

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**

**JÉSSICA MAIARA VICELI**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS HIDROMÓRFICOS  
ORIGINADOS DE BASALTO NO SUDOESTE DO PARANÁ**

**DISSERTAÇÃO**

**DOIS VIZINHOS**

**2020**

**JÉSSICA MAIARA VICELI**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS HIDROMÓRFICOS  
ORIGINADOS DE BASALTO NO SUDOESTE DO PARANÁ**

**Chemical and microbiological attributes of hydromorphic soils originating from  
basalt in Southwest Paraná**

Trabalho de Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientadora: Prof. Dra. Elisandra Pocojeski  
Co-orientador: Prof. Dra. Dinéia Tessaro  
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Casali

**DOIS VIZINHOS  
2020**



Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.

V632a

Viceli, Jéssica Maiara

Atributos químicos e microbiológicos de solos hidromórficos originados de basalto no Sudoeste do Paraná. / Jéssica Maiara Viceli - Dois Vizinhos: [s.n], 2020  
64 f. :il.

Orientador: Dr<sup>a</sup> Elisandra Pocojeski

Coorientador: Dr<sup>a</sup> Dineia Tessaro

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Casali

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Dois Vizinhos, 2020.

Bibliografia p. 52 – 64

1. Solos - Umidade. 2. Biologia do solo. 3. Basalto. 4. Microorganismos do solo. I. Pocojeski, Elisandra, orient. II. Tessaro, Dinéia, coorient. III. Casali, Carlos Alberto, coorient. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. V. Título.

CDD: 630



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Dois Vizinhos  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **Título da Dissertação nº 47**

**Atributos químicos e microbiológicos de solos hidromórficos originados de basalto no Sudoeste do Paraná**

**Jéssica Maiara Viceli**

Dissertação apresentada às treze horas e trinta minutos do dia doze de março de dois mil e vinte, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Banca examinadora:

---

**Dr. Davi Zacarias de Souza**  
UTFPR-FB

---

**Dra. Carolina Galvão**  
UEPG

---

**Dra. Dineia Tessaro**  
Presidente Banca

---

**Reservado à Coordenação**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

## DEDICATÓRIA

Dedico a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por ouvir minhas preces e me conduzir.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, pela oportunidade de realizar mais uma etapa de aprendizado nessa universidade.

A minha família, que foram de total importância nesse processo, me deram força, coragem e incentivo. Vocês não fazem ideia do quão importante foram durante todas as etapas do mestrado e continuam sendo na minha vida.

A professora Elisandra, responsável pela orientação deste trabalho, pelos ensinamentos, sugestões e pelo incentivo para não desistir.

Ao professor Casali, pela coorientação em todas em todas as etapas do mestrado, a partir da definição do projeto, nas coletas de solos, nas análises laboratoriais, na elaboração da dissertação e na finalização de mais uma etapa, por toda a ajuda e empenho.

A minha coorientadora Dinéia, pela ajuda sempre que precisei durante todo o processo do mestrado, desde a definição do projeto, das coletas a campo e questões referentes a dissertação.

Aos todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo, em especial a “Turminha de Solos” orientados pelo professor Casali, especialmente a Isabella, Amanda, Graciele, André e Bruna por toda a ajuda durante a execução e elaboração do trabalho, sem vocês eu não conseguiria, aos meus amigos de carona Claudinei e Iara, e a Flavia e a Jéssica que muitas vezes me deram um cantinho de suas casas para eu dormir, muito obrigada a todos!

A todos os Professores do Mestrado em Agroecossistemas pela troca de experiências durante as aulas ministradas, aos colegas da turma e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## EPÍGRAFE

E disse Davi a Salomão seu filho: Esforça-te e tem bom ânimo, e faze a obra; não temas, nem te apavores; porque o Senhor Deus, meu Deus, há de ser contigo; não te deixará, nem te desampará, até que acabes toda a obra do serviço da casa do Senhor.

(1 Crônicas 28:20)

## RESUMO

VICELI, Jéssica Maiara. Atributos químicos e microbiológicos de solos hidromórficos originados de basalto no Sudoeste do Paraná. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020.

Os solos hidromórficos situam-se em locais com lençol freático superficial e possuem funções de regulação de fluxo de água, recarga de aquíferos, corredores naturais de espécies nativas e flora com espécies típicas, portanto de fundamental importância a proteção e conservação desses solos. Porém, a falta de estudos das interações ecológicas, particularmente a dinâmica de atributos edáficos, dificultam esse processo. O objetivo do trabalho foi avaliar atributos químicos e microbiológicos de solos hidromórficos em áreas de preservação permanente (APP) originadas no basalto no Sudoeste do Paraná. O trabalho foi realizado em 2018 e 2019 em três áreas de solos hidromórficos com diferentes níveis de saturação de água e em uma área controle (bem drenada) no município de Dois Vizinhos-PR. Amostrou-se o solo (0-10 cm) em 08 pontos por área e nas quatro estações do ano para a verificação da influência da umidade e temperatura em parâmetros químicos e microbiológicos do solo. No solo com alta saturação por água (AS), os parâmetros microbiológicos respirometria,  $C_{mic}$  e  $qCO_2$  foram maiores em todas as épocas avaliadas, principalmente no verão, período mais chuvoso que aumentou a saturação com água. Isso indica condições desfavoráveis aos microrganismos do solo, o que explica também o maior teor de MOS. Já nos solos com média (MS) e baixa saturação (BS) por água, em todas as épocas avaliadas o  $qMIC$  foi maior, indicando maior imobilização do carbono orgânico no solo. Elas também apresentaram maior oscilação dos atributos microbiológicos entre as coletas, em função da variação da condição de saturação de água do meio. Por outro lado, o solo bem drenado (BD) apresentou os menores valores dos atributos microbiológicos, além de pouco oscilarem no decorrer do ano. Já os parâmetros químicos do solo não oscilaram entre as épocas do ano para todas as áreas avaliadas. O solo com AS apresentou maior acidez e teor de  $Al^{3+}$ , enquanto os solos com MS e BS apresentaram maior teor de P, Mg e Ca, indicando maior disponibilidade de nutrientes, em função da flutuação do lençol freático que acarreta ciclos de umedecimento e secagem. O solo BD apresentou menor acidez, influenciado pelo menor teor de MOS. Conclui-se que os solos hidromórficos possuem atributos químicos e microbiológicos distintos dos observados em solos bem drenados no Sudoeste do PR. No decorrer do ano, em função da variação de pluviosidade e temperatura, os atributos microbiológicos dos solos hidromórficos e bem drenados oscilam enquanto os atributos químicos permanecem estáveis.

**Palavras-chave:** Saturação de água. Atividade microbiana. Condições climáticas.

## ABSTRACT



VICELI, Jéssica Maiara. Chemical and microbiological attributes of hydromorphic soils originating from basalt in Southwest Paraná. 2020. Dissertation (Master in Agroecosystems) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020.

Hydromorphic soils are located in places with surface water table and have functions to regulate water flow, recharge aquifers, natural corridors of native species and flora with typical species, therefore the protection and conservation of these soils is of fundamental importance. However, the lack of studies on ecological interactions, particularly the dynamics of edaphic attributes, hinder this process. The objective of the work was to evaluate chemical and microbiological attributes of hydromorphic soils in areas of permanent preservation (APP) originated in basalt in the Southwest of Paraná. The work was carried out in 2018 and 2019 in three areas of hydromorphic soils with different levels of water saturation and in a control area (well drained) in the municipality of Dois Vizinhos – PR. The soil was sampled (0-10 cm) in 08 points per area and in the four seasons of the year to verify the influence of humidity and temperature on chemical and microbiological parameters of the soil. In the soil with high water saturation (AS), the microbiological parameters respirometry,  $C_{mic}$  and  $qCO_2$  were higher in all evaluated seasons, mainly in the summer, the rainiest period that increased the saturation with water. This indicates unfavorable conditions for soil microorganisms, which also explains the higher MOS content. In the soils with medium (DM) and low saturation (BS) by water, in all periods evaluated, the  $qMIC$  was higher, indicating greater immobilization of organic carbon in the soil. They also showed greater oscillation of the microbiological attributes between the collections, due to the variation in the water saturation condition of the medium. On the other hand, the well-drained soil (BD) showed the lowest values of microbiological attributes, in addition to little oscillation throughout the year. The chemical parameters of the soil did not fluctuate between the seasons of the year for all evaluated areas. Soil with AS showed greater acidity and  $Al^{3+}$  content, while soils with MS and BS showed a higher content of P, Mg and Ca, indicating greater availability of nutrients, due to the fluctuation of the water table, which causes wetting and drying cycles. The BD soil showed less acidity, influenced by the lower MOS content. It is concluded that the hydromorphic soils have chemical and microbiological attributes different from those observed in well-drained soils in the Southwest of PR. Throughout the year, due to the variation in rainfall and temperature, the microbiological attributes of well-drained hydromorphic soils fluctuate while the chemical attributes remain stable.

