – 02 de fevereiro de 2015

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) típico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Aluandic Andosol (Clayic, Melanic);
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Pachic Melanudand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Trecho RS020 entrando pela localidade Ouro Verde, 15 km após Cambará do Sul, entrando a direita e percorrendo aproximadamente 8,5 km em direção a escarpa, lado esquerdo.

COORDENADAS – 28° 56' 52,7" S; 49° 58' 56,9" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil em barranco ao lado da estrada, no terço superior da encosta, com aproximadamente 20% de declividade, cobertura arbórea.

ALTITUDE – 1130 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de Riodacitos

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – não pedregoso

ROCHOSIDADE – rochoso nos topos de morro

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – ondulado com partes forte ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – Regeneração natural estágio inicial de Floresta Ombrófila Mista com campos naturais

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P6

O1 – 47-34cm; preto (10YR 2/1, úmida e seca); fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

O2 – 34-13cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); fraca média e pequena blocos subangulares; extremamente dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

OA – 13-0cm; preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena blocos subangulares e moderada média e pequena granular; muito dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

A – 0-8cm; preto (2,5Y 2,5/1, úmida e seca); fraca pequena blocos subangulares e moderada média e pequena granular; ligeiramente dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.

AB – 8-17,5(13-22)cm; preto (2,5Y 2,5/1, úmida) e bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2, seca); fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e irregular.

Bi – 17,5-55cm; bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, seca); fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada média e pequena granular; dura a muito dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

BC/Cr – 55-83cm+; não coletado

OBSERVAÇÕES – Fragmentos duros e semi-alterados de riódacitos, em conjunto com fragmentos de calcedônia e quartzo distribuídos ao longo do perfil

Raízes: Fasciculadas, muitas, finas e muito finas no O1; fasciculadas, comuns, finas e muito finas no O2; fasciculadas, poucas, muito finas em OA; fasciculadas, raras, muito finas nos demais.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-06

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Sílte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³	
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas		
O1	0-13	0	38	962	65	15	573	347	152	56	1,65	0,4926			
O2	-34	0	52	948	109	22	497	372	153	59	1,34	0,5991			
OA	-47	0	13	987	124	23	319	534	192	64	0,6	0,7168			
A	-55	0	5	995	145	32	260	563	260	54	0,46	0,7982			
AB	-69	0	0	1000	97	52	242	609	90	85	0,4				
Bi	-102	0	0	1000	68	56	291	585	0	100	0,5				
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmolc/kg							Valor V (sat. por bases) %	$\frac{100Al^3+}{S + Al^3+}$ %	P assimilável mg/kg			
	Água	Ka 1N	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺	Valor S (soma)	Al³⁺	H⁺						
O1	4,6	3,7	0,4		0,25	0,14	0,8	8	46	54,8	1	91	7		
O2	4,6	3,8	0,2		0,11	0,1	0,4	10,2	46,7	57,3	1	96	1		
OA	4,6	3,9	0,2		0,05	0,1	0,3	9	34,3	43,6	1	97	1		
A	4,6	3,9	0,1		0,03	0,03	0,2	7,9	23,7	31,8	1	98	<1		
AB	4,6	3,9	0,1		0,02	0,02	0,1	7,7	12,6	20,4	0	99	<1		
Bi	4,7	3,9	0,2		0,02	0,02	0,2	7,7	9	16,9	1	97	<1		
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe₂O₃ livre g/kg	Equivalente de CaCO₃ g/kg		
				SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO	SiO₂/ Al₂O₃ (Ki)	SiO₂/ R₂O₃ (Kr)	Al₂O₃/ Fe₂O₃			
O1	118,3	8,7	14												
O2	123,1	7,4	17												
OA	62,5	3,2	20												
A	48,5	2,5	19												
AB	24,6	1,7	14												
Bi	15	1,1	11	218	205	97	13,8	0,6	0,3	1,81	1,39	3,32			

ANEXO III.G – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P7 CAMBISSOLO HÚMICO Distroférrico típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P7

Perfil n° P7

DATA – 23 de maio de 2015

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÚMICO Distroférrico típico (CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférrico típico).

