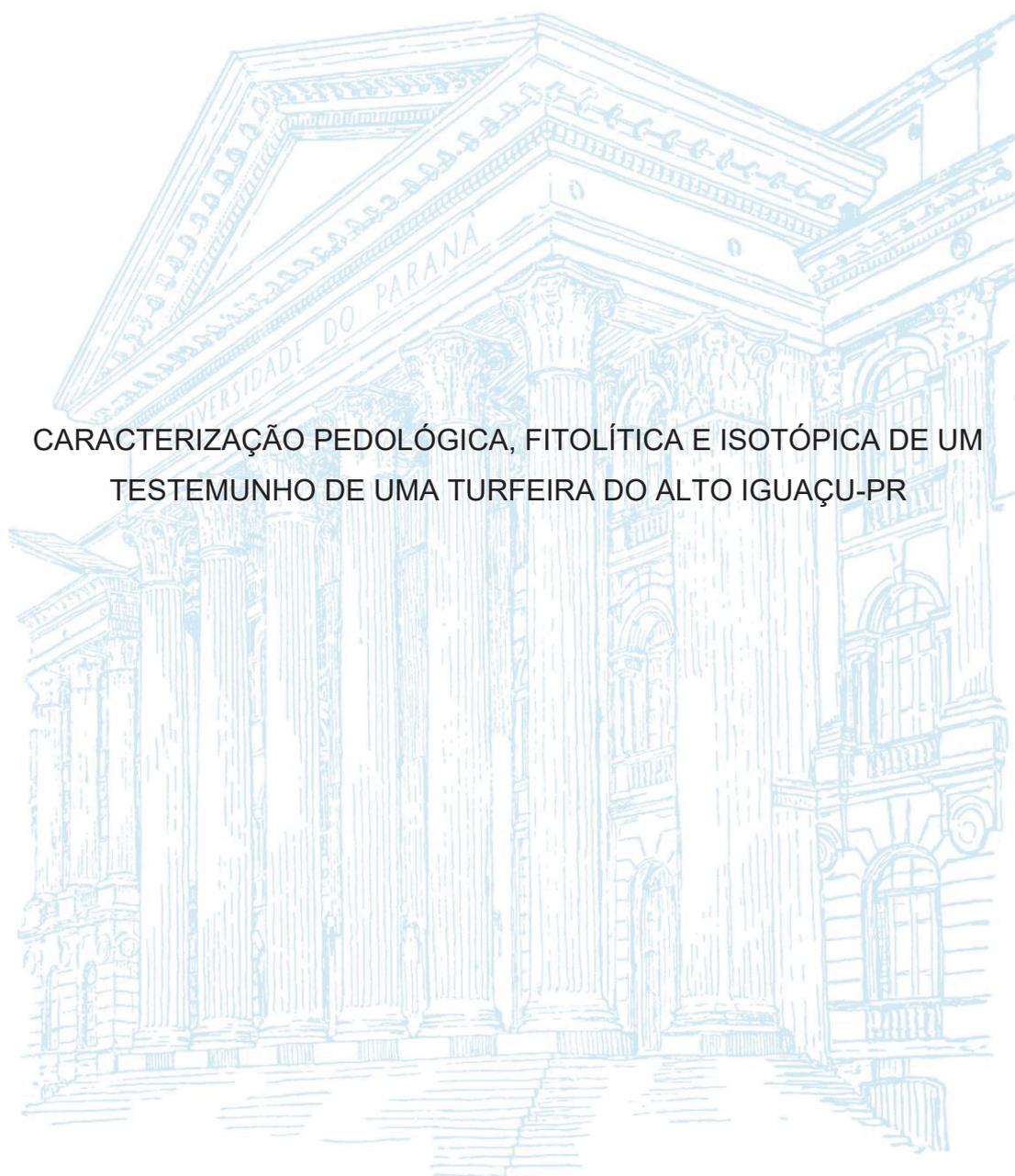


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA DIAS DOS REIS



CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA, FITOLÍTICA E ISOTÓPICA DE UM  
TESTEMUNHO DE UMA TURFEIRA DO ALTO IGUAÇU-PR

CURITIBA

2021

AMANDA DIAS DOS REIS

CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA, FITOLÍTICA E ISOTÓPICA DE UM  
TESTEMUNHO DE UMA TURFEIRA DO ALTO IGUAÇU-PR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior

Coorientadora: Profa. Dra. Marcia Regina Calegari

Coorientador: Pablo Vidal Torrado

CURITIBA

2021

Reis, Amanda Dias dos

Caracterização pedológica, fitolítica e isotópica de um testemunho de uma turfeira do Alto Iguaçu-PR. - Curitiba, 2021.

147f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior

Coorientadora: Profa. Dra. Marcia Regina Calegari

Coorientador: Pablo Vidal Torrado

1. Solos orgânicos. 2. Turfa. 3. Ciência do solo. I. Oliveira Junior, Jairo Calderari de. II. Calegari, Marcia Regina. III. Torrado, Pablo Vidal. IV. Título V. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -  
40001016014P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **AMANDA DIAS DOS REIS** intitulada: **CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA, FITOLÍTICA E ISOTÓPICA DE UM TESTEMUNHO DE UMA TURFEIRA DO ALTO IGUAÇU-PR**, sob orientação do Prof. Dr. **JAIRO CALDERARI DE OLIVEIRA JUNIOR**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Agosto de 2021.

Assinatura Eletrônica

30/08/2021 17:31:03.0

**JAIRO CALDERARI DE OLIVEIRA JUNIOR**

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

30/08/2021 17:30:39.0

**INGRID HORÁK TERRA**

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI)

Assinatura Eletrônica

30/08/2021 17:30:12.0

**GILIANE GESSICA RASBOLD**

Avaliador Externo (UNIV. DE SÃO PAULO/CENTRO DE ENERG. NUCL. AGRICULTURA)

Dedico à minha amorosa mãe (Arlete Dias), ao meu generoso pai (Rhodison Jones) e ao meu querido irmão (Lamark Mascarenhas), a quem devo todo meu amor e gratidão.

Dedico às vítimas do COVID-19.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por toda a FÉ depositada de que a caminhada valeria a pena.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela acolhida e conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Ciência do Solo.

Ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), bem como aos professores, por todas as oportunidades oferecidas e todo o conhecimento adquirido.

Ao professor Jairo Calderari de Oliveira Junior, meu orientador, por quem tenho um apreço imenso e que me ajudou a alcançar mais esse passo na caminhada acadêmica. Obrigada pelas conversas, dúvidas sanadas (não foram poucas...rs), risadas e por sempre me acolher e entender de forma tão gentil. Deixo aqui meu registro de gratidão por toda a contribuição que teve para a minha formação, muito obrigada.

À Márcia Regina Calegari, minha co-orientadora, que me acolheu de uma forma sem igual em Marechal Cândido Rondon, me ouviu, me deu forças (e algumas caronas para a pensão) quando mais precisei e sempre me aconselhou de forma tão cuidadosa. Gratidão, é o sentimento que tenho por tudo o que a senhora fez e faz por mim.

Ao Pablo Vidal Torrado, pela co-orientação e empréstimo dos equipamentos utilizados na coleta da turfeira.

Ao Plínio Barbosa de Camargo, por viabilizar a realização das análises isotópicas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP).

Aos membros da banca, a Prof. Dr<sup>a</sup>. Ingrid Horák Terra (Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM) e à PhD. Giliane Géssica Rasbold (CENA-USP), por todas as contribuições e sugestões feitas durante a defesa. Muito obrigada!

À Mariane Chiapini, por toda ajuda na etapa de realização das análises isotópicas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao grupo “*Pedologic-UFPR*”, por serem pessoas de bem e que sempre me acolheram de forma carinhosa e honesta. Em especial à Nádia, por toda ajuda, à Dani, pelo carinho de sempre e ao Jorge, por sempre se mostrar disposto a ajudar nas atividades de campo e laboratoriais. À Élide, uma grande amiga que o mestrado me deu, a quem devo toda minha gratidão.

Ao corpo técnico de laboratoristas do DSEA (Fabi, Carlinha, Maria, Heila e Jôsi), por sempre me atenderem de forma tão carinhosa e atenciosa. Vocês foram essenciais nessa caminhada e contribuíram no aprimoramento de minha formação.

Ao Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental (LEDA), da UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon-PR, pela acolhida, conhecimento compartilhado e pela oportunidade de realizar as análises fitolíticas.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP), por contribuir para o aprimoramento das informações paleoambientais através da realização das análises isotópicas.

Ao proprietário da Fazenda Boqueirão Sr. Silmar Burer e sua mãe Dona Lala (*in memoriam*) por oportunizar o acesso a sua área para estudo.

Ao apê 102 (Selma Barbosa e Luana Celante), por todo carinho que me receberam em Curitiba-PR, por terem sido amigas-irmãs nos momentos que mais precisei e por todas as risadas compartilhadas.

Aos amigos que adquiri quando ingressei ao Mestrado. Vocês foram essenciais para trazer leveza e muita alegria nos momentos mais difíceis. Em especial a: Bruna Rocha e Gabriel Avellar, My e Dênis, Ju e Leônidas, Bru Iversen e Celson, Eloá, Veri, Lenir, Davi, Thalita, Ederlan, Ricardo Ribeiro, Dani, Lili, Fellipe Bratti, Rodrigo Roani, Feliciano, Dione, Zie, Ana Paula, Sisi, Marcus, Nivaldo, Ana Paula Marés, Jhonatan, Tainara, Chris, Iorrana e tantos outros.

À minha família que agradeço por todo amor, carinho e força que dedicaram a mim e puderam compreender os meus momentos de ausência, em especial à: minha mãe (Arlete Dias), meu pai (Rhodison Jones) e ao meu irmão (Lamark Dias).

A todos que de alguma forma puderam contribuir direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho o meu...

MUITO OBRIGADA!!

## RESUMO

As turfeiras são ambientes característicos por sua insuficiente drenagem, condições anóxicas (anaeróbicas) e elevados teores de matéria orgânica que tornam-se excelentes nos estudos que buscam investigar as condições paleoambientais pretéritas. No contexto do Primeiro Planalto Paranaense, as superfícies apalinadas destacam-se por apresentar a gênese de turfeiras associada a sobreposições de sedimentos colúvio-aluvionares de composição argilo-siltosa e vegetação marcadamente colonizada por estepe gramíneo-lenhosa. Neste sentido, os objetivos traçados neste estudo, foram: I) realizar a caracterização e classificação de uma turfeira, e II) reconstituir os aspectos paleoambientais no município de Tijucas do Sul-PR, através de uma análise multi-proxy. A coleta foi realizada em uma planície com vegetação estepe gramíneo-lenhosa no município de Tijucas do Sul-PR, com uso de um vibrotestemunhador, sendo seus 390 cm correspondente ao depósito de material turfoso. Entre as análises desenvolvidas destacaram-se: I) Testes para Caracterização de Organossolos, preconizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sendo eles: Fibra esfregada, Fibra não-esfregada, Índice de Solubilidade do Pirofosfato de Sódio, pH em CaCl<sub>2</sub>, Densidade do Solo, Densidade da Matéria Orgânica, Resíduo Mínimo, Umidade gravimétrica, Material Mineral, Determinação da Matéria Orgânica e Escala de Decomposição de von Post; II) obtenção dos dados referentes à composição elementar (C e N) e relação C/N; III) classificação da turfeira conforme o SiBCS, o WRB e o Soil Taxonomy; IV) análise fitolítica, identificação e contagem dos morfotipos que compõem a assembleia fitolítica; V) obtenção os dados de isótopos estáveis de C e N. Os resultados revelam a predominância de materiais sápricos em quase totalidade da turfeira, ressaltando a abundância de vegetação gramínea desde a gênese do, sendo restrita à superfície a presença de materiais hêmicos, tratando-se da recém deposição do material vegetal. O Organossolo foi classificado como: Organossolos Háplico Sáprico Típico, Dystric Rheic Sapric Histosol, Haplosaprists Terric. Da base ao topo desta turfeira, a assembléia fitolítica indicou reduzido adensamento da vegetação, com predominância de gramíneas e os sinais isotópicos indicaram misturas de plantas C<sub>3</sub> (gramíneas) e C<sub>4</sub>, com predominância de C<sub>3</sub> e baixa participação de fitoplâncton como fonte de matéria orgânica. A realização da caracterização e classificação, somados às interpretações paleoambientais se mostraram eficientes no entendimento dos processos que conduziram à formação/evolução da turfeira.

Palavras-chave: Primeiro Planalto Paranaense. Turfeiras. Caracterização. Reconstituição paleoambiental.

## ABSTRACT

Peatlands are environments characterized by insufficient drainage, anoxic (anaerobic) conditions, and high levels of organic matter that make them excellent for studies investigating past palaeoenvironmental conditions. In the context of the First Plateau of Paraná, the appalated surfaces stand out for presenting the genesis of peatlands associated with overlain by clayey-silt sediments and vegetation markedly colonized by grassy-ligneous steppe. In this sense, the objectives of this study were: I) to characterize and classify a peat bog, and II) to reconstruct the paleoenvironmental aspects in the municipality of Tijucas do Sul-PR, through a multi-proxy analysis. The collection was carried out in a plain with grassy-ligneous steppe vegetation in the municipality of Tijucas do Sul-PR, with the use of a vibrotest, its 390 cm corresponding to the deposit of peaty material. Among the analyses developed, the following stand out I) Tests for Characterization of Histosol, recommended in the Brazilian System of Soil Classification, being them: Rubbed Fiber, Unrubbed Fiber, Sodium Pyrophosphate Solubility Index, pH in  $\text{CaCl}_2$ , Soil Density, Organic Matter Density, Minimum Residue, Gravimetric Moisture, Mineral Material, Organic Matter Determination and von Post Decomposition Scale; II) obtaining data regarding elemental composition (C and N) and C/N ratio; III) classification of the peat bog according to SiBCS, WRB and Soil Taxonomy; IV) phytolytic analysis, identification and counting of the morphotypes that compose the phytolytic assembly; V) obtaining the C and N stable isotope data. The results reveal the predominance of saprolitic materials in almost the totality of the peat bog, highlighting the abundance of gramineous vegetation since the genesis of the, being restricted to the surface the presence of hemic materials, dealing with the recent deposition of vegetal material. The Histosol was classified as: Typical Dystric Rheic Sapric Histosol, Dystric Rheic Sapric Histosol, Terric Haplosaprists. From the bottom to the top of this peat bog, the phytolithic assemblage indicated reduced vegetation densification, with grass predominance and the isotopic signals indicated mixtures of C3 (grass) and C4 plants, with C3 predominance and low phytoplankton participation as organic matter source. The characterization and classification, added to the paleoenvironmental interpretations proved efficient in understanding the processes that led to the formation/evolution of the peat bog.

Keywords: First Paranaense Plateau. Peatland. Organic deposits. Paleoenvironmental reconstitution.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO E DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR. A) MAPA DO ESTADO DO PARANÁ; B) LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL; C) ASPECTO DA PAISAGEM E LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA.....	28
FIGURA 2 – CONDIÇÃO ATUAL DA ÁREA DE COLETA DA TURFEIRA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	30
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES ORGÂNICOS e CAMADAS MINERAIS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	36
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	43
FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	45
FIGURA 6 - BILOT - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS EM FUNÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 2.....	46

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO E DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR. A) MAPA DO ESTADO DO PARANÁ; B) LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL; C) ASPECTO DA PAISAGEM E LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA.....	77
FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE COT, NT, RELAÇÃO C/N E ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{15}\text{N}$ NA TURFEIRA EM ESTUDO DE TIJUCAS DO SUL-PR.....	86
FIGURA 3 – MICROFOTOGRAFIAS DE FITÓLITOS.....	88
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO ATUAL E CONDIÇÕES DE ELEVADA UMIDADE (HIDROMÓRFICAS) DA ÁREA DE COLETA DA TURFEIRA, NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR.....	89
FIGURA 5 – DIAGRAMA DE PORCENTAGEM DE FITÓLITOS .....	93
FIGURA 6 - MODELO DE EVOLUÇÃO DA TURFEIRA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	95
FIGURA 7 – RELAÇÃO ENTRE; A) $\delta^{13}\text{C}$ X C/N; B) $\delta^{15}\text{N}$ E $\delta^{13}\text{C}$ COMO INDICADORES DA FONTE DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	98

## LISTA DE QUADROS

### CAPÍTULO I

QUADRO 1-ESCALA DE DECOMPOSIÇÃO DE VON POST, CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO GRAU DE DECOMPOSIÇÃO .....	33
---	----

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, QUÍMICOS E FÍSICOS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....	38
TABELA 2 – AUTOVALORES OBTIDOS PELA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	48

## LISTA DE SIGLAS

### CAPÍTULO I

%	porcentagem
°C	graus Célsius
Al <sup>3+</sup>	Alumínio
cm	centímetros
cm/cm	centímetros por centímetros
cm <sup>3</sup>	centímetros cúbicos
COT	Carbono Orgânico Total
DMO	Densidade da Matéria Orgânica
DS	Densidade do solo
Dsi	Densidade do solo inicial
FE	Fibra esfregada
FNE	Fibra não esfregada
g kg <sup>-s</sup>	gramas por quilogramas
g	gramas
g.cm <sup>-3</sup>	gramas por centímetros cúbicos
H <sup>+</sup>	Hidrogênio
Km <sup>2</sup>	quilômetros quadrados
m	metros
ml	mililitros
MM	material mineral
mm	milímetros
mol <sup>-1</sup>	massa molecular
pH	potencial de hidrogênio
RM	Resíduo Mínimo
Ug	Umidade Gravimétrica

## LISTA DE SIGLAS

### CAPÍTULO II

$\mu\text{m}$	micrômetro
‰	partes por mil
°C	graus Célsius
Cfb	clima mesotérmico úmido
cm	centímetros
$\text{cm}^3$	centímetros cúbicos
δ	delta
D/P	Índice de Densidade Arbórea
Fs	Índice de Estresse Hídrico
$\text{g.kg}^{-1}$	gramas por quilograma
ha	hectare
HCl	ácido clorídrico
IC	Índice Climático
Iph	Índice de Adaptação a Aridez
$\text{km}^2$	quilômetros quadrados
m	metros
mL	mililitro
mm	milímetros
$\text{mol}^{-1}$	massa molecular
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NaOH	Hidróxido de sódio
$\text{SiO}_n \cdot \text{H}_2\text{O}$	sílica hidratada
UMG	Último Máximo Glacial

## LISTA DE SÍMBOLOS

® marca registrada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>19</b>
<b>2 CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE UMA TURFEIRA DO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE .....</b>	<b>21</b>
2.1 RESUMO.....	21
2.2 ABSTRACT .....	22
2.3 INTRODUÇÃO .....	23
2.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
2.4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO .....	27
2.4.2 AMOSTRAGEM DA TURFEIRA.....	30
2.4.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS: .....	31
2.4.3.1 Caracterização da turfeira .....	31
2.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	35
2.5 RESULTADOS .....	35
2.5.1 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO .....	36
2.5.2 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS .....	37
2.5.3 ATRIBUTOS FÍSICOS.....	41
2.5.4 ACIDEZ E TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA: .....	44
2.5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	46
2.6 DISCUSSÃO .....	48
2.6.1 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS .....	48
2.6.2 ATRIBUTOS FÍSICOS:.....	51
2.6.3 ACIDEZ DO MATERIAL E MATÉRIA ORGÂNICA.....	55
2.6.4 CLASSIFICAÇÃO DA TURFEIRA DE ACORDO COM O SIBCS (2018), WRB (2015) E SOIL TAXONOMY (2014).....	57
2.7 CONCLUSÕES .....	59
2.8 REFERÊNCIAS.....	60
<b>3 CAPÍTULO II: ANÁLISE MULTI-PROXY PARA FINS DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE .....</b>	<b>69</b>
3.1 RESUMO.....	69
3.2 ABSTRACT .....	70
3.3 INTRODUÇÃO .....	71
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
3.4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO .....	74
3.4.2 AMOSTRAGEM DA TURFEIRA.....	78
3.4.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS .....	78
3.4.3.1 Grau de decomposição da MOS.....	78
3.4.3.2 Determinações do pH.....	79
3.4.3.3 Composição Elementar, Relação C/N, Isótopos Estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ )....	79
3.4.3.4 Extração, identificação e contagem de fitólitos.....	80
3.4.3.5 Índices Fitolíticos .....	81
3.5 RESULTADOS .....	83
3.5.1 ATRIBUTOS DA TURFEIRA.....	83
3.5.2 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR, RELAÇÃO C/N, ISÓTOPOS ESTÁVEIS ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ ).....	84

3.5.3 ASSEMBLEIA FITOLÍTICA .....	87
3.6 RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL .....	94
3.7 CONCLUSÕES .....	101
3.8 REFERÊNCIAS.....	103
<b>4 CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE A: RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR, DE ACORDO COM O SOIL TAXONOMY (ST), WORLD BASE REFERENCE (WRB) E SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (SIBCS).....</b>	<b>137</b>
<b>APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DAS CORES DO SOLO, TESTE DO GRAU DE DECOMPOSIÇÃO DE VON POST E OBTENÇÃO DO TEOR DE FIBRA DA TURFEIRA COLETADA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL - PR .....</b>	<b>140</b>
<b>APÊNDICE C: CHAVE DE CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA E ECOLÓGICA (CALEGARI, 2008) .....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE D: DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES, GRAU DE DECOMPOSIÇÃO, PH, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE E: COMPOSIÇÃO DA ASSEMBLEIA DE FITÓLITOS DO SOLO ESTUDADO - EM NÚMEROS ABSOLUTOS (#) E EM PORCENTAGEM TOTAL DE FITÓLITOS CLASSIFICADOS E ÍNDICES FITOLÍTICOS .....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXO 1: MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS: FNE, FE, PH, COR, DS, DMO, RM, UG, MM, MO E VON POST DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR.....</b>	<b>147</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O ambiente de formação das turfeiras está associado a condições de saturação por água (má drenagem) que favorecem processos, como: insuficiente circulação de oxigênio, acúmulo de matéria orgânica, elevados teores de água nos poros e o desequilíbrio entre o acúmulo e a decomposição (GARCIA, 1996; SILVA et al., 2009; LESPCH, 2011; FONSECA; SILVA; SENNA, 2018).

Dentre algumas das funções desempenhadas pelas turfeiras destacam-se a capacidade de reservatório de água (INGRAM, 1983; PRINCE, 1997; CAMPOS, 2009), de carbono (HOLDEN, 2005; CAMPOS et al., 2014; CIPRIANO-SILVA et al., 2014), seu potencial para o desenvolvimento sócio-econômico (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2003) e o arquivamento de *proxies* que podem ser empregados nas interpretações dos estudos de reconstituição paleoambiental desde o Período Quaternário (SUGUIO, 1999; SALGADO-LABOURIAU, 1994; SILVA NETO et al., 2019).

No contexto geomorfológico, as superfícies de aplainamento do Primeiro Planalto Paranaense (PPP), são paisagens suavemente onduladas com planícies e turfeiras intercaladas, constituídos por sedimentos colúvio-aluvionares recentes e paludosos ao longo dos principais cursos de água (MINEROPAR, 2001).

Diante de condições semelhantes a essas, encontra-se inserida no município de Tijucas do Sul-PR, PPP) a área escolhida para a realização deste estudo, que apresenta como característica marcante a presença de materiais caulíníficos sobrepostos por turfeiras paludosas (MOREIRA, 2018; MUCHA, 2020; FERREIRA, 2020).

A formação de turfeiras similares às identificadas em Tijucas do Sul, permitem a aplicação dos Testes para Caracterização de Organossolos (LYNN; MCKINZIE; GROSSMAN, 1974) preconizados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Os processos desencadeados para a formação de turfeiras, bem como a sua relação com a dinâmica da paisagem, podem ser avaliados a partir de análises diversas, tais como: Fibra esfregada (FE), Fibra não-esfregada (FNE), Cor através do Pirofosfato de Sódio, pH em CaCl<sub>2</sub>, Densidade do Solo (Ds), Densidade da Matéria Orgânica (DMO), Resíduo Mínimo (RM), Umidade gravimétrica (Ug), Material Mineral (MM), Determinação da Matéria Orgânica (MO) e Escala de Decomposição de von

Post (SANTOS et al., 2018), atributos morfológicos, físicos e químicos, conforme destacado anteriormente.

Visto que as características identificadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - SANTOS et al., 2018) referentes às turfeiras apresentam semelhanças e discordâncias com os demais sistemas internacionais, WRB e Soil Taxonomy (IUSS, 2015; SOIL SURVEY TAXONOMY, 2014), podem ser propostas interpretações e correlações quanto a esses sistemas.

Além de estudos como os desenvolvidos por Suguio (1999) e Salgado-Labouriau (1994), a insuficiente ocorrência de processos erosivos naturais contribuem para a preservação de turfeiras como arquivos, que por sua vez auxiliam no entendimento da dinâmica paleoambiental desde o Período Quaternário.

Ainda no contexto das superfícies aplainadas do PPP, Bigarella, Mousinho e Silva (1965) identificaram que a presença de sedimentos colúvio-aluvionares argilosas e siltosas intercalados aos depósitos turfosos recentes refletem processos morfodinâmicos alternados entre climas secos e úmidos. Sendo assim, a partir da identificação e quantificação de fitólitos e análise isotópica, é possível aprimorar as interpretações sobre as condições paleoambientais de formação da turfeira.

A condução dos estudos de caracterização somados as interpretações paleoambientais são fundamentais para compreender os processos envolvidos na formação e evolução de turfeiras identificadas no município de Tijucas do Sul-PR.

Os objetivos destacados no presente estudo, foram: I) propor a caracterização (SANTOS et al., 2018) e classificação da turfeira (solo orgânico), baseado no SiBCS (SANTOS et al., 2018), no WRB (IUSS, 2015) e no Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014); II) investigar possíveis mudanças na estrutura da vegetação e suas implicações ambientais e pedológicas na gênese das turfeiras, através de uma análise *multi-proxy*.

## 2 CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE UMA TURFEIRA DO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE

### 2.1 RESUMO

O Primeiro Planalto Paranaense tem como grande destaque as superfícies aplainadas, com a presença de diversas nascentes de rios, entre elas a do rio Iguaçu. Essas nascentes estão intimamente relacionadas com ecossistemas permanentemente saturados por água, formando as turfeiras. Todavia, pela dificuldade de amostragem em áreas desses ecossistemas, alguns aspectos podem ser negligenciados, limitando a compreensão do seu papel ecossistêmico. O presente trabalho tem por objetivo caracterizar e classificar uma turfeira formada no Primeiro Planalto Paranaense, na região de Tijucas do Sul-PR. Nas amostras coletadas foram determinados atributos morfológicos, físicos e químicos segundo método dos Testes de caracterização para Organossolos, preconizado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), bem como também foram determinados os elementos orgânicos C e N. Nos atributos morfológicos, a variação entre cores 10 YR 4/1 e 10 YR 2/2 revelaram a alternância de horizontes orgânicos e camadas minerais, foram mais significativos, que o grau de decomposição da MO e a escala de von Post. Os teores de FE <17% indicam predominância de materiais sápricos. Os valores de Ds foram fortemente influenciados pelos teores de MM ( $r^2=0,92$ ) e MO ( $r=-0,91$ ). O aumento da DMO em profundidade, foi explicada pelo aumento na decomposição do material orgânico através de von Post ( $r^2=0,31$ ). Quanto aos atributos químicos, o pH CaCl<sub>2</sub> apresentou correlação com MO ( $r^2=0,72$ ) e von Post ( $r^2=0,72$ ), sendo explicado pelo maior grau de decomposição expressar acidez ao meio, sugerindo que à medida que o teor de matéria orgânica aumenta, assim como o seu grau de decomposição, as condições se tornam ainda mais ácidas na turfeira. Os processos de deposição de materiais minerais e mudanças das condições ambientais revelam as oscilações de COT ao longo da turfeira. Fatores como os processos de mineralização/humificação e ausência de deposição de material orgânico foram indicativos dos baixos valores de N. Os valores de C/N foram predominantemente de MOS adquirida de ambiente terrestre. De modo geral, o perfil foi classificado com Organossolo Háplico Sáprico Típico segundo o SiBCS (2018), como Terric Haplosaprists segundo o Soil Taxonomy (2014) e Dystric Rheic Sapric Histosol de acordo com WRB (2015). Com base nas classificações nacionais e internacionais (SiBCS, WRB e Soil Taxonomy) são necessárias revisões com a finalidade de estabelecer critérios mais bem definidos quanto à precedência dos Testes de caracterização do Organossolo.

Palavras-chaves: Organossolo. Decomposição. Matéria orgânica. Sáprico.

## 2.2 ABSTRACT

The First Plateau of Paraná has as a great highlight the flattened surfaces, with the presence of several river springs, among them the Iguaçu River. These springs are closely related to ecosystems permanently saturated by water, forming the peatlands. However, due to the difficulty of sampling areas of these ecosystems, some aspects may be neglected, limiting the understanding of their ecosystem role. The present work aims to characterize and classify a peatland formed on the First Plateau of Paraná, in the region of Tijucas do Sul-PR. In the collected samples morphological, physical and chemical attributes were determined according to the method of characterization tests for Organosols, recommended by the Brazilian Soil Classification System (SiBCS), as well as the organic elements C and N were also determined. In the morphological attributes, the variation between colors 10 YR 4/1 and 10 YR 2/2 revealed the alternation of organic horizons and mineral layers, were more significant than the degree of decomposition of MO and the von Post scale. FE contents <17% indicate a predominance of saprophytic materials. Ds values were strongly influenced by MM ( $r^2=0.92$ ) and MO ( $r=-0.91$ ) contents. The increase of BMD in depth, was explained by the increase in decomposition of organic material by von Post ( $r^2=0.31$ ). As for the chemical attributes, CaCl<sub>2</sub> pH showed correlation with MO ( $r^2=0.72$ ) and von Post ( $r^2=0.72$ ), being explained by the higher degree of decomposition expressing acidity to the medium, suggesting that as the organic matter content increases, as well as its degree of decomposition, the conditions become even more acidic in the peatland. The processes of deposition of mineral materials and changing environmental conditions reveal the oscillations of TOC throughout the peatland. Factors such as mineralization/humification processes and lack of organic material deposition were indicative of the low N values. The C/N values were predominantly from MOS acquired from the terrestrial environment. Overall, the profile was classified as Typical Sapric Sapric Histosol according to SiBCS (2018), as Terric Haplosaprists according to Soil Taxonomy (2014) and Dystric Rheic Sapric Histosol according to WRB (2015). Based on the national and international classifications (SiBCS, WRB and Soil Taxonomy) revisions are needed with the purpose of establishing better defined criteria regarding the precedence of Histosol characterization tests.

Keywords: Histosol. Decomposition. Organic matter. Sapric.

## 2.3 INTRODUÇÃO

As turfeiras consistem em ecossistemas terrestres compostos por materiais vegetais depositados em ambientes que geomorfologicamente favorecem a saturação por água, que permitem a sua incompleta decomposição (condições anaeróbicas) e elevada acidez (EBELING, 2010; VALLADARES, 2003; IPS, 2021; XU et al., 2018).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), define que materiais com valores de carbono orgânico total (COT) igual ou superior a 80 g kg<sup>-1</sup> (ou 8%) são considerados orgânicos e, conseqüentemente, diagnosticado como horizonte orgânico H ou O que, atendendo aos critérios de espessura definidos pelo sistema, são diagnósticos da classe dos Organossolos. Segundo os sistemas de classificação internacionais, para ser considerado como horizonte orgânico, o horizonte precisa atender aos seguintes critérios:

a)  $\geq 20\%$  de COT, para a World Reference Base for Soil Resources – WRB (IUSS, 2015);

b)  $> 30\%$  COT quando o solo permanece menos de 30 dias saturados por água, para o Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e;

b.1.) quando o solo permanece mais de 30 dias saturado por água, os valores de COT podem variar com o teor de argila, a saber: i)  $>18\%$  se a fração mineral apresentar 60% ou mais de argila ou, ii)  $>12\%$  se a fração mineral não contém argila ou, iii)  $>12\% +$  (porcentagem de argila multiplicada por 0,1) se a fração mineral apresentar menos que 60% de argila (SOIL SURVEY STAFF, 2014).

Para ambos os sistemas internacionais, essa classe é denominada por “Histosols”, termo derivado do grego “*tessue*”, que significa tecido (IUSS, 2015; SOIL SURVEY STAFF, 2014) (APÊNDICE A).

Entre o SiBCS, o WRB e o Soil Taxonomy, os atributos diagnósticos para turfeiras em comum são o grau de decomposição da matéria orgânica. Enquanto para o Soil Taxonomy e o SiBCS as cores permitem distinguir entre os diferentes graus de decomposição, no sistema WRB, as cores apresentam padrão similar, ou seja, não é considerado um critério para identificar o grau de decomposição.

Os horizontes diagnósticos dos Organossolos podem ser subdivididos em H e O pelo Soil Taxonomy e SiBCS, enquanto pelo WRB há somente a indicação de horizonte O. A diferenciação entre O e H está relacionada aos processos pedogenéticos, em que o horizonte O é originado pelo acúmulo de material orgânico

em ambiente altomontano, elevada umidade relativa, com boa drenagem, baixa temperatura média anual, sendo este último o fator determinante para a baixa atividade biológica e de decomposição da matéria orgânica. As condições pedogenéticas citadas anteriormente promovem o espessamento da liteira e são típicas no domínio dos Organossolos Fólicos (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005; SANTOS et al., 2018).

Por sua vez, o horizonte H está associado aos ambientes com má drenagem, onde a baixa difusão de O<sub>2</sub> dificulta a atividade microbiológica e faz com que as taxas de deposição de material orgânico superem as taxas de sua decomposição, resultando no processo de formação denominado de paludização, responsáveis pela formação dos Organossolos Háplicos. Nesses ambientes também ocorrem a colonização de espécies vegetais adaptadas a superfícies alagadas por longos períodos (superiores a 30 dias consecutivos) e que, em processos mais avançados, geram espessas camadas de matéria orgânica, denominados por alguns pesquisadores como turfas ou florestas paludosas (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005; BUOL et al., 2011; BRADY; WEIL, 2013; KAMPF; CURI, 2012; ROGOBETE; GROZAV, 2013; SANTOS et al., 2018).

No Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015) destacam-se alguns sufixos que se associam aos horizontes orgânicos: a) sufixo “o” referente ao material orgânico mal ou não decomposto; b) o sufixo “d” que se refere ao material em avançado estágio de decomposição, sendo difícil identificar as estruturas que deram origem ao material, e c) sufixos “do” e “od” que se referem a materiais orgânicos de decomposição intermediária com predominância de “d” ou “o”, respectivamente.

A extensão dessas turfeiras no planeta é de aproximadamente de 423 milhões de hectares, o que representa aproximadamente 3% da superfície de terra emersa. Grande parte dessas turfeiras ocorrem em regiões boreais, subárticas, planícies, montanhas e regiões do Hemisfério Norte que apresentam clima temperado e frio (HOLDEN, 2005; LIMPENS et al., 2008; XU et al., 2018; SILVA NETO et al., 2019).

A ocorrência das turfeiras nos trópicos é reduzida, compreendendo apenas 10% (um décimo) da ocorrência desta classe em todo o planeta (SILVA et al., 2009; IUSS, 2015). No Brasil, o mapeamento dessas turfeiras ainda é pouco detalhado e, em muitos casos, podem gerar equívocos devido à sua ocorrência estar associada a ambientes hidromórficos, onde também se desenvolvem Espodosolos, Gleissolos e Neossolos Flúvicos (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005). Estima-se que seu

alcance é aproximadamente de 0,1% em todo território nacional, correspondendo a cerca de 1 milhão de hectares (VALLADARES, 2003; PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005; HOLDEN, 2005; VALLADARES et al., 2008; SILVA et al., 2009).

As turfeiras desempenham uma série de funções, extendendo-se desde a aspectos ambientais até sócio-econômicos, quando: i) a turfeira desempenha o papel de reservatório de água, funcionando semelhante a uma “esponja” ao manter sempre o lençol freático próximo à superfície durante longos períodos do ano, com os poros preenchidos por água, pelo movimento ascendente da água, por capilaridade (INGRAM, 1983; PRICE, 1997; CAMPOS, 2009); ii) quando a turfeira funciona como reservatório de C contribuem para o ciclo do C, bem como para o sequestro do CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), contribuindo assim para o equilíbrio entre os teores de CO<sub>2</sub> lançados na atmosfera e a redução no lançamento de gases de efeito estufa (HOLDEN, 2005; HORÁK et al., 2011; SILVA, 2012; SILVA et al., 2013, CAMPOS et al., 2014; CIPRIANO-SILVA et al., 2014).