**Keywords:** Water saturation. Microbial activity. Climate conditions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Precipitação total mensal nos meses de coleta de amostragem de solo para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos, na cidade de Dois Vizinhos/PR..... | 27 |
| Figura 2 - Temperatura média mensal nos meses de coleta de amostragem de solo para avaliação dos atributos químicos microbiológicos, na cidade de Dois Vizinhos/PR.....    | 28 |
| Figura 3 - Distribuição das quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....  | 29 |
| Figura 4 - Distribuição dos pontos de coleta nas áreas amostradas de solo para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos na Linha Mazurana/DV.....                | 30 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Dendograma com a análise de dissimilaridade dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV relacionadas com a época de amostragem e com as médias das análises químicas e microbiológicas..... | 46 |
| Gráfico 2 - Análise multivariada das áreas de amostragens dos solos na Linha Mazurana/DV e as épocas de coleta, relacionando-as com as médias dos atributos químicos e microbiológicos dos solos.....  | 47 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Temperatura e precipitação média mensal na época de amostragem nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 28 |
| Tabela 2 - Granulometria dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....  | 34 |
| Tabela 3 - Umidade média dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....  | 35 |
| Tabela 4 - Médias de matéria orgânica do solo (MOS), pH-água, pH-SMP, fósforo (P) potássio (K), alumínio (Al <sup>3+</sup> ), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo nas áreas de preservação permanente na Linha Mazurana/DV..... | 37 |
| Tabela 5 - Médias da análise de respirometria dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 39 |
| Tabela 6 - Médias do carbono microbiano dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 40 |
| Tabela 7 - Médias do nitrogênio microbiano dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....  | 41 |
| Tabela 8 - Médias do quociente microbiano dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 42 |
| Tabela 9 - Médias do quociente metabólico dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 43 |
| Tabela 10 - Médias da contagem dos esporos de fungos micorrízicos dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.....   | 44 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Al <sup>3+</sup>                              | Íon alumínio                          |
| APP   | Área de preservação permanente        |
| AS  | Alta saturação de água                |
| BD  | Bem drenado                           |
| BS  | Baixa saturação de água               |
| °C  | Graus Celsius                         |
| Ca  | Cálcio                                |
| Cfa   | Subtropical úmido                     |
| CH <sub>4</sub>                               | Metano                                |
| CO <sub>2</sub>                               | Dióxido de carbono                    |
| DIC   | Delineamento inteiramente casualizado |
| FeSO <sub>4</sub>                             | Sulfato ferroso                       |
| FMA   | Fungos micorrízicos arbusculares      |
| g   | Gramas                                |
| H <sub>2</sub>                                | Gás hidrogênio                        |
| HCl   | Ácido clorídrico                      |
| H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>                | Ácido orto-fosfórico                  |
| K   | Potássio                              |
| K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | Dicromato de potássio                 |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                | Sulfato de potássio                   |
| MOS   | Matéria orgânica do solo              |
| MS  | Média saturação de água               |
| mS  | Metros sul                            |
| Mg  | Magnésio                              |
| NaOH  | Hidróxido de sódio                    |
| mE  | Metros leste                          |
| NH <sub>3</sub>                               | Amônia                                |
| O <sub>2</sub>                                | Gás oxigênio                          |
| P   | Fósforo                               |
| pH  | Potencial hidrogênico                 |
| qCO <sub>2</sub>                              | Quociente metabólico                  |
| qMIC  | Quociente microbiano                  |
| RL  | Reserva legal                         |
| UTM   | Universal Transversa de Mercator      |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 16 |
| <b>2 OBJETIVO GERAL</b> .....  | 18 |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 18 |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | 19 |
| 3.1 VARIABILIDADE DE SOLOS E SEU USO E OCUPAÇÃO .....                                | 19 |
| 3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS .....                                 | 20 |
| 3.3 SOLOS HIDROMÓRFICOS E SUAS FRAGILIDADES .....                                    | 22 |
| 3.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO COMO INDICADORES DE QUALIDADE ..... | 24 |
| <b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 26 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....   | 26 |
| 4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SOLO .....   | 30 |
| 4.3 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO .....   | 31 |
| 4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO .....  | 31 |
| 4.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO .....   | 31 |
| 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....  | 33 |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....   | 34 |
| 5.1 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO .....  | 35 |
| 5.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO .....   | 38 |
| 5.2.1 Respirometria .....  | 38 |
| 5.2.2 Carbono e Nitrogênio Microbiano .....  | 40 |
| 5.2.3 Quociente Microbiano e Metabólico .....  | 41 |
| 5.2.4 Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares .....                              | 44 |
| 5.3 ANÁLISE GERAL .....  | 45 |
| <b>6 CONCLUSÃO</b> .....   | 49 |
| <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....  | 50 |
| <b>8 REFERÊNCIAS</b> .....   | 52 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos hidromórficos permanecem saturados por água em períodos constantes ou intermitentes, pelo fato de estarem situados em locais com lençol freático superficial. Essas áreas são consideradas de preservação permanente pela Lei Federal nº 12.651/2012, pois possuem funções de regulação de fluxo de água na paisagem local, recarga de aquíferos, corredores naturais de espécies nativas e flora com espécies típicas do local (NASCIMENTO; BERBERT; RIBEIRO, 2015), portanto de fundamental importância à proteção e conservação desses solos.

Como esses solos estão em contato direto com o lençol freático, a implementação de manejos inadequados pode afetar a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, podendo ainda causar a erosão hídrica, alteração da profundidade do solo, redução da disponibilidade de nutrientes e da quantidade e qualidade da matéria orgânica (RAMALHO et al., 2019).

No Paraná os solos hidromórficos predominam no Segundo Planalto, o qual apresenta uma paisagem suavemente ondulada com planícies de várzea (BOGNOLA et al., 2002), encontrando-se em margens dos rios, lagos ou depressões naturais, favorecendo as condições de má drenagem do solo. Neste Estado Brasileiro, os solos hidromórficos estão sendo explorados e ameaçados devido a expansão da agropecuária, com a supressão da vegetação e com a drenagem e aterramento das áreas úmidas, tornando necessário, em frente as suas funções, preservá-los e manejá-los adequadamente, a partir do conhecimento dos seus atributos químicos, físicos e biológicos (RIGATTO; STÜLP, 2006).

Dentre os atributos químicos do solo, destaca-se os relacionados a disponibilidade de nutrientes, a qual interfere nas taxas de crescimento, na vitalidade fisiológica e diversidade de espécies vegetais (ROSA et al., 2018), sendo que essa informação pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo, principalmente em áreas agrícolas, a qual influencia na produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, em solos hidromórficos os atributos químicos podem ser influenciados pelo excesso de água, que limita a disponibilidade do oxigênio, o que dificulta a decomposição da serrapilheira pelos microrganismos (MAFRA et al., 2007), elevando os teores de matéria orgânica do solo (MOS). Nessas condições, a água também

promove maior liberação de  $H^+$ , o que diminui o pH do solo (SANTOS et al., 2013) e promove a solubilização de  $Al^{3+}$  (LIN et al., 2018).

Ao mesmo tempo, os indicadores biológicos de qualidade do solo têm recebido maior atenção, pois são capazes de estimar o impacto que o solo sofre por processos naturais ou antrópicos (MOURA; FRANZENER, 2017). O monitoramento desses parâmetros é essencial para a avaliação da qualidade dos solos hidromórficos, devido a sua rápida capacidade de resposta às mudanças de manejo e intempéries sofridas por esses solos. Neste contexto, a atividade biológica do solo alterna conforme suas condições anaeróbicas e aeróbicas, relacionando-se aos solos bem drenados e aos solos hidromórficos (BUCZKO et al., 2017).

Os microrganismos agem principalmente na decomposição e mineralização da serrapilheira, gerando o estoque de minerais para as plantas. Além disso, as enzimas microbianas presentes no solo, podem catalisar muitas reações que facilitam a decomposição orgânica e a formação de nutrientes orgânicos (FU et al., 2018), evidenciando que os microrganismos desempenham papel fundamental na melhoria da fertilidade, com a disponibilização de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes ao solo (RASHID et al., 2016).

A preservação e recuperação dos solos hidromórficos é necessária devido à grande presença desse tipo de solo no Brasil, porém a falta de estudos das interações ecológicas, particularmente a dinâmica de atributos edáficos, dificultam esse processo. Geralmente preserva-se o que se conhece, portanto é necessário o estudo de atributos químicos e biológicos de solos hidromórficos por serem sensíveis as alterações na qualidade do solo, podendo fornecer subsídios para a implantação de sistemas racionais de manejo e contribuir na manutenção de ecossistemas sustentáveis (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011).



## 2 OBJETIVO GERAL

Avaliar atributos químicos e microbiológicos de solos hidromórficos em áreas de preservação permanente (APP) originadas no basalto no Sudoeste do Paraná.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar atributos químicos (pH-água, pH-SMP, MOS, P, K,  $Al^{3+}$ , Ca e Mg) em solos hidromórficos no Sudoeste do PR;

Avaliar atributos microbiológicos (respirometria,  $C_{mic}$ ,  $N_{mic}$ , esporos de FMA,  $qMIC$  e  $qCO_2$ ) em solos hidromórficos no Sudoeste do PR;

Avaliar a influência da sazonalidade sobre a atividade microbiana e os atributos químicos de solos hidromórficos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 VARIABILIDADE DE SOLOS E SEU USO E OCUPAÇÃO

O solo é um dos compartimentos mais importantes da geosfera, pois é ele que sustenta a vida e de onde provém a maior parte de nossos alimentos (SENA; POPPI, 2000). Deste modo, se faz necessário o conhecimento das propriedades e características do solo de cada local (GONÇALVES et al. 2018).

A formação do solo é por meio da interação de fatores geomorfológicos e pedológicos (GUERRA; JORGE, 2012), onde ocorre o intemperismo da rocha mãe, a partir da ação do clima e organismos, orientados pelo relevo, durante um período de tempo. De acordo com a composição da rocha, o solo tem diferentes arranjos, formando perfis ou horizontes de variadas espessuras e composições (BECKER; BURIOL; STRECK, 2017).

Além disso, o solo é considerado um sistema vivo, devido a presença de microrganismos e da fauna edáfica, formando um ambiente dinâmico, diversificado e em constante transformação (ANDRIGHETTI, 2014). A relação de equilíbrio nos solos é ocasionada principalmente pelos serviços ambientais prestados pelos organismos vivos (RAMOS et al., 2018). Os microrganismos auxiliam na caracterização da diversidade local dos solos em relação aos demais fatores, como a biota, a ciclagem de nutrientes e a retenção de umidade no solo (TURETTA; CASTRO; POLIDORO, 2017).

A ocupação ambiental desordenada, devido ao acelerado crescimento populacional, provocou entre tantos outros problemas, o uso descontrolado do solo (NASCIMENTO; FERNANDES, 2017), como a expansão da agricultura em áreas inapropriadas para o cultivo (PRATES, 2017). O grande desafio é que as atividades de exploração dos recursos naturais se tornem sustentáveis, pois está cada vez mais evidente a degradação dos solos pelas atividades antrópicas (PEDROTTI et al., 2015), e a sociedade está percebendo a necessidade de preservar e conservar esse recurso natural (ALVES et al., 2015).

Para a garantia da qualidade de vida das pessoas, é imprescindível a que haja uma boa gestão dos recursos naturais, e a partir do planejamento e análise dos processos de formação e evolução dos solos, estabelecer seu uso e manejo correto (SANTOS; RUFINO; FILHO, 2017) e assim, a proteção e preservação de suas

características (ESPINOSA; SANABRIA, 2015). O uso do solo está relacionado diretamente com as atividades antrópicas, que afetam principalmente a qualidade da água, fomentado muitas vezes por desinformação, condições socioeconômicas deficitárias ou por desinteresse social (MOREIRA et al., 2015).