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Cambisol (Clayic, Colluvic, Humic);

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Typic Humudept

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Trecho SC390 entre Bom Jardim da Serra – Serra do Rio do Rastro, aproximadamente 4,5 km após Bom Jardim da Serra, lado direito.

COORDENADAS – 28° 21' 59,4" S; 49° 34' 45,1" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil em barranco ao lado da estrada, no terço superior da encosta, com aproximadamente 8% de declividade, campo nativo.

ALTITUDE – 1423 m

LITOLOGIA – Eruptivas básicas - Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração da rocha supracitada com contribuição de material alóctone de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – pedregoso

ROCHOSIDADE – rochoso a muito rochoso

RELEVO LOCAL – suave ondulado

RELEVO REGIONAL – suave ondulado a ondulado

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente a bem drenado

USO ATUAL – campo nativo

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Marciano Istchuk Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P7

O – 12-0cm; preto (10YR 2/1, úmida e seca); fraca pequena a muito pequena granular; muito dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A – 0-9cm; bruno muito escuro (10YR 2/2 úmida) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seca); fraca média e pequena blocos subangulares e fraca pequena a muito pequena granular; dura a muito dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB – 9-17cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida e seca); fraca média e pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada a fraca média e pequena granular; muito dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

2BA – 17-30cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, seca); moderada grande e média blocos subangulares; dura, friável a firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2Bi1 – 30-51cm; bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida) e bruno (7,5YR 5/4, seca); moderada a forte grande e média blocos subangulares; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

2Bi2 – 51-70cm; bruno (7,5YR 4/4, úmida e 7,5YR 5/4, seca); moderada média e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2BC – 70-84cm; bruno (7,5YR 4/4, úmida e 7,5YR 5/4, seca); moderada média e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

2C – 84-120cm+; bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmida) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seca) com mosquedo bruno-claro (7,5YR 6/4, úmida) e rosado (7,5YR 8/4, seca); moderada média e pequena blocos subangulares; dura, firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÕES – Linha de cascalhos constituída de fragmentos duros e semi-alterados de basalto, em conjunto com fragmentos de calcedônia e quartzo separando nitidamente o AB do 2BA.

Raízes: Fasciculadas, comuns, finas e muito finas no O; fasciculadas, poucas, muito finas no A e AB.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-07

ANEXO III.H – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P8 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P8

Perfil n° P8

DATA – 23 de maio de 2015

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÍSTICO Dístrófico típico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Aluandic Andosol (Loamic,Colluvic, Fulvic);

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Alic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Trecho SC390 entre Bom Jardim da Serra – Serra do Rio do Rastro, aproximadamente 6 km após Bom Jardim da Serra, lado direito.

COORDENADAS – 28° 22' 19,1" S; 49° 33' 53,7" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço médio de elevação com 32% de declividade sob vegetação de gramíneas (pastagem).

ALTITUDE – 1372 m

LITOLOGIA – Eruptivas básicas – Andesito/Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rocha supracitada com contribuição de material alóctone de natureza similar.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – pedregoso

ROCHOSIDADE – rochoso

RELEVO LOCAL – forte ondulado

RELEVO REGIONAL – forte ondulado a ondulado

EROSÃO – moderada

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – pastagem

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Marciano Istchuk Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P8

O1 – 33-20cm; preto (10YR 2/1 úmido), preto (10YR 2/1, seco); franca; moderada média e grande granular; firme; não pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.

O2 – 20-0cm; preto (10YR 2/1 úmido), preto (10YR 2/1, seco); franco argilosa; moderada a fraca grande e média blocos angulares e subangulares; firme; ligeiramente plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.

A – 0-8cm; preto (10YR 2/1, úmido), preto (10YR 2/1, seco); franco argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e angulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

2BA – 8-20cm; bruno (10YR 4/3, úmido), bruno amarelado escuro (10YR 4/4,5, seco); argila cascalhenta; fraca média blocos subangulares e angulares; friável a firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

2Bi1 – 20-50cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido), bruno amarelado escuro (10YR 4/4,5, seco); argila cascalhenta; fraca grande blocos subangulares; firme; plástico e pegajoso; transição calara e plana.