Além disso, exercem ampla capacidade de preservar marcadores cronológicos de mudanças ambientais, que associadas às condições climáticas e composição vegetal pretérita, são eficientes para fins de estudos de reconstituição paleoambiental. Em ambientes como esses a insuficiente ocorrência de processos erosivos naturais, é um dos fatores que contribui para a preservação de *proxies*, tais como: fitólitos, isótopos de C e N, espículas de esponjas entre outros, que auxiliam no entendimento da dinâmica paleoambiental desde o Quaternário (SUGUIO, 1999; SALGADO-LABOURIAU, 1994). Este aspecto será discutido com maior profundidade no capítulo 2.

Quando situados próximos a grandes centros urbanos e em áreas marginalizadas, as turfeiras podem ser utilizadas para outros fins como, substratos comercializados como fertilizantes naturais (terra preta), produção olerícola e hortícola, de subsistência a famílias adjacentes a essas áreas (PEREIRA;CUNHA; VALLADARES, 2005; SOARES, 2011).

Durante a década de 80, no mesmo ano em que foi publicada a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), por incentivo do governo federal, entrou em vigor o Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (PROVÁRZEAS) criado pelo Decreto nº 86.146, de 23 de junho de 1981 (MACHADO, 2014). Através do PRÓ-VÁRZEAS, pretendia-se ampliar o aproveitamento de turfeiras em condições hidromórficas para fins de expansão da produtividade agrícola. Entre os anos de 1981

e 1986, foram aprovados cerca de 42.330 projetos para drenagem de áreas hidromórficas sendo executadas a drenagem e sistematização de 591.283 ha dessas turfeiras no território nacional, principalmente na região Sudeste e Sul (RICCI, 2013; MACHADO, 2014). No estado do Paraná foram implementados ao todo 877 projetos de drenagem entre os anos de 1980 e 1984 em cerca de 11.500 ha de áreas cobertas por turfeiras (KOZERA, 2008).

Após longos anos de degradação dessas turfeiras de extrema importância ecossistêmica, no ano de 2008, foi aprovada no estado do Paraná, a Resolução Conjunta IBAMA/SEMA/IAP nº005 que define critérios para a avaliação das áreas úmidas e dos seus entornos protetivos, além de normatizar a sua conservação (PAULA; MARÉS MIKOSIK, 2014). Em desacordo à Resolução, o Decreto Estadual 10.266/ 2014 (art. 1, 2 e 3), da Lei nº 18.295/2014 permite que sejam feitas intervenções nas áreas úmidas, desde que sejam seguidos critérios que minimizem os impactos ambientais causados e que as atividades agrossilvipastoris desenvolvidas antes de Julho/2008 podem ser mantidas desde que sejam desenvolvidas atividades de conservação do solo. Atualmente, pela Resolução Conjunta SEMA nº1/2019, as áreas úmidas situadas em zonas rurais, em perímetro urbano e em áreas de APP (Área de Preservação Permanente) no estado do Paraná serão objeto de regulamentação própria.

A descrição e análises laboratoriais para turfeiras se diferencia daquelas preconizadas para solos minerais, tais como a descrição dos atributos morfológicos, análises químicas do complexo de troca, de densidade e umidade. Consequentemente, também há diferenças na determinação de alguns atributos, tais como: grau de decomposição da MOS, densidade da matéria orgânica, grau de humificação e/ou mineralização, grau de decomposição da matéria orgânica do solo, entre outras (MENDONÇA, 1999; FONTANA et al., 2008).

A partir desse tipo de diagnóstico, em turfeiras distribuídas em diversas partes do país e sobre diferentes condições ambientais, o uso dos “Testes para caracterização de Organossolo”, propostos por Lynn, McKinzie e Grossman (1974), vem sendo aplicado, conforme observado em Valladares et al., (2008), Horák (2009), Silva et al.,(2009), Campos et al., (2010), Ebeling (2010), Fontana et al., (2010), Horák et al., (2011), Cipriano-Silva (2012), Ebeling et al., (2013), Cipriano-Silva et al., (2014), Horák (2014), Soares (2015), Bispo et al., (2015), Silva-Neto et al., (2019).

O estudo das turfeiras formadas em Tijucas do Sul-PR, torna-se importante para que a caracterização sirva de ferramenta para o entendimento dos processos envolvidos na formação/evolução dessas turfeiras. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo realizar a caracterização e classificação da turfeira coletada em Tijucas do Sul-PR.

## 2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

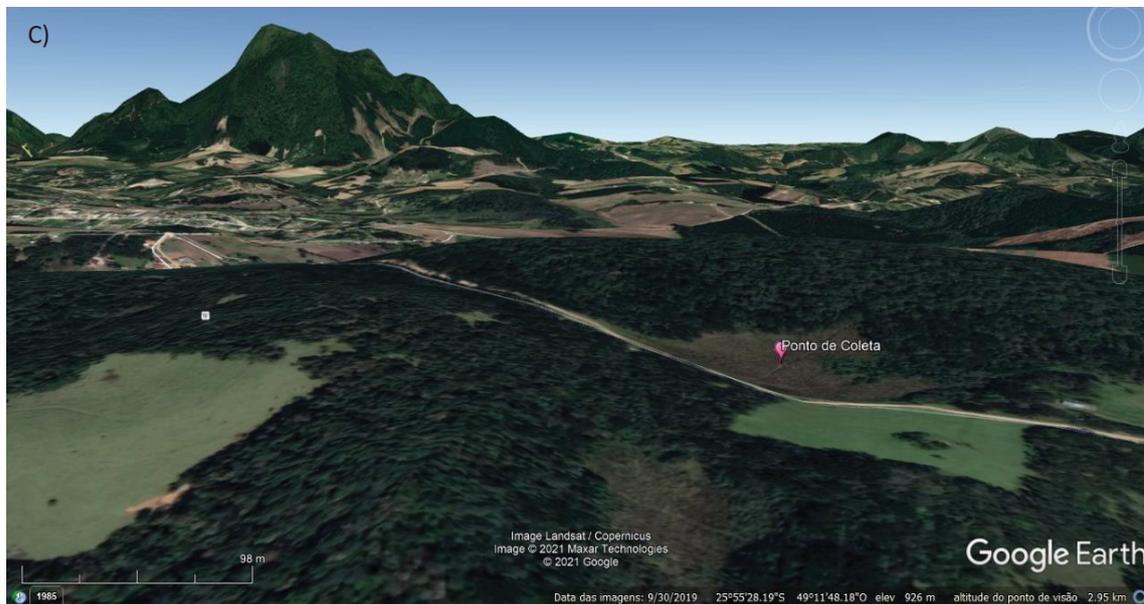
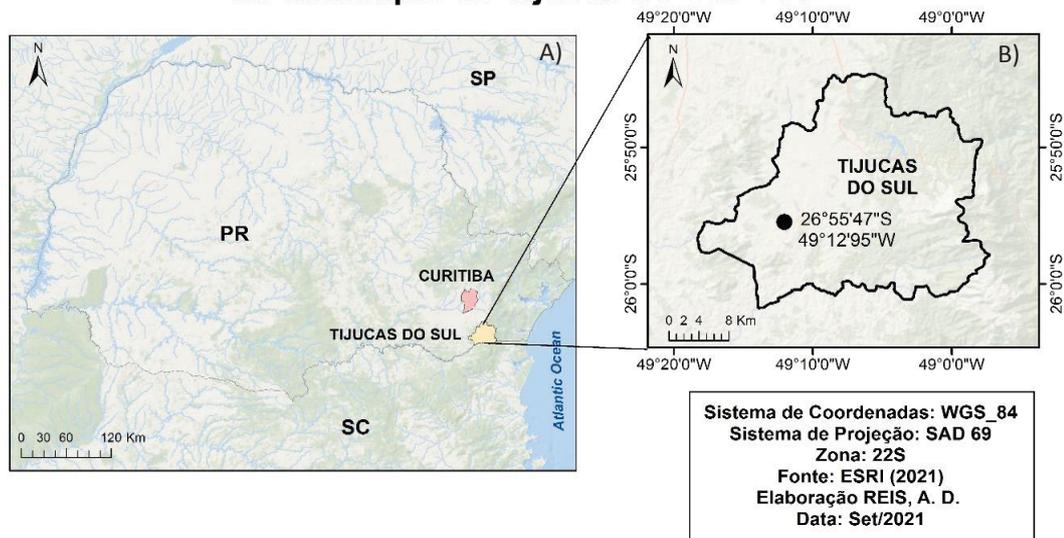
A área do estudo está localizada no Planalto Alto Iguaçu, pertencente a uma das sub-unidades morfoesculturais do Primeiro Planalto Paranaense (PPP). Este planalto (PPP), localizado entre a Serra do Mar e a Escarpa Devoniana de São Luiz do Purunã (também denominada por Serrinha) (SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004; SANTOS et al., 2006), destaca-se por apresenta superfícies aplainadas, suavemente onduladas, com frequente ocorrência de planícies e várzeas constituídas por sedimentos colúvio-aluvionares recentes que podem ser de natureza siltosa e/ou argilosas, que sobre condições hidromórficas são depositados ao longo de importantes cursos d'água (BIGARELLA; MOUSINHO; SILVA, 1965; ITCG, 2018). Sobre a formação das estruturas aplainadas formadas no PPP, Bigarella, Mousinho e Silva (1965) atribuem essas formações aos processos morfoclimáticos com alternância de climas úmidos e secos.

A turfeira estudada está inserida no município de Tijucas do Sul-PR, localizado entre as coordenadas 25°55'28,47"S e 49°12'1,95"W, à 55,2 km de distância de Curitiba e a uma altitude de 928 m (FIGURA 1). O município faz parte da subunidade do Planalto do Alto Iguaçu, no PPP (SANTOS et al., 2006). O Planalto Alto Iguaçu é marcado por uma baixa dissecação, declividades menores que 6%, topos alongados e aplainados, vertentes convexas, vales com V aberto, altitudes variando entre 860 e 1.000 m (MINEROPAR, 2001).

FIGURA 1-

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO E DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR. A) MAPA DO ESTADO DO PARANÁ; B) LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL; C) ASPECTO DA PAISAGEM E LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA

### Mapa de localização da área de coleta do solo no município de Tijucas do Sul- PR



FONTE: O autor (2021)

A geologia do Planalto do Alto Iguaçu é composta por rochas da Formação Guabirotuba e o Complexo Gnáissico-Migmatítico. Os sedimentos da Formação Guabirotuba foram depositados sobre o Embasamento Cristalino durante Plioceno e Pleistoceno e são compostos por arcósios, depósitos rudáceos e margas, o qual estende-se desde o município de Campo Largo até Quatro Barras, ocupando uma área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup> (MINEROPAR, 2001). O Complexo Gnáissico-Migmatítico está relacionado ao Embasamento Cristalino e é considerado um dos mais extensos da RMC - Região Metropolitana de Curitiba (MINEROPAR, 1989), composto por rochas metamórficas e ígneas ácidas (migmatitos estromatíticos, augen-gnaisses, gnaisses graníticos, gnaisses fitados, rochas meta-ultrabásicas, metabasitos, anfibolitos e quartzitos) altamente intemperizadas e de idade desconhecida (MINEROPAR, 2001; ITCG, 2018; MUCHA, 2020)

Semelhante à vegetação predominante no sul do Brasil, o município de Tijucas do Sul apresentava predominantemente a Floresta Ombrófila Mista Densa e 25% de Ombrófila Mista (ITCG, 2009). A Floresta Ombrófila Mista, também denominada por Floresta de Araucária ou Pinheiral (GERALDI; KOEHLER; KAUANO, 2005), que se estendia do Primeiro Planalto Paranaense a oeste da Serra do Mar até o Terceiro Planalto Paranaense, ocupando cerca de quase a metade da extensão total dessa tipologia, atualmente ocupam apenas 0,3% de bons remanescentes representados por florestas secundárias ou primárias alteradas (CASTELLA; BRITZE, 2004; FRITZON; MANTOVANI; WREGE, 2018). Em levantamento realizado por Maack (1968), outros tipos de cobertura vegetal foram identificados como: campos naturais, cerrados, matas de galeria e várzeas (turfeiras). Atualmente, no ponto de coleta, predominam campos, condicionados à ausência de intervenção antrópica (ação humana) (FIGURA 2).

O clima da região é mesotérmico úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen (1948). As temperaturas médias anuais alcançam 22°C e o índice pluviométrico médio anual é de 1400 mm (FERREIRA, 1999; BEHLING; BAUERMANN; NEVES, 2001).

FIGURA 2 – CONDIÇÃO ATUAL DA ÁREA DE COLETA DA TURFEIRAS EM TIJUCAS DO SUL-PR



FONTE: O autor (2021)

#### 2.4.2 AMOSTRAGEM DA TURFEIRA

Previamente foi realizado um estudo com trado, estacas (de até 6 m de comprimento), fita métrica e GPS/GNSS para identificar as áreas mais profundas da turfeira (FERREIRA, 2020). A coleta da turfeira foi realizada utilizando um tubo de alumínio de 6 metros de comprimento, acoplado a um vibrotestemunhador para atenuar a compactação da amostra durante o processo de coleta (MARTIN; FLEXOR; SUGUIO, 1995). Devido à compressão do tubo ao ser inserido no solo, o material sólido alcançou cerca de 542 cm de profundidade. Após a abertura do tubo, o material sólido foi seccionado de 5 em 5 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenado em refrigerador (entre 8 e 10°C). Parte das amostras foram

utilizadas para as análises morfológicas, físicas e químicas de rotina para caracterização e classificação dos horizontes orgânicos e camadas minerais da turfeira. Para as análises físicas e químicas (Testes para Caracterização de Organossolo) foram agrupadas amostras a cada 10 cm (amostra composta) e para reconstituição as análises foram usadas amostras de 5 cm, em intervalos a cada 10 cm (sem mistura de amostras).

### 2.4.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS:

#### 2.4.3.1 Caracterização da turfeira

As análises laboratoriais para caracterização aplicados ao Organossolo, estão de acordo com Lynn, McKinzie e Grossman (1974) e foram subdivididos em: I) atributos físicos e morfológicos e II) atributos químicos, a saber:

#### **I) Atributos morfológicos físicos:**

A determinação dos teores de fibras consistiu na lavagem com água corrente de 2,5 cm<sup>3</sup> do material em uma peneira de 100 *mesh* até obter efluente de cor transparente. Após a lavagem o material restante foi secado em papel toalha e “reempacotado” novamente na seringa, onde o volume restante é considerado como fibra não esfregável (FNE) e registrado em porcentagem. Em seguida, esse mesmo material é colocado novamente na peneira de 100 *mesh*, esfregado entre o polegar e o indicador com jatos de água até que o efluente transparente possa ser secado em papel toalha, “reempacotado” na seringa e registrado como fibra esfregável (FE), com valores expressos em porcentagem (APÊNDICE C).

As cores do material orgânico foram caracterizadas pelo método do pirofosfato de sódio. Para tanto foram misturadas 2,5 cm<sup>3</sup> da amostra do material orgânico a 1 g de cristais de pirofosfato de sódio (Na<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) em 4 mL de água deionizada, em um recipiente de 30 mL aguardando pelo período de uma noite (APÊNDICE B).

A solução foi misturada novamente, inserido um pedaço de papel cromatográfico (dimensão 5 cm x 1 cm), aguardando até que a solução fosse absorvida e posteriormente foi retirado o excesso de umidade do papel

cromatográfico. Após essa etapa, foi aguardada a secagem dos pedaços de papéis e comparadas as cores com a Carta de Munsell (matiz 10YR).

Para a determinação do grau de decomposição da matéria orgânica foi utilizada a escala de von Post (SANTOS et al., 2018) (APÊNDICE B). Para tanto, uma parte da amostra da turfeira foi pressionada na mão, sendo observado em quais das 10 classes da escala de von Post a amostra se enquadrava e, posteriormente, classificada em fíbrico, hêmico ou sáprico (QUADRO 1).

Conforme Santos et al., (2018) as características observadas para os materiais orgânicos são:

- Material fíbrico: constitui-se de fibra, facilmente identificável como de origem vegetal. Tem 40% ou mais de fibras esfregadas por volume e índice de pirofosfato igual a 5 ou maior. Se o conteúdo de fibras for igual ou superior a 75% por volume, o critério do pirofosfato não se aplica. O material fíbrico é usualmente classificado na escala de decomposição de von Post nas classes de 1 a 4.

- Material hêmico: constitui-se do estágio intermediário de decomposição entre fíbrico e sáprico. O material é parcialmente alterado por ação física e bioquímica. Não satisfaz aos requisitos para material fíbrico ou sáprico. O conteúdo de fibra esfregada varia de 17% a 40% por volume. O material hêmico é usualmente classificado na escala de decomposição de von Post na classe 5 ou 6.

- Material sáprico: apresenta estágio avançado de decomposição, com menos teor de fibras, a mais alta densidade e a mais baixa capacidade de retenção de água no estado de saturação. É muito estável fisicamente e quimicamente, alterando-se muito pouco no decorrer do tempo, a menos que a turfeira seja drenada. O material sáprico é usualmente decomposto na escala de decomposição de von Post na classe 7 ou mais alta.

QUADRO 1- ESCALA DE DECOMPOSIÇÃO DE VON POST, CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO GRAU DE DECOMPOSIÇÃO

Grau <sup>1</sup>	Característica	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Permanece na mão		CLASSE
				Forma	Estrutura vegetal	
H1	Sem decomposição	Incolor	Não passa sólido entre os dedos	Não tem aspecto gelatinoso	Estrutura vegetal nitidamente reconhecível	FIBROSA
H2	Muito pouco decomposta	Ligeiramente castanha				
H3	Muito fracamente decomposta	Castanha fraca				
H4	Fracamente decomposta	Muito castanha				
H5	Decomposta	Líquido escuro	Passa pouco	Apresenta aspecto gelatinoso	Ainda pouco reconhecíveis os vegetais	HÊMICA
H6	Bem decomposta		Passa 1/3 do volume			
H7	Fortemente decomposta		Passa a metade			
H8	Muito fortemente decomposta		Passam 3/5 do volume		Ficam na mão resíduos de fibras, raízes etc.	
H9	Quase totalmente decomposta	Passa quase tudo				
H10	Completamente decomposta	O material flui integralmente entre os dedos	Sobra muito pouco na mão		SÁPRICA	

<sup>1</sup>Grau de humosidade

FONTE: Adaptado de VALLADARES (2003)

Os valores de densidade do solo ( $D_s$ ) foram obtidos, através da razão entre o peso da amostra seca a 105°C por 24 horas e o valor do volume conhecido (2,5 cm<sup>3</sup>):

$$D_s = \frac{\text{peso da amostra pela estufa (105°C por 24h)}}{\text{volume conhecido de amostra (2,5 cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

A densidade da matéria orgânica (DMO) foi calculada conforme a equação:

$$DMO = (D_s - \frac{[D_s \times \% \text{ massa MM}]}{100}) \quad (2)$$

Sendo:

- Ds, é o valor da densidade do solo;
- massa MM, é o valor em porcentagem do material mineral;

O resíduo mínimo (RM) foi obtido a partir do cálculo:

$$RM = \frac{(D_{si} - DMO)}{D_{sr}} \quad (3)$$

Sendo:

- Dsi a densidade do solo inicial ou no estado original,
- DMO a densidade da matéria orgânica, e
- Dsr a densidade residual equivalente a 1,5 g cm<sup>-1</sup>.

A Umidade Gravimétrica (Ug%) consistiu no seguinte cálculo:

$$Ug (\%) = \frac{(\text{peso úmido} - \text{peso seco a } 105^{\circ}\text{C por } 24 \text{ h})}{\text{peso seco a } 105^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad (4)$$

O conteúdo mineral ou material mineral (MM) foram obtidos a partir da seguinte equação:

$$MM = \frac{\text{peso mufla (600}^{\circ}\text{C por } 6\text{h)}}{\text{peso estufa (105}^{\circ}\text{C por } 24\text{h)}} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

- peso mufla: massa de amostra aquecida a 600°C por 24 horas em mufla
- peso: massa das amostras seca a 105°C por 24 horas em estufa de circulação forçada de ar.

## II) Atributos químicos:

A obtenção dos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  foram determinados a partir da mistura de  $2,5 \text{ cm}^3$  de amostra da turfeira em 4 mL de  $\text{CaCl}_2$   $0,015 \text{ mol L}^{-1}$  (proporção 20:1). Após cerca de pelo menos 1 hora, foi determinado o pH pelo eletrodo combinado.

A determinação dos teores de matéria orgânica foi realizada por meio da diferença entre as massas de amostras secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas e da massa obtida após aquecimento em mufla a  $600^\circ\text{C}$  por 6 horas (SANTOS et al., 2018).

Para a determinação da composição elementar (C e N orgânico) e conseqüentemente a relação C/N, as amostras coletadas foram secas em estufa a  $50^\circ\text{C}$ , maceradas, passadas em peneiras de 0,25 mm, pesadas e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), onde foram analisadas em um Analisador elementar acoplado a um Espectrômetro de Massa ANCA-SL 2020 da Europa Scientific.

#### 2.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

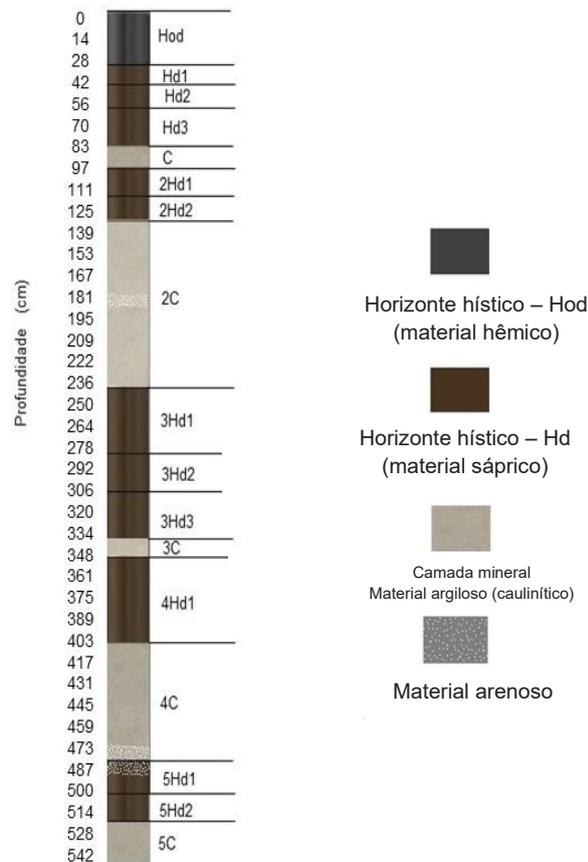
Os dados de caracterização foram submetidos à padronização (razão entre a variável subtraída da média da variável pelo desvio padrão) no programa Microsoft Office Excel 2013. No software R<sup>®</sup> (2014) foi realizada a correlação de Spearman, construindo a matriz de correlação (ANEXO 1), indicando os valores significativos a  $p < 0,05$  e o gráfico BILOT (FIGURA 6). A análise multivariada escolhida foi a Análise de Componentes Principais (ACP) no programa R<sup>®</sup>, utilizando as variáveis de caracterização do Organossolo e os valores de composição elementar e relação C/N, que serão interpretados de forma separada. Os resultados obtidos pela descrição morfológica e dados analíticos foram então utilizados para classificar a turfeira do testemunho amostrado de acordo com o SiBCS (SANTOS et al., 2018), o Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e o WRB (FAO, 2006; IUSS, 2015), além de tentar estabelecer uma relação com os processos pedogenéticos a que foi submetido.

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO

Foram identificados 12 horizontes orgânicos (H) e 5 camadas minerais (C) de textura argilosa e/ou com presença de material arenoso (TABELA 1). Sendo distribuídos na turfeira da seguinte maneira: Hod (0-28 cm), Hd1 (28-42 cm), Hd2 (42-56 cm), Hd3 (56-83 cm), C (83-97 cm), 2Hd1 (97-111 cm), 2Hd2 (111-125 cm), 2C (125-236 cm), 3Hd1 (236-264 cm), 3Hd2 (264-278 cm), 3Hd3 (278-292 cm), 3Hd4 (292-334 cm), 3C (334-348 cm), 4Hd1 (348-403 cm), 4C (403-487 cm), 5Hd1 (487-514 cm) e 5C (514-542 cm), conforme pode ser observado na figura abaixo (FIGURA 3).

FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES ORGÂNICOS E CAMADAS MINERAIS NA TURFEIRA COLETADA DE TIJUCAS DO SUL-PR



FONTE: O autor (2021)

## 2.5.2 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS

- **FNE e FE:**

As porcentagens de FNE e FE apresentaram tendência de redução em profundidade, com valores expressivos que ocorreram apenas entre os primeiros 125 cm de profundidade do perfil. Neste caso, nos intervalos entre 0-28 cm foram compostas por cerca de 40 e 30% nas FNE e FE, respectivamente, e decaíram para porcentagens que alcançaram até 4%, conforme é observado na TABELA 1.

Entre os 125-542 cm, ou seja, até a base do perfil, as porcentagens tornaram-se nulas, devido ao aumento no grau de decomposição do material orgânico.

Para a WRB e o Soil Taxonomy, os materiais orgânicos identificados entre 0-20 cm apresentam FE com valores intermediários a 75% e 17%, equivalentes a materiais hêmicos e as profundidades seguintes estariam associadas a materiais sápricos ao abrangerem  $FE < 1/6$  (17%).

- **Cor**

As cores identificadas variaram entre 10YR 4/2 – bruno acinzentado-escuro a 10YR 2/1 – preto (TABELA 1).

Observou-se que na turfeira, 59% das amostras houve predominância da cor 10YR 2/1 – preto. Sendo as demais cores observadas 10YR 3/2 – bruno acinzentado muito escuro; 10YR 3/1 – cinzento muito escuro; 10YR 4/1 – cinzento muito escuro; 10YR 2/2 – bruno muito escuro; e 10YR 4/2 – bruno acinzentado-escuro, este último ocorreu apenas entre 222-236 cm.

Para melhor compreender a distribuição das cores na análise multivariada, as cores foram agrupadas da seguinte maneira: 10YR 4/1= 1, 10YR 4/2= 2, 10YR 3/1= 3, 10YR 3/2= 4, 10YR 2/1= 5 e 10YR 2/2= 6, sendo a disposição das cores no perfil apresentadas na TABELA 1.

Com relação às cores do Organossolo, o WRB (FAO, 2006) estabelece que estas podem variar entre bruno escuro (10YR 3/3) e preto (10 YR 2/1) para os materiais fíbricos, hêmicos e sápricos. Contudo, para o Soil Taxonomy e o SiBCS excetuando as cores 10YR 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 ou 8/3 que correspondem aos materiais orgânicos fíbricos, as demais cores estiveram de acordo com o estabelecido para os materiais sápricos.

**TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS A TURFEIRA COLETA EM TIJUCAS DO SUL – PR**  
(continua)

Amostras	Profundidade do solo (cm)	Horizonte	Cor	von Post	pH em CaCl <sub>2</sub>	FNE	FE	Ds	DMO	MM	Ug	RM	MO	COT	NT	C/N
						%	%	(g cm <sup>-3</sup> )	%	(cm cm <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )					
1	0-14		10YR3/2	H5	3,9	40	30	0,11	0,08	27,01	810,9	0,02	729,9	356,79	16,37	21,79
2	14-28	Hod	10YR3/2	H5	3,8	40	30	0,09	0,07	24,91	900	0,02	750,9	359,67	15,95	22,54
3	28-42	Hd1	10YR3/1	H10	3,7	28	8	0,14	0,07	45,94	594,5	0,04	540,6	251,58	11,91	21,12
4	42-56	Hd2	10YR2/1	H10	3,7	20	12	0,19	0,09	55,64	423,4	0,07	443,6	205,82	9,51	21,64
5	56-70	Hd3	10YR2/1	H10	3,8	24	4	0,3	0,1	67,28	274,7	0,14	327,2	121,7	5,22	23,32
6	70-83		10YR3/2	H10	3,8	32	12	0,51	0,14	72,4	146,5	0,24	276	103,34	3,74	27,63
7	83-97	C	10YR3/2	Não se aplica	3,8	36	4	0,58	0,13	77,47	118,7	0,3	225,3	76,61	2,79	27,48
8	97-111	2Hd1	10YR2/1	H10	3,8	32	4	0,57	0,39	31,96	120	0,12	680,4	108,08	3,8	28,48
9	111-125	2Hd2	10YR2/2	H10	3,8	32	8	0,57	0,13	76,26	116,5	0,29	237,4	82,51	2,53	32,65
10	125-139		10YR2/1	Não se aplica	3,8	0	0	0,66	0,14	78,91	101,2	0,35	210,9	75,81	2,37	31,99
11	139-153		10YR2/1	Não se aplica	3,8	0	0	0,56	0,12	78,72	152,1	0,29	212,8	48,27	1,57	30,81
12	153-167		10YR4/1	Não se aplica	3,4	0	0	0,86	0,11	86,59	72,5	0,49	134,1	16,39	0,57	28,71
13	167-181		10YR3/1	Não se aplica	3,4	0	0	0,94	0,13	86,14	71	0,54	138,6	21,92	0,79	27,9
14	181-195	2C	10YR3/1	Não se aplica	3,4	0	0	1,18	0,11	90,37	35,3	0,71	96,3	15,85	0,57	27,86
15	195-209		10YR4/1	Não se aplica	3,2	0	0	0,96	0,12	87,47	52,3	0,56	125,3	10,72	0,4	26,89
16	209-222		10YR3/2	Não se aplica	3,2	0	0	1,01	0,13	87,6	50,2	0,59	124	11,49	0,4	28,45
17	222-236		10YR4/2	Não se aplica	3,3	0	0	0,91	0,14	85,11	59,6	0,52	148,9	18,61	0,66	28,17
18	236-250	3Hd1	10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,46	0,15	66,55	220,2	0,2	334,5	161,65	5,76	28,08
19	250-264		10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,28	0,12	58,73	233	0,11	412,7	143,2	4,82	29,69
20	264-278	3Hd2	10YR2/1	H10	4	0	0	0,43	0,11	73,42	141,6	0,21	265,8	79,92	2,69	29,67
21	278-292	3Hd3	10YR2/1	H10	4	0	0	0,27	0,14	50,23	283,7	0,09	497,7	169,87	5,44	31,24

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS A TURFEIRA COLETA EM TIJUCAS DO SUL – PR

Amostras	Profundidade do solo	Horizonte	Cor	von Post	pH em CaCl <sub>2</sub>	FNE	FE	Ds	DMO	MM	Ug	RM	MO	COT	NT	C/N
	(cm)	(IBGE, 2015; SANTOS et al., 2018)				%	%	(g cm <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	%	(cm cm <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )				
22	292-306		10YR2/1	H10	4,1	0	0	0,4	0,15	61,58	183	0,16	384,2	158,78	4,9	32,39
23	306-320	3Hd4	10YR2/1	H10	4	0	0	0,46	0,15	68,76	148	0,21	312,4	191,17	5,87	32,59
24	320-334		10YR2/1	H10	4	0	0	0,55	0,15	72,15	125,5	0,26	278,5	113,75	3,17	35,89
25	334-348	3C	10YR2/1	Não se aplica	4	0	0	0,49	0,18	63,29	149,1	0,21	367,1	45,16	3,49	12,94
26	348-361		10YR2/1	H10	4	0	0	0,53	0,19	64,84	125,6	0,23	351,6	166,62	4,72	35,27
27	361-375	4Hd1	10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,43	0,15	65,7	157,4	0,19	343	152,17	3,84	39,67
28	375-389		10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,43	0,16	62,68	168,9	0,18	373,2	164,08	3,67	44,66
29	389-403		10YR2/2	H10	4,4	0	0	0,4	0,17	58,55	186,9	0,16	414,5	178,39	5,27	33,84
30	403-417		10YR3/1	Não se aplica	3,2	0	0	0,59	0,09	84,65	87,8	0,33	153,5	43,64	1,08	40,34
31	417-431		10YR3/1	Não se aplica	3,2	0	0	1,1	0,12	88,72	10,7	0,65	112,8	20,14	0,57	35,25
32	431-445	4C	10YR2/1	Não se aplica	3,1	0	0	1,08	0,12	88,71	45,4	0,64	112,9	25,38	0,74	34,48
33	445-459		10YR2/1	Não se aplica	3,3	0	0	0,77	0,11	86,2	57	0,44	138	37,82	1,14	33,1
34	459-473		10YR2/1	Não se aplica	3,5	0	0	0,9	0,11	87,24	56,1	0,52	127,6	39,92	1,25	31,94
35	473-487		10YR2/1	Não se aplica	3,7	0	0	0,66	0,12	81,39	97,9	0,36	186,1	63,7	2,16	29,45
36	487-500	5Hd1	10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,44	0,12	71,98	171	0,21	280,2	132,12	4,26	31
37	500-514		10YR2/1	H10	3,9	0	0	0,4	0,13	68,75	176,9	0,18	312,5	129,14	3,8	33,98
38	514-528	5C	10YR2/1	Não se aplica	3,4	0	0	0,59	0,11	81,63	110,7	0,32	183,7	53,28	1,53	34,88

(continuação)

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS A TURFEIRA COLETA EM TIJUCAS DO SUL – PR

Amostras	Profundidade do solo (cm)	Horizonte	Cor	von Post	pH em CaCl <sub>2</sub>	FNE	FE	Ds	DMO	MM	Ug	RM	MO	COT	NT	C/N
						%	%	(g cm <sup>-3</sup> )	%	(g cm <sup>-3</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(cm cm <sup>-1</sup> )				(conclusão)
39	528-542	5C	10YR4/1	Não se aplica	2,9	0	0	0,85	0,12	85,67	64,4	0,48	143,3	46,49	1,32	35,12
				Mínimo	2,9	0	0	0,09	0,07	24,91	10,7	0,02	96,3	10,72	0,4	12,94
				Máximo	4,4	40	30	1,18	0,39	90,37	900	0,71	750,9	359,67	16,37	44,66
				Média	3,7	7,3	2,9	0,58	0,13	70,54	182,06	0,3	294,56	107,73	3,86	30,33
				Desvio Padrão	0,33	13,64	7,06	0,28	0,05	16,83	189,73	0,19	168,28	85,73	3,76	5,76

FNE= fibra não esfregada, FE= fibra esfregada, Ds= densidade do solo; DMO= densidade da matéria orgânica; MM= material mineral; Ug= umidade gravimétrica; RM= resíduo mínimo; MO= matéria orgânica; COT = carbono orgânico total; NT= nitrogênio total; C/N= relação C/N

- **Escala de decomposição de von Post:**

Por meio da escala de von Post, foram identificados dois tipos de materiais orgânicos, sendo eles hêmicos e sápricos (TABELA 1). Entre os intervalos dos primeiros 28 cm, representados pelo horizonte Hod, foram os únicos que apresentaram material hêmico, correspondendo à classe 5 na escala de von Post, ou seja, moderadamente decomposto, com estrutura vegetal original pouco visível, reconhecível, mas não identificável. As demais profundidades correspondentes aos horizontes hísticos revelaram material sáprico (escala de von Post classe 10), sendo assim, completamente decomposto, com estrutura vegetal original irreconhecível. Entre os intervalos que correspondem às camadas minerais C (83-97 cm), 2C (125-236 cm), 3C (334-348 cm), 4C (403-487 cm) e 5C (514-542 cm), respectivamente foi observado maior acúmulo de material mineral (caulinítico). Por este motivo não foram identificadas as classes na escala de decomposição de von Post.

Para melhor compreender o formato que os resultados foram integrados à análise multivariada, as amostras foram identificadas da seguinte maneira: classe 1 a 4 – material fíbrico, 5 e 6 – material hêmico e 7 a 10 – material sáprico.