O Brasil possui solos diversificados em toda a sua extensão territorial, sendo os Latossolos, Argissolos e Neossolos os mais frequentes, ocupando aproximadamente 70% do território nacional (SANTOS et al., 2018). No Estado do Paraná tem a predominância dos Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos, Espodossolos, Gleissolos e Organossolos (SILVA et al., 2013). No Segundo Planalto Paranaense, o qual apresenta uma paisagem suavemente ondulada com planícies de várzea, predominam os solos hidromórficos (BOGNOLA et al., 2002), enquanto no Terceiro Planalto Paranaense predominam os solos formados de rochas basálticas e o relevo com alta declividade (SANTOS et al., 2007).

Na região Sudoeste do Paraná, situada no Terceiro Planalto Paranaense, a ocupação territorial derivou de extensivas supressões de vegetação nativa (FARIA; PERTILLE; MIRANDA, 2019), impactando principalmente o solo. Nessa Região, os solos predominantes são os Latossolos, Nitossolos e Neossolos (SANTOS et al., 2018), mas a grande participação de Neossolos associados ao relevo de moderada a alta declividade, apresentando grande vulnerabilidade a erosão, aumenta assim a recomendação por práticas conservacionistas (JUNIOR; DALLA; VILLA, 2015). Portanto, é necessário uma orientação de práticas de manejo do solo e difundir a importância da proteção e conservação dos solos (FERREIRA; STONE; MARTIN-DIDONET, 2017) no processo de ocupação e uso dos mesmos.

### 3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS E DEGRADAÇÃO DOS SOLOS

A legislação ambiental do Brasil é uma das mais rigorosas do mundo, porém, com a diminuição de profissionais na área, ocasionado pela falta de contratação do poder público, a fiscalização na área ambiental está cada vez mais precária (AMARAL; SANTOS, 2018). A Lei Federal nº 12.651/2012 (Código Florestal), que altera a Lei Federal nº 4.771/1965 do antigo Código Florestal, dispõe sobre proteção das áreas de preservação nativa no Brasil, como as áreas de preservação permanente (APP) e as reservas legais (RL). O Código Florestal vigente propõe uma série de mudanças e

inclui novos sistemas de controle da vegetação nativa, como exemplo o cadastro ambiental rural (CAR) (FARIA; PERTILLE; MIRANDA, 2019).

As APP's segundo o artigo 3º inciso II da Lei Federal nº 12.651/2012, são compostas na grande maioria, por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, para a mitigação dos impactos ambientais causadas nesses locais por ações antrópicas, principalmente em áreas entorno de nascentes e de cursos hídricos (AMARAL; SANTOS, 2018).

Na prevenção de possíveis impactos, o planejamento do uso e ocupação do solo é fundamental, realizando o diagnóstico ambiental do local, através das análises das suas características físicas, biológicas e socioeconômicas, compreendendo a relação entre o homem e a natureza (RAMALHO et al., 2019). O estudo do diagnóstico ambiental auxilia na mitigação de impactos ambientais que possam vir a ocorrer, como a supressão da vegetação, abertura de estradas, construção de barragens e processos erosivos (RAMALHO et al., 2019).

O manejo inadequado dos solos pode provocar degradações em suas propriedades, podendo ser temporárias ou permanentes, como exemplo a degradação da qualidade estrutural do solo para o aumento da erosão hídrica (BERTOL et al., 2001), além disso, o manejo incorreto do solo pode afetar a disponibilidade de nutrientes, alterar a profundidade do solo e a quantidade e qualidade da matéria orgânica (LISBOA; BAYER; PASSAGLIA, 2015), dificultando a realização de suas funções, como a armazenagem da água (ALVES et al., 2015).

As áreas de banhados são frequentemente drenadas (BELEM; RODRIGUES, 2017) ou aterradas para a expansão da agropecuária como para plantação e pastagem, e na implantação de empreendimentos imobiliários como loteamentos ou de indústrias (MAURICIO; VENZKE, 2016), podendo ainda, provocar a compactação do solo, principalmente com o pisoteio dos animais e máquinas agrícolas, aumentando o escoamento superficial e a diminuição da infiltração da água, dificultando o reabastecimento do lençol freático (PEDRUZZI; MASCARENHAS, 2018).

Com a dificuldade de infiltração da água da chuva no solo pode ocorrer a erosão, ocasionado principalmente pela compactação do solo e a pela falta de cobertura vegetal do mesmo (BLOISE et al., 2001), causando o aumento do impacto

da chuva no solo, favorecendo sua desagregação e a construção de caminhos preferenciais da água, provocando a erosão laminar (FARIA; SILVA; GOES, 2003).

O movimento de massa de solo denominado também como deslizamento, escorregamento ou ruptura de talude, ocorre principalmente em terrenos montanhosos e íngremes, ocasionado pela erosão (DOMINATI et al., 2014), resultando no impacto dos meios físico e biótico, podendo até existir vítimas (MARTINI; UBERTI; SCHEIBE, 2006).

Devido aos impactos sofridos pelo solo, em muitas áreas torna-se necessário a sua recuperação por métodos conservacionistas, por exemplo, através de sistemas agroflorestais que são o conjunto de espécies arbóreas com culturas agrícolas (MARCONI; ARMENGOT, 2019), em que uma boa cobertura vegetal melhora a regeneração natural da vegetação e a promove melhor proteção ao solo (BÁEZ-PÉREZ et al., 2015).

A implantação do sistema do terraceamento também é uma prática conservacionista, formado pela construção de estruturas transversais (murundus) ao declive do terreno, promovendo melhor infiltração das águas da chuva e precavendo a erosão do solo (GALDINO; TOSTO; QUARTAROLI, 2019), e ainda a inclusão da vegetação ajuda a área a se tornar mais estável e equilibrada (FERREIRA et al., 2018), devendo ser acompanhada a sua recuperação, para caso necessário a inclusão de melhorias na área em que ocorreu o dano ambiental (SILVA, 2016).

Portanto, devido ao aumento da degradação ambiental do solo, é essencial a conscientização e sensibilização das pessoas para a conservação e recuperação desse recurso natural (NUNES; AZEVEDO; SILVA, 2016), analisando cada solo de forma única para ser recuperado, através da implantação de práticas conservacionistas, auxilia o solo a se recuperar e a melhorar suas características e propriedades químicas, físicas e biológicas, promovendo a minimização dos impactos ambientais (BARROS et al., 2015).

### 3.3 SOLOS HIDROMÓRFICOS E SUAS FRAGILIDADES

As áreas de várzeas ou de planícies de inundação encontram-se nas margens dos rios, lagos ou depressões naturais (IVANAUSKAS; RODRIGUES; NAVE, 1997), são formadas principalmente por Organossolos, Gleissolos, Neossolos quartzarênicos e Plintossolos (SANTOS et al., 2018). De acordo com a Lei Federal nº 12.651 de 25

de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, as várzeas são consideradas áreas de proteção ambiental, por sua localização ser próxima ao lençol freático, favorecendo as condições de má drenagem do solo (SANTOS et al., 2018).

Segundo Fajardo, Souza e Alfaia (2009) as várzeas possuem duas denominações, as várzeas baixas, que contém matas em estágio inicial com maior diversidade em espécies pioneiras e são encontradas próximas das margens dos rios, e as várzeas altas aonde se concentram as matas que estão em estágio avançado e que se localizam nas cotas mais elevadas. Nos solos de várzeas estão presentes uma grande diversidade de espécies em relação a superfície do relevo, evidenciando a necessidade da prevenção e de adequação de uso e manejo desses solos (SANTOS et al., 2014).

Nas várzeas são encontrados os solos hidromórficos que se entende por solos encharcados/úmidos (MENEZES et al., 2001), com formação relacionada a elevados níveis de saturação hídrica até 50 cm de profundidade (CURCIO et al., 2005). Segundo os estudos de Fraxe, Pereira e Witkoski (2007), os solos hidromórficos são os mais férteis em comparação com os demais solos e estão vinculados as inundações sazonais do local.

Esse tipo de solo está intimamente relacionado ao ciclo das águas, sofrendo com ações de remoção, transporte e deposição dos solos que são transportados das cotas mais altas para as baixas (FAJARDO; SOUZA; ALFAIA, 2009), são considerados férteis pelo processo de movimento de massas do solo (MAGALHÃES; GOMES, 2013) e pela presença de cobertura vegetal que promove maior matéria orgânica ao solo (HANADA; FELICIANO; MARANGON, 2014).

Nos solos úmidos ocorre o processo de decomposição em duas fases, primeiro a lixiviação que libera compostos pra o metabolismo microbiano, e segundo, o catabolismo que aumenta o valor nutricional do ambiente devido à ciclagem dos nutrientes (WINCKLER; GÜTHS; GAYER, 2017). Quando um solo é encharcado, os microrganismos tendem a mudar sua forma de degradar a matéria orgânica em condições anaeróbias, utilizando outros compostos como nitrogênio, enxofre, ferro e manganês como aceptores finais de elétrons (HONG et al., 2016), favorecendo a disponibilidade de nutrientes no solo (GOMES; SILVA; COSTA, 2006).

De acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) (2002), no Paraná os solos hidromórficos estão ligados à paisagem, na característica pedológica e na dinâmica fluvial de cada local, predominando no Segundo Planalto devido a

presença de solos rasos (BAGNOLA et al., 2002). A Resolução Conjunta IBAMA/SEMA/IAP n° 005/2008 apresenta avanços nas delimitações dos solos hidromórficos destinados a preservação ambiental, considerando que essas áreas estão sendo exploradas e ameaçadas, devido a expansão da agropecuária (SEMA, 2002), com criação da pecuária de corte extensiva e pela agricultura que busca aumentar os índices de produtividade (RIGATTO; STÜLP, 2006).