2Bi2 – 50-86cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido), bruno amarelado (10YR 5/4, seco); argila; aspecto de maciça que se desfaz em fraca grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

2BC – 86-107cm+; bruno amarelado escuro (10YR4/6, úmido), bruno amarelado (10YR5/4, seco); argila; aspecto de maciço que se desfaz em fraca grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

OBSERVAÇÕES – Linha de cascalhos milimétricos e centimétricos no BA e linha de pedra (Stone line) separando A de 2BA. Fragmentos de rocha disseminados no 2Bi1 e 2Bi2; Fragmentos de rocha com aspecto corroído no 2Bi1; Fragmentos de calcedônia e quartzo ao longo do perfil.

Raízes: muitas, fasciculadas e finas no O1; muitas, comuns, fasciculadas e finas no O2; comuns, fasciculadas e finas no A; poucas e finas no BA; raras nos demais horizontes.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-08

Horizonte			Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Sílte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Solo	Partículas			Solo	Partículas	
O1	33-20	0	5	995	147	143	457	253	105	58	1,81	0,6341			
O2	0	0	10	990	508	38	202	252	84	67	0,8	0,6937			
A	-8	0	261	739	376	48	243	333	21	94	0,73	0,7822			
2BA	-20	108	399	493	308	37	239	416	42	90	0,57				
2Bi1	-50	0	101	899	142	44	292	522	0	100	0,56				
2Bi2	-86	0	31	969	149	35	258	558	0	100	0,46				
2BC	-107+	0	32	968	143	68	375	414	0	100	0,91				
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo						cmolc/kg		Valor V (sat. por bases) %		$\frac{100Al^{3+}}{S + Al^{3+}}$ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺	Valor S (soma)	Al³⁺	H⁺	Valor T					
O1	4,8	4,2	3,3	1,7	0,58	0,19	5,8	4,4	37	47,2	12	43	5		
O2	4,8	4,3	0,7	0,6	0,17	0,08	1,5	3,7	36,6	41,8	4	71	5		
A	5	4,5	0,7		0,06	0,04	0,8	1,9	15,1	17,8	4	70	2		
2BA	5,3	4,6	0,7		0,03	0,04	0,8	1,2	7,8	9,8	8	60	2		
2Bi1	5,2	4,4	0,7		0,03	0,04	0,8	2,2	5,7	8,7	9	73	<1		
2Bi2	5,1	4,3	0,5		0,02	0,04	0,6	2,3	4,5	7,4	8	79	<1		
2BC	5,2	4,2	0,7		0,04	0,06	0,8	4,3	3,7	8,8	9	84	1		
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico					g/kg		Relações Moleculares		Fe2O3 livre g/kg	Equivalente de CaCO3 g/kg	
				SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO	SiO₂ / Al₂O₃(Ki)	SiO₂ / R₂O₃ (Kr)	Al₂O₃ / Fe₂O₃			
O1	121,4	7,6	16												
O2	105,8	6	18												
A	38,8	2,5	16												
2BA	17,5	1,6	11												
2Bi1	10,7	1,1	10	163	202	159	37,6			1,37	0,91	1,99			
2Bi2	6,6	0,8	8	180	203	158	36,8			1,51	1,01	2,02			
2BC	4	0,6	7	190	215	158	29,8			1,5	1,02	2,14			

ANEXO III.I – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P9 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico.

DESCRIÇÃO GERAL – P9

Perfil n° P9

DATA – 23 de maio de 2015

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico cambissólico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Ombric Sapric Folic Histosol (Andic, Hyperdystric, Cambic, Thixotropic);
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Alic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Rodovia SC-382, trecho Bom Jardim da Serra – Lauro Muller, próximo ao mirante da serra do Rio do Rastro na estrada para o Parque Eólico, no lado esquerdo da via.

COORDENADAS – 28° 24' 16,6" S; 49° 33' 20,7" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – barranco em beira de estrada com declive de 25-30% coberto por gramíneas.