### 2.5.3 ATRIBUTOS FÍSICOS

- **Densidade:**

De modo geral, os valores de  $D_s$  aumentaram em profundidade, com oscilações ao longo do perfil. A variação ocorreu entre 0,09 e 1,18 g cm<sup>-3</sup>, com amostras orgânicas apresentando valores geralmente inferiores a 0,57 g cm<sup>-3</sup>, enquanto as amostras minerais apresentaram valores próximos a 1,18 g cm<sup>-3</sup> (TABELA 1).

Os valores mínimos de  $D_s$  foram observados nos primeiros 42 cm de intervalo da turfeira, entre os horizontes Hod e Hd1, enquanto o máximo foi identificado no intervalo entre 181-195 cm (camada 2C) (FIGURA 4).

Entre as amostras de horizontes hísticos e camadas minerais, houve pouca variação nos valores de DMO (FIGURA 4), variando entre 0,07 e 0,39 g cm<sup>-3</sup>, média de 0,13 g cm<sup>-3</sup> e DP igual a 0,05 g cm<sup>-3</sup> (TABELA 1).

- **Resíduo Mínimo:**

Os valores de Resíduo Mínimo (RM) apresentaram padrão de distribuição semelhante às de Ds, com variação entre 0,02 e 0,71  $\text{cm cm}^{-1}$ , média de 0,30  $\text{cm cm}^{-1}$  e desvio padrão igual a 0,19  $\text{cm cm}^{-1}$  (TABELA 1). Os valores mínimos foram observados nos primeiros 42 cm de profundidade (horizonte Hod e Hd1), enquanto o máximo foi identificado entre 181-195 cm (camada mineral 2C) (FIGURA 4).

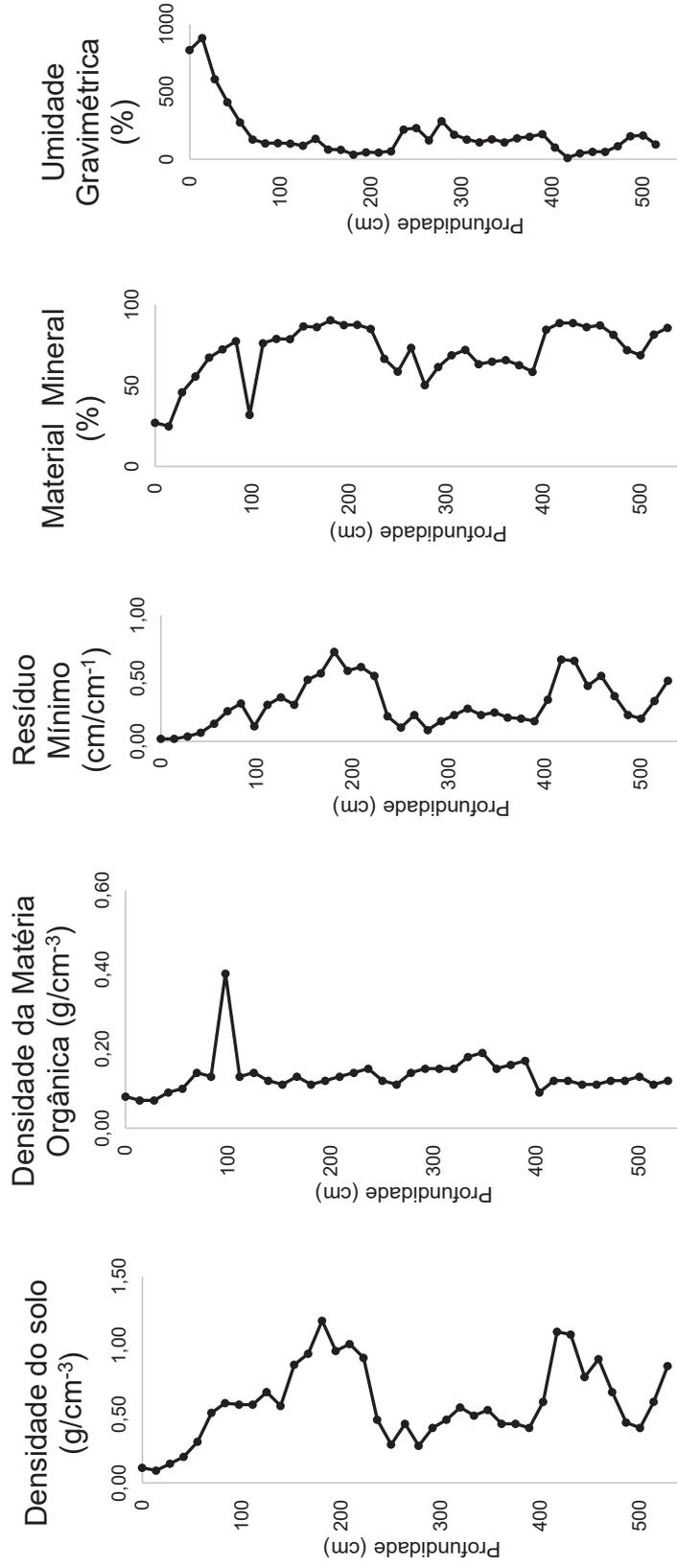
- **Umidade gravimétrica:**

Os valores de Ug apresentaram-se elevados da base ao topo, porém em alguns intervalos foi possível identificar que o menor teor de MO coincidiram com os maiores valores de MM, implicando em uma menor capacidade de armazenamento de água. Na totalidade da turfeira os valores encontrados variaram entre 10,70 e 900%, com média de 182,06% (TABELA 1). Na camada mineral 4C, no intervalo entre 417-431 cm foi observado o menor valor para este atributo, enquanto o maior valor foi observado no horizonte Hod, entre 14-28 cm (FIGURA 4).

- **Material Mineral:**

Os valores de material mineral (MM) aumentaram com a profundidade, sofrendo oscilações ao longo do perfil. Entre a totalidade das amostras da turfeira, os valores de MM variaram entre 24,9% e 90,4%, média de 70,5% e desvio padrão igual a 16,83% (TABELA 1). O valor mínimo foi identificado no horizonte Hod, entre 14-28 cm, enquanto o valor máximo foi encontrado na camada mineral 2C, entre 181-195 cm (FIGURA 4).

FIGURA 4: DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR



FONTE: O autor (2021)

### 2.5.3 ACIDEZ E TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA:

- **pH em CaCl<sub>2</sub>:**

Os valores de pH CaCl<sub>2</sub> apresentaram valores baixos desde o topo até base do perfil, variando entre 2,9 e 4,4 (TABELA 1). O menor valor (pH = 2,9) foi observado na camada mineral 5C, entre 528-542 cm, enquanto o maior valor (pH =4,4) foi observado no horizonte 4Hd1, no intervalo entre 389-403 cm (FIGURA 5).

- **Matéria Orgânica:**

A distribuição dos valores de MO determinados após aquecimento em estufa e mufla reduziram com a profundidade, sofrendo oscilações ao longo do perfil, semelhante ao padrão observado nos valores de MM. Os valores obtidos variaram entre 96 e 751 g kg<sup>-1</sup> (TABELA 1). O valor mínimo de MO foi observado na camada mineral 2C, no intervalo entre 181-195 cm e o máximo no horizonte Hod, entre 14-28 cm (FIGURA 5).

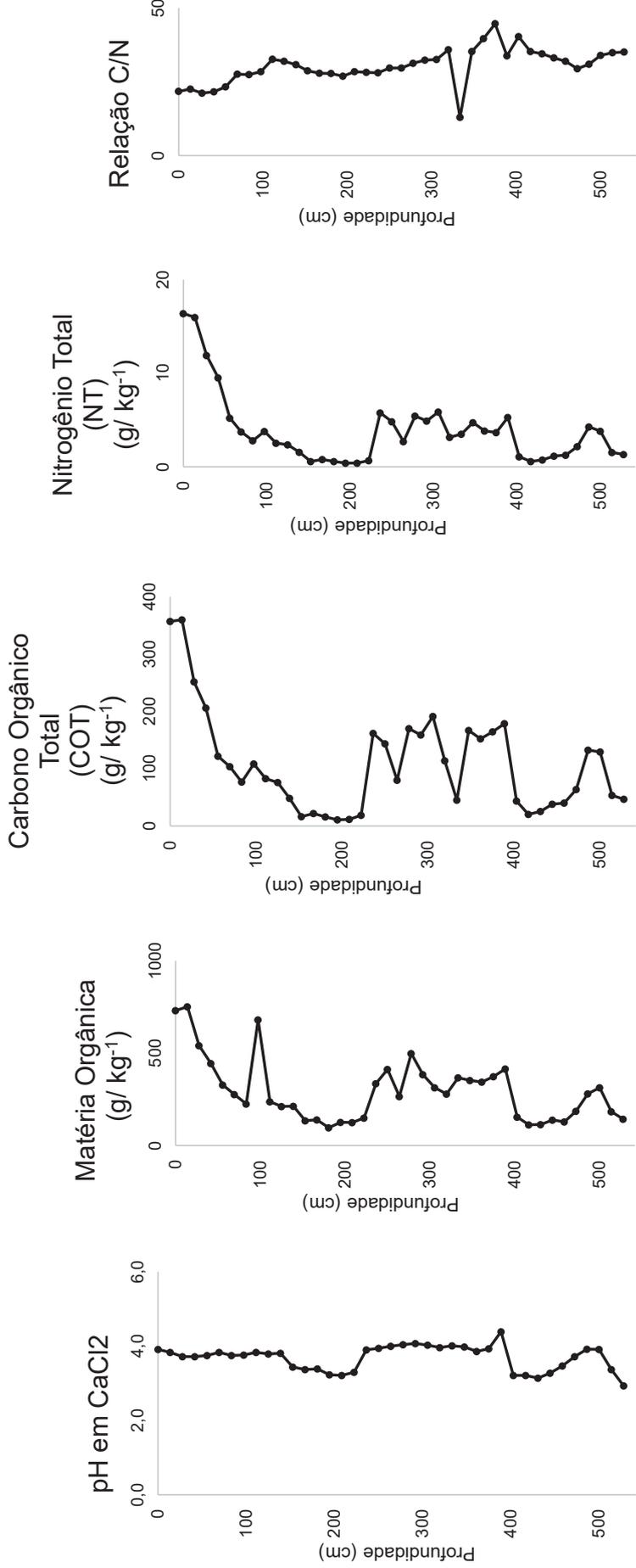
- **Composição elementar e relação C/N:**

De maneira geral, observa-se que os valores de COT, diminuíram em profundidade (FIGURA 5). As oscilações dos valores ocorreram a partir do intervalo de 83-97 cm, que correspondem ao incremento de material mineral, registrando valores de COT entre 11 e 360 g kg<sup>-1</sup> (TABELA 1).

Os valores de N apresentaram similaridade com o COT quanto à sua distribuição no perfil (FIGURA 5), diminuindo em profundidade. Em superfície, por representar um material recém depositado, variando entre 0,40 e 16,37 g kg<sup>-1</sup> (TABELA 1).

Os valores da relação C/N apresentaram uma tendência de aumento em profundidade, com valores entre 12,94 e 44,66 (FIGURA 1). Exceto no intervalo entre 334-348 cm, em que houve redução no valor, sendo assim, obtidos valores entre 12,94 (TABELA 1).

FIGURA 5: DISTRIBUIÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR

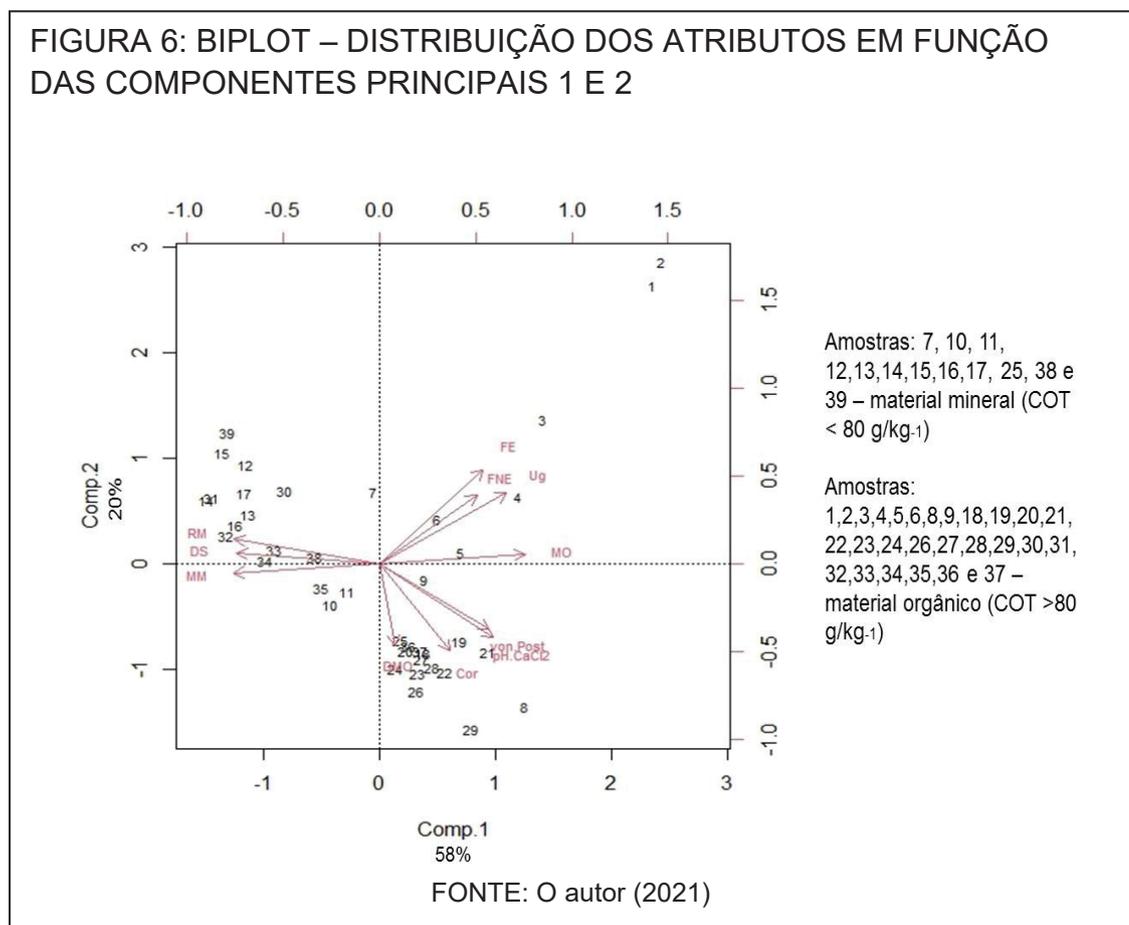


FONTE: O autor (2021)

## 2.5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com base na Análise por Componentes Principais (ACP) as três primeiras componentes apresentaram valor de variância acumulada igual a 87% (TABELA 2). Neste caso, as demais componentes foram desconsideradas.

A primeira componente principal (PCR1) apresentou 58% da variância total (FIGURA 6), explicando a maior parte das análises, entre elas: Ds, RM, MM e MO. Entre as maiores correlações inversas, estiveram: Ds, RM, Ug, MO e von Post. A segunda componente principal (PCR2) apresentou 20% da variância total (FIGURA 6), explicando as demais análises, entre elas: FNE, FE, pH, Cor, Ug e von Post, sendo Ug e von Post responsáveis pelas maiores correlações e inversa a Ds, RM e MM. Enquanto a terceira componente principal (PCR3) apresentou apenas 9,2% da variância, explicando principalmente a variável DMO, que apresentou sua máxima correlação inversa com FE.



Com base nos dados obtidos, as amostras do intervalo de 0 a 83 cm dispostos no eixo 1, estiveram associados aos elevados teores de FNE, FE, Ug e MO (FIGURA 6 e TABELA 2), se opondo às variáveis de Ds, RM e MM. O conteúdo dessas variáveis se associa às condições de paludização pronunciadas principalmente no topo da turfeira, no qual a vegetação composta por material hêmico recém depositado, apresenta ainda mais capacidade de armazenamento de água, quando comparado aos materiais sápricos.

Entre as amostras de profundidades 83-97 cm, 153-236 cm, 403-487 cm e 514-542 cm, representadas pelas camadas minerais C, 2C, 4C e 5C, respectivamente, que estão dispostas no eixo 1, foram identificados elevado conteúdo de MM, RM e Ds (FIGURA 6 e TABELA 2). Através do eixo 1, é possível perceber a diferenciação entre as amostras de conteúdo orgânico ( $COT > 80 \text{ g/kg}^{-1}$ ) e mineral ( $COT < 80 \text{ g/kg}^{-1}$ ). Essas variáveis expressam os episódios de menor umidade que foram responsáveis pelo transporte coluvionar de material mineral para o ambiente deposicional e que foram sobrepostos por materiais turfosos.

Enquanto nas amostras observadas entre 97-125 cm, 236-403 cm e 487-514 cm de profundidade foram responsáveis por explicar as variáveis de pH, Cor, DMO e von Post que se encontram opostas aos teores de FE e FNE do Organossolo (FIGURA 6 e TABELA 2). Sendo no eixo 2, possível perceber que von Post refletiu mais sobre os demais atributos do solo, destacando assim o elevado grau de decomposição do material vegetal. Estas amostras ao serem observadas em profundidade apresentando cores 10 YR 2/1 – preta, elevado valor de DMO, parecem estar de acordo com a hipótese de que materiais de elevado estágio de decomposição (sápricos) e coloração escura, podem estar contribuindo para elevar os valores de DMO e tornar o meio acidificado.

Variáveis	PC1	PC2	PC3
	Autovetor	Autovetor	Autovetor
FNE	0,25	0,33	0,32
FE	0,26	0,45	0,07
pH	0,29	-0,35	-0,17
Cor	0,18	-0,41	-0,19
DS	-0,36	0,05	0,25
DMO	0,04	-0,39	0,79
RM	-0,37	0,11	0,11
Ug	0,32	0,33	-0,13
MM	-0,37	-0,04	-0,21
MO	0,37	0,04	0,21
von Post	0,28	-0,31	-0,08
Autovalores	2,52	1,48	1,01
Proporções (%)	57,8	20,0	9,2
Acumulado (%)	57,8	77,9	87,2

FONTE: O autor (2021)

As interpretações alcançadas no capítulo 2 servirão para auxiliar nas interpretações e evolução dos processos pedogenéticos envolvidos na formação do perfil.

## 2.6 DISCUSSÃO

### 2.6.1 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS:

A determinação dos teores de fibra (FE e FNE) são consideradas adaptações às análises granulométricas, mas que não possuem boa precisão na determinação dos teores da fração argila devido aos altos teores de colóides orgânicos, que por sua vez impedem a dispersão do material e das frações silte e areia que podem vir a ser confundidas com restos e galhos vegetais (SOARES, 2015). Nota-se que a presença de maiores valores de FNE quando comparados aos de FE, podem resultar na subestimação dos teores de FNE, uma vez que ficam retidos na peneira restos vegetais nos grãos de areia, que são eliminados somente quando são esfregadas na etapa de FE, o que para Horák (2009) é uma superestimação estabelecida pelo método.

Desta forma, no SiBCS (SANTOS et al., 2018) os valores de FE e FNE permitem inferir sobre o grau de decomposição do material orgânico, onde: material

orgânico fíbrico apresenta  $\geq 40\%$  de FE; material orgânico hêmico apresenta entre 17% e 40% de FE e material orgânico sáprico teores de FE  $< 17\%$  (APÊNDICE A). Considerando a imprecisão na determinação dos teores de fibra, a determinação da classe no segundo nível categórico do SiBCS pode não refletir fielmente o ambiente de formação deste solo bem como os processos pedogenéticos.

Entre os intervalos de 0-28 cm compostos pelos elevados valores de FE nos horizontes superficiais do perfil, indicam que os restos vegetais foram recentemente depositados, ou seja, material hêmico, já iniciados os processos de decomposição, porém ainda não atingiram o mesmo estágio de decomposição que as demais profundidades. Com relação à cor, por se tratar do material hêmico (intermediário) os sistemas de classificação não estabelecem cor específica (APÊNDICE A), enquanto para o material sáprico as cores estiveram de acordo com o estabelecidos pelos sistemas de classificação.

No restante do perfil, as amostras de horizontes hísticos com porcentagens nulas de FE foram indicativos de solos com horizontes compostos por materiais sápricos (SANTOS et al., 2018), que em alguns horizontes estiveram misturados a materiais minerais argilosos e em menor proporção a materiais arenosos (FIGURA 3). Sendo assim, pode-se notar que a distribuição decrescente em profundidade dos teores de FNE e FE, podem ser usadas para explicar as suas maiores correlações entre as próprias variáveis do teor de fibra, conforme  $r^2=0,98$  (ANEXO 1).

Ainda que seja incomum a presença Organossolos formados no Brasil com grande profundidade (VALLADARES et al., 2008), destaca-se que no caso de Tijucas do Sul (PR), similar à turfeira do Espinhaço Meridional (HORÁK et al., 2014) as condições hidromórficas (paludização) foram as responsáveis pela formação de espessos pacotes de materiais sáprico. Condições como essas são suficientes para estimar que o material orgânico decomposto em maior profundidade tenha alcançado estabilidade.

Loss et al., (2015) identificaram nos Organossolos distribuídos em diversas partes do país, inclusive em Tijucas do Sul, o predomínio da fração humina nos materiais sápricos, indicando maior resistência ao processo de decomposição devido ao enriquecimento das substâncias húmicas em estruturas aromáticas, condensadas e recalcitrantes.

Para o WRB e o Soil Taxonomy, os materiais orgânicos fíbricos apresentam valores de FE  $> 2/3$  (67%), materiais hêmicos apresentam porcentagens entre  $< 2/3$

(67%) e  $>1/6$  (17%), ou seja, as profundidades seguintes estariam associadas a materiais sápricos ao abrangerem  $FE < 1/6$  (17%). Portanto, em relação ao SiBCS, Soil Taxonomy e WRB houve consenso sobre a formação de materiais orgânicos diferenciados, sendo eles: hêmico em superfície, sucedido pelo sáprico em profundidade.

As cores distribuídas na turfeira, são indicativas do grau de decomposição, sendo assim, cores mais claras associadas ao menor grau de decomposição do material vegetal, enquanto cores mais escuras estão relacionadas ao elevado grau de decomposição (SANTOS et al., 2018). De modo geral, observa-se que as amostras de cor escurecida (10YR 2/1) considerada comum às turfeiras, apresentaram também avançado grau de decomposição (sáprica) (TABELA 1), sendo expressos por sua maior correlação com von Post ( $r^2=0,51$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1).

Sobre a presença de horizontes hísticos intercalados com camadas minerais, Horák et al., (2011) propõem que estejam associados a alternâncias entre clima mais seco, que causem a interrupção da deposição orgânica e climas mais úmidos, que favoreçam o depósito de materiais turfosos (paludização). Segundo Ferreira (2020), a presença de espessos depósitos de camadas minerais cauliniticas são, em parte, formados por caulinitas que são pseudomorfos de biotita, formados pelo intemperismo químico *in situ* das rochas do Embasamento Cristalino e posteriormente transportados por processos geomorfológicos de denudação, provavelmente os mesmos que originaram a formação Guabirota.

Excetuando o WRB (IUSS, 2015) que sugere aos materiais fíbricos, hêmicos e sápricos a possibilidade de cores entre bruno escuro a preto, o SiBCS (SANTOS et al., 2018) e o Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014) estão de acordo quanto às cores atribuídas a depender do material orgânico encontrado na turfeira, que atribuem as cores 10YR 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 ou 8/3 para materiais fíbricos, exceto 10YR 5/1, 6/2 e 7/3 e as demais cores para os materiais sápricos (vide APÊNDICE A).

Por meio da escala de decomposição de von Post (STANEK e SILC, 1977) é possível compreender a proporção dos resíduos vegetais em diferentes intensidades de decomposição. Os primeiros 28 cm, condizentes ao horizonte superficial Hod que estão localizadas próximo à superfície foram consideradas como material hêmico, por apresentarem material vegetal recém-depositado. Do ponto de vista hidrológico, Cipriano-Silva et al., (2014) consideram que quanto menor o grau de decomposição

da MO, maior a capacidade de retenção de água, chegando a armazenar até 930% de água em relação a sua massa.

As demais amostras, também referentes aos horizontes hísticos, identificadas como material sáprico, provavelmente refletem a natureza do material gramíneo depositado, que se tornam mais facilmente decomposto quando comparado a materiais com mais lignina em sua composição. Em relação a essas constatações, Horák et al., (2011) assinalam que o maior tempo de exposição ao processo pedogenético favorece a formação de materiais sápricos em profundidade no perfil, atendendo ao Princípio da Superposição de Camadas (unidirecional). Ebeling et al., (2013) acrescentam que o processo de deposição de materiais hêmicos em superfície, com predominância de materiais sápricos em subsuperfície, são comuns às condições tropicais do território nacional, ao permitirem o avanço no grau de decomposição da matéria orgânica.

A escala de von Post apresentou correlação inversa com a Ds ( $r^2 = -0,76$ ) e o RM ( $r^2 = -0,76$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1), sugerindo que a reduzida presença de material vegetal de elevada decomposição (sáprico) em profundidade é seguida pelo acúmulo de material mineral (caulinítico e/ou arenoso).

## 2.6.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

A densidade do solo (Ds), juntamente com o resíduo mínimo (RM) são indicativos do teor de material mineral (MM) depositado e o grau de vulnerabilidade do solo à subsidência (VALLADARES, 2003; SOARES, 2015).

Os baixos valores de Ds foram observados nos horizontes superficiais e hísticos, principalmente entre 0-70 cm (TABELA 1) que representam os horizontes com maior deposição de matéria orgânica no perfil. Enquanto, entre as camadas minerais esses valores tornaram-se mais expressivos, destacando-se nos intervalos entre 125-236 e 348-403 cm, que correspondem às camadas minerais 2C e 4C, respectivamente.

Os valores de Ds apresentaram distribuição semelhante aos de MM e RM no perfil, em função da forte correlação de Ds com ambas as variáveis, MM ( $r^2 = 0,92$ ) e RM ( $r^2 = 0,97$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1). A relação entre a Ds e o MM, torna-se direta devido à regressão em profundidade do teor de MO, sendo explicada pela baixa

densidade da matéria orgânica em relação à fração mineral. A redução da densidade em profundidade também pode ser explicada pela melhoria na agregação e o aumento da macroporosidade entre os horizontes hísticos, observados entre as primeiras profundidades (VALLADARES et al., 2008; HORÁK, 2009). Conceição et al., (1999) estabelecem que para solos orgânicos a  $D_s$  varia entre 0,1 a 0,7 g cm<sup>-3</sup>, enquanto para os solos minerais esses valores aumentam para 0,9 e 1,8 g cm<sup>-3</sup>.

Essas condições explicam que conforme ocorre o aumento da profundidade e da densidade do solo, o potencial de subsidência se torna progressivamente reduzido, constatando menores riscos ambientais a este Organossolo, devido à pouca perda de volume e reduzida produção de gases de efeito estufa originado da decomposição da matéria orgânica (VALLADARES et al., 2008; SOARES et al., 2016).

Por conferir maior capacidade de reservatório de água, agregação e macroporosidade à turfeira, os valores observados em  $D_s$  foram reduzidos e apresentaram correlação inversa com  $U_g$  ( $r^2 = - 0,97$ ) e MO ( $r^2 = - 0,92$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1). Uma das características marcantes das turfeiras é sua baixa densidade do solo ( $D_s$ ), pois o material orgânico apresenta um grande volume de poros.

Alguns autores sugerem que sobre condições não antropizadas, os valores de  $D_s$  em Organossolos, sejam inferiores a 0,15 g cm<sup>-3</sup> (ANDRIESSE, 1988; KÄMP; SCHNEIDER, 1989). Contudo, a  $D_s$  apresentou valores maiores que 0,15 g cm<sup>-3</sup>, corroborando com Boelter (1969) ao estabelecer que materiais sápricos devem possuir  $D_s > 0,20$  g cm<sup>-3</sup>, como pode ser observado a partir dos 56 cm de profundidade.

De modo geral, a DMO apresentou baixos valores de correlação, sendo estabelecida com o grau de decomposição de von Post ( $r^2 = 0,31$ ) sua maior correlação (FIGURA 6 e ANEXO 1), considerando assim, que o elevado teor de DMO alcançado em profundidade foi explicado pelo aumento na decomposição do material orgânico. O aumento dos valores de DMO em função das condições sápricas observadas em profundidade, corroboram com os resultados encontrados por Silva et al., (2009), Campos et al., (2010), Ebeling et al., (2013) e Bispo (2013).

Outro aspecto destacado por Lynn, McKinzie e Grossman (1974), é que valores de DMO superiores a 0,07 g cm<sup>-3</sup> são característicos de solos orgânicos cultivados. Conforme observado na TABELA 1, a turfeira estudada apresentou valores de DMO elevados, porém ausentes da ação antrópica, ou seja, discordando das condições ambientais indicada pelos autores. Valladares (2003) também encontrou valores

elevados de DMO, entre 0,01 e 0,32 g cm<sup>-3</sup>, que não apresentava relação com o tipo de ambiente. Valores próximos ao observado para a área de estudo foram obtidos por Ebeling et al., (2013) em solos dos estados do Rio de Janeiro, Maranhão e Paraná, que variaram entre 0,02 e 0,66 g cm<sup>-3</sup>.

Horák (2009) sugere que os elevados valores de DMO encontrados no Organossolo formado na Serra do Espinhaço sejam resultantes da contribuição de diferentes fontes de matéria orgânica, ou seja, adquiridas de vegetação densa (floresta), herbácea (campo) e/ou fitoplâncton que co-existiram no passado ao presente e foram sendo depositados ao longo do tempo. Essas inferências serão mais bem compreendidas a partir de dados fitolíticos e isotópicos (vide capítulo 2).

A Ug é um atributo que representa a quantidade água que o Organossolo é capaz de armazenar no momento da coleta do solo (LYNN, MCKINZIE; GROSSMAN, 1974). A Ug no Organossolo pode alcançar valores até 10 vezes maiores que o conteúdo de massa de matéria seca (SOARES, 2011; ANDRIESSE, 1988; MENDONÇA, 1999; CONCEIÇÃO et al., 1999). Valores próximos foram encontrados por Cipriano-Silva et al. (2014) em Organossolos estudados no Rio Grande do Norte e Paraíba, destacando sua função enquanto reservatório de água.

A Ug obteve correlação direta com MO ( $r^2 = 0,92$ ) e inversa com MM ( $r^2 = -0,92$ ) (FIGURA 6 e TABELA 1), explicado pelo maior potencial de higroscopicidade (capacidade de armazenamento de água atmosférica e do armazenamento) da MO em relação à MM (SOARES et al., 2016).

Nos primeiros 28 cm da turfeira foram observados os maiores valores de Ug do perfil, houve predominância do material orgânico hêmico. Diante dessa condição, o material hêmico, permitiu ampliar a capacidade de reservatório de água na turfeira quando comparado aos materiais sápricos em profundidade (BOELTER, 1969; INGRAM, 1983; MOORE, 1997; CAMPOS et al., 2010; CAMPOS et al., 2011).

Nos Organossolos, o RM é um atributo utilizado para se referir como a espessura remanescente de solo por unidade da medida após subsidência (perda de volume) máxima em horizontes e camadas (LYNN, MCKINZIE; GROSSMAN, 1974). Os valores de RM estabeleceram relação direta com o MM ( $r^2 = 0,97$ ) e inversa com a Ug ( $r^2 = -0,95$ ) e a MO ( $r^2 = -0,97$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1). Os horizontes com maior teor de RM foram proporcionais aos de MM, esse processo justifica-se pelo fato do RM representar a constituição mineral do material original (LYNN; MCKINZIE;

GROSSMAN, 1974), portanto quanto maior o teor de MM, maior a proporção de RM após o processo de mineralização (perda) da MO (TEIXEIRA et al., 2017).

Valladares et al. (2008) identificaram valores de RM que variaram entre 0,14 a 0,43  $\text{cm cm}^{-1}$  em um Organossolo Háplico Sáprico Típico (com altitude semelhante ~850 m) também coletado em Tijucas do Sul, esses valores indicaram potencial de subsidência moderado a baixo. Soares (2015) destaca que Organossolos com baixos valores de RM devem ser áreas destinadas à preservação, por representarem áreas suscetíveis aos riscos dos processos de subsidência e emissão de gases de efeito estufa (GEE's) pelo avanço na decomposição da MO. No caso observado em Tijucas do Sul-PR, os valores de RM foram ainda menores quando comparados aos de Valladares et al. (2008), alertando para que medidas protetivas sejam adotadas com urgência para essas e outras áreas de turfeiras com características semelhantes formadas no estado do Paraná.

Questões ambientais como as alertadas pelo RM (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005), ainda precisam ser ampliadas no SiBCS (SANTOS et al., 2018) e demais edições, com o interesse de que essas informações sejam discutidas por profissionais de diversas áreas.

O MM refere-se ao conteúdo ausente de material orgânico presente no Organossolo. No caso de Tijucas do Sul-PR, os elevados valores de MM estiveram associados às camadas minerais, compostos por argila caulinítica, que foram depositados através de processos erosivos das áreas adjacentes ao Organossolo (MUCHA, 2020).

Por consequência, os valores de MM estiveram em correlação direta também com os de RM ( $r^2= 0,97$ ) e Ds ( $r^2 = 0,92$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1) indicando que o avanço da decomposição da matéria orgânica, somado ao maior acúmulo de MM permitiu a progressiva redução no potencial de subsidência e aumento da densidade do solo em profundidade. Condições indicativas do aumento de MM em profundidade foram semelhantes às observadas por Valladares et al., (2008), Horák et al., (2011) e Bispo et al., (2015).

Com relação ao teor de umidade da amostra, o MM revela sua incapacidade em desempenhar a função de armazenamento de água, quando comparado à MO, através da correlação inversa de Ug e MM ( $r^2= - 0,92$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1). Questões como essas são explicadas devido à baixa disponibilidade de área superficial específica do material caulinítico que impede sua capacidade de adsorção

à água (WEIL; BRADY, 2013). De acordo com Ebeling (2010), os colóides orgânicos possuem áreas expostas 2 a 10 vezes maiores do que os colóides minerais.

### 2.6.3 ACIDEZ DO MATERIAL E MATÉRIA ORGÂNICA

Os valores reduzidos de pH em  $\text{CaCl}_2$ , revelam elevada acidez e refletem as condições de formação do solo. Os valores obtidos são comumente encontrados em Organossolos, pois são solos derivados do acúmulo de matéria orgânica que liberam ácidos orgânicos e prótons  $\text{H}^+$ . Destaca-se que comparação aos solos minerais, em solos orgânicos os baixos valores de pH variando entre 3,5 e 4,5 estão mais relacionados com os teores de ácidos orgânicos, tais como: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina que com os teores de  $\text{Al}^{3+}$  (ANDRIESSE, 1984; SILVA et al., 2009).

A maior correlação positiva estabelecida pelo pH ocorreu com o grau de decomposição de von Post ( $r^2= 0,72$ ) e MO ( $r^2=0,72$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1). Essas condições sugerem que à medida que o teor de matéria orgânica aumenta, assim como o seu grau de decomposição, o pH torna-se ainda mais expressivo (valor máximo de 4,4), porém insuficiente para alcançar condições alcalinas ao meio. Condições opostas a essas, são reveladas pelo acúmulo de matéria mineral (presença das camadas minerais) que consequentemente são interpretadas pela correlação inversa ao teor de MM ( $r^2= - 0,72$ ). Andriesse (1988) corrobora que turfeiras apresentam condições ácidas ou extremamente ácidas com faixa de pH entre 3 e 4,5. Quanto a isso, Pereira, Cunha e Valladares (2005) e Ebeling (2010) acrescentam que a presença de características sápricas tendem a ser mais resistentes à degradação microbológica, em comparação aos fibricos e hêmicos, devido à diferenciada taxa de decomposição ao longo do tempo.

Entre os ácidos orgânicos nos Organossolos, Conceição et al., (1999), Pereira, Cunha e Valladares (2005), Valladares et al., (2008), Silva et al., (2009) e Soares (2011) sugerem que a humina é mais estável que os ácidos fúlvicos e húmicos, bem como responsáveis pelo sequestro de carbono nesses solos.