Para Nascimento, Berbert e Ribeiro (2015) os solos hidromórficos apresentam importantes funções ambientais, como regulação de fluxo de água na paisagem local, recarga de aquíferos, corredores naturais de fauna de espécies nativas e flora com espécies típicas do local. Portanto, a proteção e recuperação dos solos hidromórficos é fundamental pela presença desse tipo de solo no Brasil, no entanto há falta de estudos das interações ecológicas, fertilidade e qualidade do solo, dificultando esse processo (BARDDAL et al., 2004).

Portanto, é necessário o estudo de atributos químicos e biológicos de solos hidromórficos por serem sensíveis às alterações na qualidade do solo, podendo fornecer subsídios para a implantação de sistemas racionais de manejo e contribuir na manutenção de ecossistemas sustentáveis (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011).

### 3.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO COMO INDICADORES DE QUALIDADE

Para a avaliação da qualidade dos solos são utilizados os indicadores ambientais, que são expressos pelas propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos (NOVAK et al., 2017). As propriedades químicas do solo também sofrem influências das modificações de uso e ocupação do solo, que alteram a dinâmica dos nutrientes (ROSA et al., 2018), como o de matéria orgânica, da salinidade, do nitrogênio, do fósforo e do potássio, podendo causar alteração no pH do solo (SCHMITZ; SOUZA; KAMPF, 2002).

Em solos hidromórficos, a alteração do pH ocorre devido as reações químicas que ocorrem nesses solos, com a maior liberação de  $H^+$  causando a diminuição do pH (SANTOS et al., 2013). A matéria orgânica é afetada por condições hidromórficas, influenciando na disponibilidade do oxigênio e conseqüentemente dificultando a decomposição da serrapilheira pelos microrganismos (MAFRA et al., 2007).

As propriedades biológicas estão recebendo mais atenção devido a participação da biota e sua biodiversidade na funcionalidade e sustentabilidade do solo (RAMOS et al., 2018). As propriedades biológicas do solo estão relacionadas à biomassa microbiana, que no processo de degradação da matéria orgânica ocorre a liberação de nutrientes no solo, promovidas principalmente pela ação dos microrganismos, que auxilia na preservação e produtividade dos sistemas florestais e agrícolas (NEVES et al., 2009).

A microbiota do solo é formada principalmente por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas e pela microfauna (EMBRAPA, 2001), que estão presentes no solo de forma ativa e numerosa (JUNIOR; FELÍCIO; ANDRÉA, 2012), e por serem sensíveis a alterações ambientais, ajudam na compreensão dos processos que ocorrem nesse ecossistema (KIZILDAG et al., 2019).

Os microrganismos participam de funções vitais no solo, como nos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio e do fósforo, no crescimento das plantas e são considerados a base da rede dos nutrientes no solo (KIZILDAG et al., 2019). A atividade microbiana é avaliada, principalmente, pela respiração dos microrganismos, pelo quociente metabólico e quociente microbiano (TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2007).

A utilização de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo está ganhando mais atenção, pois seus parâmetros são capazes de estimar o impacto que o solo está tolerando, por processos naturais ou antrópicas (MOURA; FRANZENER, 2017), pois a atividade dos microrganismos são bons indicadores de mudanças que ocorrem no solo, principalmente no manejo inadequado do solo (BALOTA et al., 1998).

Segundo Balota et al. (1998) os microrganismos ajudam na decomposição da matéria orgânica, participando da ciclagem dos nutrientes, sendo esses devolvidos ao solo e absorvidos pelas plantas. A matéria orgânica provém principalmente da serrapilheira, que é formada pela maior parte por resíduos de animais e vegetais (EMBRAPA, 2001), e além de ser fonte de nutrientes, auxilia na manutenção das funções do solo, como na retenção de umidade, na eliminação ou minimização da erosão e promove benefícios nos atributos físicos do solo (HOLANDA; FELICIANO; MARANGON, 2015).

A decomposição da matéria orgânica envolve uma grande quantidade de microrganismos, o que a torna um processo complexo (OLIVEIRA; BORROZZINO et



al., 2018). A degradação dos resíduos orgânicos acontece do mais fácil para o mais difícil, que de acordo com as suas propriedades os microrganismos necessitam de outros fatores para a degradação dos resíduos orgânicos, como o clima, tipo de solo, da vegetação e da fauna existentes no ambiente (TAUK, 1990).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

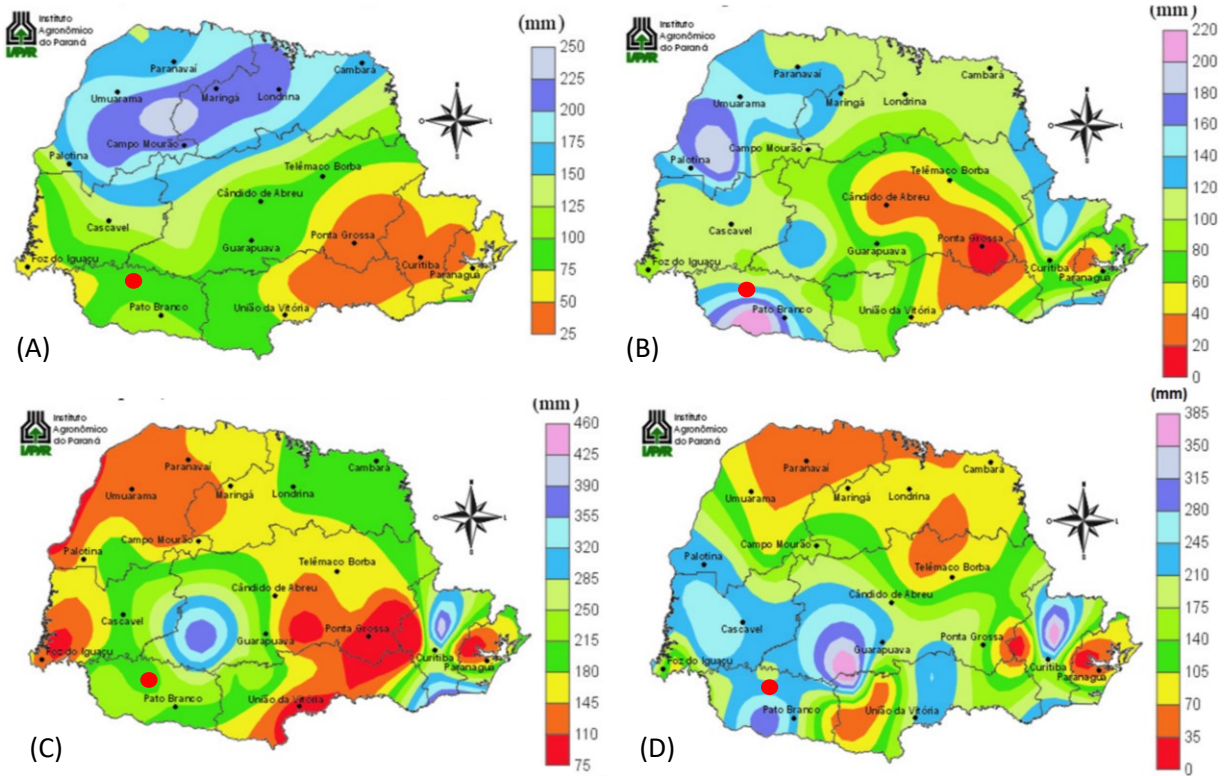
### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

As coletas foram realizadas na Linha Mazurana, na zona rural do Município de Dois Vizinhos – PR. O município está localizado na região Sudoeste do Estado do Paraná, Sul do Brasil, abrangendo uma área de 418 km<sup>2</sup>, altitude média de 509 m acima do nível do mar, com coordenadas centrais de UTM 293214 mE e 7150774 mS. Quanto ao relevo, insere-se no domínio do terceiro planalto paranaense, estando a 500 m acima do nível do mar (PIGOSSO et al., 2009). De acordo com a Santos et al. (2018) os solos predominantes na região Sudoeste do Paraná são os Latossolos, Nitossolos e Neossolos.

Conforme a classificação de Köppen o clima é caracterizado como do tipo Cfa subtropical úmido mesotérmico com verão quente e sem estação seca definida. Apresenta variações de temperatura, com estação mais quente acima de 22 °C e inferior a 18 °C no mês mais frio. Geadas não são frequentes, ventos com direção predominantes sul-sudeste e norte-nordeste em períodos de precipitações. A umidade relativa do ar varia em média de 64 a 74 % e precipitação pluviométrica entre 1.800 a 2.200 mm bem distribuída ao longo do ano.

Nos mapas de precipitação (Figura 1) e de temperatura (Figura 2), são apresentadas informações referentes às condições climáticas nos meses de realização das coletas de solos na cidade de Dois Vizinhos no Estado do Paraná. As coletas de solo ocorreram em agosto de 2018 (inverno), em novembro de 2018, (primavera), fevereiro de 2019 (verão) e maio de 2019 (outono).