ALTITUDE – 1445 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração do material supracitado com contribuição de material alóctone de natureza similar e acúmulo de material orgânico.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – Moderadamente pedregoso

ROCHOSIDADE – rochoso

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – ondulado a suave ondulado

EROSÃO – voçorocas

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – pastagem natural

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior e Marciano Istchuk Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P9

O1 – 0-21cm; preto (10YR 2/1 úmido), preto (10YR 2/1, seco); forte média e pequena granular; dura a extremamente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

O2 – 21-60 cm; preto (10YR 2/1 úmido), preto (10YR 2/1, seco); forte média e pequena granular e forte pequena blocos angulares; extremamente dura, friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.

A – 60-75cm; preto (10YR 2/1, úmido), preto (10YR 2/1, seco); forte média blocos e angulares e moderada a forte média blocos subangulares que se desfaz em forte pequena e média granular; extremamente dura, friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e clara.

2AB – 75-86 (85-87)cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido), bruno (10YR 4/3, úmido); moderada média e pequena granular; extremamente dura, friável, plástico e pegajoso; transição ondulada e clara.

2Bi – 86-127cm+; bruno-forte (7,5YR 5/6, úmida) e bruno-forte (7,5YR 4/6, seca); fraca grande e média blocos subangulares; muito dura, firme, plástico e pegajoso a muito pegajoso.

OBSERVAÇÕES – Fragmentos de riodacitos semi-intemperizados disseminados no 2AB e 2Bi; Fragmentos milimétricos de quartzo disseminados no 2Bi; Presença expressiva de cascalho e de calhaus constituídos de linhas de fragmentos de riodacito semi-intemperizado, calcedônia, ágata e quartzo no 2AB e topo do 2Bi, poucos no A e O2; Intenso fendilhamento dos horizontes superficiais até o topo do 2AB.

Raízes: Abundantes fasciculadas finas no O1 e O2; poucas fasciculadas finas no A; e raras fasciculadas finas no 2AB e 2Bi.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-09

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Silte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
O1	0-21	0	11	989	268	14	468	250	91	64	1,87	0,6341		
O2	-60	0	184	816	656	44	139	161	23	86	0,86	0,6937		
A	-75	0	86	914	310	37	374	279	0	100	1,34	0,7822		
2AB	-86	0	0	1000	211	30	206	553	0	100	0,37			
2Bi	-127	0	45	955	196	46	210	548	0	100	0,38			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo						cmolc/kg		Valor V (sat. por bases) %	100.Al3+ + S + Al3+ %	P assimilável mg/kg	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
O1	4,3	3,5	0,9	0,8	0,51	0,2	2,4	14,7	100,2	117,3	2	86	3	
O2	4,5	3,7	0,5	0,5	0,11	0,07	0,7	10,6	88,7	100	1	94	<1	
A	4,7	3,8	0,2	0,2	0,03	0,01	0,2	7,4	31,9	39,5	1	97	1	
2AB	4,7	3,8	0,2	0,2	0,03	0,01	0,2	7	20,2	27,4	1	97	1	
2Bi	4,8	3,8	0,2	0,2	0,04	0,01	0,2	5,7	6,9	12,8	2	97	1	
Horizonte	C(orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico					g/kg		Relações Moleculares			Equivalente de CaCO ₃ g/kg
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ livre g/kg	
O1	259,7	18,5	14											
O2	206,6	11,1	19											
A	61,4	2,7	23											
2AB	31,9	1,7	19	226	210	124	17,6				1,83	1,33	2,66	
2Bi	8,6	0,9	10	251	238	128	18,4				1,79	1,33	2,92	

ANEXO III.J – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P10 CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) léptico.

DESCRIÇÃO GERAL – P10

Perfil n° P10

DATA – 08 de dezembro de 2015

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): CAMBISSOLO HÍSTICO Distrófico (Alítico) léptico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Folic Leptic Aluandic Andosol (Hyperdystric, Clayic, Colluvic);

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Andic Dystrudept

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Acesso pela estrada municipal Silveira, distante 45 km da sede do município de São José dos Ausentes, RS, na borda do canyon Monte Negro, na base do Pico Monte Negro.

COORDENADAS – 28° 37' 00,4" S; 49° 47' 57,7" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – barranco na beira do acesso ao Pico Monte Negro sob campo de altitude, em um declive de aproximadamente 12%, na base da elevação que apresenta floresta Ombrófila Mista altomontana.