Os valores mais expressivos de MO foram observados em superfície principalmente devido à ausência da ação antrópica, sendo inverso à RM ( $r^2= -0,97$ ), Ds ( $r^2= - 0,92$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1) e diretamente proporcional à Ug ( $r^2= 0,92$ ) (FIGURA 6 e ANEXO 1) indicando que em superfície os processos de paludização foram mais atuantes.

A partir dos valores observados em COT, apenas os primeiros 56 cm (intervalo de 0-56 cm) seriam considerados como material orgânico, por apresentarem valores  $\geq 20\%$  ( $\geq 200 \text{ g.kg}^{-1}$ ) para a WRB (IUSS, 2015).

Enquanto para o Soil Taxonomy (USDA, 2014) por apresentar mais de 30 dias de saturação por água, as turfeiras podem apresentar valores de COT maiores que 12% e 18% (ou seja, 120 e 180  $\text{g.kg}^{-1}$ ). Neste caso, devido à ausência da quantificação dos teores de argila não foi possível interpretar os valores de COT, com base nesse sistema internacional.

De modo geral, os valores de COT apresentados na TABELA 1, decresceram em profundidade, sofrendo oscilações devido à deposição de materiais minerais. Soares et al. (2016) destacam que a distribuição irregular de COT em profundidade é justificada pela deposição de materiais orgânicos em diferentes períodos.

Esses depósitos minerais apresentaram espessuras diferentes e já são observados na base do perfil, representado pelo horizonte mineral 5C e posteriormente formando os sucessivos horizontes 4C, 3C, 2C e C que foram ocorrendo em associação às condições de paludização do ambiente.

Devido aos menores valores médios de COT, sugere-se que o ambiente tenha sido formado sobre condições secas (HORÁK et al. 2011). No caso de Tijucas do Sul, esses materiais minerais foram descritos como pacotes de sedimentação caulínica (MOREIRA, 2018; MOREIRA et al., 2019; MUCHA, 2020; FERREIRA, 2020) e arenosa sendo em parte formados da Serra do Mar (FERREIRA, 2020), depositados pelo transporte coluvionar e/ou denudação nas planícies de inundação, que são comuns às superfícies de aplainamento formadas no Primeiro Planalto Paranaense (BIGARELLA, MOUSINHO; SILVA, 1965). Com o propósito de conhecer essas condições de menor umidade, foram propostas as análises fitolíticas e isotópicas, que serão observadas no capítulo 2.

Após esses episódios de sedimentação caulínica, os valores de COT sofreram leves acréscimos até alcançarem os seus maiores picos na superfície do perfil, refletindo sucessivas melhorias climáticas (vide capítulo 2) nas áreas próximas ao Organossolo. Associado a esses ciclos de umedecimento ocorridos no perfil, observadas através da presença de horizontes hísticos, estão o processo de paludização, que consiste na colonização de espécies vegetais em superfícies alagadas por longos períodos (PEREIRA; CUNHA; VALLADARES, 2005).

Os valores de MO e COT, ainda que obtidos através de métodos diferentes, mufla (SANTOS et al., 2018) e combustão via seca, respectivamente, mostraram-se eficientes na quantificação de MO presente no solo. Carmo e Silva (2012) atribuem ao método da mufla maior praticidade na realização da análise, quando comparado a outros métodos, como é o caso da combustão via seca. Conceição et al., (1999) encontraram elevada correlação entre os valores de MO e COT em ambos os métodos.

Os baixos valores de NT sugerem que em profundidade esteja ocorrendo o processo de mineralização dos compostos orgânicos ricos em nitrogênio (SWIFT, 1996). Os valores elevados de NT no intervalo de 0-42 cm refletem as condições de recém-deposição de material vegetal com estruturas lignificadas e/ou material vegetal pouco decomposto, com N não-disponível (CAMPOS et al., 2010, EBELING et al., 2013, COSTA, 2018).

Elevados valores de C/N permitem inferir sobre o grau de decomposição da MO, sucessivamente à evolução pedogenética (LEPSCH, 2011; SOARES, 2015; COSTA, 2018) dos Organossolos.

Valores de C/N baixos (entre 4 e 10), são indicadores de ambientes aquáticos ou lacustres, com a presença de fitoplâncton e bactérias (ausência de estrutura celulósica), que são ricos em N, principalmente nas proteínas e ácidos nucléicos. Enquanto valores altos (iguais ou superiores a 20) são indicadores de plantas terrestres (presença de estrutura celulósica), que são pobres em N e composto principalmente por lignina e celulose (MEYERS, 1994; MEYERS, 2003).

As demais amostras revelaram condições favoráveis à evolução pedogenética das camadas orgânicas com predominância de plantas terrestres. Entretanto, somente no intervalo de 334-348 cm foram identificados valores iguais a 12,94 que podem estar associados a ambientes de mistura, com fontes de MO aquática e terrestre (MEYERS, 1994). Para fins de melhor compreensão sobre o paleoambiente de formação do Organossolo são sugeridas análises das assembleias fitolíticas e isotópicas (vide capítulo 2).

#### 2.6.4 CLASSIFICAÇÃO DA TURFEIRA DE ACORDO COM O SIBCS (2018), WRB (2015) E SOIL TAXONOMY (2014)

O perfil de solo foi classificado segundo o SiBCS (SANTOS et al., 2018) como Organossolo, por apresentar saturação por água durante a maior parte do ano, com ausência de drenagem 40 cm de horizonte hístico H que se estende desde a superfície do solo. O segundo nível categórico foi classificado como Háplico, por não apresentar horizontes sulfúricos (Tiomórfico) e horizonte O hístico (Fólico). O perfil estudado apresentou em sua totalidade 12 (doze) horizontes orgânicos que foram identificados pelos teores de C > 80 g kg<sup>-1</sup> (8% de C orgânico).

O terceiro nível categórico foi classificado como Sáprico, por apresentar material sáprico desde os seus primeiros 28 cm até a base, com valores de FE < 17% e classe H10, considerado alto grau de decomposição. O quarto nível categórico por não se enquadrar nos demais níveis, foi classificado como Organossolo Háplico Sáprico Típico.

O perfil de solo foi classificado segundo o Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014) conforme a ordem dos Histosol, por serem saturados por durante um período superior a 30 dias, apresenta um limite superior a 30 cm de profundidade, a partir da superfície do solo e por apresentar mais de 40 cm composto por material sáprico, com <3/4 (por volume) ou 75% (por porcentagem) do teor de fibra resultante do processo de esfregar o material nos dedos.

A subordem desse solo foi classificada como Sapristis, por apresentar mais material sáprico (apresentam elevado grau de decomposição), juntamente com a presença de horizonte mineral com espessura maior que 40 cm na subsuperfície do perfil do solo. O grande grupo foi classificado como Haplosapristis, por não se enquadrar nas demais subordens. O sub-grupo deste solo foi classificado como Terric, por apresentar horizonte mineral com mais de 30 cm dentro da seção de controle que nesse sistema encontra-se entre 130 e 160 cm, devido à ausência de contato denso, lítico, paralítico, camada de água ou *permafrost*. Sendo assim, classificado como Haplosapristis Terric.

Conforme o WRB (IUSS, 2015), este solo se enquadra em Histosol por apresentar material orgânico iniciando em  $\leq 40$  cm da superfície do solo, dentro dos 100 cm de profundidade, combinado com  $\geq 40$  cm de outros materiais. Neste solo por ordem de precedência, os principais qualificadores foram:

a) Sapric: por apresentar <1/6 de fibra esfregada entre os dedos, dentro de 100 cm de profundidade, a partir da superfície do solo.

b) Rheic: por apresentar horizonte hístico saturado predominantemente por água subterrânea e não apresentar expressiva influência da água da chuva, para ser considerado como Ombric.

c) Dystric: ocorre em Histosol sobre condições de pH em H<sub>2</sub>O (neste caso os valores de pH foram obtidos em CaCl<sub>2</sub>) com valores <5,5 na maior parte dentro de 100 cm da superfície do solo, desta forma o solo foi classificado como Dystric Rheic Sapric Histosol.

## 2.7 CONCLUSÕES

A partir da realização dos testes de Caracterização, foi possível observar que os solos orgânicos da bacia Sedimentar de Curitiba são resultados de alternâncias climáticas, evidenciados pelo tipo de matéria orgânica e as relações entre C e N. Essas mesmas alternâncias foram cruciais para a formação de depósitos caulíníticos, provavelmente em fases de morfogênese, com um grande potencial para registro das variações ambientais na área.

De modo geral, a turfeira foi classificada com Organossolo Háplico Sáprico Típico, através da classificação adotada pelo SiBCS. Segundo o Soil Taxonomy (2014) foi classificada como Haplosaprists Terric e de acordo com o WRB (2015) foi classificado como Dystric Rheic Sapric Histosol Haplosaprists Terric. Porém, nota-se a necessidade de revisões ao SiBCS, quanto a especificação da forma mais adequada de diferenciar os tipos de materiais orgânicos (fíbrico, hêmico e sáprico), seja ela com o teor de fibra esfregada entre os dedos (análise laboratorial) ou através da classe de von Post (análise em campo ou laboratorial quando composta por um número elevado de amostras).

É necessário o aprimoramento de informações de ordem ambiental/agrícola sobre os Organossolos e de uma significativa homogeneidade entre as informações dispostas entre o WRB, Soil Taxonomy e SiBCS, sobretudo a casos em que há alternância com materiais minerais e mesmo estando em grandes profundidades, as camadas orgânicas guardam algumas características importantes que também são observadas nas partes mais superficiais do perfil como, por exemplo, a umidade gravimétrica.

## 2.8 REFERÊNCIAS

ANDRIESSE, J. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, 1., 1984, Curitiba. **Anais...MA/** Provárzeas Nacional, Emater, SEAG – Paraná e Acarpa / Emater – Paraná, 1984. p.11-34.

ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils (Soil Bulletins)**. Rome: FAO, 1988. n. 59. p. 165.

BEHLING, H.; BAUERMANN, S.G.; NEVES, P.C.P. das. 2001. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 14, p. 631-639.

BOELTER, D. H. Physical properties of peats as related to degree of decomposition. **Soil Science Society of American Journal**, Proceeding, v.33, p.606–609. 1969.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 117-151, 1965.

BISPO, D. F A. Caracterização quali-quantitativa dos recursos hídricos e da dinâmica do carbono de turfeiras das cabeceiras do Rio Araçuaí. 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

BISPO, D.F.A.; SILVA, A.C.; CHISTOFARO, C.; SILVA, M.L.N.; BARBOSA, M.S.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M. Characterization of Headwaters Peats of The Rio Araçuaí, Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)**, Viçosa, MG, v. 39, p. 475-489, 2015.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. **Soil Genesis and Classification**. 6th Edn. New York: John Wiley & Sons, 2011.

CAMPOS, J. R. DA R. **Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da área de proteção ambiental Pau-de-Fruta em Diamantina – MG**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2009.

CAMPOS, R. C. J. R.; SILVA, A. C.; DE BARROS SILVA, E.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v. 49, n. 3, p. 207–214, 2014.

CAMPOS, J. R. da R.; SILVA, A.C.; FERNADES, J.S.C.; FERREIRA, M.M.; SILVA, D.V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition

stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1217-1227, 2011.

CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; VASCONCELLOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMÃO, R.V.; SILVA, E.B. & GRAZZIOTTI, P.H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area Pau-de-Fruta - Diamantina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 6, p. 1965-1975. Dez. 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/R9X64SvnbhXZtv9WR7Nb6LL/?lang=en>. Acesso em: 06 de jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600021>.

CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4. p. 1211-1220. 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/RRxVrmdpzbZxZ6Z7LnwZQ7H/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 9 Agosto 2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

CASTELLA, P.R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta de araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

CIPRIANO-SILVA, R. **Gênese e classificação de solos em ambientes de planícies da região Nordeste do Brasil**. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrária, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/9171>. Acesso em: 06 set. 2020.

CIPRIANO-SILVA, R.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 26–38, 2014.

CONCEIÇÃO, M. da; MANZATTO, C. V.; ARAÚJO, W. S. de; MARTIN NETO, L.; SAAB, S. da C.; CUNHA, T. J. F.; FREIXO, A. A. Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, n. 3, p.1-5, Agosto, 1999. p.1-5. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/336282/1/CNPSPESQ.AND.399.pdf>. Acesso em: 11 de jul. 2020.

COSTA, C. R. **Estudo de reconstituição paleoambiental utilizando uma abordagem multi-proxy em um registro da turfeira do Rio Preto, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 130f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1786>.

EBELING, G A. Características Estruturais da Matéria Orgânica em Organossolos Háplicos. 2010. (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2010. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1838>. Acesso em: 06 jan. 2021.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & NOVOTNY, E.H. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos

ambientes no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, n. 3, p. 763-774, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Santos et al. 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Guidelines for soil description**, 4th edition, Rome: FAO, 2006.

FERREIRA, J.C.V. **O Paraná e seus municípios**. 2 ed. Cuiabá: Memórias do Brasil, 1999.

FERREIRA, D. N. **Depósitos cauliniticos do Alto Iguaçu: formação e caracterização mineralógica**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/70245>. Acesso em: 04 março. 2021.

FONSECA, S. F.; SILVA, C. A. SENNA, J. A. TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS NA IDENTIFICAÇÃO DE USOS DA TERRA NO ENTORNO DAS TURFEIRAS DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL. **Revista Ra' e Ga**, v. 43, p. 16, 2018.

FONTANA, A.; BENITES, M.B.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas com suporte à classificação de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2073-2080, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180214065028.pdf>. Acesso em: 08. set. 2020.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n, 4, p. 1241-1257, agosto-Julho. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/NDhbp9J43cLp4zCFzP4vSdb/?lang=pt>. Acesso em: 08. set. 2020.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGGE, M. S. DISTRIBUIÇÃO DA ARAUCÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL): FATORES CLIMÁTICOS LIMITANTES. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, PR, v. 44, p. 258-271, maio 2018. ISSN 2177-2738. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50259>. Acesso em: 09 ago. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.50259>.

GARCIA, M. J. Potencialidade e Aplicacao de Turfas. **Revista UNG**, v. 1-Trimes, n. November, p. 16–30, 1996.

GERALDI, S. E.; KOEHLER, A. B.; KAUANO, E. E. Levantamento útosociológico de dois fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul, PR. **Revista Acadêmica de Curitiba**, v.3, n.2, p.27-36, 2005.

HOLDEN, J. Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 363, n. 1837, p. 2891–2913, 2005.

Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2005.1671>. Acesso em: 08 dez. 2020.

HORÁK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG**. 2009, 282 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24022010-094021/pt-br.php>. Acesso em: 03 fev. 2019.

HORÁK-TERRA, I.; CORTIZAS, A. M.; CAMARGO, P. B.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Characterization of properties and main processes related to the genesis and evolution of tropical mountain mires from Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brazil. **Geoderma**, v. 232, p. 183-197, 2014.

HORÁK, I., VIDAL-TORRADO, P., SILVA, A. C., & PESSEDA, L. C. R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 41-52, Fev, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5KbjGfLJVJnwNkSM6yZk6jn/?lang=en#>. Acesso em: 10 agosto.2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. p. 425.

INGRAM, H. A. P. Hydrology. *In*: GORE A. J. P. Ecosystems of the World 4A, mires: swamp, bog, fen and moor. Oxford: **Elsevier**. p. 67 – 158, 1983.

ITCG- Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. **Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR)**. Curitiba: ITCG, 2018. p. 31.

ITCG - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. **Formações fitogeográficas - Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 2009. Disponível em: <[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Fitogeografico\\_A3.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf)>. Acesso em: 06 de outubro de 2020.

IUSS Working Group WRB – **World Reference Base for Soil Resources**. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Rome: FAO. 2015 Disponível em> <http://www.fao.org/3/i3794es/l3794es.pdf>. Acesso em: 01 agosto. 2021.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). *In*: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.227-236, 1989.

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

KOZERA, C. **Florística e fitossociologia de uma formação pioneira com influência fluvial e de uma estepe gramíneo-lenhosa em diferentes unidades geopedológicas, município de Balsa Nova, Paraná-Brasil**. 2008. 269 f. Dissertação – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2008. Disponível em: [http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf\\_dr/2008/t246\\_0274-D.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2008/t246_0274-D.pdf). Acesso em: 06 de jul. 2021.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; VALLADARES, G.S. Caracterização química e hidrofóbica de Organossolos e solos com horizonte hístico. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.113-122, Mar. 2015. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/407>. Acesso em: 01. Jun. 2021.

LIMPENS, J.; BERENDSE, F.; BLODAU, C.; CANADELL, J.G.; FREEMAN, C., HOLDEN, J.; ROULET, N.; RYDIN, H.; SCHAPEMAN-STRUB, G. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications - a synthesis. **Biogeosciences**, v. 5, p. 1379–1419. 2008. Disponível em: <https://bg.copernicus.org/articles/5/1475/2008/>. Acesso em: 01 jul. 2021.

LYNN, W. C.; MCKINZIE, W. E.; GROSSMAN, R. B. Field laboratory tests for characterization of Histosols. *In*: STELLY, M. (Ed.). Histosols: their characteristics, classification, and use. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 11-20, 1974.

MAACK R. Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná. *In*: MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Curitiba: BADEP, UFPR, p. 450. 1968.

MACHADO, H. A. **COMPOSTARMENTO DO CARBONO EM ÁREA ÚMIDA DO CERRADO (Vereda do Córrego Beija-Flor, Uberlândia-MG)**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG), 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16211/1/ComportamentoCarbonoOrganico.pdf>. Acesso em: 07. jun. 2021.

MARTIN, L., FLEXOR, J. M., SUGUIO, K. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. **Revista do Instituto Geológico**, Curitiba, PR, v. 16, n. 1/2, p.59-66, 1995. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8838>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MENDONÇA, M.M. de. **Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro**. 1999, 195 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

MEYERS, P. A. Preservation of the identification of the source of sedimentary organic matter during and after deposition. **Chemical Geology**, v. 144, n. 3/4, p. 289–302, Jun. 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254194900590>. Acesso em: 10 out. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).

MEYERS, P. A. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, v. 34, n. 2, p. 261–289, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223627341\\_Applications\\_of\\_organic\\_geochemistry\\_to\\_paleolimnological\\_reconstructions\\_A\\_summary\\_of\\_examples\\_from\\_the\\_Laurentian\\_Great\\_Lakes](https://www.researchgate.net/publication/223627341_Applications_of_organic_geochemistry_to_paleolimnological_reconstructions_A_summary_of_examples_from_the_Laurentian_Great_Lakes). Acesso em: 10 out. 2020. DOI: 10.1016 / S0146-6380 (02) 00168-7.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Estado do Paraná**, Curitiba: MINEROPAR, 1989. 1 mapa. Escala 1:650.000.

MINEROPAR. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MOORE, D.P. Bog standards in Minnesota. **Nature**, v. 386, p. 655-657, 1997.

MOREIRA, L. F. **Neotectônica e sedimentação da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul**. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado. 111p. 2018. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/56155/R%20-%20T%20-%20LUIS%20FERNANDO%20MOREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOREIRA, L. F.; SALAMUNI, E.; BOLZONO, R. T.; VESELY, F. F. Tijucas do Sul sedimentary basin stratigraphy, **Revista Geociências UNESP**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 467-481, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13291>. Acesso em: 28 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i2.13291>.

MUCHA, N. M. Relação solo-relevo entre a Serra do Mar e Planalto do Alto Iguaçu como subsídio para o Mapeamento Digital de Solos. 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020.

MUNSELL. **Soil Color Charts**. Baltimore: Munsell Color, 1994.

PAULA, E.; MARÉS MIKOSIK, A.P. CONTRIBUIÇÕES AO PROCESSO DE DELIMITAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS E ENTORNO PROTETIVO. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 23, p. 280 - 285, 20 jan. 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1709> Acesso em: 10 março. 2021.

PEREIRA, M. G., CUNHA, L. H.; VALLADARES, G. S. Organossolos: Ocorrência, Gênese, Classificação, Alterações pelo Uso e Manejo. **Tópicos Ciências do Solo**, v. 4, n. 1, p. 233–276, 2005.

PRICE, J. S. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. **Journal of Hydrology**, v. 202, p. 21–32, 1997.

R Core Team. R; **Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2014. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

RICCI, V. D. **Área de preservação permanente de cursos d'água e várzeas: ante os interesses de ambientalistas e empresários rurais**. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina (PR), 2013. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1338/1/LD\\_COEAM\\_2012\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1338/1/LD_COEAM_2012_2_10.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

ROGOBETE, Gh.; GROZAV, A. Soil genesis and problematic soils. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, p. 252-258, 2013.

SALAMUNI, E.; EBERT, H.D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 469, 2004. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9542/11323>. Acesso em: 07 junho 2021.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1994.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.D. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J.F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2018.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.7, n. 2, p.3-12, 2006. Disponível: <http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/mapeamento.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2020. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74.

SILVA, M. L. Turfeiras Da Serra Do Espinhaço Meridional: Mapeamento E Estoque De Matéria Orgânica. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/484>. Acesso em: 08 out. 2020.

SILVA M.L.; SILVA, A.C.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U. M.; SOARES, P.G. S.; VIDAL-TORRADO, P. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional - Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 5, p. 1149-1157, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rkNKh9PdMLH8DNPZHrM9v6f/?lang=en#>. Acesso em: 09 ou. 2020. DOI:10.1590/S0100-06832013000500004.

SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. ABREU-JUNIOR, J.S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade Federal de Alfenas**, v. 5, p. 21-26, 1999. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/237658386\\_METODOS\\_DE\\_QUANTIFICACAO\\_DA\\_MATERIA\\_ORGANICA\\_DO\\_SOLO](https://www.researchgate.net/publication/237658386_METODOS_DE_QUANTIFICACAO_DA_MATERIA_ORGANICA_DO_SOLO). Acesso em: 08 jun. 2020.

SILVA, A. C.; HORÁK, I.; CORTIZAS, A. M.; TORRADO-VIDAL, P.; RACEDO, J.R.; GRAZZIOTI, P. H.; SILVA, E. de. B.; FERREIRA, A.C. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG: I - caracterização e classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1385–1398, 2009.

SILVA NETO, E. C. DA; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, M. DE. A.; CALEGARI, M. R.; SCHIAVO, J. A.; SÁ, N. DE. P.; ANJOS, L. H. C. DOS; PESSENDA, L. C. R. Paleoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 1-12, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825219301084> Acesso em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102301>

SOARES, P. F. C. **Variação de Atributos e Dinâmica de Carbono e Nitrogênio** em Organossolos em Função de Uso e Manejo Agrícola no Rio de Janeiro. 2011. 87 f. Dissertação (Programa DE Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1226>. Acesso em: 06 jun. 2020.

SOARES, P. F. C. **Organossolos: Morfologia, Atributos Físicos, Químicos e Abundância Natural de Isótopos de Carbono e Nitrogênio**, 2015. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1447>. Acesso em: 04 março 2020.

SOARES, P. F. C; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA M. G; PESSENDA L.C. R. Histosols in an Upper Montane Environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/MKBfnYybmw4kTwKJZqxLdVx/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 04 março 2020.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. Twelfth Edition, 2014. US.

Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Washington DC., USA. Disponível em:

<[https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA\\_NRCSCconsumption/download?cid=stelprdb1252094&ext=pdf](https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=stelprdb1252094&ext=pdf)>. Acesso em: Março, 2020.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, n. 2, p. 109-117, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado+ presente=futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L. Methods of soil analysis Part 3. Chemical methods. **Soil Science society of America Journal**, Madison, p.1011-1069, 1996.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.R.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, G.W. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2017.

VALLADARES, G.S. 2003. 142 f. **Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica , RJ.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J.C.C.B.S. DE.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H.D. DOS, A.; EBELING, A.G.; BENITES, V. DE. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, jan/fev. 2008. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/657462>. Acesso em: 09 março. 2020.

XU, J.; MORRIS, P. J.; LIU, J.; HOLDEN, J.; PEATMAP. Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. **Catena**, v. 160, n. September 2017, p. 134–140, 2018.

### 3 CAPÍTULO II: ANÁLISE MULTI-PROXY PARA FINS DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL NO PRIMEIRO PLANALTO PARANAENSE

#### 3.1 RESUMO

As turfeiras são ecossistemas importantes e constituem reservatórios de biodiversidade. Além de serem importantes para o armazenamento de água e carbono, elas atuam como reservatórios de proxies (pólen, espículas, diatomáceas, fitólitos e isótopos estáveis). Assim, são importantes receptáculos de pedomemórias (memórias do solo) do ambiente, úteis para a reconstituição paleoambiental. Visando conhecer o ambiente de formação de uma turfeira formada no Primeiro Planalto Paranaense, realizou-se um estudo multi-proxy em um Organossolo de aproximadamente 6 metros de profundidade (coletado com vibrotestemunhador) no município de Tijucas do Sul-PR. A área do estudo faz parte de uma zona de várzea onde, atualmente, predomina uma vegetação de estepe gramíneo-lenhosa. Foram realizadas análises físicas e químicas de rotina para caracterização do solo, composição elementar e isótopos estáveis de Carbono e Nitrogênio, além da análise de fitólitos preservados no solo. Através do conjunto de dados obtidos, foi possível classificar o solo como um Organossolo Háplico Sáprico Típico. Constatou-se que os materiais sápricos do solo, em sua quase totalidade, ressaltam a abundância de vegetação de gramínea desde a base do testemunho. Os materiais hêmicos, restritos à superfície, indicam deposição recente de material vegetal. Os proxies biológicos permitiram identificar 5 (cinco) fases ambientais neste solo, sendo elas: Fase I ( 390-280 cm), considerada estéril para fitólitos, apresenta baixos teores de Carbono orgânico total (COT) e o valor isotópico(  $\delta^{13}C$ ) marca o predomínio de plantas C3; Fase II ( 280-120 cm), do topo para a base desta fase, os índices fitolíticos assinalam avanço de condições úmidas para suavemente mais secas (marcada presença de gramíneas Chloridooids), que foi corroborado pelos dados isotópicos que assinalam uma vegetação com mistura e predominância de plantas C3; As Fases III (120-70 cm), IV (70-10 cm) e V (10-0 cm) apresentaram sensíveis diferenças que permitiram constatar o retorno e aumento de condições de maior umidade, com predominância de plantas C3 (inclusive gramíneas Pooideaes) em superfície, em concordância com o ambiente hidromórfico que se manteve até o presente com elevada manutenção do COT. Assim, a partir da análise de múltiplos proxies foi possível identificar sensíveis variações nas condições climáticas, na estrutura da vegetação, com predominância de C3, que deram origem a matéria orgânica, predominantemente associada a ambiente terrestre. Os resultados demonstram que as turfeiras possuem uma grande diversidade quanto à fonte de matéria orgânica, o que também pode ser utilizado para interpretar diferentes ambientes e processos de formação dos solos da região.

Palavras-chave: Turfeiras. Fitólitos. Isótopos estáveis.

### 3.2 ABSTRACT

Peatlands are important ecosystems and are reservoirs of biodiversity. Besides being important for water and carbon storage, they act as reservoirs of proxies (pollen, spicules, diatoms, phytoliths, and stable isotopes). Thus, they are important receptacles of pedomemories (soil memories) of the environment, useful for paleoenvironmental reconstitution. Aiming to understand the formation environment of a peat bog formed in the First Plateau of Paraná, a multiproxy study was carried out on an Organosol of approximately 6 meters depth (collected with a vibrotesting device) in the municipality of Tijucas do Sul-PR. The study area is part of a floodplain zone where, currently, a grassy steppe vegetation predominates. Routine physical and chemical analyses were performed for soil characterization, elemental composition and stable isotopes of Carbon and Nitrogen, in addition to the analysis of phytoliths preserved in the soil. Through the data set obtained, it was possible to classify the soil as a typical Organosols Háplico Sáprico. It was found that the saproic soil materials, in their almost totality, highlight the abundance of grass vegetation from the base of the testimony. The hemic materials, restricted to the surface, indicate recent deposition of vegetation material. The biological proxies allowed us to identify five (5) environmental phases in this soil, as follows Phase I ( 398 - 542 cm), considered sterile for phytoliths, presents low total organic carbon (TOC) contents and the isotopic value ( $\delta^{13}C$ ) marks the predominance of  $C_3$  plants; Phase II ( 389 - 167 cm), from the top to the bottom of this phase, phytolith indices signal advance from wet to mildly drier conditions (marked presence of Chloridooids grasses), which was corroborated by the isotopic data that signal a vegetation with mixture and predominance of  $C_3$  plants; Phases III (167 - 97 cm), IV (97 - 14 cm) and V (14 - 0 cm) showed sensitive differences that allowed us to note the return and increase of higher humidity conditions, with a predominance of  $C_3$  plants (including Pooideaes grasses) on the surface, in agreement with the hydromorphic environment that has remained until the present with high maintenance of TOC. Thus, from multiple proxy analysis it was possible to identify sensitive variations in climatic conditions, vegetation structure, with a predominance of  $C_3$ , which gave rise to organic matter, predominantly associated with terrestrial environment. The results show that peatlands have a great diversity regarding the source of organic matter, which can also be used to interpret different environments and soil formation processes in the region.

Keywords: Organic deposits. Phytoliths. Stable isotopes

### 3.3 INTRODUÇÃO

O termo fitólito deriva do grego “*phito*” = planta e “*litho*” = rocha e significa “*pedra produzida por planta*” (PIPERNO, 2006). São biomineralizações que podem ser compostas por oxalato de cálcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) ou de sílica hidratada ( $\text{SiO}_2\text{nH}_2\text{O}$ ) e são denominados, respectivamente, calcofitólitos e silicofitólitos (BORRELLI et al., 2011). Os fitólitos de sílica são empregados, entre outros, para estudos de reconstituição paleoambiental devido ao seu elevado grau de preservação em solos e sedimentos. Na literatura recebem diferentes nomes, tais como: corpos silicosos, silicofitólitos, opala biogênica, fitólitos de opala, opala de plantas, sílica opalina, células de sílica e sílica biogênica. Os fitólitos de sílica constituem um dos microrrestos de plantas terrestres mais duráveis conhecidos (PIPERNO, 2006). Possuem dimensões microscópicas que variam entre  $2\mu\text{m}$  a  $1000\mu\text{m}$ , com maior ocorrência entre  $20\mu\text{m}$  e  $200\mu\text{m}$  (PIPERNO, 2006; SOMMER et al., 2006; RASHID et al., 2019). Possuem peso específico entre  $1,5\text{ g cm}^{-3}$  e  $2,3\text{ g cm}^{-3}$  e índice de refração de 1,458 (WILDING; SMECK; DRESS, 1977; DRESS et al., 1989).

Durante o ciclo do silício nos depósitos, os minerais primários, secundários (silicatados) e biomineralizações são intemperizados e produzem o ácido silícico  $\text{Si}(\text{OH})_4$  – ou sílica em estado solúvel – que fica disponível para formação de minerais secundários e/ou pode ser absorvida pelas plantas e ser, em alguma fase do desenvolvimento vegetativo, depositada entre e dentro das células de várias partes das plantas, produzindo os fitólitos. A formação dos corpos silicosos é iniciada pela absorção da sílica solúvel na solução do depósito através do sistema radicular das plantas (PIPERNO, 1988; MADELA, 2007; LEPSCH, 2011).

A sílica se encontra disponível no depósito, assim é possível ocorrer o processo de absorção pelas plantas (PIPERNO, 1988). Nas plantas o silício pode ter várias funções, por exemplo, atribuir maior resistência a doenças, melhorar a estruturação da planta, resistência ao pastejo e tolerância a metais pesados absorvidos (RAVEN, 1983).

Posterior à absorção, a evapotranspiração da planta permite que a sílica solúvel em forma de gel transforme-se em depósitos sólidos de dióxidos de silício hidratado ( $\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) precipitados e cristalizados em espaços intra e intercelular nas células vegetais. Sendo comum essa deposição em partes como a parede celular, muitas vezes chamados de silicificação de membrana, preenchimentos do lúmen celular e

espaços intercelular do córtex (PIPERNO, 1988). A deposição intercelular pode ocorrer em todos os órgãos das plantas, especialmente nas estruturas aéreas como folhas, frutas e inflorescências e com menor frequência em órgãos subterrâneos (PIPERNO, 1988; PIPERNO, 1991; EPSTEIN, 1994; PIPERNO, 2006).

A produção dos fitólitos reflete a influência de fatores ambientais, a depender da disponibilidade de água nos depósitos, das condições climáticas e de características voltadas à taxonomia vegetal que podem permitir que diferentes morfologias, chamadas de morfotipos, possam se formar (PIPERNO, 2006; LORENTE et al., 2015).

A importância atribuída às análises de fitólitos está associada ao fato de que após a morte e decomposição da planta, ou de parte dela, os corpos silicosos podem ser incorporados *in situ* às turfeiras, solos ou em sedimentos, constituindo parte da matriz mineral deste material e compondo o perfil fitolítico. Uma pequena parte dessa assembleia pode ser transportada, conforme as condições do ambiente (FISHKIS et al., 2010; FISHKIS; INGWERSEN; STRECK, 2009; MADELLA; LANCELOTTI; OSTERRIETH, 2013). Assim, por serem compostos inorgânicos ricos em sílica, apresentam maior resistência aos processos tafonômicos e permanecem por longos períodos nos depósitos, passando a compor o grupo de bioindicadores mais duráveis das plantas (PIPERNO, 2006; MEDEANIC et al., 2008; McNAMME, 2013).

A utilização das análises de fitólitos para fins de reconstituição paleoambiental vem sendo bem-sucedida, ao permitir reconstituir as condições climáticas e de cobertura vegetal pretérita (SILVA NETO et al., 2019). Quando associados a turfeiras, são condicionadas a processos hidromórficos, destaca-se como um excelente instrumento de estudos para conhecer a estrutura da vegetal pretérita e da evolução do ambiente e assim, subsidiar a compreensão dos processos responsáveis pela gênese e conservação desses ecossistemas (SILVA NETO et al., 2019). A análise de fitólito, além de fornecer informações sobre mudanças locais na estrutura da vegetação, pode contribuir para o entendimento de questões relacionadas à mudanças do clima e a natureza e extensão do impacto antrópico sobre os ecossistemas (CALEGARI; VIDAL-TORRADO, 2020). Estes autores destacam que pesquisas desenvolvidas na perspectiva *multi-proxy* têm aportado informações paleoambientais importantes que têm contribuído para a reconstituição das condições de clima e vegetação pretérita e evolução da paisagem em diferentes cenários brasileiros, que complementam os estudos de gênese das turfeiras (HORÁK-TERRA

et al., 2015; HORÁK-TERRA et al., 2020; SILVA NETO et al., 2019, 2020). No caso das turfeiras, além dos atributos físicos, químicos e morfológicos que as diferenciam dos demais depósitos e/ou solos minerais, a literatura destaca que exercem ampla capacidade de arquivar marcadores de mudanças ambientais que, associados às condições climáticas e a composição vegetal pretéria, são eficientes para a reconstituição paleoambiental (LEDRU, 1993; BEHLING, 1995; SALGADO-LABOURIAU, 1994; SUGUIO, 1999; PESSENDA et al., 2009; HORÁK et al., 2011; HORÁK-TERRA, 2014; SILVA NETO et al., 2019). Neste sentido as turfeiras têm sido estudadas sob a perspectiva *multi-proxies* em diversas regiões do Brasil (por exemplo, HORÁK, 2009; HORÁK-TERRA, 2014; HORÁK-TERRA et al., 2015; HORÁK-TERRA et al., 2020; CHIAPINI, 2017; PEREIRA, 2019; SILVA NETO et al., 2019, 2020).

Em ambientes hidromórficos, como as turfeiras, os raros processos erosivos, as condições oxidantes e a ausência do carreamento pelos ventos e água são alguns dos fatores que tornam os fitólitos notáveis *proxies* quando comparados aos grãos de pólen (PIPERNO, 2006; COE, CHUENG; GOMES, 2012; CALEGARI; RAITZ; PAISANI, 2011; SILVA et al., 2016).