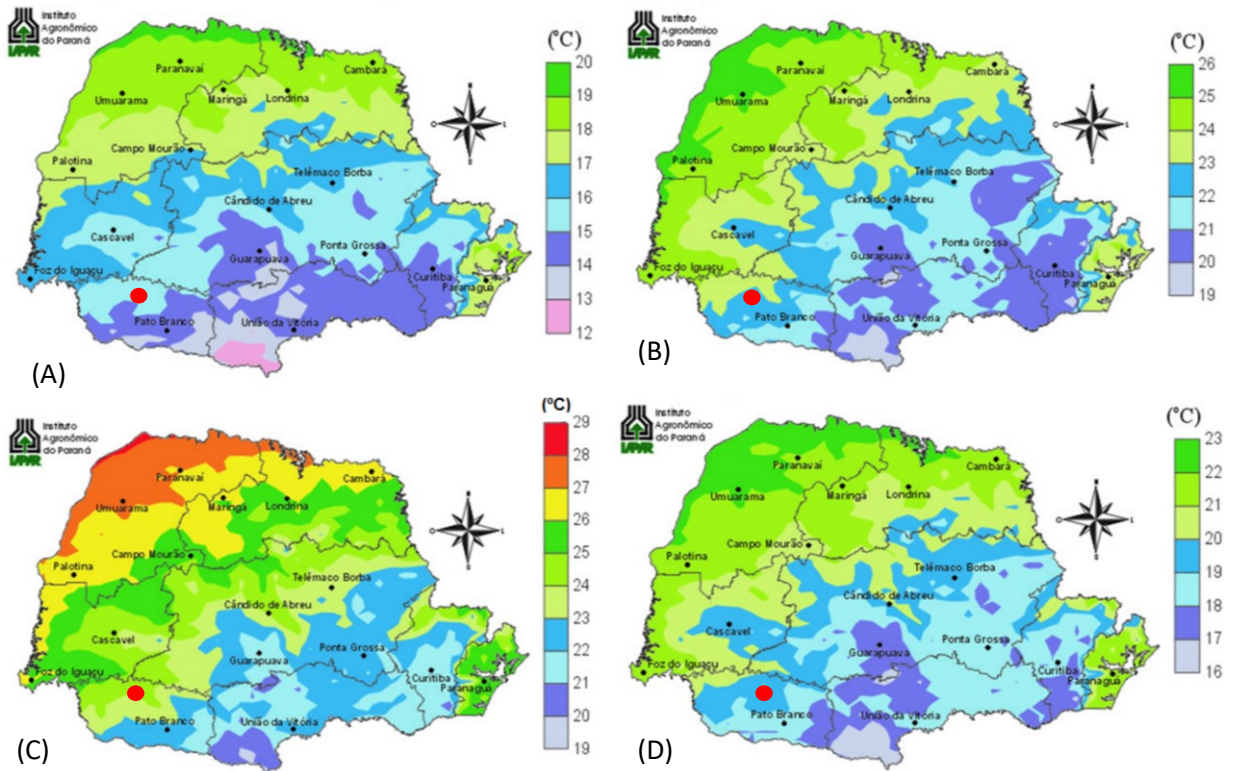
Figura 1 - Precipitação total mensal nos meses de coleta de amostragem de solo para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos, na cidade de Dois Vizinhos/PR.



Legenda: (A) Agosto de 2018; (B) Novembro de 2018; (C) Fevereiro de 2019; (D) Maio de 2019; Ponto em vermelho: localização da cidade de Dois Vizinhos - PR.

Fonte: IAPAR.

Figura 2 - Temperatura média mensal nos meses de coleta de amostragem de solo para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos, na cidade de Dois Vizinhos/PR.



Legenda: (A) Agosto de 2018; (B) Novembro de 2018; (C) Fevereiro de 2019; (D) Maio de 2019; Ponto em vermelho: localização da cidade de Dois Vizinhos - PR.

Fonte: IAPAR.

Na Tabela 1 são apresentadas as médias mensais de temperatura e precipitação, conforme os mapas de cada mês em que foi realizada a coleta.

Tabela 1 – Temperatura e precipitação média mensal na época de amostragem nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de amostragem | Condições Climáticas |                   |
|---------------------|----------------------|-------------------|
|                     | Temperatura (°C)     | Precipitação (mm) |
| Agosto (2018)       | 15 - 16              | 75 - 100          |
| Novembro (2018)     | 22 - 23              | 120 - 140         |
| Fevereiro (2019)    | 23 - 24              | 180 - 215         |
| Maio (2019)         | 19 - 20              | 210 - 245         |

Fonte: IAPAR.

A escolha das áreas de coleta já haviam sido pré definidas em outros estudos. Na figura 3 é apresentado a distribuição das áreas de coleta na Linha Mazurana, as quais foram caracterizadas como alta, média e baixa saturação de água e área controle. A área com o solo com alta saturação de água (AS) é caracterizada por manter-se encharcada o ano todo, mesmo em períodos de seca, possuindo as

coordenadas em UTM 22J 285985 mE e 7151108 mS (Figura 4 (A)). A área com baixa saturação de água (BS) permanece alagada em épocas de chuva, e em épocas de seca o solo retém menos água, possui as coordenadas em UTM 22J 289187 mE e 7150573 mS (Figura 4 (B)).

Figura 3 – Distribuição das quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.



Fonte: Google Earth Pro, 2019.

Figura 4 - Distribuição dos pontos de coleta nas áreas amostradas de solo para avaliação dos atributos químicos e microbiológicos na Linha Mazurana/DV.



Legenda: (A) Área com alta saturação de água; (B) Área com baixa saturação de água; (C) Área com média saturação de água; (D) Área controle (bem drenada).

Fonte: Google Earth Pro, 2019.

A área com média saturação de água (MS), o solo é considerado intermediário em comparação as áreas anteriores, possuindo as coordenadas em UTM 22J 287682 mE e 7148435 mS (Figura 4 (C)). A área controle é caracterizada por ser uma área bem drenada (BD), para nível de comparação, possuindo as coordenadas em UTM 22J 287771 mE e 7148395 mS. (Figura 4 (D)).

## 4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas em cada uma das quatro áreas nas estações do ano. Em cada área foi definido um transecto linear, a partir do qual foram coletadas 08 amostras de solo com a utilização da pá de corte, espaçadas em 10 m entre si na profundidade de 0-10 cm.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificados e transportadas para o laboratório. As análises dos solos coletados foram realizadas no Laboratório de Solos e no Laboratório de Geologia e Pedologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos - PR.

Para as avaliações químicas o solo foi seco em estufa de circulação de ar a 65 °C por 24h e moídas. Para as avaliações microbianas, o solo foi peneirado em malha 2,0 mm e mantido refrigerado em temperatura aproximada de 4 °C por aproximadamente 10 dias.

#### 4.3 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

Para a análise de granulometria utilizou-se a metodologia da proveta segundo Embrapa (1997).

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico conforme Embrapa (1997), em que foi pesado 50 g de solo (peso da amostra úmida) e colocado para secar em estufa de circulação de ar até as amostras obterem o peso constante (peso da amostra seca).

#### 4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Conforme metodologia de Tedesco et al. (1995), foram realizadas as determinações de pH-água, pH-SMP, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio ( $Al^{3+}$ ) trocáveis extraídos com KCl e fósforo (P) e potássio (K) disponíveis extraído por mehlich. O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi estimado a partir de digestão sulfocrômica segundo Embrapa (1997).

#### 4.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

Considerando a umidade das amostras, realizou-se o ajuste da umidade através da adição de água naquelas que apresentaram teor de água inferior a 35 %, por ser a taxa aproximada de um solo em condições normais e para ativar os microrganismos (PEREIRA et al., 2015).

Para a análise de respirometria, utilizou-se a metodologia de Anderson (1982), em que 40 g de solo foram pesados e acondicionados individualmente em frascos de vidros tipo conserva de 600 mL, acompanhados de 10 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 M, os quais foram fechados hermeticamente. A cada 04 (quatro) dias as amostras foram abertas para que não houvesse a saturação do NaOH e possível perda de captura do dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Foi adicionado o indicador

fenolftaleína e tituladas com ácido clorídrico (HCl) 0,5 M, após incubadas novamente, até totalizar 16 dias.

A análise de carbono microbiano ( $C_{mic}$ ) e nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ ) foi realizada pelo método de fumigação e extração segundo Silva et al. (2007A) e Silva et al. (2007B), respectivamente. Para isso foi pesado em duplicata, 20 g de solo em frascos snap-cap, para amostras fumigadas e não fumigadas, com a adição 01 mL de clorofórmio nas amostras fumigadas, todas as amostras foram fechadas e armazenadas por 24h. Após, foi adicionado 50 mL de solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) 0,5 mol.L<sup>-1</sup> e colocadas em agitação horizontal por 30 minutos a 2500 rpm, e em seguida as amostras permaneceram em repouso por 1 hora para a decantação com posterior filtragem do sobrenadante.

Para a análise do  $C_{mic}$  foi adicionada 08 mL da alíquota formada no processo de fumigação-extração e colocadas em tubos de digestão com 02 mL de solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,066 mol.L<sup>-1</sup>, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) e 05 mL de ácido orto-fosfórico concentrado ( $H_3PO_3$ ). Após foram colocados os tubos no bloco digestor a 105 °C por 30 minutos. As amostras foram transferidas para erlenmeyers e em seguida adicionado indicador difenilamina com posterior titulação com sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) 0,033 mol.L<sup>-1</sup>.

Para a análise do  $N_{mic}$  foi adicionado 10 mL da alíquota formada no processo de fumigação-extração, para um tubo de digestão com 02 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ), após as amostras foram levadas ao bloco digestor a 350 °C. Em seguida foi destilado em destilador Kjeldahl com 15 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 10 mol.L<sup>-1</sup> e 05 mL de indicador ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e posterior titulação com ácido clorídrico (HCl) 0,05 mol.L<sup>-1</sup>.

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) foi expressado pela relação carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico (Fórmula 1) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado através da relação da respiração basal do solo pelo teor de carbono da biomassa microbiana (Fórmula 2) (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

$$qMIC = \frac{C_{mic}}{C_{org}} \quad (1)$$

Em que o  $qMIC$  é o quociente microbiano (%), o  $C_{mic}$  é o carbono microbiano (mgC.kg<sup>-1</sup>) e o  $C_{org}$  o carbono orgânico (mgC.kg<sup>-1</sup>).

$$qCO_2 = \frac{RBS}{Cmic} \quad (2)$$

Em que o  $qCO_2$  é o quociente metabólico ( $mgC-CO_2.g^{-1}Cmic$ ), a RBS é a respirometria ( $mgC-CO_2.kg^{-1}$ ) e  $Cmic$  é o carbono microbiano ( $mgC.kg^{-1}$ ).

Os esporos dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) foram extraídos por meio de peneiramento úmido, segundo a metodologia de Gerdemann e Nicolson (1963). Foi medido 50 mL de solo e transferidos para um becker com 2000 mL de água. A solução foi agitada e deixada em repouso por 3 minutos, e em seguida apenas o sobrenadante foi despejado em uma peneira com mash de 53  $\mu m$ . O resíduo retido na peneira foi transferido para um tubo de centrifuga com solução de sacarose e centrifugados por 5 minutos a 2000 rpm. Após a agitação, apenas as partículas suspensas foram passadas nas peneiras de mash de 53  $\mu m$ , 106  $\mu m$  e 250  $\mu m$  respectivamente e transferidos para copinhos de armazenagem identificados, para contagem com o estereoscópio binocular.

#### 4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise dos dados obtidos usou-se do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com dois ou quatro fatores e quatro variáveis respostas com oito repetições. Utilizou-se do software R Studio, através do qual fez-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Para atingir normalidade e variâncias homogêneas, foi usada a transformação dos dados por Box e Cox (1964).