ALTITUDE – 1330 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração do material supracitado com contribuição de material alóctone de natureza similar e acúmulo de material orgânico.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – Moderadamente pedregoso

ROCHOSIDADE – rochoso

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – montanhoso

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – vegetação nativa – campos de altitude

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P10

O1 – 30-20 cm; preto (10YR 2/1 úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena blocos subangulares e pequena e média fraca granular; muito dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

O2 – 20-0 cm; preto (10YR 2/1 úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca média blocos angulares que se desfaz em fraca a moderada pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

2Bi – 0-17,5 cm; cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seca) e bruno-avermelhado- escuro (5YR 3/2, úmida); fraca a moderada média blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

2Cr – 17,5-60 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e muito pequena blocos subangulares; extremamente dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

R – 60-90 cm+;

OBSERVAÇÕES – Fragmentos milimétricos de quartzo disseminados no O1, O2 e 2Bi; Linha de cascalho com fragmentos de quartzo e de riodacito semi-intemperizado, no topo do 2Bi.

Raízes: Muitas finas fasciculadas em O1 e O2; raras finas e muito finas fasciculadas nos demais horizontes.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-10

ANEXO III.K – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P11 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico.

DESCRIÇÃO GERAL – P11

Perfil n° P11

DATA – 06 de abril de 2016

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018):

ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico típico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Folic Aluandic Andosol (Siltic, Fulvic/Melanic);

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Pachic Melanudand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Acesso pela rodovia SC112, distante 6km do centro de Urupema, SC, acesso em estrada vicinal do lado esquerdo da rodovia em direção ao Morro da Serra do Campo Novo (Morro das Torres ou Morro das Antenas)

COORDENADAS – 27° 55' 30,7" S; 49° 51' 26,6" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil em barranco na beira do acesso ao Morro da Serra do Campo Novo (Morro das Torres ou Morro das Antenas) sob campo de altitude, em um declive de 30-40%, no terço superior da encosta.

ALTITUDE – 1676 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração do material supracitado com acúmulo de material orgânico.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – pedregosa

ROCHOSIDADE – muito rochosa

RELEVO LOCAL – forte ondulado

RELEVO REGIONAL – montanhoso

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – vegetação nativa – campos de altitude

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior, Fagner Taiano e Gustavo Pereira

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P11

O1 – 0-10 cm; preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena e muito pequena granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

O2 – 10-32,5 cm; preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca média blocos subangulares que se desfaz em fraca média e pequena granular; muito dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

O3 – 32,5-67,5 cm); preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca média blocos subangulares que se desfaz em fraca média e pequena granular; dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.

O/Cr – 67,5-75 cm; amarelo-brunado (10YR 6/6, seca) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmida) com mosqueado comum médio difuso a distinto bruno-acinzentado- escuro (10YR 4/2, seca) e preto (10YR 2/1, úmida); aspecto de maciça que se desfaz em fraca pequena e muito pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa.

Cr – 75-130 cm; bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seca) e bruno-amarelado- escuro (10YR 3/4, úmida); aspecto de maciça que se desfaz em moderada média e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

R – 130 cm+;

OBSERVAÇÕES – Fragmentos milimétricos de quartzo e riodacito disseminados no O1, O2 e O3; Linha de cascalho com fragmentos de quartzo e de riodacito semi- intemperizado, no topo do O2.

Raízes: Muitas finas fasciculadas nos horizontes orgânicos; raras muito finas fasciculadas nos demais horizontes.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-11