No Brasil, os estudos de reconstituição paleoambiental e de gênese e evolução das turfeiras, em geral, abrangem o período Quaternário, e a abordagem *multi-proxy* tem sido adotada com êxito (CALEGARI et al., 2013, 2015). A análise de fitólitos no Brasil, sempre que possível, tem sido utilizada em conjunto com análise polínica, espículas de esponja, frústulas de diatomáceas e isótopos de carbono (CHAPMAN; BUTTLER; FRANCEZ, 2003; HORÁK, 2009; HORÁK et al., 2011; HORÁK et al., 2015; HORÁK et al., 2020; CAMPOS et al., 2014; SOARES, 2015; RUHLAND et al., 2000; GOLOVATI, 2015; CALEGARI et al., 2015) e tem permitido uma melhor compreensão das variações relacionadas às fontes de matéria orgânica nas turfeiras. Outros exemplos de emprego da análise fitolítica podem ser citados para as diferentes regiões do país, como nos estudos realizados por Piperno & Becker (1996) na região norte; Alexandre et al., (1999); Borba-Roschel et al., (2006); Coe et al., (2012); Calegari et al., (2013); Lorente et al., (2015); Calegari et al., (2017a); Silva Neto , (2018), Silva Neto et al., (2019), Silva Neto et al., (2020) na região Sudeste, Calegari (2008) nas regiões Sul e Sudeste; Medeanic et al., (2008) Parolin, Rasbold e Pessenda (2014), Silva et al., (2016); Luz et al., (2019); Ramirez et al., (2019), Rasbold, Parolin e Caxambu (2016), Rasbold et al., (2020) na região sul. Entretanto,

esses estudos se tornam escassos quando associados às turfeiras, em especial aqueles no Estado do Paraná e, mais raros ainda quando relacionados ao Primeiro Planalto Paranaense (PPP), também denominado de Planalto de Curitiba ou Planalto Cristalino (MAACK, 1968, 2001).

No PPP, destacam-se as várzeas, áreas com ocorrência de turfeiras constituídas por sedimentos colúvio-aluvionares recentes que podem ser de natureza siltosa e/ou argilosa, que são depositados sob condições hidromórficas ao longo de importantes cursos d'água (BIGARELLA; MOUSINHO; SILVA, 1965; ITCG, 2018), como é o caso da Bacia do Rio Iguaçu, no município de Tijucas do Sul-PR, área do estudo.

As turfeiras se caracterizam por apresentarem elevadas taxas de acúmulo de matéria orgânica, em diferentes graus de decomposição, assentada sobre horizontes orgânicos e/ou camadas minerais de diferente composição granulométrica, ou mesmo sobre rocha (SANTOS et al., 2018). No território brasileiro, as turfeiras ocupam aproximadamente 0,1%, correspondendo a cerca de 1 milhão de hectares (VALLADARES, 2003; PEREIRA; CUNHA; VALLADRES, 2005; HOLDEN, 2005; VALLADARES et al., 2008; SILVA et al., 2009). Na natureza, funcionam como importantes reservatórios de água e de carbono. Assim, por participarem efetivamente do ciclo do C, as turfeiras funcionam como arquivo cronológico da evolução das paisagens e por guardarem marcas de mudanças climáticas pretéritas (HORÁK et al., 2011, 2014, 2015; SILVA NETO et al., 2019).

Assim, considerando o potencial que as turfeiras possuem para armazenar informações sobre a evolução da paisagem, esta pesquisa teve por objetivo investigar as condições ambientais ao longo da formação de uma turfeira no município de Tijucas do Sul, no PPP, por meio de uma abordagem *multi-proxy*. Especificamente buscou-se investigar possíveis mudanças na abundância da vegetação e suas implicações ambientais e pedológicas na gênese das turfeiras.

## 3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A turfeira estudada está inserida no município de Tijucas do Sul-PR, localizado entre as coordenadas 25°55'28,47"S e 49°12'1,95"W, à 55,2 km de distância de

Curitiba e a uma altitude de 928 m (FIGURA 1). O município faz parte do Primeiro Planalto Paranaense, na subunidade do Planalto do Alto Iguaçu, no PPP (SANTOS et al., 2006). Esse planalto (PPP) delimitado entre a Serra do Mar e a Escarpa Devoniana de São Luiz do Purunã (também denominada por Serrinha) (SALAMUNI; EBERT; HASUI, 2004; SANTOS et al., 2006), destaca-se por apresentar superfícies aplainadas, suavemente onduladas, com frequente ocorrência de planícies e várzeas constituídas por sedimentos colúvio-aluvionares recentes que podem ser de natureza siltosa e/ou argilosas e depósitos turfosos ao longo de importantes cursos d'água formados sob condições hidromórficas (BIGARELLA; MOUSINHO; SILVA, 1965; ITCG, 2018). Bigarella, Mousinho e Silva (1965) atribuíram a gênese das superfícies do PPP aos processos morfoclimáticos desencadeados com a alternância de climas úmidos e secos.

O Planalto Alto Iguaçu, unidade geomórfica na qual a área do estudo está inserida, é marcado por uma baixa dissecação, declividades menores que 6%, topos alongados e aplainados, vertentes convexas, vales com V aberto, altitudes variando entre 860 e 1.000 m (MINEROPAR, 2001). A geologia dessa unidade é composta por rochas da Formação Guabirotuba, da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul (MOREIRA, 2018) e o Complexo Gnáissico-Migmatítico (MINEROPAR, 2001). Os sedimentos da Formação Guabirotuba foram depositados sobre o embasamento cristalino durante Plioceno e Pleistoceno e são compostos por arcósios, depósitos rudáceos e margas, o qual estende-se desde o município de Campo Largo até Quatro Barras, ocupando uma área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup> (MINEROPAR, 2001).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico está relacionado ao Embasamento Cristalino e é considerado um dos mais extensos da RMC - Região Metropolitana de Curitiba (MINEROPAR, 1989), composto por rochas metamórficas e ígneas ácidas (migmatitos estromatíticos, augen-gnaisses, gnaisses graníticos, gnaisses fitados, rochas meta-ultrabásicas, metabasitos, anfibolitos e quartzitos) altamente intemperizadas e de idade desconhecida (MINEROPAR, 2001; ITCG, 2018; MUCHA, 2020).

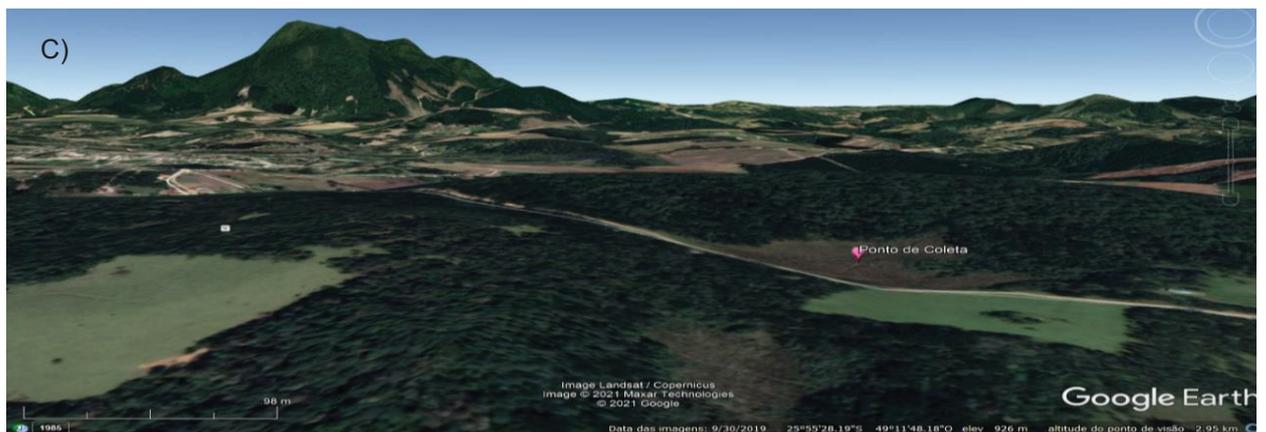
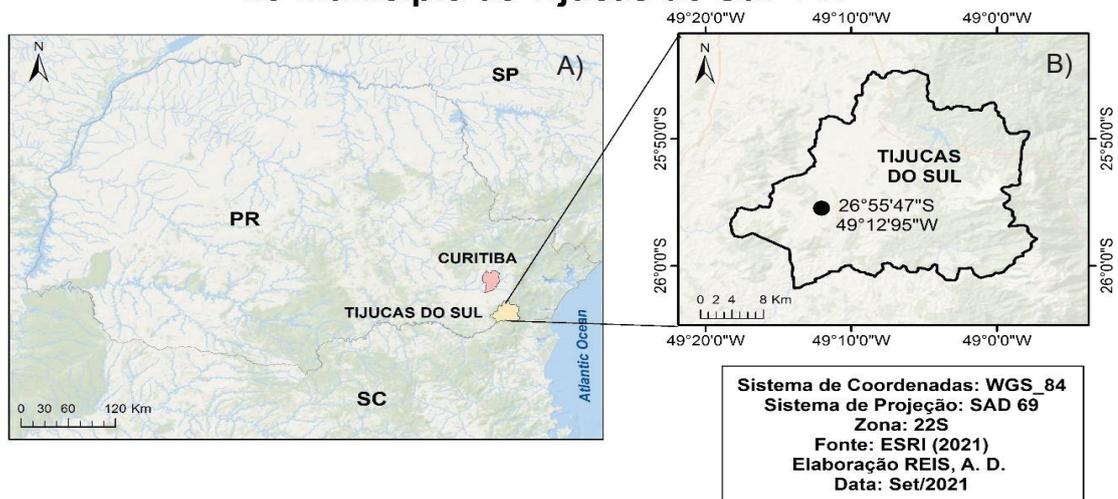
A formação da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul está intimamente ligada com a evolução do relevo atual e, de acordo com Moreira (2018) partir dessa perspectiva pode-se deduzir que a Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul possui idade provável no final do Pleistoceno.

Semelhante à vegetação predominante no sul do Brasil, o município de Tijucas do Sul apresentava predominantemente a Floresta Ombrófila Mista Densa e em menor proporção (cerca de 25%) de Ombrófila Mista (ITCG, 2009). A Floresta Ombrófila Mista, também denominada também como Floresta de Araucária ou Pinheiral (GERALDI; KOEHLER; KAUANO, 2005), que se estendia do Primeiro Planalto Paranaense, a oeste da Serra do Mar, até o Terceiro Planalto Paranaense (ocupando cerca de quase a metade da extensão total dessa tipologia), atualmente ocupam apenas 0,3% de bons remanescentes representados por florestas secundárias ou primárias alteradas (CASTELLA; BRITZE, 2004; FRITZON; MANTOVANI; WREGE, 2018) e outros tipos de cobertura como: campos naturais, cerrados, matas de galeria e as várzeas onde se concentram as turfeiras, conforme levantamento realizado por Maack (1968). Atualmente, na área do estudo, predominam campos, condicionados à ausência de intervenção antrópica.

O clima da região é o mesotérmico úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen (1948). As temperaturas médias anuais alcançam 22°C e o índice pluviométrico médio anual é de 1400 mm (FERREIRA, 1999; BEHLING; BAUERMANN; NEVES, 2001).

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO E DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR. A) MAPA DO ESTADO DO PARANÁ; B) LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL; C) ASPECTO DA PAISAGEM E LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE COLETA.

### Mapa de localização da área de coleta do solo no município de Tijucas do Sul- PR



FONTE: O autor (2021)

### 3.4.2 AMOSTRAGEM DA TURFEIRA

Previamente foi realizado um estudo com trado, estacas (de até 6m de comprimento), fita métrica e GPS/GNSS para identificar os pontos com maior profundidade dentro da área da turfeira (FERREIRA, 2020). A coleta da turfeira foi realizada utilizando um tubo de alumínio de 6 metros de comprimento, acoplado a um vibrotestemunhador para atenuar a compactação da amostra durante o processo de coleta (MARTIN; FLEXOR; SUGUIO, 1995). Devido à compressão do tubo ao ser inserido no solo, o material sólido alcançou cerca de 542 cm de profundidade. Após a abertura do tubo com esmerilhadeira, o material orgânico foi seccionado em amostras a cada de 5 cm em 5 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenado em refrigerador (entre 8 e 10°C). Parte das amostras foi utilizada para as análises físico-químicas para caracterização (Testes de Caracterização do Organossolo, preconizados por Santos et al., 2018) e classificação da turfeira (conforme o SiBCS, Soil Taxonomy e WRB), e outra parte para as análises de reconstituição paleoambiental (fitólito e isótopos estáveis  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ). Para as análises físico-químicas foram agrupadas amostras a cada 10 cm (amostra composta) e para reconstituição as análises foram usadas amostras de 5 cm, em intervalos de 10 cm (sem mistura de amostras). Embora não tenha sido possível realizar a datação para este trabalho, parte das amostras foram reservadas para essa análise quando houver disponibilidade de recursos.

### 3.4.3 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

#### 3.4.3.1 Grau de decomposição da MOS

Em laboratório (devido ao elevado número de amostras), foi realizado o teste para determinação do estágio de decomposição da matéria orgânica (fíbrico, hêmico ou sáprico), utilizando a escala de decomposição de von Post (STANEK & SILC, 1977), descrita em Santos et al. (2018). O método consiste na compressão de uma amostra de turfeira entre os dedos e avaliação da presença e coloração da água extraída pela compressão. Para a realização das análises em laboratório, foram retirados 2,5 cm<sup>3</sup> em cada uma das amostras mantidas em refrigerador (Maiores

detalhes vide Capítulo 1). Essa análise foi realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

### 3.4.3.2 Determinações do pH

A obtenção dos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  foram determinados a partir da mistura de  $2,5 \text{ cm}^3$  do material coletado em  $4 \text{ mL}$  de  $\text{CaCl}_2 0,015 \text{ mol L}^{-1}$  (na proporção 20:1). Após cerca de pelo menos 1 hora, foi determinado o pH pelo método do eletrodo combinado.

### 3.4.3.3 Composição Elementar, Relação C/N, Isótopos Estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ )

Para a determinação da composição elementar, relação C/N e análise isotópicas do carbono e nitrogênio ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) da turfeira as amostras coletadas foram secas em estufa a  $50^\circ\text{C}$ , maceradas, passadas em peneiras de  $0,53 \text{ mm}$ , pesadas e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Isotópica/Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP, onde foram analisadas em um Analisador elementar acoplado a um Espectrômetro de Massa ANCA-SL 2020 da Europa Scientific.

Os resultados dos teores totais de carbono e nitrogênio são expressos em gramas por quilograma ( $\text{g. Kg}^{-1}$ ) do material seco de cada amostra. As Equações 1 e 2 foram utilizadas para os cálculos da razão isotópicas de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ , cujos resultados são expressos usando a notação convencional ( $\delta \text{‰}$  – delta partes por mil) com precisão analítica de  $\pm 0.2\text{‰}$ :

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \frac{R_{amostra} - R_{PDB}}{R_{amostra}} \times 1000 \quad (1)$$

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \frac{R_{amostra} - R_{ar}}{R_{ar}} \times 1000 \quad (2)$$

Onde:  $R_{\text{amostra}}$  refere-se à relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (equação 1) e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  (equação 2) da amostra;  $R_{\text{PDB}}$  = relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do padrão PDB<sup>1</sup> (Pee Dee Belemnitella) para o carbono e  $R_{\text{ar}}$  = razão do ar atmosférico para o nitrogênio (PESSENDA et al., 1996, 1998).

Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -22 e -32‰, com média de -27‰ indicam plantas  $\text{C}_3$ , enquanto valores entre -9‰ e -17‰, com média de -13‰ são indicativos de plantas  $\text{C}_4$  (O'LEARY, 1988; BOUTTON, 1991). Nas plantas CAM, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que variam entre -10‰ e -28‰, são valores próximos às plantas  $\text{C}_4$ . (PESSENDA et al., 2009; HORÁK, 2009; SIMÕES et al., 2019). Em relação aos valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , interpreta-se que valores mais elevados entre 8-12‰ são representativos de fitoplâncton e bactérias, enquanto os valores baixos, são marcadores de predomínio de plantas terrestres (PETERSON; HOWARTH, 1987).

#### 3.4.3.4 Extração, identificação e contagem de fitólitos

A extração dos fitólitos da turfeira foi realizada em duas etapas. A primeira foi realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e consistiu na remoção da matéria orgânica e da fração argila das amostras conforme Campos e Labouriau (1969) e Piperno (2006) adaptado. A segunda fase dedicada a separação da fração que contém os fitólitos (fração insolúvel ao ácido – FIA), por densimetria (MADELLA et al., 1998), foi realizada no Laboratório de Estudos de Dinâmica Ambiental (LEDA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Foram utilizados 3 cm<sup>3</sup> de do material coletado na turfeira, que foram secos em cadinho de porcelana (previamente pesados) em estufa a 100°C, por uma noite. Em seguida o material resfriado em dessecador foi pesado para obtenção do peso da massa seca inicial. Esse material foi submetido a calcinação em cadinhos de porcelana com tampa, em mufla por 4 horas, a 600°C, para total queima da matéria orgânica. Após resfriar, o material foi transferido para becker de 200 mL e adicionado 20 mL de HCl (ácido clorídrico) (10%), aquecido em placa aquecedora a 75°C, por 15 minutos, para total digestão dos resíduos (cinzas e restos orgânicos) produzidos pela calcinação. Em seguida o material foi lavado com uma solução de acetato sódico

---

<sup>1</sup> PDB - Pee Dee Belemnitella- padrão adotado para calibração do C, determinado a partir de um molusco fóssil *Belemnitella americana*, da formação do Cretáceo, localizada na Carolina do Sul (EUA) (FERNANDES; CERRI; FERNANDES, 2007; HORÁK, 2009; PESSENDA et al., 2009);

tamponado em pH 5 e centrifugado por 3 minutos a 1500 rpm, esta etapa foi repetida 3 vezes. Para a dispersão das partículas nas amostras mais argilosas utilizou-se 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH 0,4%), agitação lenta (6 horas), em seguida o material foi transferido para um tubo falcon (previamente pesado) e procedeu-se a lavagem com água destilada e centrifugação por 3 minutos a 700 rpm. Esta etapa foi repetida até que toda a argila tivesse sido totalmente eliminada das amostras. E, para finalizar o processo, as amostras foram secas em estufa a 75°C por uma noite, para em seguida receber uma solução de politungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), com densidade de 2,35 em uma proporção de 2:1 (solução: amostra). Agitou-se em agitador vórtex (1 minuto) e centrifugou por 5 minutos a 1100 rpm. O sobrenadante foi recuperado com ajuda de uma pipeta *pasteur* e transferido para um tubo Falcon 15mL. Repetiu-se esse procedimento 3 vezes até recolher todo o sobrenadante. No tubo falcon foi adicionada água destilada até completar 15mL (para mudar a densidade da solução e forçar a precipitação do fitólito), agitação novamente em vórtex e centrifugação 5 minutos a 1500 rpm. O sobrenadante foi descartado em um becker para posterior reciclagem do politungstato. Essa etapa foi repetida mais três vezes.

O material sedimentado foi transferido para um frasco de vidro de 5mL, previamente pesados, e levados a estufa por uma noite a 75°C. Após seco, o material foi pesado para obter a fração insolúvel ao ácido (FIA), que contém os fitólitos.

Para os procedimentos de contagem dos morfotipos, foram montadas lâminas temporárias (com óleo de imersão) e realizadas observações em microscópio biológico binocular, modelo Primo Star, com aumento de 40x. No total foram analisadas 24 lâminas para todo o testemunho (APÊNDICE E). Por lâmina foram contados no mínimo 200 fitólitos (CARNELLI, 2002) quando possível. Os fitólitos (células simples e articulados) foram identificados conforme o International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 2.0 (NEUMMAN et al., 2019).

Os fitólitos foram agrupados segundo o valor taxonômico e ecológico, conforme adaptado de Calegari (2008) (APÊNDICE C).

#### 3.4.3.5 Índices Fitolíticos

Com a finalidade de melhorar a compreensão e interpretação do significado ambiental das assembleias fitolíticas preservadas na turfeira, foram calculados alguns índices fitolíticos, visando melhorar a interpretação de possíveis mudanças nas

estruturas da vegetação e inferir sobre as condições do ambiente de formação da turfeira. Para este trabalho foram selecionados os índices de Adaptação a Aridez (Iph%), o Índice Climático (Ic%), o Índice de Stresse Hídrico (Fs) e o Índice de Densidade Arbórea (D/P).

O Iph é determinado pela relação entre as gramíneas adaptadas a condições climáticas e edáficas seca (Chloridoideae) e as gramíneas mesofíticas, adaptadas a condições mais úmidas (Panicoideae) (DIESTER-HASS; SCHAEDER; THIEDE, 1973; TWISS, 1992; ALEXANDRE et al., 1997). É definido conforme a equação a seguir:

$$Iph (\%) = \frac{(Saddle)}{(Saddle+Cross+Bilobate)} \times 100 \quad (1)$$

O Ic% determina que valores elevados estão associados a predominância de gramíneas Pooideaes C<sub>3</sub>, sugerindo condições climáticas mais frias, enquanto as formações vegetais dominadas pelas Panicoideae e Chloridoideae apresentam Ic com valores baixos, logo ocorrem em de condições mais quentes. Para obtenção desses valores, deve-se somar os morfotipos Chloridoideae, Panicoideae, Pooideaes, pela razão de Pooideaes (TWISS, 1987; 1992; BREMOND et al., 2008; COE; OSTERRIETH; HONAINÉ, 2014). O cálculo consiste em:

$$Ic (\%) = \frac{[(Rondel + Trapezoid Sinuate + Trapezoid Short Cell + Trapezoid Psilate)]}{(Rondel + Trapezoid Sinuate + Trapezoid Short Cell + Trapezoid Psilate + Saddle + Bilobate + Cross + Crenate + Polylobate)} \times 100 \quad (2)$$

O Fs, estabelece que valores elevados indicam que as gramíneas estiveram submetidas a condições de extrema evapotranspiração (BREMOND et al., 2005). Seu cálculo consiste em:

$$Fs = \frac{(Bulliforme flabellate)}{(Bilobate + Cross + Saddle + Rondel)} \times 100 \quad (3)$$

O D/P, estabelece que valores elevados indicam vegetação florestada, enquanto os valores baixos são característicos de ambientes com vegetação aberta, pouco floresta (campos). Sobre estes valores, os mesmos são obtidos da razão entre Eucotiledôneas (Spheroid psilate e ornate) (D) e o número total de Poaceas (Bilobate, Polylobate, Cross, Rondel, Saddle, Trapezoid e Bulliform) (P) (ALEXANDRE et al., 1997).

$$\frac{D}{P} = \frac{\text{Eudicotiledônea}}{\text{Poaceae}} \quad (4)$$

Os resultados da contagem dos fitólitos foram organizados em tabela com valores absolutos. Esta tabela foi utilizada para determinação das porcentagens de cada morfotipo e classes taxonômicas de fitólitos. Os cálculos das porcentagens foram realizados no programa Tilia ®.

A análise de agrupamentos por similaridade, utilizada na interpretação paleoambiental, foi realizada através do CONISS, que é um programa que realiza a análise de agrupamento estratigraficamente co-treinado pelo método da soma incremental dos quadrados (GRIMM, 1987) e encontra-se inserido dentro do Tilia. Os resultados foram organizados em gráficos de distribuição das porcentagens e o dendrograma indicando os agrupamentos hierárquicos, que foram utilizados para definição das zonas fitolíticas.

A assembleia de fitólitos de cada amostra foi utilizada para a análise de componentes principal (ACP) no Minitab 17 Statistical Software, que ajudou a explicar os agrupamentos hierárquicos definidos pelo CONISS. O conjunto de dados para esta análise não foi normalizado porque a ACP foi realizada na matriz de correlação original expressa em porcentagens.

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 ATRIBUTOS DA TURFEIRA

Foram identificados 12 horizontes classificados como hísticos (H), com elevado teor de matéria orgânica ( $COT > 80 \text{ g kg}^{-1}$ ) e minerais argilosos e/ou arenoso (APÊNDICE D).

Entre os horizontes observou-se o aumento do grau de decomposição em profundidade, intercalada com camadas minerais, enquanto em superfície foi possível identificar a estrutura dos tecidos vegetais moderadamente reconhecível (Descrição disponível no APÊNDICE B).

Os valores de pH variaram entre 2,9 e 4,4 (média de  $3,7 \pm 0,3$ ) (APÊNDICE D), indicando condições de acidez, comuns quando associadas às turfeiras.

### 3.5.2 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR, RELAÇÃO C/N, ISÓTOPOS ESTÁVEIS ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ )

De maneira geral, observa-se que os valores de carbono orgânico total (COT) (FIGURA 2), diminuíram em profundidade. Entretanto, algumas das variações observadas no perfil, parecem estar associadas a diferentes fases de coluvionamento de material mineral com predominância de caulínica. As oscilações observadas a partir do intervalo de 528-542 cm correspondem ao incremento de material mineral, registrando valores de COT entre 1,1 a  $360 \text{ g.kg}^{-1}$  (média de  $10,8 \text{ g.kg}^{-1} \pm 8,6$ ) (APÊNDICE C) ao longo da turfeira. Soares et al., (2016) e Horák et al. (2011) destacam que a distribuição irregular de COT em profundidade pode estar associado às alternâncias entre clima mais seco, que causam a interrupção da deposição orgânica, e climas mais úmidos, que favoreçam o depósito de material turfoso.

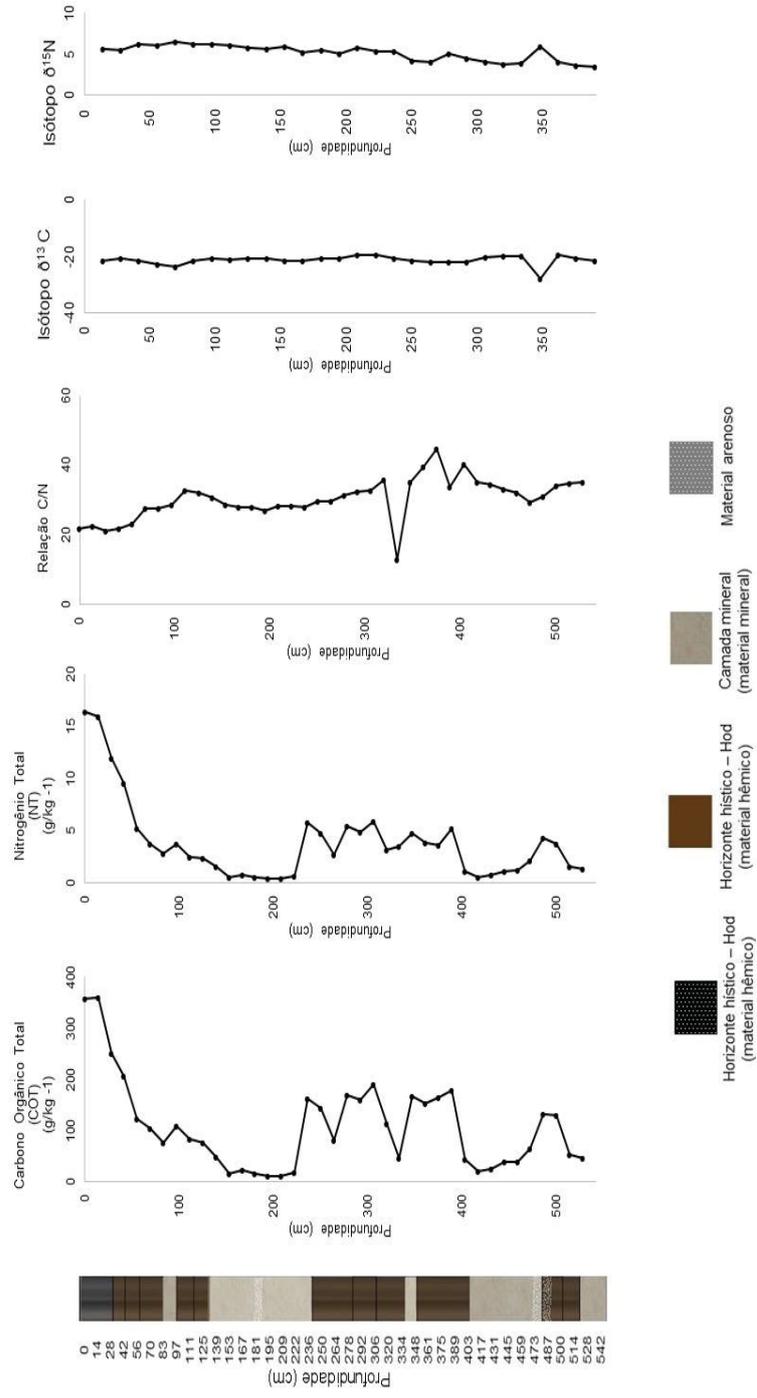
A distribuição dos valores de nitrogênio total (NT) na turfeira apresenta padrão similar ao do carbono (FIGURA 2), diminuindo em profundidade. Os valores variaram entre 0 e  $16 \text{ g.kg}^{-1}$ , média de  $3,92 \text{ g.kg}^{-1}$  e DP de  $3,8 \text{ g.kg}^{-1}$  (APÊNDICE C). Essa distribuição decrescente em profundidade do NT, sugerem condições de recém-deposição de material em superfície na turfeira (CAMPOS et al. 2011; EBELING et al., 2013; COSTA, 2018).

Os valores da relação C/N ao longo do testemunho variaram de 0 a 46, com média de  $27 (\pm 10)$  (APÊNDICE C). Observa-se tendência de aumento dos valores do topo (C/N 20) para a base do perfil (C/N 45), a exceção da amostra ente 334-348 cm que apresentou valor C/N 13. Esses valores indicam que a fonte da MOS esteve

associada a plantas de hábito terrestre (MEYERS, 1994; MEYERS, 2003), exceto para o valor mais baixo que sugere mistura de fitoplâncton e plantas terrestres (MEYERS, 1994).

Os valores  $\delta^{13}\text{C}$  apresentaram sutil empobrecimento isotópico do topo para a base da turfeira, variando de  $-22\text{‰}$  (no topo) à  $-24\text{‰}$  (na base). Observa-se um pico maior de empobrecimento ente 334-348 cm com valores  $-28\text{‰}$  (FIGURA 2 e APÊNDICE D). Enquanto os valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  apresentaram decaimento em profundidade, com valores que oscilaram entre 7 e 3 (FIGURA 2 e APÊNDICE D).

FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE COT, NT, RELAÇÃO C/N E ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE  $\delta^{13}C$  E  $\delta^{15}N$  NA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR



FONTE: O autor, 2021

### 3.5.3 ASSEMBLEIA FITOLÍTICA

A assembleia fitolítica da turfeira estudada é composta por 26 morfotipos (FIGURA 3 e APÊNDICE E). Dentro desse conjunto, destacam-se:

a) os morfotipos que não apresentam significado taxonômico e que são produzidas por todas as gramíneas, por exemplo a categoria dos Elongates e dos Bulliforms;

b) morfotipos representando as chamadas células curtas de gramíneas (*grass short-cells*) (Bilobate, Rondel e Saddle) que possuem forte significado taxonômico e ambiental e,

c) morfotipos produzidos por Eudicotiledôneas (categoria dos Tabular, Spheroid, Tracheary e Polygonal).

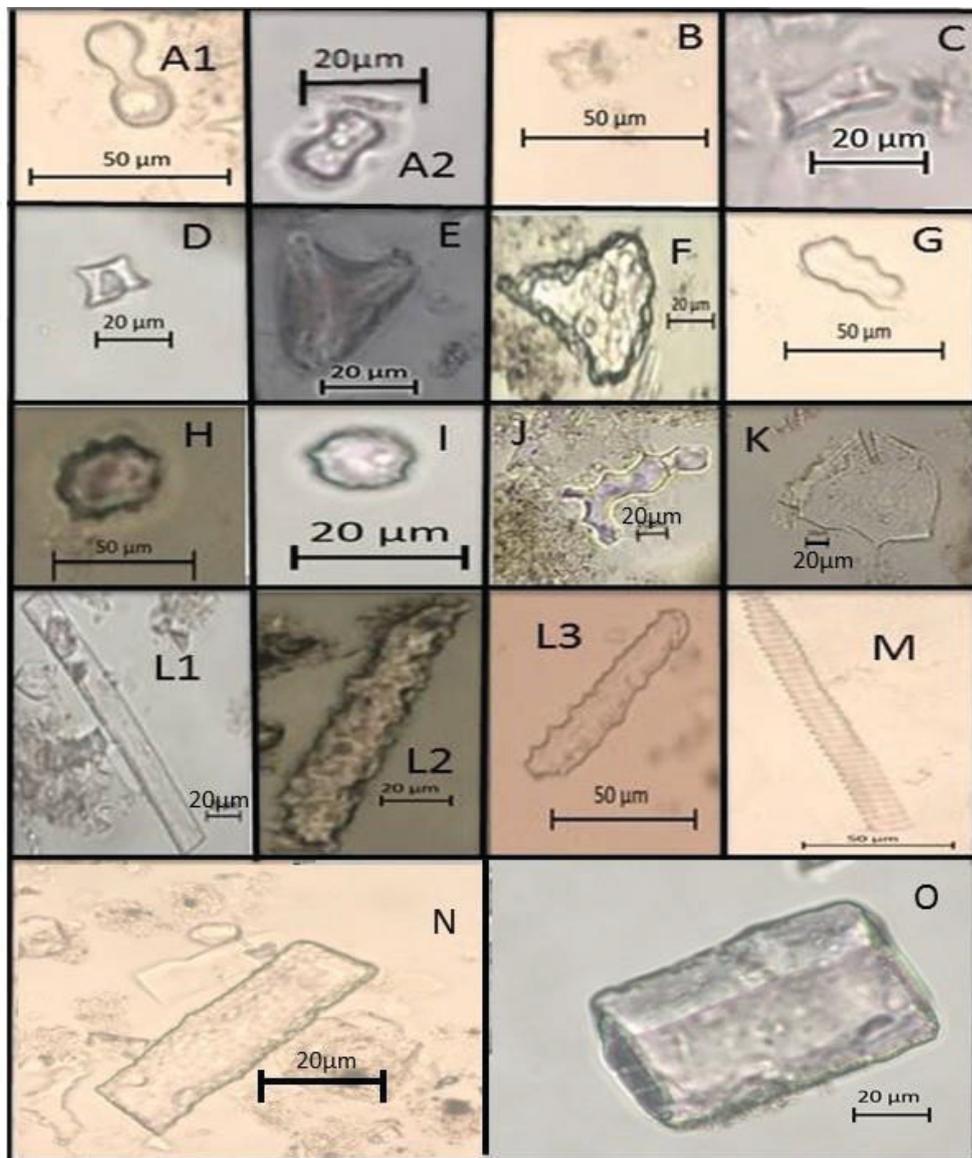
O morfotipo Bilobate foi o mais representativo, com frequência média 11,9% ( $\pm 12$ ), variando entre 0 e 51,5% da assembleia. O segundo morfotipo mais representativo em termos de ocorrência foi o Bulliform, média de 16,5% ( $\pm 9,6$ ), seguido pelo Elongate (inclusive aqueles com sinal de corrosão) que representam até 37,9% da assembleia, com frequência média de 5,9% ( $\pm 7,9$ ). Os morfotipos Rondel, Acute bulbosus e Saddle variaram entre 0 e 36,4% (média 2,9% $\pm 6,6$ ), 34,3% (média 6,1 % e  $\pm 10,7$ ) e 29,2% (média 19,6% e  $\pm 10,9$ ) respectivamente.

Os morfotipos representativos de Eudicotiledôneas (Spheroid Ornate e Psilate) ocorreram em menores proporções na turfeira, indicando pouca interferência de plantas arbórea/arbustiva na composição da vegetação local ao longo da formação da turfeira.

A assembleia fitolítica dos horizontes hísticos da turfeira estudada (FIGURA 5) é composta predominantemente por morfotipos que são produzidos por gramíneas, que compõem o atual campo de várzeas (EMBRAPA, 2021)<sup>2</sup>, ainda que em menor proporção, observa-se no seu entorno, nas partes mais elevadas e bem drenadas da área, fragmentos de Floresta Ombrófila Mista e Araucárias (*Araucaria angustifolia*) (FIGURA 4A e 4B).

<sup>2</sup> A vegetação da área tem sido citada na literatura como Estepes gramíneo-lenhoso ou campo limpo (IBGE, 2012), “campo de várzeas”, “várzeas” ou “brejos” (EMBRAPA, 2021) e até mesmo estepes higrófilas (MORO e CARMO, 2007).