Para a análise multivariada foi utilizado o software XLSTAT, realizando a análise de agrupamento (hierárquica) e distância Euclidiana (coeficiente de dissimilaridade). O dendograma foi montado a partir dos pares de objetos mais similares.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras de solos coletadas apresentaram maiores teores de silte e argila (Tabela 2). De acordo com Carvalho et al. (2016) maior teor de silte é um indicativo de solos hidromórficos, e o teor de argila, segundo discutido por Cadorin, Mello e Montemezzo (2019), é uma das características dos solos do Sudoeste do Paraná, que são geralmente argilosos ou muito argilosos. A granulometria está relacionada com estrutura do solo, a capacidade de retenção de água, a drenagem e o sistema radicular das plantas (ROVEDA et al., 2018).

Tabela 2 – Granulometria dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                                  |                                  |                        |
|---------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                    | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | -----%-----  |                                  |                                  |                        |
| <b>Areia</b>        | 1,73   | 0,26                             | 0,57                             | 1,52                   |
| <b>Silte</b>        | 71,90  | 53,10                            | 57,90                            | 41,80                  |
| <b>Argila</b>       | 26,30  | 46,60                            | 41,50                            | 56,70                  |

Fonte: Autoria própria (2019)

A área com solo de alta saturação de água apresentou entre 77,4 a 81,7 % de umidade durante todo o ano, enquanto a área com baixa saturação foi de 34,1 a 39,9 %, a área de solo com média saturação de água, apresentou valores de umidade intermediária, entre 66,9 a 46,4 %. Já a área controle (bem drenado) apresentou em uma faixa de 23,5 a 26,7 %, ou seja, a menor média de umidade de solo entre as áreas amostradas (Tabela 3).

Tabela 3 – Umidade média dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época da amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                         |                         |                        |
|---------------------|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|                     | Alta saturação de água                             | Média saturação de água | Baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | ----- % -----                                      |                         |                         |                        |
| <b>Inverno</b>      | 81,7 a   | 66,9 b                  | 39,9 c                  | 23,5 d                 |
| <b>Primavera</b>    | 80,9 a   | 63,5 b                  | 38,4 c                  | 26,0 d                 |
| <b>Verão</b>        | 77,4 a   | 46,4 b                  | 34,1 c                  | 26,3 d                 |
| <b>Outono</b>       | 79,6 a   | 51,1 b                  | 38,9 c                  | 26,7 d                 |
| <b>CV</b>           |  |                         |                         | 20,05%                 |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2019)

Tais resultados confirmam a classificação inicial das áreas de amostragem dos solos, apresentando maior umidade na área com maior saturação de água até o solo bem drenado, possuindo a menor umidade. Segundo Rodrigues et al. (2017) a umidade do solo é relacionada com os processos hidrológicos e climáticos, ou seja, demonstrando influência das épocas de amostragem, e de acordo com Wei et al. (2020) as diferentes umidades do solo podem se tornar fatores dominantes nas atividades que ocorrem nesses ambientes, e influenciam nas propriedades do solo, como nos seus nutrientes (DENG et al., 2016).

## 5.1 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Para os atributos químicos do solo (pH-água, pH-SMP, MOS, P, K, Al<sup>3+</sup>, Ca e Mg) não houve diferença significativa entre as épocas de amostragem (inverno e verão) para todas as áreas amostradas. Isso indica que os atributos químicos dos solos hidromórficos tendem a permanecer constante no decorrer do ano mesmo com a flutuação do lençol freático e a consequente mudança da condição de sua umidade, ocasionada pelas diferentes precipitações em cada época de amostragem, sendo que no inverno ocorreu precipitação média de 75-100 mm e no verão com precipitação média de 180-215 mm (Tabela 1).

A MOS foi maior no solo na área AS tanto na coleta do inverno como a do verão (Tabela 4), possivelmente devido ao excesso de água no solo. De acordo com Buczko et al. (2017) em solos bem drenados a decomposição da MOS é relativamente

mais rápida em relação aos solos alagados, pois em condições de anaerobiose a atividade microbiana é prejudicada, retardando a decomposição da matéria orgânica, favorecendo a liberação de elementos como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{CH}_4$  (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

No inverno, os solos das áreas MS e BD apresentaram maior pH- $\text{H}_2\text{O}$ , com valores de 4,6 e 4,9 respectivamente, e no verão os solos das áreas BS e BD apresentaram maior pH- $\text{H}_2\text{O}$ , com 4,8 e 5,0 respectivamente, em comparação as demais áreas. Portanto, em solos com maior teor de umidade o pH- $\text{H}_2\text{O}$  foi menor comparado ao solo seco, provavelmente influenciados pelo maior teor de MOS, que é rica em ácidos orgânicos e fenóis, favorecendo a liberação de prótons de  $\text{H}^+$ , tendendo a acidificar os solos (RODRIGUES et al., 2017).

Nas coletas no inverno e verão o pH-SMP no solo das áreas MS e BD foi maior, com 6,3 e 6,5, respectivamente, corroborando com Silva et al. (2006) que constatou que em solo com baixo teor de umidade o pH-SMP foi de 6,5, e que quanto menor o pH-SMP maior é o poder tampão do solo (MENEGETTI, 2018), isto é, o solo tem maior dificuldade em mudar seu pH original.

As áreas de solos hidromórficos (AS, BS e MS) apresentaram maior teor de  $\text{Al}^{3+}$  comparado a área de solo BD, em ambas as épocas de amostragem. Segundo Lin et al. (2018) em solos em condições ácidas ( $\text{pH} < 4,5$ ) o  $\text{Al}^{3+}$  torna-se mais disponível. Portanto, o pH foi menor nos solos hidromórficos (Tabela 4), podendo ter influenciado na disponibilidade do  $\text{Al}^{3+}$  nos solos das áreas AS, BS e MS.

Tabela 4 - Médias de matéria orgânica do solo (MOS), pH-água, pH-SMP, fósforo (P) potássio (K), alumínio ( $Al^{3+}$ ), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo nas áreas de preservação permanente na Linha Mazurana/DV.

| Análises   | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |        |         |         |         |        |          |          | CV (%) |
|--|--|--------|---------|---------|---------|--------|----------|----------|--------|
|  | Inverno  |        |         |         | Verão   |        |          |          |        |
|  | AS   | MS     | BS      | BD      | AS      | MS     | BS       | BD       |        |
| <b>MOS (%)</b>   | 14,7 a   | 7,6 b  | 6,8 b   | 5,1 b   | 15,2 a  | 8,8 b  | 4,7 b    | 6,6 b    | 37,2   |
| <b>pH-água</b>   | 4,5 b  | 4,6 ab | 4,4 b   | 4,9 a   | 3,9 c   | 4,2 b  | 4,8 a    | 5,0 a    | 5,9    |
| <b>pH-SMP</b>  | 5,4 b  | 6,3 a  | 5,4 b   | 6,5 a   | 5,5 b   | 6,3 a  | 5,9 b    | 6,5 a    | 5,1    |
| <b><math>Al^{3+}</math><br/>cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup></b> | 3,5 a  | 1,9 bc | 2,6 ab  | 0,9 c   | 2,3 a   | 1,5 bc | 2,0 ab   | 0,7 c    | 53,2   |
| <b>Ca<br/>cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup></b>                   | 6,9 ns   | 7,7    | 8,4     | 6,8     | 7,0     | 9,9    | 8,2      | 10,2     | 25,8   |
| <b>Mg<sup>2+</sup><br/>cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup></b>      | 1,4 ns   | 2,1    | 1,8     | 1,0     | 1,6     | 2,7    | 1,7      | 1,6      | 41,8   |
| <b>P<br/>(mg. kg<sup>-1</sup>)</b>                               | 3,4 bc   | 4,7 ab | 6,3 a   | 2,1 c   | 4,1 bc  | 4,6 ab | 8,3 a    | 2,9 c    | 24,2   |
| <b>K<br/>(mg. kg<sup>-1</sup>)</b>                               | 146,1 a  | 38,7 c | 67,2 bc | 93,6 ab | 224,4 a | 63,3 c | 101,7 bc | 102,5 ab | 34,2   |

Legenda: AS: área com alta saturação de água; BS: área com baixa saturação de água; MS: área com média saturação de água; BD: área controle (bem drenado); Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; CV: coeficiente de variação; ns: não significativo.

Fonte: Autoria própria (2019)

Não houve diferença significativa para o teor de Ca e o Mg nos solos entre as áreas avaliadas. A disponibilidade do Ca nos solos foi de 6,8 a 10,2 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, já a disponibilidade do Mg foi de 1,0 a 2,7 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>. De acordo com Rios et al. (2008), em solos ácidos a concentração de bases como Ca e Mg acabam diminuindo, influenciado também pela presença do  $Al^{3+}$ , causando deficiências aos outros nutrientes como Ca, Mg e P (NIU et al., 2020).

A disponibilidade de P foi maior nos solos hidromórficos em comparação a área bem drenada, sendo maior principalmente no solo da área BS, tanto no inverno como no verão (Tabela 4). Segundo Weihrauch e Opp (2018) a disponibilidade do P em solos aumenta em áreas com constante movimentação entre infiltração e armazenamento de água, caracterizando a área BS, caracterizada pela baixa saturação de água, mas quando ocorre precipitação o solo torna-se saturado temporariamente com a elevação do lençol freático.

Já o K apresentou maior disponibilidade nos solos das áreas AS e BD em ambas as épocas de coleta, que podem ter sido influenciados pela presença da água no solo. No solo da área AS o fluxo de água para lixiviação não acontece, já que ele está permanentemente úmido, ajudando na permanência desse nutriente, e o mesmo também possivelmente acontece no solo da área BD, por ser bem drenada sofre menos com o movimento da água no solo, tornando o K mais disponível nessa área (PORTELA; ABREU, 2018).

## 5.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

### 5.2.1 Respirimetria

A respirometria foi maior no solo da área AS e menor no solo da área BD em todas as épocas de amostragem (Tabela 5). Para o solo das áreas BS e MS a respirometria tendeu a diminuir com o aumento da pluviosidade no decorrer das épocas de amostragem.