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg					Argila dispersa em água g/kg	Grau de flocação %	Relação Sílte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³	
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Sílte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Solo	Partículas			Solo	Partículas		
O1	0-10	0	56	944	56	8	757	179	128	28	4,23	0,5142				
O2	-32,5	0	72	928	116	15	716	153	131	14	4,68	0,5524				
O3	-67,5	0	70	930	28	5	802	165	165	0	4,86	0,5851				
O/Cr	-75	98	80	822	282	38	298	382	0	100	0,78					
Cr	75-130	107	86	807	279	115	273	333	0	100	0,82					
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmolc/kg								Valor V (sat. por bases) %		100 Al3+ S + Al3+ %	P assimilável mg/kg		
	Água	KCl N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T						
O1	5,2	3,9	0,4	1,7	0,46	0,19	2,7	8,1	37,5	48,3	6	75	23			
O2	5	4	0	1,2	0,09	0,07	1,4	10,1	40,5	52	3	88	3			
O3	5,1	4,3	0,9		0,04	0,04	1	5,2	29,6	35,8	3	84	3			
O/Cr	5,2	4,5	0,8		0,02	0,01	0,8	1,7	11,6	14,1	6	68	4			
Cr	5,1	4,7	0,8		0,02	0,01	0,8	0,6	7,5	8,9	9	43	19			
Horizonte	C(orgânico) g/kg		N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe2O3 livre g/kg	Equivalente de CaCO3 g/kg		
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ / R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃			
O1	222,3	15,6	14													
O2	124,4	8,1	15													
O3	103,3	8	13													
O/Cr	34,7	1,5	23													
Cr	12,4	2,5	5	151	167	96	11,2	2,9	0,7	1,54	1,12	2,73				

ANEXO III.L – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P12 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

DESCRIÇÃO GERAL – P12

Perfil n° P12

DATA – 14 de abril de 2016

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018): ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico;
- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Hyperdystric Leptic Aluandic Andosol (Siltic, Fulvic);
- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Alic Hapludand

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Acesso pela rodovia BR285, sentido São José dos Ausentes, RS. – Timbé do Sul, SC., 500 m antes da divisa entre os estados. Serra da Rocinha

COORDENADAS – 28° 47' 37,5" S; 49° 57' 57,8" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil em barranco na beira do acesso ao Morro da Serra do Campo Novo (Morro das Torres ou Morro das Antenas) sob campo de altitude, em um declive de 30-40%, no terço superior da encosta

ALTITUDE – 1213 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração do material supracitado e acúmulo de material orgânico.

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – não pedregosa

ROCHOSIDADE – rochosa

RELEVO LOCAL – ondulado

RELEVO REGIONAL – montanhoso

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – moderadamente drenado

USO ATUAL – vegetação nativa – campos de altitude

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P12

O1 – 0-13cm; preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena blocos subangulares e fraca pequena e média granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

O2 – 13-30cm; preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca média blocos subangulares e fraca pequena e média granular; muito dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.

A – 30-50cm; preto (10YR 2/1, úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena e média blocos subangulares; muito dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.

Cr/R – 50-80cm; bruno-amarelado (10YR 5/4, seca) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmida); fraca pequena e média blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

R – 80cm+;

OBSERVAÇÕES – Fragmentos de quartzo e riodacito disseminados no O1, O2 e A.

Raízes: Muitas, finas e muito finas, fasciculadas no O1 e O2; comuns finas e muito finas fasciculadas no A; raras, muito finas, fasciculadas no Cr/R.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-12

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Sítio/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				Solo	Partículas	
O1	0-13	0	39	961	93	30	708	169	148	12	4,19	0,5043		
O2	13-30	0	47	953	106	18	634	242	176	27	2,62	0,5312		
A	30-50	32	42	926	142	32	465	361	85	76	1,29	0,7847		
Cr/R	50-80	178	83	739	159	61	342	438	0	100	0,78			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo						cmolc/kg		Valor V (sat. por bases) %		100.Al3+ S + Al3+ %	P assimilável mg/kg
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
O1	4,8	4	0,4	1,9	0,3	0,2	2,8	9,3	24,8	36,9	8	77	7	
O2	4,8	3,9	0	1,2	0,11	0,08	1,4	12	39	52,4	3	90	3	
A	4,8	4,1	0,8		0,03	0,03	0,9	7,7	20,6	29,2	3	90	1	
Cr/R	4,9	4,2	0,7		0,03	0,02	0,7	5,2	5,8	11,7	6	88	1	
Horizonte	Ataque sulfúrico		g/kg						Relações Moleculares				Fe2O3 livre g/kg	Equivalente de CaCO3 g/kg
	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /R ₂ O ₃ (Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
O1	98,5	6	16											
O2	96,1	5,4	18											
A	51,2	2,6	20											
Cr/R	13,5	1,5	9	182	200	104	13,6	0,6	0,5	1,55	1,16	3,02		

ANEXO III.M – Descrição Geral, Descrição Morfológica, Análises Físicas e Químicas do perfil P13 ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico.