FIGURA 3: MICROFOTOGRAFIAS DE FITÓLITOS



A1-A2 e B - Bilobates; C-Saddle; D-Rondel; E e F- Bulliform Flabellate; G- Polylobate; H- Elipsoid echinate; I- Spheroid psilate; J- grupo articulado do morfotipo Conical (família *Cyperaceae*); K- Tabular irregular; L1- Elongate psilate; L2- Elongate com sinal de corrosão; L3- Elongate sinuate; M - Tracheary; N- Tabular; O- Blocky (*Poaceae epidermic cell*);

FONTE: O autor (2021)

Os morfotipos de *Poaceae* chegam a representar 81,2% da assembleia (APÊNDICE E), com morfotipos de subfamília de *Panicoideae* - 40,2%, *Pooideae* - 12,35%, *Chloridoideae* - 1,5% e aqueles que são produzidos por todas as

gramíneas Elongated – 24,5%, Bulliforms Flabelatte – 1,8% e Acute Bulbosus- 0,8%. As Eudicotiledôneas representam em média 18,3% da assembleia, Arecaceas e Cyperaceas com 0,3% e 0,2% respectivamente (FIGURA 5 e APÊNDICE E). Esses valores refletem as condições atuais de elevada umidade e vegetação predominantemente aberta (FIGURA 4A e 4B).

FIGURA 4- A e B) REPRESENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO ATUAL E CONDIÇÕES DE ELEVADA UMIDADE (HIDROMÓRFICAS) DA ÁREA DE COLETA DA TURFEIRA, NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL-PR;



FONTE: O autor (2021)

Com base nos dados da assembleia fitolítica a análise de agrupamento permitiu a diferenciação de cinco zonas fitolíticas, descritas pormenorizadamente, da base para o topo, a seguir:

**Zona I (542 - 389 cm):** essa zona foi considerada estéril por apresentar valor quantidades muito baixas fitólitos. Os índices fitolíticos não foram calculados nesta zona.

**Zona II (389 – 167 cm):** apresentou pequenas variações, que permitiram subdividi-las em subzona Ila e Iib.

**Subzona Ila (389 – 236 cm):** A subzona Ila abrange as seguintes camadas minerais e horizontes hísticos: 4Hd1 (389-348 cm), 3C (348-334 cm), 3Hd4 (334-292 cm), 3Hd3 (292-278 cm), 3Hd2 (278-264 cm), 3Hd1 (264-236 cm) (FIGURA 5 e APÊNDICE D). A média das Poaceae nesta subzona correspondeu a 90,1% da assembleia, sendo 21,9% representado pelos Rondel (Pooideae), Bilobate e Polylobate (Panicoideae) – 12,7%, Saddle (Chloridoideae) – 2,2%, Elongated – 41,4%, Blocky – 6,4%, Bulliform Flabellate – 10,1%, Acute Bulbosus – 1,1% e Cylindrical – 1%. Os morfotipos de Eudicotiledôneas representam 1,1% da assembleia (Tabular – 2,9%, Traqueary – 1,7%, Elipsoidal (Entire, Granulate, Ornate e Psilate) – 0,9%, Shperoid (Ornate e Psilate) – 0,6%, Braqueary – 0,4% e Polygonal – 0,3%) e é menor em comparação a Zona I. As Areceae apresentam um pequeno aumento em relação a Zona I e representam 3,1% da assembleia (Spheroid echinate – 2,6% e Elipsoid echinate – 0,6%). Os valores médios dos índices fitolíticos dessa zona são Iph (25,4%), Ic (51%) e Fs (17%), D/P (0,1) (FIGURA 5 e APÊNDICE D e E).

**Sub-zona Iib (236 – 167 cm):** Essa zona representa a parte superior as Zona II e abrange amostras da camada mineral 2C (167-236 cm) (FIGURA 5 e APÊNDICE D). A assembleia fitolítica é composta pela média de 89,2% das monocotiledôneas de Poaceae: Rondel (Pooideae) 36,8%, Saddle (Chloridoideae) – 23,7%, Bilobates (Panicoideae) - 1,6%, Elongated – 19,5%, Blocky – 7,1%, Acute Bulbosus – 0,5%. Os morfotipos de Areceae ocorreram em maior proporção do que as zonas subjacentes e representam 6,3% da assembleia, com Spheroid Echinete – 5,7% e Elipsoid Echinete – 0,5%. O grupo de morfotipos de Eudicotiledoneae, apresentaram média de 4,5% da assembleia composta por Elipsoidal (Granulate, Ornate e Psilate)

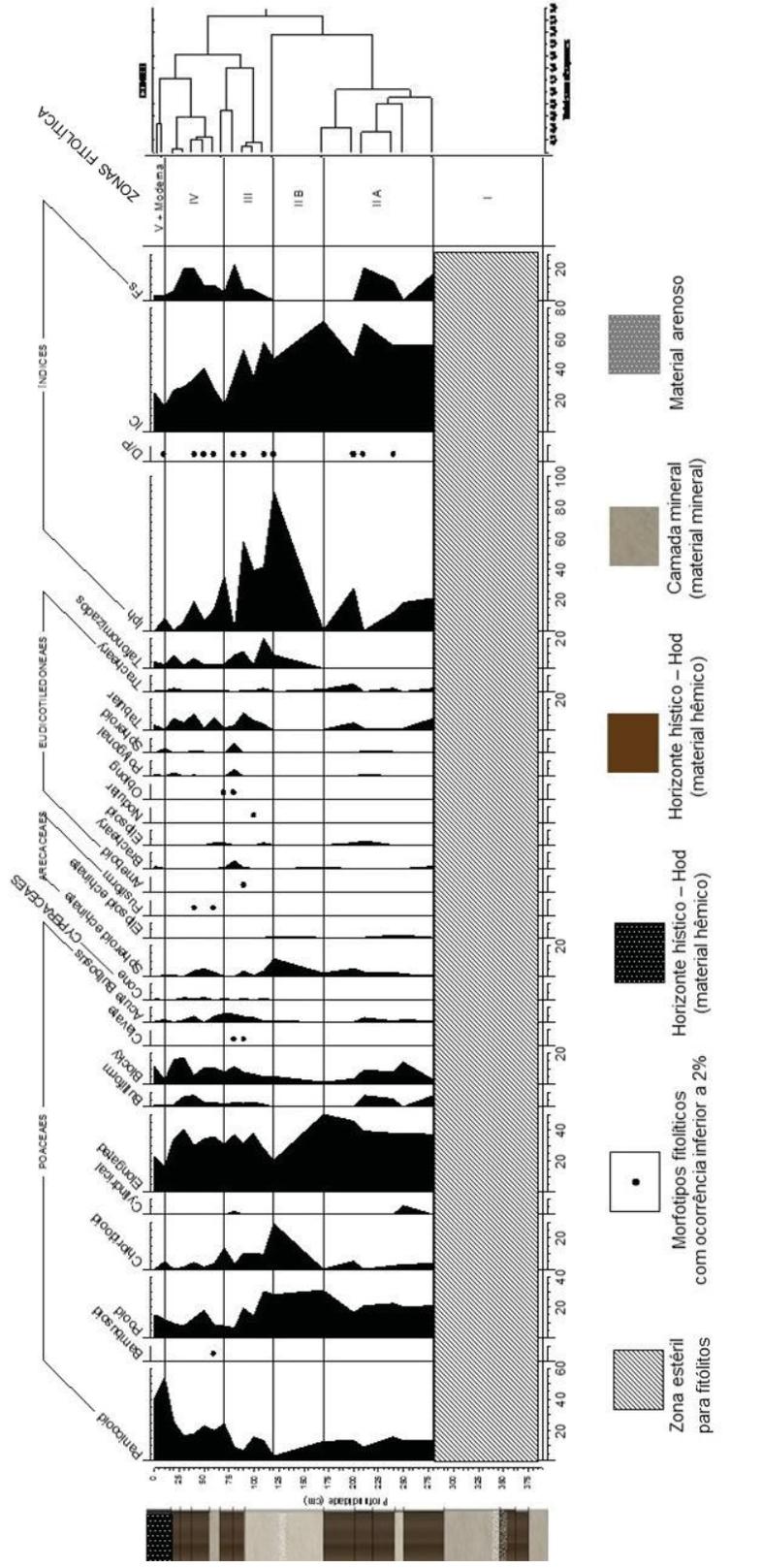
– 9,1%. Para esta zona índices fitolíticos os médias dos índices fitolíticos são lph (95%), lc (57%), Fs nulo e D/P (0,1) (FIGURA 5, APÊNDICE D e E).

**Zona III (167 - 97 cm):** Esta zona abrange a camada mineral 2C (167-125 cm) e os horizontes hísticos 2Hd2 (125-111 cm) e 2Hd1 (111-97 cm) (FIGURA 5 e APÊNDICE D). A assembleia é composta por fitólitos da família Poaceae correspondem à média de 84,8%, Pooideae (Rondel) – 17,5%, Panicooedae (Bilobate e Polylobate) – 11,1%, Chloridoideae (Saddle) – 8%, Elongate – 33,6%, Blocky – 7,5%, Acute Bulbosus – 3,4%, Bulliform Flabelate – 2,5%, Cylindrical – 0,8%, Clavate – 0,4%. Entre as Eudicotiledôneas a média nesta zona alcançou 13,9%, sendo: Tabular – 6,4%, Spheroid (Psilate e Ornate) – 1,9%, Braqueary – 1,5%, Polygonal – 1,3%, Traqueary – 1,0%, Ellipsoidal (Entire, Granulate, Ornate e Psilate) – 0,9% e Ameboid, Nodular e Oblong – 0,1%. Observou-se nesta zona uma redução significativa dos morfotipos das Arecaceas (Spheroid Echinete – 2%) e a ocorrência de morfotipos produzidos por plantas das famílias das Cyperaceae que representa apenas 0,3% da assembleia. Para esta zona os índices fitolíticos calculados apresentam valores médios de lph (34%), lc (%), Fs (10%) e D/P (0,1) (FIGURA 5, APÊNDICE D e E).

**Zona IV (97 - 14 cm):** abrange a camada mineral C (97-83 cm) e os horizontes hísticos: Hd3 (83-56 cm), Hd2 (56-83 cm), Hd1 (42-28 cm) e Hod (28-14 cm) (FIGURA 5 e APÊNDICE D). A assembleia fitolítica é composta pela média de 88,5% de fitólito da família das Poaceas, sendo: Panicooid (Bilobate, Polylobate e Cross) – 20,1%, Pooideae (Rondel) – 11%, Chloridoideae (Saddle) – 4,6%, Bambusoideae – 0,1%, Elongated – 34,3%, Blocky – 10,6%, Bulliform Flabellate - 4,6% e Acute Bulbosus – 3,2%; Entre as Eudicotiledôneas a média nesta zona alcançou 8,5% (Tabular – 5,3%, Spheroid Ornate e Psilate – 0,9%, Ellipsoidal ( Granulate, Ornate e Psilate) e Tracheary – 0,7%, Polygonal – 0,3% e Braqueary – 0,2%. O restante da assembleia é composto por Arecaceae 2,4%, sendo 2,2% de Spheroid echinate e 0,2% de Fusiform. As Cyperceae representaram apenas 0,6%. O valor médio dos índices fitolíticos calculados são lph (16%), IC (30%), Fs (13%) e D/P (0,1) FIGURA 5, APÊNDICE D e E).

**Zona fitolíticas V + Moderna (14 – 0 cm):** abrangem o horizonte hístico Hod (14-0 cm) (FIGURA 5 APÊNDICE D). Semelhante às demais zonas, a família das Poaceas com é predominante e representa a média de 91,3%, sendo: Panicooideae (Bilobates e Polylobates) – 40,2%, Pooideae (Rondel) – 12,3%, Chloridooideae (Saddle) – 1,5%, Elongated – 24,5%, Blocky – 10,2%, Buliform Flabelatte - 1,8%, e Acute Bulbosus– 0,8%. As Eudicotiledoeneae representam a média de 8,2% (Tabular – 3,8%, Polygonal – 1,3%, Spheroid (Ornate e Psilate) e Tracheary - 1,2% respectivamente, Braqueary – 0,5% e Elipsoidal (Entire, Granulate, Ornate e Psilate) – 0,2%. Em menor proporção as os fitólitos de plantas Arecaceae (Spheroid echinate) e Cyperaceae representam 0,3% e 0,2%, respectivamente, da assembleia. Os valores médios dos índices fitolíticos para esta zona são: lph (2,5%), IC (22%), Fs (4%) e D/P nulo (FIGURA 5, APÊNDICE D e E).

FIGURA 5 - DIAGRAMA DE PORCENTAGEM DOS FITÓLITOS



FONTE:O autor (2021)

### 3.6 RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL

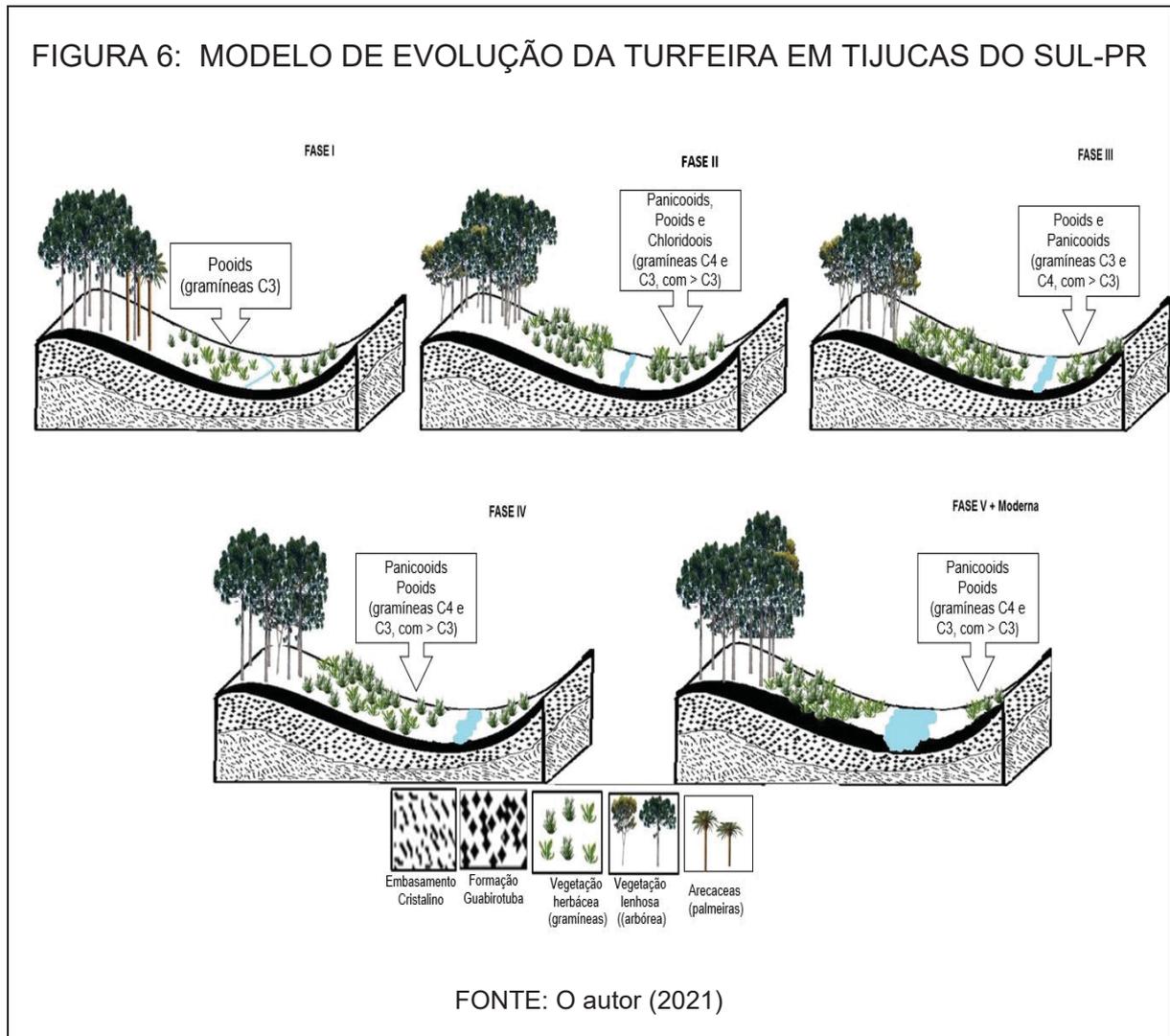
Os dados fitolíticos sugerem abundância de gramíneas (C3 e C4) e plantas lenhosas (árvores e/ou arbustos) e palmeiras na vegetação atual na área do estudo (FIGURA 5). A paleovegetação do local e do seu entorno, de acordo com a assembleia preservada nos sedimentos sugere mesma tendência de vegetação, com predomínio ainda maior de gramíneas.

Assim, a formação da turfeira estudada, reflete pequenas mudanças ambientais locais na bacia hidrográfica em que se insere. Essa limitação espacial na interpretação de mudanças é imposta pela análise fitolítica que, neste contexto, oferece possibilidade para investigar a estrutura da vegetação atual e pretérita, apenas em escala local (BARBONI et al., 2010), pois os fitólitos tendem a dispersar pouco e, em geral, menos que o pólen (OKUBO; LEVIN, 1989). As sucessivas camadas de material mineral intercalando horizontes orgânicos assinalam fases de coluvionamento que soterram os depósitos turfosos que se acumulavam, sobretudo na fase de formação da base do perfil.

Em geral, processos de coluvionamento indicam fases de instabilidade no ambiente, que podem ter favorecido ao avanço de uma vegetação graminóide a montante nas encostas e instalação de processos erosivos nas vertentes no entorno da várzea. Para Bigarella, Mousinho e Silva (1985) sedimentos colúvio-aluvionares de natureza siltosa e/ou argilosas em várzeas recentes ao longo de importantes cursos d'água do Primeiro Planalto Paranaense são produtos da morfodinâmica desencadeada por alternâncias de climas úmidos e secos ao longo do Quaternário. Sucessão de fases secas – úmidas, foram identificadas na região de Tijucas do Sul desde o final do Último Máximo Glacial (20.271 anos Cal. AP) (CHIAPINI et al., 2018).

O período menos úmido observado na Fase I (FIGURA 6) pode ter favorecido os processos de transporte de material argiloso para dentro do canal, soterrando a primeira geração de solo identificada na base da turfeira (542 cm). Na transição do Holoceno inferior para o Médio, Chiapini et al., (2018) indicou um segundo período seco, porém menos intenso que o anterior com variação de temperatura mais quentes, que poderia ter desencadeado episódios de deposição de camadas de material ora argiloso, ora mais arenoso entre 473 – 236 cm de profundidade (Fases I e II), soterrando um segundo nível orgânico espesso (paleossolo). Desde então, os *proxies* empregados neste estudo indicam aumento de umidade até as condições atuais,

semelhante às observadas nas áreas (Fase V). Na região Sul, o aumento de umidade tem sido registrado em vários estudos de reconstituição paleoambiental (por exemplo, BAUERMANN; BEHLING, 2009; BEHLING, 1997; BEHLING et al., 2004; CALEGARI, 2008; CALEGARI et al., 2017a; CECCHET, 2015; FELIPE et al., 2015; LUZ et al., 2015; PAISANI et al., 2013; PESSEDA et al., 2004; RASBOLD et al., 2020).



Essa sequência de alterações climáticas regionais, pode ter favorecido, em escala local, a formação da várzea, associada a configuração litoestrutural da área, condicionando à presença de fluxos hídricos difusos e com baixa energia de transporte, criando variações nos permanentes níveis de alagamento que favorecem a acumulação de matéria orgânica, tal como sugerido por Curcio, Bonnet e Petry (2020) para condições de formação de turfeiras. Entretanto, como não foi realizada

datação, não é possível determinar se tais mudanças estão em acordo com as identificadas pelos autores já citados.

As variações isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  corroboram com as sutis mudanças na estrutura da vegetação e na hidrologia da turfeira indicadas pelos fitólitos, pois os valores isotópicos apresentam mistura de plantas terrestres, com predominância de plantas terrestres, à exceção das amostras entre 306 e 334 cm que indicam maior enriquecimento isotópico marcando maior contribuição de plantas  $\text{C}_4$ , marcadamente as gramíneas.

A camada argilosa da base, que pode ser herdada da geologia da Bacia sedimentar de Tijucas do Sul, depositada sob condição úmida, favorável à formação de caulinita e gibbsita (AUMOND, 1993). As demais camadas argilosas sobrepostas aos paleossolos indicam períodos de instabilidade no ambiente, favoráveis ao avanço da estepe/campo a montante nas encostas e instalação de processos erosivos nas vertentes no entorno da várzea. Para Bigarella, Mousinho e Silva (1965) sedimentos colúvio-aluvionares de natureza siltosa e/ou argilosas em turfeiras recentes ao longo de importantes cursos d'água do Primeiro Planalto Paranaense são produtos da morfodinâmica desencadeada por alternâncias de climas úmidos e secos ao longo do Quaternário.

De acordo com Moreira (2018) que encontrou fitólitos alongados muito corroídos e outros palinomorfos (microalgas, grãos de pólen de *Cyperaceae*) em material Pleistocênico com idade LOE de 60.000 ( $\pm 8.000$ ) anos AP, na região de Tijuca do Sul, esses *proxies* indicam a existência de “pântanos” dominados por essa espécie (corroborado pela presença de fitólitos) e exemplares de “*charcoals*” (matéria orgânica vegetal carbonizada, fragmentos pretos), indicando incêndios na época (MOREIRA, 2018). Sucessão de fases secas – úmida foram identificadas na região de Tijucas do Sul desde o final do Último Máximo Glacial – UMG (2.0271 anos Cal. AP) (CHIAPINI et al., 2018). No presente estudo, não foram observadas a presença de morfotipos com sinais de queima.

Semelhante ao que foi observado na Fase I, na base da turfeira, um período mais seco no UMG (CHIAPINI et al., 2018) (FIGURA 6) pode ter favorecido os processos de transporte de material argiloso para dentro do canal, soterrando a primeira geração de solo identificada na base do testemunho (542 cm). Neste período uma cobertura vegetal terrestre, aberta marcada por plantas  $\text{C}_3$ , possivelmente estariam associadas a plantas como as gramíneas (Pooideae), (FIGURA 5),

palmeiras (Arecaceae) e poucas árvores e arbustos (Eudicotiledoneae). Condições semelhantes foram identificadas por Rasbold et al., (2016) em Turvo, na região centro sul do Paraná no final do Pleistoceno (14.553 anos cal AP). Tendência de menor umidade e temperatura fria na transição Pleistoceno/Holoceno também foi observada por Silva et al., (2016) em sedimento turfoso localizado na região de Guarapuava-PR.

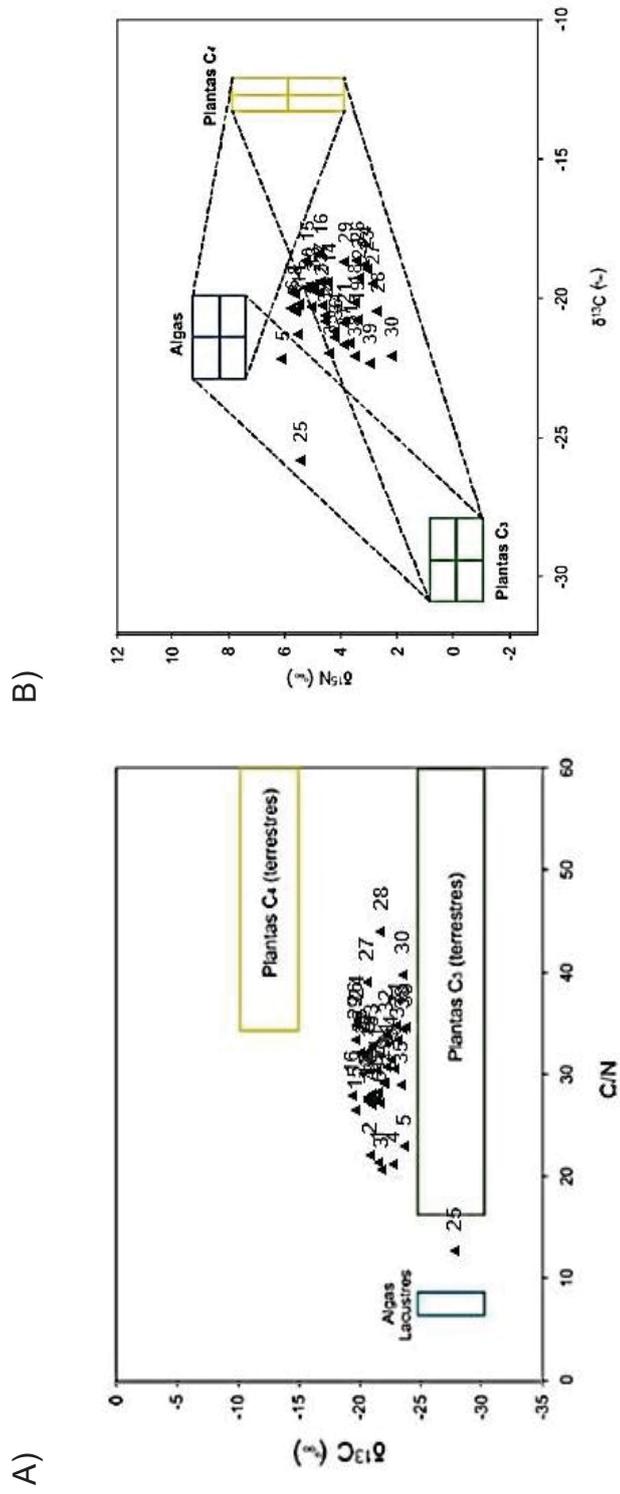
Entretanto os baixos valores de COT sugerem condições de uma fase com baixo acúmulo de MOS, indicando condições menos propícias ao hidromorfismo, tal como os dados isotópicos mais enriquecidos, indicando MOS proveniente de fontes mais terrestres (MEYERS, 1994; MEYERS, 2003; HORÁK, 2009; SOARES, 2015). Em associação ao ambiente aquático na base da turfeira, foi possível identificar o desenvolvimento de fitoplânctons e bactérias (PETERSON; HOWARTH, 1987; MEYERS, 2004), indicaram ambiente de mistura entre plantas C<sub>3</sub> e pouca influência algal, com predominância das plantas C<sub>3</sub> (FIGURA 7).

A presença, mesmo que em quantidade reduzida, de morfotipos representativos de Eudicotiledôneas, ao longo do perfil fitolítico da turfeira pode estar associada aos episódios de escoamento superficial nas encostas carreando os morfotipos produzidos pela vegetação nas áreas adjacentes ao local de coleta (ALBERT, 2006; LORENTE et al., 2015; CECCHET, 2015), assinalando as mudanças locais na estrutura da vegetação (CALEGARI et al., 2017b) ajustando-se aos processos geomorfológicos na encosta.

Os morfotipos representativos de Eudicotiledôneas que são indicativos de plantas de hábito arbóreo/arbustivo foram observados em todas as fases ambientais, sempre em quantidade inferior às de monocotiledôneas. Entretanto, na Fase I esses morfotipos ocorrem em maior proporção relativa, porém ainda em quantitativos insuficientes para configurar transição para uma vegetação florestada, indicando apenas uma mudança de campo limpo para campo sujo, com mais elementos arbóreos/arbustivos, conforme valores do índice D/P ao longo de todo o perfil.

A maior concentração de fitólitos tafonomizados em profundidade, sobretudo na Fase III, indicam maior tempo de residência dos morfotipos na turfeira (ALEXANDRE et al., 1997; BORBA-ROSCHEL, 2006; CALEGARI et al., 2017a) e representam a herança do material caulínico do perfil conforme assinalado por Moreira (2018).

FIGURA 7-  
RELAÇÃO ENTRE: A)  $\delta^{13}\text{C}$  X C/N; B)  $\delta^{15}\text{N}$  E  $\delta^{13}\text{C}$  COMO INDICADORES DA FONTE DE  
MATÉRIA ORGÂNICA (MODELO PROPOSTO POR MEYERS, 2003 E PETERSON;  
HOWARTH, 1987, RESPECTIVAMENTE)



FONTE: O autor (2021)

A base da Fase II (FIGURA 6) marca a transição para uma condição úmida e possivelmente menos frias que a subjacente (FIGURA 6). Esta mudança de condição de umidade é corroborada pelo aumento dos morfotipos Bilobate e Polylobate (subfamília Panicoideae) em detrimento do morfotipo Saddle (subfamília Chloridoideae) na composição da assembleia dessa Zona, com expansão da vegetação aberta (FIGURA 6). O teor de carbono, sensivelmente maior do que na fase subjacente assinala condições pedogenéticas de paludização (FERREIRA, 2020) favoráveis à formação de horizontes orgânicos de caráter sáprico, alternados com algumas camadas minerais. Os dados assinalam uma vegetação mais adaptada a temperaturas mais amenas e mais úmidas favoráveis ao intenso processo de decomposição da MOS que, em conjunto com o tipo de material pouco lenhoso, pode ter conduzido à formação de horizontes orgânicos com matéria orgânica mais decomposta (sáprico) (FIGURA 6). Esse conjunto de dados estão de acordo com a literatura que indica MOS proveniente de fontes mais terrestre e pouco aquática (MEYERS, 1994; MEYERS, 2003; HORÁK, 2009; SOARES, 2015).

Esta interpretação vem ao encontro dos estudos de Behling (1997) na região dos Campos Gerais no estado do Paraná, que recinheceu no Holoceno Médio, condições climáticas úmidas. Porém insuficientes para o avanço das florestas para o fundo do vale, tal interpretação é corroborada pelas condições edáficas de hidromorfismo e/ou topográficas da área da planície de inundação, que favorecem a acumulação e preservação da matéria orgânica neste tipo de ambiente. Regionalmente, estudos indicam que no Holoceno Médio predominavam os campos, corroborando com as condições identificadas atualmente (BAUERMANN; BEHLING, 2009; BEHLING, 1997; BEHLING, 2002; 2004; CALEGARI, 2008; RASBOLD et al., 2016; CHIAPINI et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2005).

O retorno de condições úmidas após a transição Pleistoceno/Holoceno, foram observadas por Rasbold et al., (2016) em Turvo-PR, ao identificar a presença de maiores valores de Iph, associados a diminuição dos morfotipos Bulliforms e o aumento gradativo de morfotipos Spheroid echinate e de Eudicotiledôneas (Spheroid granulate e psilate). Neste caso, o desenvolvimento de vegetações mais densas, evidenciou a predominância de plantas C<sub>3</sub>.

No topo da Fase II (FIGURA 5) a indicação na redução de umidade foi marcada pelo aumento de fitólitos de plantas C<sub>4</sub> adaptadas a condições secas, como Chloridoideae e o maior pico na produção de morfotipos Spheroid echinate,

pertencente à família das *Arecaceae*. Porém, a ausência de morfotipos *Bulliforms* indicam uma diminuição de umidade, mas sem causar stress hídrico nas gramíneas. Essa interpretação é corroborada pelos valores nulos do índice *F<sub>s</sub>* que se refere ao stress hídrico nas gramíneas.

Nesta fase permite identificar baixo acúmulo de MOS, sugerindo condições menos hidromórficas e de maior deposição de material mineral. Nesta fase ambiental os valores de isotópicos e da relação C/N são semelhantes ao da fase subjacente e indicam se tratar de uma MOS proveniente de fontes predominantemente terrestre (FIGURA 7) (MEYERS, 1994; MEYERS, 2003; HORÁK, 2009; SOARES, 2015).

Considerando que as amostras que compõem essa fase são de composição predominante de material mineral quando comparado à fase anterior, é possível que tenha havido períodos de colúvioamento, por processos erosivos de baixa energia (PAISANI et al., 2013), recobrando o horizonte sáprico que estava se formando. Em geral pulsos de transporte de sedimento ocorrem na transição de períodos úmidos para mais seco, quando a fase de pedogênese tende a ser interrompida e material intemperizado passa a ser transportado na fase de morfogênese progressiva, para os setores de fundo de vale (CURCIO; BONNET; PETRY, 2020).

A Fase III, intensifica as condições de umidade da Fase II. Assinala a presença de *Pooideae* na composição dos campos, com o acréscimo na presença de morfotipos das *Panicooideae* em detrimento das *Chloridoideae*, indicando condições de temperatura mais amena que a fase subjacente (FIGURA 6), conforme assinalado pelos índices fitolíticos. O acúmulo de MOS, indica o início da formação dos sucessivos horizontes orgânicos que compõem a parte superior do testemunho estudado.

O enriquecimento isotópico observado nesta fase indica ambientes de mistura de plantas *C<sub>3</sub>* e *C<sub>4</sub>* (O'LEARY, 1988; BOUTTON, 1991), com predominância de planta *C<sub>3</sub>*. Essas condições corroboram com o contínuo aporte dos morfotipos de *Pooideae*, que somadas à presença dos morfotipos de *Eudicotiledôneas* e *Panicooedae* marcam condições de mais umidade na área. A hipótese de uma área composta por turfeira é corroborada pelos dados isotópicos (FIGURA 7) que indicam presença de fitoplânctons (PETERSON; HOWARTH, 1987)

Na Fase IV (FIGURA 6) os resultados indicam uma evolução das condições de umidade e hidromorfismo favorecendo a deposição e preservação da matéria orgânica. Estudos regionais indicam que desde o início do Holoceno Superior as

condições de umidade atuais têm se mantido, favorecendo a expansão da floresta em detrimento dos campos nas partes mais elevadas da região Sul (DE OLIVEIRA et al., 2005). No contexto de Tijucas do Sul, estudo de Chiapini et al., (2018) indicou que a Floresta de Araucária se expandiu, em detrimento dos campos nas áreas não hidromórficas há aproximadamente 2.000 anos cal. AP (Holoceno Superior) adaptando-se as condições de melhora na umidade e temperatura da região, que evoluiu para clima semelhante ao atual mesotérmico úmido (Cfb) (FERREIRA, 1999).

Assim, a Fase V, que representa as condições modernas podem estar em fase com essas condições de umidade e temperatura que se instalaram na região desde o início do Holoceno Superior, uma vez que os estudos regionais apontam condições favoráveis à expansão das florestas. Entretanto, considerando a particularidade geomorfológica de amplos os vales da região do Primeiro Planalto Paranaense, a umidade e temperatura amena tem favorecido a manutenção das várzeas e das turfeiras na região.

A presença de água livre e/ou hidromorfismo é marcado nos dados isotópicos que indicam a presença de fitoplâncton na composição da MOS dos horizontes hêmicos e sáprico observados no topo do testemunho.

Chiapini (2017), identificou em uma topossequência de solos compostos por horizonte escurecido (horizonte sômbrico), em Tijucas do Sul (localizada a 41 Km de distância do ponto de coleta) através das análises fitolíticas e datações radiocarbônicas a predominância de Poaceae em relação às Eudicotiledôneas. Entre os morfotipos destacaram-se Panicoideae, Chloridoideae e Pooideae, assim como de algumas espécies de palmeiras (Arecaceae) e Araucárias, que estão de acordo com a presença de um mosaico composto por campos e florestas de Araucárias que se formaram desde o Holoceno Superior (~2.000 anos AP), favorecidos pelas condições úmidas e frias do clima.

### 3.7 CONCLUSÕES

A abordagem multiproxy foi eficiente na identificação de sensíveis mudanças na estrutura da vegetação ao longo da formação das turfeiras na área do estudo:

- as análises de fitólitos permitiram identificar variações nas condições climáticas e o reduzido adensamento da cobertura vegetal, característico desde o início da formação da turfeira, além da base da turfeira ser estéril para fitólitos;

- os índices fitolíticos aplicados permitiram identificar as alternâncias entre as condições frias e secas, com predominância de vegetação graminóide;
- os dados isotópicos destacaram mistura de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, plantas terrestres e pouca participação do fitoplâncton na fonte da matéria orgânica dos horizontes hêmicos em fase com a ambiente frio e úmido, mais secos no início da formação da turfeira.
- os valores da relação C/N permitiram inferir que nas fases ambientais, a origem da matéria orgânica esteve associada predominantemente a ambiente terrestre;
- a presença de material sáprico com avançado no grau de decomposição da MOS reflete a predominância de materiais gramíneos, sendo o material hêmico (condições de material atual) identificado em superfície composto pela recém-deposição do material vegetal.
- para fins de aprimoramento dos estudos paleoambientais já iniciados sinaliza-se a necessidade de obtenção de dados referentes às datações <sup>14</sup>C, para assim confirmar os estudos regionais, utilizados como base para as primeiras tentativas de cronologia da formação das turfeiras na região.