Para os solos AS, BS e MS a respirometria diminuiu com o aumento da pluviosidade, o que pode ter sido provocado pelo excesso de água, pois a saturação de água do solo cria ambiente de anaerobiose e faz com que os microrganismos utilizem outros compostos como acceptor final de elétrons (MARTINS et al., 2018), liberando principalmente  $\text{CH}_4$ , o qual pode ser oxidado em  $\text{CO}_2$  por alguns microrganismos que usam o  $\text{CH}_4$  como substrato (THANGARAJAN et al., 2013). Esse fenômeno foi mais significativo para o solo com AS, que tem alto teor de MOS (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias da análise de respirometria dos solos (RBS) nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

---

**Saturação do solo com água nas áreas de amostragem**

---

| Época de Amostragem                              | Solo com alta saturação de água | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| -----mgC-CO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> ----- |                                 |                                  |                                  |                        |
| Inverno  | 1672 <b>aA</b>                  | 661 <b>bA</b>                    | 216 <b>cB</b>                    | 152 <b>dB</b>          |
| Primavera  | 1510 <b>aA</b>                  | 628 <b>bA</b>                    | 309 <b>cA</b>                    | 245 <b>cA</b>          |
| Verão  | 1180 <b>aA</b>                  | 248 <b>bB</b>                    | 220 <b>bB</b>                    | 211 <b>bA</b>          |
| Outono   | 749 <b>aB</b>                   | 289 <b>bB</b>                    | 244 <b>bAB</b>                   | 226 <b>bA</b>          |
| <b>CV</b>  |                                 |                                  |                                  | 42,29%                 |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2019)

Para o solo da área BD, os microrganismos tendem a utilizar o gás oxigênio (O<sub>2</sub>) como acceptor final de elétrons até a obtenção de CO<sub>2</sub> (MEDEIROS et al., 2019), considerado o principal produto da decomposição da matéria orgânica (GIACOMINI et al., 2008), e com o aumento da pluviosidade no decorrer das épocas de amostragem (Tabela 1), a umidade do solo não foi excessiva e serviu como estímulo da atividade microbiana e, conseqüentemente, da respirometria.

No estudo realizado por Silva et al. (2016) na Amazônia, a respirometria apresentou taxas maiores no período chuvoso, pois no período seco ocorreu a acumulação da serrapilheira, e nas condições favoráveis os microrganismos degradaram a matéria orgânica com mais facilidade. O comportamento do solo da Amazônia ficou parecido com o comportamento do solo BD, pois com o aumento da pluviosidade e temperatura, elevou a atividade microbiana do solo.

Destaca-se também que em todas as áreas a respirometria foi maior na primavera, época de transição do período seco e frio do inverno, com temperatura aproximada de 16 °C e com precipitação média de 75 a 100 mm, para um período mais chuvoso e quente da primavera, com a temperatura aproximada de 23°C e com precipitação média de 120 a 140 mm, reforçando o trabalho de Pinto-Junior (2009), em que o fluxo do CO<sub>2</sub> foi maior durante a transição entre o período seco e chuvoso.

### 5.2.2 Carbono e Nitrogênio Microbiano

O Cmic foi maior no solo da área AS em todas as épocas de amostragem (Tabela 6). De acordo com Silva et al. (2016), o Cmic é maior nas áreas úmidas pela elevação na disponibilidade de nutrientes, que mesmo com a dificuldade de degradação da serrapilheira pelos microrganismos pelo excesso de água, a serrapilheira auxilia no estoque do carbono, e por ser uma área de mata, constitui uma maior biodiversidade de compostos orgânicos (ARAUJO et al., 2019). Considerando ainda, que o Cmic é o destino inicial do carbono no solo, utilizado pelos microrganismos como energia (COLODEL et al., 2018).

Tabela 6 - Médias do carbono microbiano (Cmic) dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de Amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                                  |                                  |                        |
|---------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                    | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | ----- mgC.kg <sup>-1</sup> -----                   |                                  |                                  |                        |
| <b>Inverno</b>      | 556 <b>aBC</b>                                     | 403 <b>bAB</b>                   | 181 <b>cB</b>                    | 202 <b>cB</b>          |
| <b>Primavera</b>    | 394 <b>aC</b>                                      | 285 <b>abB</b>                   | 248 <b>bAB</b>                   | 304 <b>abA</b>         |
| <b>Verão</b>        | 845 <b>aA</b>                                      | 362 <b>aAB</b>                   | 225 <b>cB</b>                    | 305 <b>bcA</b>         |
| <b>Outono</b>       | 731 <b>aAB</b>                                     | 481 <b>bA</b>                    | 369 <b>bcA</b>                   | 329 <b>cA</b>          |
| <b>CV</b>           |  |                                  |                                  | 27,81%                 |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2019)

O Cmic do solo das áreas BS e BD, consideradas área de solo com baixa saturação de água e bem drenada, respectivamente, pouco oscilaram no decorrer do ano, apresentando maior equilíbrio da microbiota do solo. Nestas áreas verificou-se apenas uma elevação do Cmic do inverno para a primavera, apresentando o maior valor no período do outono, em função do aumento da temperatura e umidade. Contudo, ambas as áreas apresentaram teores de Cmic menores que as áreas AS e MS, indicando que a menor umidade nessas áreas pode ter refletido em prejuízos no estoque de Cmic (HOFFMANN et al., 2018).

Os solos das áreas BS, MS e BD apresentaram maiores teores de Cmic no outono, sendo 369, 481 e 329 mgC.kg<sup>-1</sup> respectivamente, provavelmente por ser um

período de maior precipitação e relativamente quente, promovendo maior acúmulo de serrapilheira, melhorando a incorporação dos nutrientes no solo e aumentando a entrada de carbono no sistema (SOUZA et al., 2019), reforçando aos resultados encontrados por Silva et al. (2016) em que a maior concentração de Cmic no solo também foi no período chuvoso, apresentando 655 mgC.kg<sup>-1</sup>.

Nos solos das áreas BS e MS o Nmic foi maior nas quatro épocas de amostragem relacionadas as áreas de coleta. Figueiredo et al. (2007) afirmam que o Nmic consegue se manter imobilizado na biomassa microbiana em sistemas sem ações antrópicas e sem ambientes extremos, portanto o Nmic foi maior nos solos BS e MS, possivelmente por não serem ambientes extremos, ou seja, sem excesso ou diminuto teor de água, e ainda sem interferência antrópica por se tratarem de áreas preservadas. Os resultados foram parecidos aos encontrados por Hanke e Dick (2017), em que o Nmic foi maior nos solos com teor de umidade intermediária em relação aos extremos.

Tabela 7 - Médias da análise do nitrogênio microbiano (Nmic) dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de Amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                                  |                                  |                        |
|---------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                    | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | ----- mgN.kg <sup>-1</sup> -----                   |                                  |                                  |                        |
| <b>Inverno</b>      | 159 <b>abAB</b>                                    | 213 <b>abA</b>                   | 251 <b>aA</b>                    | 126 <b>bB</b>          |
| <b>Primavera</b>    | 101 <b>bB</b>                                      | 253 <b>aA</b>                    | 184 <b>aB</b>                    | 197 <b>aAB</b>         |
| <b>Verão</b>        | 47 <b>aC</b>                                       | 42 <b>aB</b>                     | 80 <b>aA</b>                     | 55 <b>aC</b>           |
| <b>Outono</b>       | 212 <b>bA</b>                                      | 197 <b>aA</b>                    | 432 <b>aA</b>                    | 217 <b>bA</b>          |
| <b>CV</b>           |  |                                  |                                  | 39,27%                 |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2019)

Nos solos das áreas AS, BS, MS e BD, apresentaram os maiores valores de Nmic no outono com 212, 432, 197 e 217 mgN.kg<sup>-1</sup> respectivamente, seguindo a tendência do Cmic, provavelmente ocasionado pelo acúmulo da serrapilheira, a qual é umas das fontes de Nmic no solo (VELOSO et al., 2009).

### 5.2.3 Quociente Microbiano e Metabólico



Os valores de qMIC não apresentaram diferenças significativas para as épocas de amostragem dentro de cada área (Tabela 8). O solo da área MS obteve maior qMIC nas amostragens realizadas no inverno e no verão, com valores de 1,01 e 1,05 %, e de acordo com Cunha et al. (2016) concluíram que quanto maior o qMIC, mais eficiente o solo é na imobilização do carbono orgânico, podendo ser ocasionadas pelas áreas de mata, devido à disposição diversificada da serrapilheira, que pode aumentar a condição de equilíbrio local (GUIMARÃES et al., 2017).

Conforme Cunha, Mendes e Giongo (2015) o qMIC representa a qualidade nutricional da matéria orgânica. Segundo Ratcliffe, Bosman e Carnol (2018), conforme aumenta a liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração dos microrganismos, o qMIC tende a aumentar, e como o solo da área MS foi o segundo com maior taxa de respiração pelos microrganismos (Tabela 8), podendo ter influenciado o aumento do qMIC no solo na área MS.

Tabela 8 - Médias da análise do quociente microbiano (qMIC) dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                                  |                                  |                            |
|---------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                    | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado)     |
|                     | ----- % -----                                      |                                  |                                  |                            |
| <b>Inverno</b>      | 0,68 <b>b<sup>ns</sup></b>                         | 1,01 <b>a<sup>ns</sup></b>       | 0,71 <b>b<sup>ns</sup></b>       | 0,68 <b>b<sup>ns</sup></b> |
| <b>Verão</b>        | 0,98 <b>a</b>                                      | 1,05 <b>a</b>                    | 0,86 <b>b</b>                    | 0,79 <b>b</b>              |
| <b>CV</b>           |  |                                  |                                  | 55,65%                     |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Fonte: Autoria própria (2019)

Nos solos das áreas AS, BS e BD o qMIC apresentou valores abaixo de 1%, e segundo Dadalton et al. (2015) valores de qMIC inferiores a 1 % indicam que existe algum fator limitante à atividade microbológica no solo. Portanto, o qMIC no solo da área AS pode ter sofrido interferência do excesso de água, assim como no estudo de Ferronato et al. (2019), em que ocorreu a diminuição do qMIC nas áreas úmidas, e nos solos BS e BD pode ter sido influenciado pelo menor teor de MOS (Tabela 4).