DESCRIÇÃO GERAL – P13

Perfil n° P13

DATA – 28 de abril de 2016

CLASSIFICAÇÃO:

- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (EMBRAPA, 2018):
ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico;

- Base referencial mundial del recurso suelo 2014 (Actualización 2015) - FAO (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015): Sapric Folic Rockic Histosol (Leptic, Ombric, Andic, Hyperdystric);

- Keys to Soil Taxonomy – USDA (SOIL SURVEY STAFF, 2014): Lithic Udifolist

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: Acesso pela rodovia SC110, São Joaquim, SC.

– Urubici, SC., localidade denominada Vacas Gordas, estrada vicinal à direita (entrada para o Parque Nacional de São Joaquim); 5,5 km da guarita do parque, entrada à direita (200m) e trilha para subir o Morro do Baú

COORDENADAS – 28° 09' 54,9" S; 49° 37' 20,3" W (Datum SIRGAS 2000)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil em barranco natural na face sudeste do Morro do Baú sob campo de altitude, em um declive de 45-60%, próximo ao cume.

ALTITUDE – 1721 m

LITOLOGIA – Derrames intermediários - Riodacito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – Acúmulo de material orgânico

CRONOLOGIA – Jurássico – Cretáceo – 120 - 140 Ma (Mesozóico)

PEDREGOSIDADE – não pedregosa

ROCHOSIDADE – muito rochosa

RELEVO LOCAL – montanhoso

RELEVO REGIONAL – montanhoso

EROSÃO – não aparente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

USO ATUAL – vegetação nativa – campos de altitude

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

CLASSIFICADO POR – Jaime Barros dos Santos Junior

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA – P13

O1 – 0-10 cm; preto (10YR 2/1 úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena e muito pequena blocos subangulares e fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável, não plástica e pegajosa; transição plana e clara.

O2 – 10-38 cm; preto (10YR 2/1 úmida) e preto (10YR 2/1, seca); fraca pequena e muito pequena blocos subangulares e fraca pequena granular; ligeiramente dura, friável, não plástica e não pegajosa.

R – 38-80 cm+;

OBSERVAÇÕES – Poucos fragmentos de quartzo e riodacito disseminados no O1, O2.

Raízes: Muitas, finas e muito finas, fasciculadas no O1 e O2.

Análises Físicas e Químicas

Perfil: P-13

Horizonte		Frações da amostra total g/kg			Composição granulométrica da terra fina g/kg				Argila dispersa em água g/kg	Grau de floculação %	Relação Sílte/Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³	
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus >20 mm	Cascalho 20-2mm	Terra fina <2 mm	Areia grossa 2-0,2mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002mm				Solo	Partículas		
01	0-10	0	12	988	31	7	844	118	118	0	7,15	0,4969			
02	-38	0	16	984	52	6	834	108	108	0	7,72	0,5213			
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo cmolc/kg							Valor V (sat. por bases) %	100 Al3+ S + Al3+ %	P assimilável mg/kg			
	Água	KCl 1N	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺	Valor S (soma)	Al³⁺	H⁺						
01	5	4,1	0,5	1,7	0,54	0,12	2,9	5,6	24,1	32,6	9	66	6		
02	4,6	4,1	0,3	1,7	0,73	0,13	2,9	4	63,5	70,4	4	58	6		
Horizonte	C (orgânico) g/kg	N g/kg	C/N	Ataque sulfúrico g/kg					Relações Moleculares			Fe2O3 livre g/kg	Equivalente de CaCO3 g/kg		
				SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	TiO₂	P₂O₅	MnO	SiO₂/ Al₂O₃(Ki)	SiO₂/ R₂O₃ (Kr)	Al₂O₃/ Fe₂O₃			
01	278,7	18,2	15												
02	272,2	21,9	12	64	57	21	3,3	3,4	0,1	1,91	1,54	4,26			