## 3.8 REFERÊNCIAS

ALBERT, R. Reconstrução de la vegetación en África Oriental durante el Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: La Garganta de Olduvai (Tanzania). Reconstrução de la vegetación en África Oriental durante el Plio- Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: **La Garganta de Olduvai** (Tanzania), v. 15, n. 1, p. 47–58, 2006.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; COLIN, F.; KOUD, J. M; Plant impact on the biogeochemical cycle of silicone and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 3, p.677-682, 1997.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 51, n. 2, p. 187- 194, 1999. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/quaternary-research/article/abs/late-holocene-phytolith-and-carbonisotope-record-from-a-latosol-at-salitre-southcentral-brazil/ED4AA02933182F51862376C462B07713> Acesso em: 20 set. 2019. DOI:10.1006/qres.1998.

AUMOND, J.J. Aspectos geológicos de algumas argilas para cerâmica branca da Bacia de Tijucas do Sul. **Cerâmica**, São Paulo, v. 39, p. 24-26, 1993.

BARBONI, D., ASHLEY, G. M.; DOMINGUEZ-RODRIGO, M.; BUNN, M.T.; MABULLA, Z. P. A.; BAQUENADO, E. Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania, **Quaternary Research**, v. 74, p. 344-354, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033589410001158>. Acesso em:12 de jul.2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2010.09.005>.

BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H. Dinâmica paleovegetacional da Floresta Ombrófila com Araucária a partir do final do Pleistoceno: o que mostra a palinologia. In: FONSECA, C. R. *et al.* (Eds.) **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 36–39, 2009.

BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: Vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, v. 14, p. 253 - 268, 1995.

BEHLING, H. Late quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Parana State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 97, n. 1–2, p. 109–121, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034666796000656>. Acesso em:03 abril 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(96\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(96)00065-6)

BEHLING, H. Late quaternary environmental changes in the Lagoa da Curuça region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of Podocarpus in the Amazon lowland.

**Vegetation History and Archaeobotany**, v.10, p. 175 -183, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/PL00006929> .Acesso em: 03 abril. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00006929>

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: A synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, n. 1–2, p. 19–27, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018201003492>. Acesso em: 03 abril. 2021. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00349-2)

BEHLING, H.; BAUERMANN, S.G.; NEVES, P.C.P. das.. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 14, p. 631-639, 2001.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D. P.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, n. 3–4, p. 277–297, 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018203006874>. Acesso em: 10 abril 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00687-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00687-4)

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 117-151, 1965.

BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJAO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D., VARAJAO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Brazilian cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 172 – 176, 2006.

BORRELLI, N.; HONAINÉ, M. F.; ALTAMIRANO, S.M.; OSTERRIETH, M. Calcium and silica biomineralizations in leaves of eleven aquatic species of the Pampean Plain, Argentina. **Aquatic Botany**, v. 94, n. 1, p. 29–36, 2011.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotopetechniques**, New York: Academic Press, p.73-185. 1991.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; HÉLY, C., GUIOT, J. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. **Global and Planetary Change**, v. 45, n. 4, p. 277-293, 2005.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M.J.; HÉLY, C.; SCHAFER, P.A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. **Global and Planetary Changes**, v. 61, n. 3/4 p. 209-224, 2008. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818104001237>. Acesso em: 06 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.09.002>.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em:

[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-093135/publico/Marcia\\_Calegari.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-093135/publico/Marcia_Calegari.pdf). Acesso em: 15 abril 2019. DOI:10.11606/T.11.2009.tde-11032009-093135.

CALEGARI M.R., RAITZ E., PAISANI J.C. Coleção de referência de fitólitos da Floresta Ombrófila Mista no SW do Paraná: primeira aproximação. *In*: Cong. Abequa, 13., 2011. Búzios, **Res. Expand...**, Búzios: Ass. Bras. Est. do Quaternário. Disponível em: [https://www.abequa.org.br/trabalhos/Calegari\\_et\\_al\\_\\_PR.pdf](https://www.abequa.org.br/trabalhos/Calegari_et_al__PR.pdf). Acesso em: 09 jul. 2021.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BUSO JÚNIOR. A. A.; OSTERRIETH, M.L.; LORENTE, F.L.; PESSENDA, L. C. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State (Brazil), **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 06, n. 1, p. 41–50, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/36426> Acesso em: 02 fev. 2020 DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v6i1.36426>.

CALEGARI, M.R.; MADELLA M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R.; MARQUES, F. A. Combining phytoliths and  $\delta^{13}\text{C}$  matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: Na example of na Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, p. 47-55, 2013.

CALEGARI, M.R.; PAISANI, S. D.; CECCHET, F. A.; EWALD, P.L. de L.; OSTERRIETH, M.L.; PAISANI, J.C.; PONTELLI, M. E. Phytolith signature on the Araucarias Plateau - Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**, v. 434, p. 117-128, 2017a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618215013439> Acesso em: 02 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.095>.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L.; PESSENDA, L.C.R. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary International**, v. 437, p. 156–164, maio 2017b. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/297670271\\_Potential\\_of\\_soil\\_phytoliths\\_organic\\_matter\\_and\\_carbon\\_isotopes\\_for\\_small-scale\\_differentiation\\_of\\_tropical\\_rainforest\\_vegetation\\_A\\_pilot\\_study\\_from\\_the\\_campos\\_nativos\\_of\\_the\\_Atlantic\\_Forest\\_in\\_Espiri](https://www.researchgate.net/publication/297670271_Potential_of_soil_phytoliths_organic_matter_and_carbon_isotopes_for_small-scale_differentiation_of_tropical_rainforest_vegetation_A_pilot_study_from_the_campos_nativos_of_the_Atlantic_Forest_in_Espiri). Acesso em: 03 fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.023>

CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Memórias bióticas de solos selecionados da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: condições ambientais e pedogênese. *In*: SILVA, M. B. E *et al.* (Eds.). **Guia de Campo da XIII**

**Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão.** 1. ed. EMBRAPA, Brasília, DF, 2020. p. 546–565.

CAMPOS, A. C. DE.; LABOURIAU, L. G. Corpos Silicosos de Gramineas dos Cerrados II. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 4, p. 143–151, 1969.

CAMPOS, R. C. J. R.; SILVA, A. C.; DE BARROS SILVA, E.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 3, p. 207–214, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/q6jP47rpLKcJn5Ngzy4PPmk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300007>

CAMPOS, J. R. da R.; SILVA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; FERREIRA, M. F.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1217-1227, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/68VpfKnZ8YJdrctdg655Lp5z/?lang=en>. Acesso em: 01 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400015>

CARNELLI, A. Long term dynamics of the vegetation at the subalpine-alpine ecocline during the Holocene: comparative study in the Aletsch region, Val d’Arpette, and Furka Pass (Valai, Switzerland). **Terre & Environment**, Suisse, v.40, p. 349. 2002.

CASTELLA, P.R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta de araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

CECCHET, F. A. **Análise de fitólitos aplicada a reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) na superfície incompletamente aplainada VI – Campo Erê (SC) no pleistoceno tardio**. 2015.100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão..

CHAPMAN, S.; BUTTLER, A.; FRANCEZ, A. J.; *et al.* Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: A conflict between economy and ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 10, p. 525–532, 2003.

CHIAPINI, M. **Genesis and organic matter chemistry of sombric horizons in subtropical soils (Paraná State, Brazil)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-18052017-184016/pt-br.php>. Acesso em: 02 jul. 2021.

CHIAPINI, M.; SCHELLEKENS, J.; CALEGARI, R.M.; ALMEIDA, J. A. de.; BUURMAN, P.; CAMARGO, P.B. DE.; VIDAL-TORRADO, P. Formation of black carbon rich ‘sombric’ horizons in the subsoil – A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 314, p. 232–244, Mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117304056> Acesso em: 02 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.031>

COE, H.H.G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J.G. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. **Revista Tamoios**, n. 2, pp.60-76, 2012a. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/3197>. Acesso em: 02 março 2020.

COE H.E.G.; OSTERRIETH. M.; HONAINÉ, M.F. Phytoliths and their applications. *In*: COE, H.E.G.; OSTERRIETH. M. (Org.) Synthesis of some phytolith studies in South América (Brazil and Argentina), **Botanical Research and Practices**. New York: Nova, p.1-26, 2014.

COSTA, C. R. **Estudo de reconstituição paleoambiental utilizando uma abordagem multi-proxy em um registro da turfeira do Rio Preto, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 130f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1786>.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; PETRY, A. L. **Organossolos do subplanalto de Cascavel – Características e potencial de uso**. Disponível em: <http://www.pronasolos.pr.gov.br/pagina-17.html>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DE OLIVEIRA, P. E.; BEHLING, H.; LEDRU, M-P.; BARBERI, M.; BUSH, M.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; GARCIA, M.J.; MEDEANIC, S.; BARTH, O. M. BARROS, M. A. DE.; SCHELL-YBERT, R. Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil. *In*: SOUZA, C. R. D. G.; SUGUIO, K.; LIVEIRA, ANTONIO MANOEL DOS SANTOS DE OLIVEIRA, P. E. (Eds.). **QUATERNÁRIO DO BRASIL**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 52–74, 2005.

DIESTER-HASS, L.; SCHAEDEER, H-S.; THIEDE, J. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa, **Pangea**, v. 16, p. 19-66, 1973. Disponível em: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.548418>. Acesso em: 09 março 2021.

DREES L. R.; WILDING, L. P.; SMECK, N.E.; SENKAYI A. L. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. *In*: Minerals in Soil Environments (eds Dixon JB, Weed SB), **Soil Society of America**, Madison, p. 913–974, 1989.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & NOVOTNY, E.H. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos ambientes no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, n. 3, p. 763-774, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cerrados - Coleção entomológica da Embrapa Cerrados**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado/campo-limpo>. Acesso em: 07 jun. 2021.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.D. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J.F.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.2018.

EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.50, p.641-664, 1994.

FELIPE, P. L. L.; CECCHET, F. A.; CALEGARI, M. R.; PESSEDA, L.C.R. Análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de um cambissolo húmico em Abelardo Luz-SC. **Boletim Geográfico**, v. 33, n. especial, p. 150–163, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/31933/pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021. DOI: 10.4025/bolgeogr.v33i0.31933.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A. H. B. M.  $^{13}\text{C}$  e a dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. **Embrapa Pantanal**, Corumbá, p. 4-20, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP/55921/1/BP74.pdf>. Acesso em: 02 março 2020.

FERREIRA, D. N. **Depósitos caulíníticos do Alto Iguaçu: formação e caracterização mineralógica**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/70245>. Acesso em: 04 março. 2021.

FERREIRA, J.C.V. **O Paraná e seus municípios**. 2 ed. Cuiabá: Memórias do Brasil, 1999.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; LAMERS, M.; DENYSENKO, D.; STRECK, T. Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labelling. **Geoderma**, v. 157, n. 1–2, p. 27–36, 2010. Disponível: [https://www.researchgate.net/publication/232815043\\_Phytolith\\_transport\\_in\\_soil\\_A\\_field\\_study\\_using\\_fluorescent\\_labelling](https://www.researchgate.net/publication/232815043_Phytolith_transport_in_soil_A_field_study_using_fluorescent_labelling). Acesso em 02 jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.012>.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. **Geoderma**, v. 151, n. 3–4, p. 168–178, 2009. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706109001116>. Acesso em: 02 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.003>

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGGE, M. S. DISTRIBUIÇÃO DA ARAUCÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL): FATORES CLIMÁTICOS LIMITANTES. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, PR, v. 44, p. 258-271, Maio 2018. ISSN 2177-2738. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50259>. Acesso em: 09 ago. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.50259>.

GERALDI, S. E.; KOEHLER, A. B.; KAUANO, E. E. Levantamento ôtosociológico de dois fragmentos da Floresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul, PR. **Revista Acadêmica de Curitiba**, v.3, n.2, p.27-36, 2005.

GOLOVATI, D. **Mudanças Paleoambientais ocorridas durante o Holoceno nos municípios de Campo Mourão e Cianorte**. 2015, 70 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-graduação em Geografia.

Maringá, PR. Disponível em: <http://sites.uem.br/pge/documentos-para-publicacao/dissertacoes-1/dissertacoes-2015-pdfs/DaianyGolovati.pdf>. Acesso em: 05 abril 2020.

GRIMM, E. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. **Pergamon Journals**, v. 13, p. 13–35, 1987.

HOLDEN, J. Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 363, n. 1837, p. 2891–2913, 2005. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2005.1671>. Acesso em: 08 dez. 2020.

HORÁK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG**. 2009, 282 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HORÁ-TERA, I. **Late Pleistocene-Holocene environmental change in Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais State, Brazil) reconstructed using a multi-proxy characterization of peat cores from mountain tropical mires**. 2014. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-14042014-163954/pt-br.php>. Acesso em: 01 jul. 2021.

HORÁK-TERRA, I.; MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; DA LUZ, C. F. P.; RIVAS LÓPEZ, P.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Holocene climate change in central-eastern Brazil reconstructed using pollen and geochemical records of Pau de Fruta mire (Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 437, p.117-131, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018215003946>. Acesso em: 10 agosto 2020. DOI:10.1016/j.palaeo.2015.07.027.

HORÁK, I., VIDAL-TORRADO, P., SILVA, A. C., & PESSENDA, L. C. R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 41-52, Fev, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5KbjGfLJVJnwNkSM6yZk6jn/?lang=en#>. Acesso em: 10 agosto.2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. p. 425

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 07 junho. 2021.

ITCG - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ.

**Formações fitogeográficas - Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 2009. Disponível em: <[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Fitogeografico\\_A3.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf)>. Acesso em: 06 de outubro de 2020.

ITCG- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ.

**Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR)**. Curitiba: ITCG, 2018. p. 31.

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

LEDRU, M.-P. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, p. 90 - 98, 1993.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LORENTE, F. L.; PESSENDA, L. C. R.; CALEGARI, M. R.; COHEN, M. C. L. C.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P. C. F.; JUNIOR, A. A. B.; FRANÇA, C. M.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 6, n. 1, p. 26–40, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/36239>. Acesso em: 02 fev.2021.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. DE. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terrae Didactica**, v. 11, n. 1, p. 52, 2015.

LUZ, L. D.; PAROLIN, M.; PESSENDA, L. C. R.; RASBOLD, G. G.; LO, E. Multiproxy analysis (Phytoliths, stable isotopes, and C/N) as indicators of paleoenvironmental changes in a Cerrado site, southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 22, n. 1, p. 15–29, 2019.

MAACK, R. Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná. In: MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Curitiba: BADEP, UFPR, p. 450, 1968.

MADELLA, M.; Phytoliths: a terrestrial botanical dataset for paleoenvironmental reconstructions. **Geophysical Research Abstracts**, 9, 2007.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C.; OSTERRIETH, M. Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary Research. **Quaternary International**, v. 287, p. 1–2, 2013.

MADELLA, M.; POWERS-JONES, A. H.; JONES, M. K. A Simple Method of Extraction of Opal Phytoliths from Sediments Using a Non-Toxic Heavy Liquid. **Journal of Archaeological Science**, v. 25, n. 8, p. 801–803, ago. 1998.

MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. **Revista do Instituto Geológico**, Curitiba, PR, v. 16, n. 1/2, p.59-66, 1995. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8838>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MEDEANIC, S.; CORDOZZO, C.; CORRÊA, I.; MIRLEAN, N. Os Fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. **Gravel**, v. 6, n. 2, p. 1–14, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br:8080/jspui/handle/1/1896>>. Acesso em: 03 março 2020.

MCNAMEE, C. **Soil Phytolith Assemblages of the American Southwest : The Use of Historical Ecology in Taphonomic Studies by** - Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies, Department of Archaeology, University of Calgary, Alberta, 2013.

MEYERS, P. A. Preservation of the identification of the source of sedimentary organic matter during and after deposition. **Chemical Geology**, v. 144, n. 3/4, p. 289–302, Jun. 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254194900590>. Acesso em: 10 out. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).

MEYERS, P. A. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, v. 34, n. 2, p. 261–289, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223627341\\_Applications\\_of\\_organic\\_geochemistry\\_to\\_paleolimnological\\_reconstructions\\_A\\_summary\\_of\\_examples\\_from\\_the\\_Laurentian\\_Great\\_Lakes](https://www.researchgate.net/publication/223627341_Applications_of_organic_geochemistry_to_paleolimnological_reconstructions_A_summary_of_examples_from_the_Laurentian_Great_Lakes). Acesso em: 10 out. 2020. DOI: 10.1016 / S0146-6380 (02) 00168-7.

MINEROPAR. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Estado do Paraná**, Curitiba: MINEROPAR, 1989. 1 Mapa. Escala 1:650.000.

MOREIRA, L. F. **Neotectônica e sedimentação da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul**. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado. 111p. 2018. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/56155/R%20-%20T%20-%20LUIS%20FERNANDO%20MOREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOREIRA, L. F.; SALAMUNI, E.; BOLZONO, R. T.; VESELY, F. F. Tijucas do Sul sedimentary basin stratigraphy, **Revista Geociências UNESP**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 467-481, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13291>. Acesso em: 28 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i2.13291>.

MORO, R.S.; CARMO, M.R.B. A vegetação campestre nos Campos Gerais. *In*: MELO, M.S., MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. (Eds.) **Patrimônio Natural dos**

**Campos Gerais do Paraná.** Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, p. 93-98, 2007.

MUCHA, N.M. **Relação solo-relevo entre a Serra do Mar e Planalto do Alto Iguaçu como subsídio para o Mapeamento Digital de Solos.** 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020.

NEUMANN, K. ; STRÖMBERG, C. A. E. ; BALL, T. ALBERT, R.M. International Code for Phytolith Nomenclature ( ICPN ) 2. 0. *Annals of Botany*, v. 124, n. 2, p. 189–199, 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/124/2/189/5537002>. Acesso em: 18 Agos. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>.

OKUBO, A. E.; LEVIN, A. S. A Theoretical Framework for Data Analysis on Wind Dispersal of Seeds and Pollen. **Ecology**, v. 70, p. 329-338, 1989. Disponível em: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1299441>. Acesso em: 09 jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1937537>.

O'LEARY, M. H. Carbon isotopes in photosynthesis. **Bioscience**, Washington, v.38, p.328-336, 1988.

PAISANI, J. C.; CALEGARI, M. C.; PONTELLI, M. E.; PESSENDA, L.C.R.; CÔRREA, A.C.DE. B.; PAISANI, S.D.N.; RAITZ, E. O PAPEL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR NA DINÂMICA EVOLUTIVA DE PALEOVALE DE SEGUNDA ORDEM (SUL DO BRASIL). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 103–116, 2013.

PAROLIN, M.; RASBOLD G.G.; PESSENDA L.C.R. Paleoenvironmental conditions of Campos Gerais, Paraná, since the Late Pleistocene, based on phytoliths and C and N isotopes. *In*: Coe H.H.G., Osterrieth M. (eds) *Synthesis of some phytoliths studies in South America (Brazil and Argentina)*. **Nova Science Publishers**, New York, p. 149-170, 2014.

PEREIRA, W. M. A. **Sistemas pedológicos e reconstituição paleoambiental em depressões nos Tabuleiros Costeiros do Extremo Sul da Bahia.** 2019. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09082019-174937/pt-br.php> . Acesso em: 02. fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-09082019-174937>.

PEREIRA, M. G., CUNHA, L. H.; VALLADARES, G. S. Organossolos: Ocorrência, Gênese, Classificação, Alterações pelo Uso e Manejo. **Tópicos Ciências do Solo**, v. 4, n. 1, p. 233–276, 2005.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. **Radiocarbon**, v. 38, n. 2, p. 191-201, 1996.

PESSENDA, L. C. R. C. R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALÊNCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 35–43, 2004.

PESSENDA, L.C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A. de.; RIBEIRO, A. de S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M.P.; SIEFEDDINE, A. F.; YBERT, R.S. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos Paleoambientais. *In*: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; OLIVEIRA, P.E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto SP: Holos Editora, p. 75-83, 2005.

PESSENDA L.C.; DE OLIVEIRA P.; MOFATTO, M.; DE MEDEIROS, V.; GARCIA, R.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.; LEITE A.; SAAD, A.; ETCHEBEHERE, M.L. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v. 71, n. 3, p. 437-452, 2009.

PETERSON, B.J.; HOWARD, R.W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries os Sapelo Island, Geogria. **Limnology and oceanography**, Grafton, v.32, n.6, p. 1195-1213, 1987.

PIPERNO, D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. **Journaul World Prehist.**, v. 5, n. 2, p. 155-191, 1991.

PIPERNO, D. R. **A phytolith analysis**: an archaeological and geological perspective, London, Academic Press, 280 p. 1988.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths**: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Oxford, Alta Mira Press, p. 238, 2006.

PIPERNO, D. R.; BECKER, P. Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils. **Quaternary Research**, v. 45, n. 2, p. 202-209, 1996.

RASBOLD, G. G.; MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M. G.; PESSENDA, L. C. R. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia - Serie Botanica**, v. 66, n. 2, p. 265–270, 2011.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, turvo, estado do paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 2, p. 315–324, 2016.

RASBOLD, G. G.; STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M.; PAROLIN, M.; LELI, I.T.; LUZ, L.D.; BRITO, H.D. Phytoliths indicate environmental changes correlated with facies analysis in a paleo island-lake, Upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, p. 102513, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102513>>.

RASHID, I.; MIR, S.H.; ZURRO, D.; DAR, R. A.; ZAFAR, A. R. Phytoliths as Proxies of the Past. **Earth-Science Reviews**, v. 194, p. 234–50, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825219301084>. Acesso em: 07 março 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2019.05.005>.

RAMÍREZ, A.I.A.; RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J.C. Phytoliths and seeds in fluvial island. Paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 89, p. 30-38, 2019.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, p. 179-207, 1983.

RÜHLAND, K.; SMOL, J. P.; JASINSKI, J. P. P.; WARNER, B. G. Response of Diatoms and Other Siliceous Indicators to the Developmental History of a Peatland in the Tiksi Forest, Siberia, Russia. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 32, n. 2, p. 167–178, 2000.

SALAMUNI, E.; EBERT, H.D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curi-tiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 469-478, 2004.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. História ecológica da Terra. 2. ed. São Paulo: **Edgard Blucher LTDA**, 1994.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.7, n. 2, p.3-12, 2006. Disponível: <http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/mapeamento.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2020. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74.

SILVA, D. W.; FILHO, M. C.; PAROLIN, M.; BERTOTTI, L. G. Paleoenvironmental analysis from the main phytoliths morphotypes found in peat sediment in Guarapuava region-Paraná. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 13–32, 2016.

SILVA, A. C.; HORÁK, I.; CORTIZAS, A. M.; VIDAL-TORRADO, P.; RECADO, J. M.; GRAZZIOTTI, P. H.; SILVA, E. B.; FERREIRA, C. A. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG: Caracterização e classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, n. 5, p. 1385-1398, 2009.

SILVA NETO, E. C. da. **Fitólitos como registros paleoambientais em solos de ambientes altomontanos no Estado do Espírito Santo**. 2018. 89 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

SILVA NETO, E. C. DA; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, M. DE. A.; CALEGARI, M. R.; SCHIAVO, J. A.; SÁ, N. DE. P.; ANJOS, L. H. C. DOS; PESSENDA, L. C. R. Paleoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825219301084> Acesso em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102301>

SILVA NETO, E. C. DA; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. DOS; *et al.* Phytoliths as paleopedological records of an histosol-cambisol-ferralsol sequence in Southeastern

Brazil. **Catena**, v. 193, n. April, p. 104642, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104642>>.

SIMÕES, V. J. L. P.; LEITE, M. L. DE M. V.; IZIDRO, J. L. P. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N.; TEIXEIRA, V. I. Assimilação de carbono em plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 125–134, 2019.

SOARES, P. F. C. **Organossolos: Morfologia, Atributos Físicos, Químicos e Abundância Natural de Isótopos de Carbono e Nitrogênio**, 2015. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1447>. Acesso em: 04 março 2020.

SOARES, P. F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA M. G.; PESSEDA L.C. R. Histosols in an Upper Montane Environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/MKBfnYybmw4kTwKJZqxLdVx/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 04 março 2020.

SOMMER, M.; KACZOREK, D.; KUZYAKOV, Y.; BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, v. 169, p. 310–329, 2006.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, n. 2, p. 109-117, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado+ presente=futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

TWISS, P. C. Grass opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. In: Jhonson W.C. (Ed), **Quaternary Environments of Kansas. Kansas Geological Survey Guidebook**, v. 5, p. 179-188, 1987.

TWISS, C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: G. Rapp, J.; Mulholland, S. C. (Ed.). **Phytolith Systematics. Plenum Press**: New York, 1992.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J.C.C.B.S. DE.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H.D. DOS, A.; EBELING, A.G.; BENITES, V. DE. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, jan/ fev. 2008. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/657462>. Acesso em: 09 março. 2020.

VALLADARES, G.S. **Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação**. 2003. 142 f Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2003.

WILDING, L. P.; SMECK, N.E.; DREES, L. R. Silica in solos - quartzo, cristobalita, tridimita e opala; Minerals in Soil Environments, JB Dixon e SB Weed, eds: **Soil Science Society of America**, p. 471-552, 1977.

#### 4 CONCLUSÃO GERAL

A formação da turfeira coletada no município de Tijucas do Sul, evidenciou que a predominância de materiais orgânicos com elevado grau de decomposição (sápricos), estiveram de acordo com a abundância de vegetação gramínea. Desta forma, foi possível constatar o reduzido adensamento da vegetação desde a gênese, que corroboraram com as análises fitolíticas.

Sobre a presença de materiais hêmicos em superfície, foram associados à recém-deposição de material vegetal.

A distribuição dos valores de composição elementar permitiram compreender os processos de humificação/mineralização e por consequência a relação C/N avaliou a evolução e a fonte de MO predominante terrestre no ambiente.

Entre os sistemas de classificação, SiBCS (SANTOS et al., 2018), Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e WRB (IUSS, 2015) torna-se necessária a adoção de critérios homogêneos e mais bem definidos quanto à precedência dos Testes de Caracterização dos Organosossolos.

Os sinais isotópicos identificaram mistura de plantas C<sub>3</sub> (gramíneas C<sub>3</sub>) e C<sub>4</sub> (gramíneas), com pouca participação dos fitoplâncton na fonte da MO.

Por fim, destaca-se que a necessidade da realização das datações <sup>14</sup>C, para fins de estabelecer a cronologia de formação da turfeira na região.

## REFERÊNCIAS

- ALBERT, R. Reconstrucción de la vegetación en África Oriental durante el Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: La Garganta de Olduvai (Tanzania). Reconstrucción de la vegetación en África Oriental durante el Plio- Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: **La Garganta de Olduvai** (Tanzania), v. 15, n. 1, p. 47–58, 2006.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; COLIN, F.; KOUD, J. M; Plant impact on the biogeochemical cycle of silicone and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 3, p.677-682, 1997.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 51, n. 2, p. 187- 194, 1998. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/quaternary-research/article/abs/late-holocene-phytolith-and-carbonisotope-record-from-a-latosol-at-salitre-southcentral-brazil/ED4AA02933182F51862376C462B07713> Acesso em: 20 set. 2019. DOI:10.1006/qres.1998.
- ANDRIESSE, J. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, 1., 1984, Curitiba. **Anais...MA/** Provárzeas Nacional, Emater, SEAG – Paraná e Acarpa / Emater – Paraná, 1984. p.11-34.
- ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils (Soil Bulletins)**. Rome: FAO, 1988. n. 59. p. 165.
- AUMOND, J.J. Aspectos geológicos de algumas argilas para cerâmica branca da Bacia de Tijucas do Sul. **Cerâmica**, São Paulo, v. 39, p. 24-26, 1993.
- BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H. Dinâmica paleovegetacional da Floresta Ombrófila com Araucária a partir do final do Pleistoceno: o que mostra a palinologia. *In*: FONSECA, C. R. *et al.* (Eds.) **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 36–39, 2009.
- BEHLING, H. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: Vegetation, climate and fire history. **Journal of Paleolimnology**, v. 14, p. 253 - 268, 1995.
- BEHLING, H. Late quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Parana State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 97, n. 1–2, p. 109–121, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034666796000656>. Acesso em:03 abril 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(96\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(96)00065-6)

BEHLING, H. Late quaternary environmental changes in the Lagoa da Curuça region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of Podocarpus in the Amazon lowland. **Vegetation History and Archaeobotany**, v.10, p. 175 -183, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/PL00006929> .Acesso em: 03 abril. 2021.DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00006929>

BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: A synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, n. 1–2, p. 19–27, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018201003492>. Acesso em: 03 abril. 2021. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00349-2)

BEHLING, H.; BAUERMANN, S.G.; NEVES, P.C.P. das. 2001. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 14, p. 631-639.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D. P.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, n. 3–4, p. 277–297, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018203006874>. Acesso em: 10 abril 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00687-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00687-4)

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 117-151, 1965.

BISPO, D. F A. Caracterização quali-quantitativa dos recursos hídricos e da dinâmica do carbono de turfeiras das cabeceiras do Rio Araçuaí. 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

BISPO, D.F.A.; SILVA, A.C.; CHISTOFARO, C.; SILVA, M.L.N.; BARBOSA, M.S.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U.M. Characterization of Headwaters Peats of The Rio Araçuaí, Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)**, Viçosa, MG, v. 39, p. 475-489, 2015.

BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A.; VARAJAO, A.F.D.C.; MEUNIER, J.D., VARAJAO, C.A.C.; COLIN, F. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Brazilian cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 172 – 176, 2006.

BLOMBÄCK, K.; ECKERSTEN, H.; LEWAN, E.; ARONSSON, H. Simulations of soil carbon and nitrogen dynamics during seven years in a catch crop experiment. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 95-114, 2003.

BORRELLI, N.; HONAINÉ, M. F.; ALTAMIRANO, S.M.; OSTERRIETH, M. Calcium and silica biomineralizations in leaves of eleven aquatic species of the Pampean Plain, Argentina. **Aquatic Botany**, v. 94, n. 1, p. 29–36, 2011.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotopetechniques**, New York: Academic Press, p.73-185. 1991.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; HÉLY, C., GUIOT, J. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. **Global and Planetary Change**, v. 45, n. 4, p. 277-293, 2005.

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M.J.; HÉLY, C.; SCHAFER, P.A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith índices as proxies of grass subfamilies on East Africam tropical mountains. **Global and Planetary Changes**, v. 61, n. 3/4 p. 209-224, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818104001237>. Acesso em: 06 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.09.002>.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. **Soil Genesis and Classification**. 6th Edn. New York: John Wiley & Sons, 2011.

CALEGARI, Márcia Regina. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-093135/publico/Marcia\\_Calegari.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11032009-093135/publico/Marcia_Calegari.pdf). Acesso em: 15 abril 2019. DOI:10.11606/T.11.2009.tde-11032009-093135.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BUSO JÚNIOR. A. A.; OSTERRIETH, M.L.; LORENTE, F.L.; PESSENDA, L. C. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State (Brazil), **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 06, n. 1, p. 41–50, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/36426> Acesso em: 02 fev. 2020 DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v6i1.36426>.

CALEGARI, M.R.; MADELLA M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L.C.R.; MARQUES, F. A. Combining phytoliths and  $\delta^{13}\text{C}$  matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: Na example of na Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, p. 47-55, 2013.

CALEGARI, M.R.; PAISANI, S. D.; CECCHET, F. A.; EWALD, P.L. de L.; OSTERRIETH, M.L.; PAISANI, J.C.; PONTELLI, M. E. Phytolith signature on the Araucarias Plateau - Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**, v. 434, p. 117-128, 2017a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618215013439> Acesso em: 02 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.095>.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L.; PESSEDA, L.C.R. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary International**, v. 437, p. 156–164, maio 2017b. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/297670271\\_Potential\\_of\\_soil\\_phytoliths\\_organic\\_matter\\_and\\_carbon\\_isotopes\\_for\\_small-scale\\_differentiation\\_of\\_tropical\\_rainforest\\_vegetation\\_A\\_pilot\\_study\\_from\\_the\\_campos\\_nativos\\_of\\_the\\_Atlantic\\_Forest\\_in\\_Espiri](https://www.researchgate.net/publication/297670271_Potential_of_soil_phytoliths_organic_matter_and_carbon_isotopes_for_small-scale_differentiation_of_tropical_rainforest_vegetation_A_pilot_study_from_the_campos_nativos_of_the_Atlantic_Forest_in_Espiri). Acesso em: 03 fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.023>

CALEGARI M.R., RAITZ E., PAISANI J.C. Coleção de referência de fitólitos da Floresta Ombrófila Mista no SW do Paraná: primeira aproximação. *In*: Cong. Abequa, 13., 2011. Búzios, **Res. Expand...**, Búzios: Ass. Bras. Est. do Quaternário. Disponível em: [https://www.abequa.org.br/trabalhos/Calegari\\_et\\_al\\_\\_PR.pdf](https://www.abequa.org.br/trabalhos/Calegari_et_al__PR.pdf). Acesso em: 09 jul. 2021.

CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Memórias bióticas de solos selecionados da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: condições ambientais e pedogênese. *In*: SILVA, M. B. E *et al.* (Eds.). **Guia de Campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. 1. ed. EMBRAPA, Brasília, DF, 2020. p. 546–565.

CAMPOS, J. R. DA R. **Caracterização, mapeamento, volume de água e estoque de carbono da turfeira da área de proteção ambiental Pau-de-Fruta em Diamantina – MG**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2009. Disponível em: [http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/551/1/jose\\_ricardo\\_rocha\\_campos.pdf](http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/551/1/jose_ricardo_rocha_campos.pdf)

CAMPOS, R. C. J. R.; SILVA, A. C.; DE BARROS SILVA, E.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 3, p. 207–214, 2014.

CAMPOS, J. R. da R.; SILVA, A.C.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.M.; SILVA, D.V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1217–1227, 2011.

CAMPOS, J.R.R.; SILVA, A.C.; VASCONCELLOS, L.L.; SILVA, D.V.; ROMÃO, R.V.; SILVA, E.B. & GRAZZIOTTI, P.H. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area Pau-de-Fruta - Diamantina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 6, p. 1965–1975. Dez. 2010. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/R9X64SvnbhXZtv9WR7Nb6LL/?lang=en>. Acesso em: 06 de jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600021>.

Cerrados II. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 4, p. 143–151, 1969.

CAMPOS, R. C. J. R.; SILVA, A. C.; DE BARROS SILVA, E.; VIDAL-TORRADO, P. Extração e quantificação de alumínio trocável em Organossolos. **Pesquisa**

**Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 3, p. 207–214, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/q6jP47rpLKcJn5Ngzy4PPmk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300007>

CAMPOS, J. R. da R.; SILVA, A. C.; FERNANDES, J. S. C.; FERREIRA, M. F.; SILVA, D. V. Water retention in a peatland with organic matter in different decomposition stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1217-1227, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/68VpfKnZ8YJdrdcg655Lp5z/?lang=en>. Acesso em: 01 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400015>

CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4. p. 1211-1220. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/RRxVrmdpzbZxZ6Z7LnwZQ7H/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 9 Agosto 2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

CASTELLA, P.R.; BRITZ, R. M. de (Org.). **A floresta de araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

CECCHET, F. A. **Análise de fitólitos aplicada a reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) na superfície incompletamente aplainada VI – Campo Erê (SC) no pleistoceno tardio**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/1141>. Acesso em: 19 março 2020.

CHAPMAN, S.; BUTTLER, A.; FRANCEZ, A. J.; *et al.* Exploitation of northern peatlands and biodiversity maintenance: A conflict between economy and ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 10, p. 525–532, 2003.

CHIAPINI, M. **Genesis and organic matter chemistry of sombric horizons in subtropical soils (Paraná State, Brazil)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-18052017-184016/pt-br.php>. Acesso em: 02 jul. 2021.

CHIAPINI, M.; SCHELLEKENS, J.; CALEGARI, R.M.; ALMEIDA, J. A. de.; BUURMAN, P.; CAMARGO, P.B. DE.; VIDAL-TORRADO, P. Formation of black carbon rich ‘sombric’ horizons in the subsoil – A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 314, p. 232–244, Mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117304056> Acesso em: 02 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.031>

CIPRIANO-SILVA, R. **Gênese e classificação de solos em ambientes de planícies da região Nordeste do Brasil**. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrária, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/9171>. Acesso em: 06 set. 2020.

CIPRIANO-SILVA, R.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 26–38, 2014.

COE, H.H.G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J.G. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. **Revista Tamoios**, n. 2, pp.60-76, 2012a. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/view/3197>. Acesso em: 02 março 2020.

COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; GOMES, J.G. Reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas através da utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono – exemplos de estudos no Brasil. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 248-261, 2012b. Disponível: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1823>. Acesso em: 09 março 2020.

COE H.E.G.; OSTERRIETH. M.; HONAINÉ, M.F. Phytoliths and their applications. *In*: COE, H.E.G.; OSTERRIETH. M. (Org.) Synthesis of some phytolith studies in South América (Brazil and Argentina), **Botanical Research and Practices**. New York: Nova, p.1-26, 2014.

CONCEIÇÃO, M. da; MANZATTO, C. V.; ARAÚJO, W. S. de; MARTIN NETO, L.; SAAB, S. da C.; CUNHA, T. J. F.; FREIXO, A. A. Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, n. 3, p.1-5, Agosto, 1999. p.1-5. Disponível em:[https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/336282/1/CNPSP\\_ESQ.AND.399.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/336282/1/CNPSP_ESQ.AND.399.pdf). Acesso em: 11 de jul. 2020.

COOLS, N.; VESTERDAL, L.; De VOS B.; VANGUELOVA, E.; HANSEN, K. Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. **Forest Ecology and Manage**. v. 311, p. 3-16. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/258461201\\_Tree\\_species\\_is\\_the\\_major\\_factor\\_explaining\\_CN\\_ratios\\_in\\_European\\_forest\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/258461201_Tree_species_is_the_major_factor_explaining_CN_ratios_in_European_forest_soils). Acesso em: 08 ju. 2020. DOI: 10.1016 / j.foreco.2013.06.047.

COSTA, C. R. **Estudo de reconstituição paleoambiental utilizando uma abordagem multi-proxy em um registro da turfeira do Rio Preto, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 130f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1786>.

COSTA F.G.C.M. da.; BOVE C.P.; ARRUDA R.C.O.; PHILBRICK T.C. Silica Bodies and their Systematic Implications at the Subfamily Level in Podostemaceae. **Rodriguésia**, Out-Dez, 2011, v. 62, n. 4, p. 937-942. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rod/a/4RgNkYLHjkKXSPpSGcQP5zr/?stop=next&lang=en&format=html>. Acesso em: 05 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602011000400019>.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; PETRY, A. L. **Organossolos do subplanalto de Cascavel – Características e potencial de uso**. Disponível em: <<http://www.pronasolos.pr.gov.br/pagina-17.html>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DE OLIVEIRA, P. E.; BEHLING, H.; LEDRU, M-P.; BARBERI, M.; BUSH, M.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; GARCIA, M.J.; MEDEANIC, S.; BARTH, O. M. BARROS, M. A. DE.; SCHELL-YBERT, R. Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil. *In*: SOUZA, C. R. D. G.; SUGUIO, K.; LIVEIRA, ANTONIO MANOEL DOS SANTOS DE OLIVEIRA, P. E. (Eds.). **QUATERNÁRIO DO BRASIL**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 52–74, 2005.

DIESTER-HASS, L.; SCHAEDEER, H-S.; THIEDE, J. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa, **Pangea**, v. 16, p. 19-66, 1973. Disponível em: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.548418>. Acesso em: 09 março 2021.

DREES L. R.; WILDING, L. P.; SMECK, N.E.; SENKAYI A. L. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. *In*: Minerals in Soil Environments (eds

Dixon JB, Weed SB), **Soil Society of America**, Madison, p. 913–974, 1989.

EBELING, G A. Características Estruturais da Matéria Orgânica em Organossolos Háplicos. 2010. (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2010. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/1838>. Acesso em: 06 jan. 2021.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & NOVOTNY, E.H. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos ambientes no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, n. 3, p. 763-774, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cerrados - Coleção entomológica da Embrapa Cerrados**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado/campo-limpo>. Acesso em: 07 jun. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Santos et al. 2018.

EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.50, p.641-664, 1994.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Guidelines for soil description**, 4th edition, Rome: FAO, 2006.

FELIPE, R, da. S. **Características Geológico-Geotécnicas na Formação Guabirotuba**. Curitiba: MINEROPAR, 2011. 1ª ed.

FELIPE, P. L. L.; CECCHET, F. A.; CALEGARI, M. R.; PESSENDA, L.C.R. Análise isotópica ( $\delta^{13}C$ ) de um cambissolo húmico em Abelardo Luz-SC. **Boletim Geográfico**, v. 33, n. especial, p. 150–163, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/31933/pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021. DOI: 10.4025/bolgeogr.v33i0.31933.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A. H. B. M.  $^{13}C$  e a dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense.

**Embrapa Pantanal**, Corumbá, p. 4-20, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP/55921/1/BP74.pdf>. Acesso em: 02 março 2020.

FERREIRA, J.C.V. **O Paraná e seus municípios**. 2 ed. Cuiabá: Memórias do Brasil, 1999.

FERREIRA, D. N. **Depósitos caulíníticos do Alto Iguaçu: formação e caracterização mineralógica**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/70245>. Acesso em: 04 março. 2021.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. **Geoderma**, v. 151, n. 3–4, p. 168–178, 2009. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706109001116>. Acesso em: 02 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.003>

FONSECA, S. F.; SILVA, C. A. SENNA, J. A. TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS NA IDENTIFICAÇÃO DE USOS DA TERRA NO ENTORNO DAS TURFEIRAS DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL. **Revista Ra' e Ga**, v. 43, p. 16, 2018.

FONTANA, A.; BENITES, M.B.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas com suporte à classificação de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2073-2080, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180214065028.pdf>. Acesso em: 08. set. 2020.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n, 4, p. 1241-1257, agosto-Julho. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/NDhbp9J43cLp4zCFzP4vSDb/?lang=pt>. Acesso em: 08. set. 2020.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGGE, M. S. DISTRIBUIÇÃO DA ARAUCÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL): FATORES CLIMÁTICOS LIMITANTES. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, PR, v. 44, p. 258-271, maio 2018. ISSN 2177-2738. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50259>. Acesso em: 09 ago. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.50259>.

GARCIA, M. J. Potencialidade e Aplicacao de Turfas. **Revista UNG**, v. 1-Trimes, n. November, p. 16–30, 1996.

GERALDI, S. E.; KOEHLER, A. B.; KAUANO, E. E. Levantamento útossociológico de dois fragmentos da Foresta Ombrófila Mista, em Tijucas do Sul, PR. **Revista Acadêmica de Curitiba**, v.3, n.2, p.27-36, 2005.

GOLOVATI, D. **Mudanças Paleoambientais ocorridas durante o Holoceno nos municípios de Campo Mourão e Cianorte**. 2015, 70 f. Dissertação de Mestrado.

Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-graduação em Geografia. Maringá, PR. Disponível em: <http://sites.uem.br/pge/documentos-para-publicacao/dissertacoes-1/dissertacoes-2015-pdfs/DaianyGolovati.pdf>. Acesso em: 05 abril 2020.

GRIMM, E. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. **Pergamon Journals**, v. 13, p. 13–35, 1987.

HOLDEN, J. Peatland hydrology and carbon release: Why small-scale process matters. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 363, n. 1837, p. 2891–2913, 2005. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2005.1671>. Acesso em: 08 dez. 2020.

HORÁK, I. **Relações pedológicas, isotópicas e palinológicas na reconstrução paleoambiental da turfeira da Área de Proteção Especial (APE) Pau-de-Fruta, Serra do Espinhaço Meridional – MG. 2009, 282 f.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24022010-094021/pt-br.php>. Acesso em: 03 fev. 2019.

HORÁK-TERA, I. **Late Pleistocene-Holocene environmental change in Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais State, Brazil) reconstructed using a multi-proxy characterization of peat cores from mountain tropical mires.** 2014. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-14042014-163954/pt-br.php>. Acesso em: 01 jul. 2021.

HORÁK-TERRA, I.; CORTIZAS, A. M.; CAMARGO, P. B.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Characterization of properties and main processes related to the genesis and evolution of tropical mountain mires from Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brazil. **Geoderma**, v. 232, p. 183-197, 2014.

HORÁK-TERRA, I.; MARTÍNEZ CORTIZAS, A.; DA LUZ, C. F. P.; RIVAS LÓPEZ, P.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Holocene climate change in central-eastern Brazil reconstructed using pollen and geochemical records of Pau de Fruta mire (Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 437, p.117-131, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018215003946>. Acesso em: 10 agosto 2020. DOI:10.1016/j.palaeo.2015.07.027.

HORÁK, I., VIDAL-TORRADO, P., SILVA, A. C., & PESSEDA, L. C. R. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 41-52, Fev, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5KbjGfLJVJnwNkSM6yZk6jn/?lang=en#>. Acesso em: 10 agosto.2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. p. 425

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 07 junho. 2021.

INGRAM, H. A. P. Hydrology. *In*: GORE A. J. P. Ecosystems of the World 4A, mires: swamp, bog, fen and moor. Oxford: **Elsevier**. p. 67 – 158, 1983.

ITCG - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. **Formações fitogeográficas - Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 2009. Disponível em: <[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos\\_DGEO/Mapas\\_ITCG/PDF/Mapa\\_Fitogeografico\\_A3.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf)>. Acesso em: 06 de outubro de 2020.

ITCG- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. **Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR)**. Curitiba: ITCG, 2018. p. 31.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). *In*: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.227-236, 1989.

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

KOZERA, C. **Florística e fitossociologia de uma formação pioneira com influência fluvial e de uma estepe gramíneo-lenhosa em diferentes unidades geopedológicas, município de Balsa Nova, Paraná-Brasil**. 2008. 269 f. Dissertação – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2008. Disponível em: [http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf\\_dr/2008/t246\\_0274-D.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2008/t246_0274-D.pdf). Acesso em: 06 de jul. 2021.

LEDRU, M.-P. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. **Quaternary Research**, v. 39, p. 90 - 98, 1993.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LORENTE, F, L.; PESSENDA, L. C. R.; CALEGARI, M. R.; COHEN, M. C. L. C.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P. C. F.; JUNIOR, A. A. B.; FRANÇA, C. M.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 6, n. 1, p. 26–40, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/36239>. Acesso em: 02 fev.2021.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BERNINI, T.A.; VALLADARES, G.S. Caracterização química e hidrofóbica de Organossolos e solos com horizonte hístico. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.113-122, Mar. 2015. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/407>. Acesso em: 01. Jun. 2021.

LIMPENS, J.; BERENDSE, F.; BLODAU, C.; CANADELL, J.G.; FREEMAN, C., HOLDEN, J.; ROULET, N.; RYDIN, H.; SCHAPEMAN-STRUB, G. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications - a synthesis. **Biogeosciences**, v. 5, p. 1379–1419. 2008. Disponível em: <https://bg.copernicus.org/articles/5/1475/2008/>. Acesso em: 01 jul. 2021.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. DE. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terrae Didactica**, v. 11, n. 1, p. 52, 2015.

LUZ, L. D.; PAROLIN, M.; PESSENDA, L. C. R.; RASBOLD, G. G.; LO, E. Multiproxy analysis (Phytoliths, stable isotopes, and C/N) as indicators of paleoenvironmental changes in a Cerrado site, southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 22, n. 1, p. 15–29, 2019.

LYNN, W. C.; MCKINZIE, W. E.; GROSSMAN, R. B. Field laboratory tests for characterization of Histosols. In: STELLY, M. (Ed.). Histosols: their characteristics, classification, and use. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 11-20, 1974.

MAACK R. Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná. In: MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Curitiba: BADEP, UFPR, p. 450, 1968.

MACHADO, H. A. **COMPOSTARMENTO DO CARBONO EM ÁREA ÚMIDA DO CERRADO (Vereda do Córrego Beija-Flor, Uberlândia-MG)**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG), 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16211/1/ComportamentoCarbonoOrganico.pdf>. Acesso em: 07. jun. 2021.

MADELLA, M.; Phytoliths: a terrestrial botanical dataset for paleoenvironmental reconstructions. **Geophysical Research Abstracts**, 9, 2007.

MADELLA, M.; LANCELOTTI, C.; OSTERRIETH, M. Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary Research. **Quaternary International**, v. 287, p. 1–2, 2013.

MADELLA, M.; POWERS-JONES, A. H.; JONES, M. K. A Simple Method of Extraction of Opal Phytoliths from Sediments Using a Non-Toxic Heavy Liquid. **Journal of Archaeological Science**, v. 25, n. 8, p. 801–803, ago. 1998.

MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. **Revista do Instituto Geológico**, Curitiba, PR, v. 16, n. 1/2, p.59-66, 1995. Disponível em: <http://papegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8838>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MEDEANIC, S.; CORDOZZO, C.; CORRÊA, I.; MIRLEAN, N. Os Fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. **Gravel**, v. 6, n. 2, p. 1–14, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br:8080/jspui/handle/1/1896>>. Acesso em: 03 março 2020.

MCNAMEE, C. **Soil Phytolith Assemblages of the American Southwest : The Use of Historical Ecology in Taphonomic Studies by** - Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies, Department of Archaeology, University of Calgary, Alberta, 2013.

MEYERS, P. A. Preservation of the identification of the source of sedimentary organic matter during and after deposition. **Chemical Geology**, v. 144, n. 3/4, p. 289–302, Jun. 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254194900590>. Acesso em: 10 out. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).

MEYERS, P. A. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, v. 34, n. 2, p. 261–289, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223627341\\_Applications\\_of\\_organic\\_geochemistry\\_to\\_paleolimnological\\_reconstructions\\_A\\_summary\\_of\\_examples\\_from\\_the\\_Laurentian\\_Great\\_Lakes](https://www.researchgate.net/publication/223627341_Applications_of_organic_geochemistry_to_paleolimnological_reconstructions_A_summary_of_examples_from_the_Laurentian_Great_Lakes). Acesso em: 10 out. 2020. DOI: 10.1016 / S0146-6380 (02) 00168-7.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Estado do Paraná**, Curitiba: MINEROPAR, 1989. 1 mapa. Escala 1:650.000.

MINEROPAR. **Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MOORE, D.P. Bog standards in Minnesota. **Nature**, v. 386, p. 655-657, 1997.

MOREIRA, L. F. **Neotectônica e sedimentação da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul**. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado. 111p. 2018. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/56155/R%20-%20T%20-%20LUIS%20FERNANDO%20MOREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOREIRA, L. F.; SALAMUNI, E.; BOLZONO, R. T.; VESELY, F. F. Tijucas do Sul sedimentary basin stratigraphy, **Revista Geociências UNESP**, SãoPaulo, v. 38, n. 2, p. 467-481, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13291>. Acesso em: 28 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i2.13291>.

MORO, R.S.; CARMO, M.R.B. A vegetação campestre nos Campos Gerais. In: MELO, M.S., MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. (Eds.) **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, p. 93-98, 2007.

MUCHA, N. M. Relação solo-relevo entre a Serra do Mar e Planalto do Alto Iguaçu como subsídio para o Mapeamento Digital de Solos. 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2020.

MUNSELL. **Soil Color Charts**. Baltimore: Munsell Color, 1994.

NEUMANN, K. .; STRÖMBERG, C. A. E. .; BALL, T. ALBERT, R.M. International Code for Phytolith Nomenclature ( ICPN ) 2. 0. *Annals of Botany*, v. 124, n. 2, p. 189–199, 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/124/2/189/5537002>. Acesso em: 18 Agos. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>.

O'LEARY, M. H. Carbon isotopes in photosynthesis. **Bioscience**, Washington, v.38, p.328-336, 1988.

OKUBO, A. E.; LEVIN, A. S. A Theoretical Framework for Data Analysis on Wind Dispersal of Seeds and Pollen. **Ecology**, v. 70, p. 329-338, 1989.

Disponível em:

<https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1299441>. Acesso em: 09 jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1937537>.

PAISANI, J. C.; CALEGARI, M. C.; PONTELLI, M. E.; PESSENDA, L.C.R.; CÔRREA, A.C.DE. B.; PAISANI, S.D.N.; RAITZ, E. O PAPEL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO QUATERNÁRIO SUPERIOR NA DINÂMICA EVOLUTIVA DE PALEOVALE DE SEGUNDA ORDEM (SUL DO BRASIL). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 103–116, 2013.

PAROLIN, M.; RASBOLD G.G.; PESSENDA L.C.R. Paleoenvironmental conditions of Campos Gerais, Paraná, since the Late Pleistocene, based on phytoliths and C and N isotopes. *In*: Coe H.H.G., Osterrieth M. (eds) *Synthesis of some phytoliths studies in South America (Brazil and Argentina)*. **Nova Science Publishers**, New York, p. 149-170, 2014.

PAULA, E.; MARÉS MIKOSIK, A.P. CONTRIBUIÇÕES AO PROCESSO DE DELIMITAÇÃO DE ÁREAS ÚMIDAS E ENTORNO PROTETIVO. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 23, p. 280 - 285, 20 jan. 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1709> Acesso em: 10 março. 2021.

PEREIRA, W. M. A. **Sistemas pedológicos e reconstituição paleoambiental em depressões nos Tabuleiros Costeiros do Extremo Sul da Bahia**. 2019. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09082019-174937/pt-br.php> . Acesso em: 02. fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-09082019-174937>.

PEREIRA, M. G., CUNHA, L. H.; VALLADARES, G. S. Organossolos: Ocorrência, Gênese, Classificação, Alterações pelo Uso e Manejo. **Tópicos Ciências do Solo**, v. 4, n. 1, p. 233–276, 2005.

PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes (C-13, C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. **Radiocarbon**, v. 38, n. 2, p. 191-201, 1996.

PESSENDA, L. C. R. C. R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; VALÊNCIA, E.P.E. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 35–43, 2004.

PESSENDA, L.C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A. de.; RIBEIRO, A. de S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M.P.; SIEFEDDINE, A. F.; YBERT, R.S. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos Paleoambientais. *In*: SOUZA, C. R. de. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; OLIVEIRA, P.E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto SP: Holos Editora, p. 75-83, 2005.

PESSENDA L.C.; DE OLIVEIRA P.; MOFATTO, M.; DE MEDEIROS, V.; GARCIA, R.; ARAVENA, R.; BENDASSOLI, J.; LEITE A.; SAAD, A.; ETCHEBEHERE, M.L. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v. 71, n. 3, p. 437-452, 2009.

PETERSON, B.J.; HOWARD, R.W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries os Sapelo Island, Georgia. **Limnology and oceanography**, Grafton, v.32, n.6, p. 1195-1213, 1987.

PIPERNO, D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. **Journaul World Prehist.**, v. 5, n. 2, p. 155-191, 1991.

PIPERNO, D. R. **A phytolith analysis**: an archaeological and geological perspective, London, Academic Press, 280 p. 1988.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths**: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Oxford, Alta Mira Press, p. 238, 2006.

PIPERNO, D. R.; BECKER, P. Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils. **Quaternary Research**, v. 45, n. 2, p. 202-209, 1996.

PRICE, J. S. Soil moisture, water tension, and water table relationships in a managed cutover bog. **Journal of Hydrology**, v. 202, p. 21–32, 1997. Disponível em: < <http://cat.inist.fr/> >. Acesso em: 20 março 2020.

RASBOLD, G. G.; MONTEIRO, M. R.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M. G.; PESSENDA, L. C. R. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia - Serie Botanica**, v. 66, n. 2, p. 265–270, 2011.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, turvo, estado do paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 2, p. 315–324, 2016.

RASBOLD, G. G.; STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M.; PAROLIN, M.; LELI, I.T.; LUZ, L.D.; BRITO, H.D. Phytoliths indicate environmental changes correlated with facies analysis in a paleo island-lake, Upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, p. 102513, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102513>>.

RASHID, I.; MIR, S.H.; ZURRO, D.; DAR, R. A.; ZAFAR, A. R. Phytoliths as Proxies of the Past. **Earth-Science Reviews**, v. 194, p. 234–50, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825219301084>. Acesso em: 07 março 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2019.05.005>.

RAMÍREZ, A.I.A.; RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J.C. Phytoliths and seeds in fluvial island. Paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 89, p. 30-38, 2019.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, p. 179-207, 1983.

R Core Team. R; **Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2014. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

RICCI, V. D. **Área de preservação permanente de cursos d'água e várzeas: ante os interesses de ambientalistas e empresários rurais**. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina (PR), 2013. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1338/1/LD\\_COEAM\\_2012\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1338/1/LD_COEAM_2012_2_10.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

ROGOBETE, Gh.; GROZAV, A. Soil genesis and problematic soils. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, p. 252-258, 2013.

RÜHLAND, K.; SMOL, J. P.; JASINSKI, J. P. P.; WARNER, B. G. Response of Diatoms and Other Siliceous Indicators to the Developmental History of a Peatland in the Tiksi Forest, Siberia, Russia. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 32, n. 2, p. 167–178, 2000.

SALAMUNI, E.; EBERT, H.D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curi-tiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 469-478, 2004.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. História ecológica da Terra. 2. ed. São Paulo: **Edgard Blucher LTDA**, 1994.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.7, n. 2, p.3-12, 2006. Disponível: <http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/mapeamento.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2020. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.D. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J.F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA –

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.2018.

SILVA, M. L. Turfeiras Da Serra Do Espinhaço Meridional: Mapeamento E Estoque De Matéria Orgânica. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/484>. Acesso em: 08 out. 2020.

SILVA M.L.; SILVA, A.C.; SILVA, B.P.C.; BARRAL, U. M.; SOARES, P.G. S.; VIDAL-TORRADO, P. Surface mapping, organic matter and water stocks in peatlands of the Serra do Espinhaço Meridional - Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, n. 5, p. 1149-1157, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rkNKh9PdMLH8DNPZHrM9v6f/?lang=en#>. Acesso em: 09 ou. 2020. DOI:10.1590/S0100-06832013000500004.

SILVA, D. W.; FILHO, M. C.; PAROLIN, M.; BERTOTTI, L. G. Paleoenvironmental analysis from the main phytoliths morphotypes found in peat sediment in Guarapuava region-Paraná. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 13–32, 2016.

SILVA, A. C.; HORÁK, I.; CORTIZAS, A. M.; TORRADO-VIDAL, P.; RACEDO, J.R.; GRAZZIOTI, P. H.; SILVA, E. de. B.; FERREIRA, A.C. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG: I - caracterização e classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1385–1398, 2009.

SILVA, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. ABREU-JUNIOR, J.S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade Federal de Alfenas**, v. 5, p. 21-26,1999. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237658386\\_METODOS\\_DE\\_QUANTIFICACAO\\_DA\\_MATERIA\\_ORGANICA\\_DO\\_SOLO](https://www.researchgate.net/publication/237658386_METODOS_DE_QUANTIFICACAO_DA_MATERIA_ORGANICA_DO_SOLO). Acesso em: 08 jun. 2020.

SILVA NETO, E. C. da. **Fitólitos como registros paleoambientais em solos de ambientes altomontanos no Estado do Espírito Santo**. 2018. 89 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

SILVA NETO, E. C. DA; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, M. DE. A.; CALEGARI, M. R.; SCHIAVO, J. A.; SÁ, N. DE. P.; ANJOS, L. H. C. DOS; PESSENDA, L. C. R. Paleoenviromental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825219301084> Acesso em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102301>

SILVA NETO, E. C. DA; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. DOS; *et al.* Phytoliths as paleopedological records of an histosol-cambisol-ferralsol sequence in Southeastern Brazil. **Catena**, v. 193, n. April, p. 104642, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104642>>.

SIMÕES, V. J. L. P.; LEITE, M. L. DE M. V.; IZIDRO, J. L. P. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N.; TEIXEIRA, V. I. Assimilação de carbono em plantas forrageiras. **Revista**

**Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 125–134, 2019.

SOARES, P. F. C. **Organossolos: Morfologia, Atributos Físicos, Químicos e Abundância Natural de Isótopos de Carbono e Nitrogênio**, 2015. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/1447>. Acesso em: 04 março 2020.

SOARES, P. F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA M. G.; PESSEDA L.C. R. Histosols in an Upper Montane Environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/MKBfnYybmw4kTwKJZqxLdVx/abstract/?lang=en#>. Acesso em: 04 março 2020.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. Twelfth Edition, 2014. US. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Washington DC., USA. Disponível em:

SOMMER, M.; KACZOREK, D.; KUZYAKOV, Y.; BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, v. 169, p. 310–329, 2006.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, n. 2, p. 109-117, 1977.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais: (passado+ presente=futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L. Methods of soil analysis Part 3. Chemical methods. **Soil Science society of America Journal**, Madison, p.1011-1069, 1996.

TALBOT, M.R.; JOHANNESSEN, T. A high resolution palaeoclimatic record for the last 27,500 years in tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. **Earth and Planet Science Letters**, v. 110, p. 23–37. 1992. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223383893\\_A\\_high\\_resolution\\_palaeoclimatic\\_record\\_for\\_the\\_last\\_27500\\_years\\_in\\_tropical\\_West\\_Africa\\_from\\_the\\_carbon\\_and\\_nitrogen\\_isotopic\\_composition\\_of\\_lacustrine\\_organic\\_matter](https://www.researchgate.net/publication/223383893_A_high_resolution_palaeoclimatic_record_for_the_last_27500_years_in_tropical_West_Africa_from_the_carbon_and_nitrogen_isotopic_composition_of_lacustrine_organic_matter) Acesso em: 08 abril 2019. DOI: 10.1016 / 0012-821X (92) 90036-U

TWISS, P. C. Grass opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. In: Johnson W.C. (Ed), **Quaternary Environments of Kansas. Kansas Geological Survey Guidebook**, v. 5, p. 179-188, 1987.

TWISS, C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: G. Rapp, J.; Mulholland, S. C. (Ed.). Phytolith Systematics. **Plenum Press**: New York, 1992.

VALLADARES, G.S. **Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação**. 2003. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2003.

VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J.C.C.B.S. DE.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H.D. DOS, A.; EBELING, A.G.; BENITES, V. DE. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, jan/fev. 2008. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/657462>. Acesso em: 09 março. 2020.

WILDING, L. P.; SMECK, N.E.; DREES, L. R. Silica in solos - quartzo, cristobalita, tridimita e opala; Minerals in Soil Environments, JB Dixon e SB Weed, eds: **Soil Science Society of America**, p. 471-552, 1977.

XU, J.; MORRIS, P. J.; LIU, J.; HOLDEN, J.; PEATMAP. Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. **Catena**, v. 160, n. September 2017, p. 134–140, 2018.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DA TURFEIRA  
COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR, DE ACORDO COM O SOIL  
TAXONOMY (ST), WORLD BASE REFERENCE (WRB) E SISTEMA  
BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO (SIBCS)

	ST (2014)	WRB (2015)	SiBCS (2018)
Nomenclatura (significado)	Histosol (tecido)	Histosol (tecido)	Organossolo (tecido)
Características gerais:	É uma regra geral que um solo é classificado como um solo orgânico (Histossol ou Histel) se mais da metade dos 80 cm superiores (32 pol.) do solo é orgânico ou se material de solo orgânico de qualquer espessura repousa sobre rocha ou material fragmentado com interstícios preenchidos com materiais orgânicos.	1. Inicia-se com a espessura de $\geq 10$ cm e diretamente sobreposta: a) camada de gelo, ou; b) rocha contínua ou técnica material duro, ou c) fragmentos grosseiros, os interstícios dos quais são preenchidos com material orgânico; ou 2. Começando $\leq 40$ cm da superfície do solo e ter dentro de $\leq 100$ cm do solo superfície uma espessura combinada de: a. $\geq 60$ cm, se $\geq 75\%$ (em volume) do material consiste em fibras de musgo; ou b. $\geq 40$ cm em outros materiais.	Organossolos são solos constituídos por material orgânico e satisfazem os seguintes critérios: a) 60 cm ou mais de espessura se 75% (expresso em volume) ou mais do material orgânico consiste em tecido vegetal na forma de restos de ramos finos, raízes finas, cascas de árvores, etc., excluindo as partes vivas; ou b) Saturação com água no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, com horizonte O hístico apresentando as seguintes espessuras: 1) 20 cm ou mais, quando sobrejacente a um contato lítico ou lítico fragmentário ou a um horizonte e/ou camada constituído por 90% ou mais (em volume) de material mineral com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões); ou 2) 40 cm ou mais quando sobrejacente a horizontes A, B e/ou C; ou

			c) Saturação com água durante a maior parte do ano, na maioria dos anos, a menos que artificialmente drenados, apresentando horizonte H hístico com espessura de 40 cm ou mais, quer se estendendo em seção única a partir da superfície do solo, quer tomados cumulativamente dentro dos 80 cm a partir da superfície.
Cor (Pirofosfato)	Material fíbrico: 10YR 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 ou 8/3, exceto 10YR 5/1, 6/2 e 7/3 Material sáprico: demais cores	Material fíbrico, hêmico e sáprico: cores entre 10YR 3/3 e 10YR 2/1	Material fíbrico: 10YR 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 ou 8/3; Material sáprico: demais cores
Tipos de materiais orgânicos:	Fíbrico: apresenta $\frac{3}{4}$ ou mais de FE ou $\frac{2}{5}$ ou mais de FE, excetuando amostras com cores 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 ou 8/3; Hêmico: material parcialmente fíbrico e sáprico; Sáprico: $>1/6$ de FE, exceto para as cores 5/1, 6/2 e 7/3.	Fíbrico: presença de $\geq 2/3$ de FE; Hêmico: presença entre $>2/3$ e $\leq 1/6$ FE; Sáprico: presença de $> 1/6$ de FE	Fíbrico: 40% ou mais de FE; Hêmico: conteúdo de FE entre 40 e 17%; Sáprico: conteúdo de FE inferior a 17%;
Teor de C orgânico (g Kg <sup>-1</sup> ou %)	$C \geq 80$ g Kg <sup>-1</sup> (8% de C orgânico)	$C \geq 20\%$ (200 g Kg <sup>-1</sup> de C orgânico)	$C \geq 20\%$ (200 g Kg <sup>-1</sup> de C orgânico)
Teor de material mineral (g Kg <sup>-1</sup> ou %)	$C < 80$ g Kg <sup>-1</sup> (8% de C orgânico)	$C < 20\%$ (200 g Kg <sup>-1</sup> de C orgânico)	$C < 20\%$ (200 g Kg <sup>-1</sup> de C orgânico)
Horizonte diagnóstico	Horizonte ou camada "O"	Horizonte ou camada O: não ficam saturados de água por períodos prolongados. A fração mineral desse material é apenas uma pequena porcentagem do volume do material e geralmente é muito menos da metade do peso. Horizonte ou camada H: são saturados de água por períodos prolongados ou antes	Horizonte "O hístico" – saturado por água por menos de 30 dias; Horizonte "H hístico" saturado por água por 30 dias ou mais;

		estavam saturados, mas agora são drenados artificialmente.	
Sufixos	Associado ao horizonte principal O, os sufixos utilizados são: “i” para material pouco decomposto, com $\geq 40\%$ de FE; “e” para material de decomposição intermediária, com $< 17\%$ e $> 40\%$ de FE; “a” para material altamente decomposto com $< 17\%$ de FE	Associados aos horizontes H ou O, podem ser utilizados os sufixos: “i” “e” e “a” para materiais levemente, moderadamente e altamente decomposto, respectivamente	* Associado ao horizonte H, o sufixo “o” refere-se ao material orgânico mal ou não decomposto; sufixos “do” e “od” que se referem a materiais orgânicos de decomposição intermediária com predominância de “d” e “o”, respectivamente
Classificação:	Terric Haplosaprists	Dystric Rheic Sapric Histosol	Organossolo Háplico Sáprico típico
Código e /ou Simbologia:	BDDE	HS_sa.rh.dy	OXs

(\*) – Informação obtida a partir do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015)  
 FONTE: O autor (2021)

APÊNDICE B - DETERMINAÇÃO DAS CORES DO SOLO, TESTE DO GRAU DE DECOMPOSIÇÃO DE VON POST E OBTENÇÃO DO TEOR DE FIBRA DA TURFEIRA COLETADA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR



Fonte; autora, 2021



APÊNDICE D - DISTRIBUIÇÃO DOS HORIZONTES, GRAU DE DECOMPOSIÇÃO, PH, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL -PR																	
Amostras	Profundidade da amostragem (cm)	Profundidade do horizonte (cm)	Horizonte	Escala de decomposição de von Post	pH em CaCl <sub>2</sub>	COT	NT	C/N	δ C13	δ N15	Zonas e subzonas fitofíticas	Média de COT por zona fitofítica	Média de NT por zona fitofítica	Média de C/N por zona fitofítica	Média de δC13 por zona	Média de δN15 por zona	
(IBGE, 2015; SANTOS et al., 2018)																	
(EMBRAPA, 2018)																	
						(g kg <sup>-1</sup> )			‰			(g kg <sup>-1</sup> )			‰		
1	0-14	0-28	Hod	H5	3,9	356,8	16,4	22	-22	6	Zona V + Moderna	356,8	16	22	-22	6	
2	14-28			H5	3,8	359,7	16	23	-21	5							
3	28-42	28-42	Hd1	H10	3,7	251,6	11,9	21	-22	6							
4	42-56	42-56	Hd2	H10	3,7	205,8	9,5	22	-23	6	Zona IV	123	5	26	-22	6	
5	56-70	56-83	Hd3	H10	3,8	121,7	5,2	23	-24	7							
6	70-83			H10	3,8	103,3	3,7	28	-22	6							
7	83-97	83-97	C	Não se aplica	3,8	76,6	2,8	27	-21	6							
8	97-111	97-111	2Hd1	H10	3,8	108,1	3,8	28	-21	6							
9	111-125	111-125	2Hd2	H10	3,8	82,5	2,5	33	-21	6							
10	125-139			Não se aplica	3,8	75,8	2,4	32	-21	6	Zona III	66,22	2	31	-21	6	
11	139-153			Não se aplica	3,8	48,3	1,6	31	-22	6							
12	153-167			Não se aplica	3,4	16,4	0,6	29	-22	5							
13	167-181			Não se aplica	3,4	21,9	0,8	28	-21	5							
14	181-195	125-236	2C	Não se aplica	3,4	15,8	0,6	28	-21	5							
15	195-209			Não se aplica	3,2	10,7	0,4	27	-20	6							
16	209-222			Não se aplica	3,2	11,5	0,4	28	-19	5							
17	222-236			Não se aplica	3,3	18,6	0,7	28	-21	5							
												16	1	28	-20	5	
												SUBZONA II B					







**ANEXOS:**

ANEXO 1 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS: FNE, FE, pH, Cor, DS, DMO, RM, Ug, MM, MO e von Post DA TURFEIRA COLETADA EM TIJUCAS DO SUL-PR

**Matriz de correlação:**

	FNE	FE	pH	Cor	DS	DMO	RM	Ug	MM	MO
<b>FE</b>	0,98*									
<b>pH</b>	0,02	0,01								
<b>cor</b>	-0,07	-0,07	0,60*							
<b>DS</b>	-0,40	-0,44*	-0,71*	-0,39						
<b>DMO</b>	-0,26	-0,31	0,49*	0,38	0,01*					
<b>RM</b>	-0,47*	-0,49*	-0,68*	-0,4	0,97*	-0,05				
<b>Ug</b>	0,40	0,44*	0,70*	0,37	-0,97*	0,01	-0,95*			
<b>MM</b>	-0,45*	-0,47*	-0,72*	-0,39	0,92*	-0,20	0,97*	-0,92*		
<b>MO</b>	0,45*	0,47*	0,72*	0,39	-0,92*	0,20	-0,97*	0,92*	-1*	
<b>von Post</b>	0,25	0,28	0,72*	0,51*	-0,76*	0,31	-0,76*	0,72*	-0,74*	0,74*

(\*) = significativos a p valor <0,05