O qCO<sub>2</sub> não diferiu significativamente entre os solos das áreas AS e BD relacionando dentro de uma mesma área, não diferindo também na época de amostragem do outono em todas as áreas amostradas. Ao mesmo tempo o solo da

área BS apresentou maiores valores de  $qCO_2$  nas diferentes épocas de amostragem (Tabela 9).

O  $qCO_2$  foi maior no solo das áreas BS independente da época de amostragem, e maior no solo da área MS nas épocas de inverno e outono, no entanto maior  $qCO_2$  indica condições ambientais estressantes (ARAUJO et al., 2019) ocorrendo o aumento da liberação de  $CO_2$  pela respiração dos microrganismos, (GONÇALVES et al., 2019), confirmando com a taxa de respirometria (Tabela 5), em que os solos das áreas BS e MS apresentaram as maiores taxas de respirometria, com exceção da área AS, pela ocorrência de distúrbios.

Tabela 9 - Médias do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem    |                                  |                                  |                        |
|---------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                       | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | ----- mgC-CO <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> Cmic ----- |                                  |                                  |                        |
| Inverno             | 3,30 bc <sup>ns</sup>                                 | 5,27 abA                         | 7,96 aA                          | 2,12 c <sup>ns</sup>   |
| Primavera           | 3,28 bc   | 5,06 bA                          | 10,66 aA                         | 2,04 c                 |
| Verão               | 2,98 ab   | 1,87 bB                          | 3,82 aB                          | 1,91 b                 |
| Outono              | 2,06 <sup>ns</sup>                                    | 1,60 B                           | 2,55 B                           | 1,98                   |
| <b>CV</b>           |   |                                  |                                  | 40,86%                 |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação; ns: não significativo.

Fonte: Autoria própria (2019)

Na época de amostragem do outono, apesar de não ser significativo percebe-se que ocorreu a mesma tendência do Cmic e Nmic, e em solos com o  $qCO_2$  mais baixos indicam um uso eficiente da energia, refletindo um ambiente mais estável ou um estado mais próximo do equilíbrio (DIÓGENES et al., 2017).

#### 5.2.4 Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares

A quantidade de esporos de FMA foi maior no solo da área AS na época de amostragem do inverno e do verão, no solo da área BS e BD os esporos de FMA foram maiores no inverno e primavera, e na área MS a contagem dos esporos foi maior no inverno.

Em relação a época de amostragem, no inverno o número dos esporos de FMA foi maior nas áreas MS e BD, na primavera e outono o número foi maior no solo da área BD e no verão apresentou maior contagem de esporos de FMA na área AS, conforme apresentado na Tabela 10.

Portanto, nos solos hidromórficos a maior concentração de esporos de FMA foi no inverno, com exceção o solo da área AS que houve o aumento também no verão, no entanto na área de solo BD as maiores contagens de esporos de FMA aconteceu no inverno e primavera.

Tabela 10 - Médias da contagem dos esporos de fungos micorrízicos dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV.

| Época de amostragem | Saturação do solo com água nas áreas de amostragem |                                  |                                  |                        |
|---------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
|                     | Solo com alta saturação de água                    | Solo com média saturação de água | Solo com baixa saturação de água | Controle (bem drenado) |
|                     | ----- un.50mL de solo <sup>-1</sup> -----          |                                  |                                  |                        |
| <b>Inverno</b>      | 201 <b>abA</b>                                     | 258 <b>aA</b>                    | 154 <b>bA</b>                    | 278 <b>aA</b>          |
| <b>Primavera</b>    | 97 <b>cB</b>                                       | 91 <b>cB</b>                     | 176 <b>bA</b>                    | 237 <b>aA</b>          |
| <b>Verão</b>        | 170 <b>aA</b>                                      | 31 <b>cD</b>                     | 34 <b>bC</b>                     | 68 <b>cC</b>           |
| <b>Outono</b>       | 60 <b>bC</b>                                       | 53 <b>bC</b>                     | 69 <b>bB</b>                     | 112 <b>aB</b>          |
| <b>CV</b>           |  |                                  |                                  | 36,04 %                |

Legenda: Letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas nas colunas, indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2019)

No solo da área AS, nas amostragens do inverno e verão ocorreu o aumento de esporos de FMA, que podem ter sido influenciados pelos estresses no local, que nesse caso promovido pelo excesso de água (característica da área) e pelas temperaturas extremas de cada coleta, segundo Melloni et al. (2018) os FMA são associações simbióticas entre fungos e raízes e os seus esporos são sistemas para a

sobrevivência, sendo a esporulação estimulada quando submetido a algum estresse (FERREIRA; CARNEIRO; JUNIOR, 2012).

O aumento da esporulação dos FMA no inverno nos solos das áreas AS e MS e no solo da área BD no inverno e na primavera, podem ter sido influenciados pela menor intensidade pluviométrica (75 a 100 mm), que segundo Santos, Barreto-Garcia e Scoriza (2018) a densidade de esporos aumenta com a diminuição da precipitação, porém como o solo da área BD é considerado solo bem drenado não deve ter sofrido interferência da umidade local, portanto o aumento na quantidade de esporos deve ter sido ocasionado pelo aumento da precipitação, estimulada pelo estresse.

Nos solos das áreas BS, MS e BD na época de amostragem do verão e nos solos das áreas AS, BS e MS na amostragem do outono, houve a diminuição dos esporos dos FMA, provavelmente acarretado pelo aumento das chuvas, em que no verão foi de 180 a 215 mm e no outono de 210 a 245 mm, confirmando com o estudo de Fraga et al. (2012), em que os esporos dos FMS diminuíram sua densidade nos meses de verão e outono devido ao aumento das chuvas.

### 5.3 ANÁLISE GERAL

Levando em consideração o dendograma da análise de dissimilaridade (Gráfico 1), ocorreu a formação de 05 grupos, e ainda as áreas amostradas ficaram agrupadas por áreas de coleta e por época de amostragem, com a estação de inverno sempre em primeiro em relação a estação do verão, assim como apresentado no estudo realizado por Araujo et al. (2019).

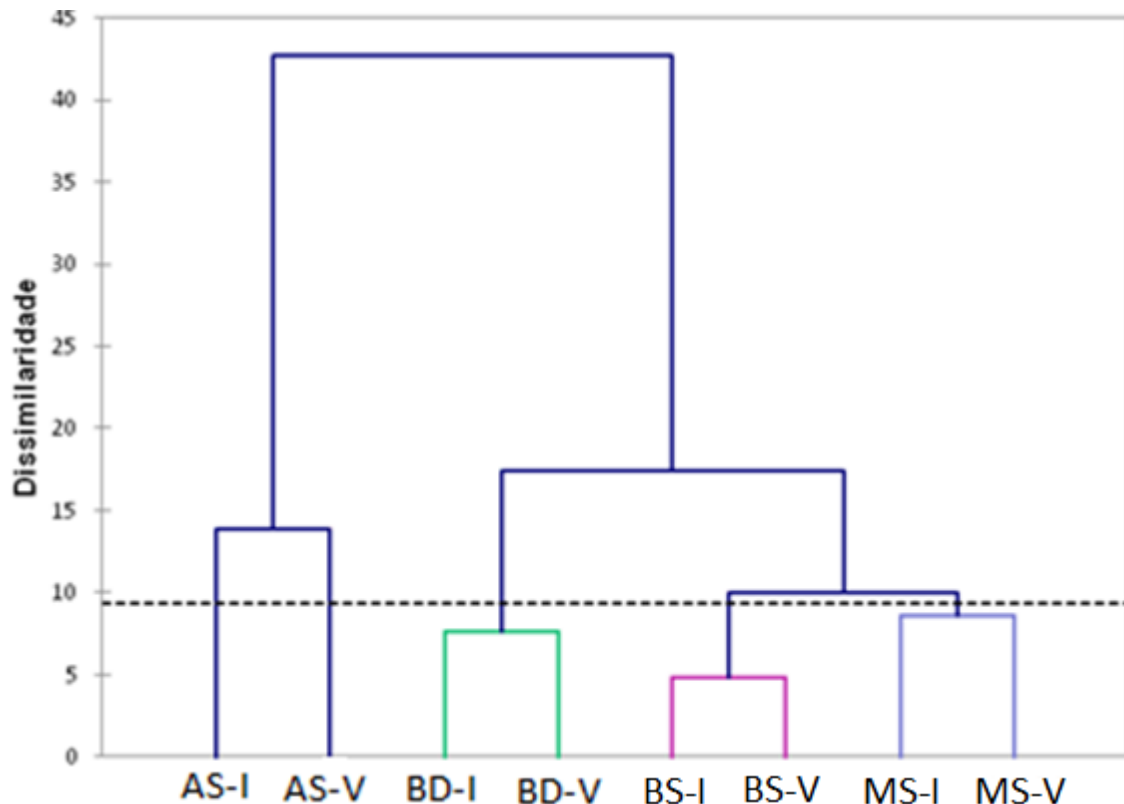
No dendograma, a área com alta saturação de água foi a área com maior dissimilaridade, seguida pela área controle (bem drenada), pela área com baixa saturação e por última a área com média saturação de água. Quanto maior o valor de linha de ligação, mais distantes são os grupos, ou seja, a área AS é distante comportamentalmente das demais áreas amostradas.

As áreas MS e BS apresentaram baixa dissimilaridade, indicando que ambas têm comportamento semelhante, ocasionados pelos atributos químicos e microbiológicos que oscilam no decorrer do ano conforme a flutuação do lençol freático, por vezes ficando com comportamento próximo aos solos bem drenados.

As áreas AS e BD possuem maior dissimilaridade entre as áreas amostradas, caracterizando o comportamento diferenciado dos solos hidromórficos aos demais

solos amostrados, de acordo com a sua condição de umidade, demonstrando a complexidade e diversidade desses solos.

Gráfico 1 – Dendograma com a análise de dissimilaridade dos solos nas quatro áreas de preservação permanente amostradas na Linha Mazurana/DV relacionadas com a época de amostragem e com as médias das análises químicas e microbiológicas.



Legenda: AS-I: área com alta saturação de água no inverno; AS-V: área com alta saturação de água no verão; BD-I: área controle (bem drenado) no inverno; BD-V: área controle (bem drenado) no verão; BS-I: área com baixa saturação de água no inverno; BS-V: área com baixa saturação de água no verão; MS-I: área com média saturação de água no inverno; MS-V: área com média saturação de água no verão.

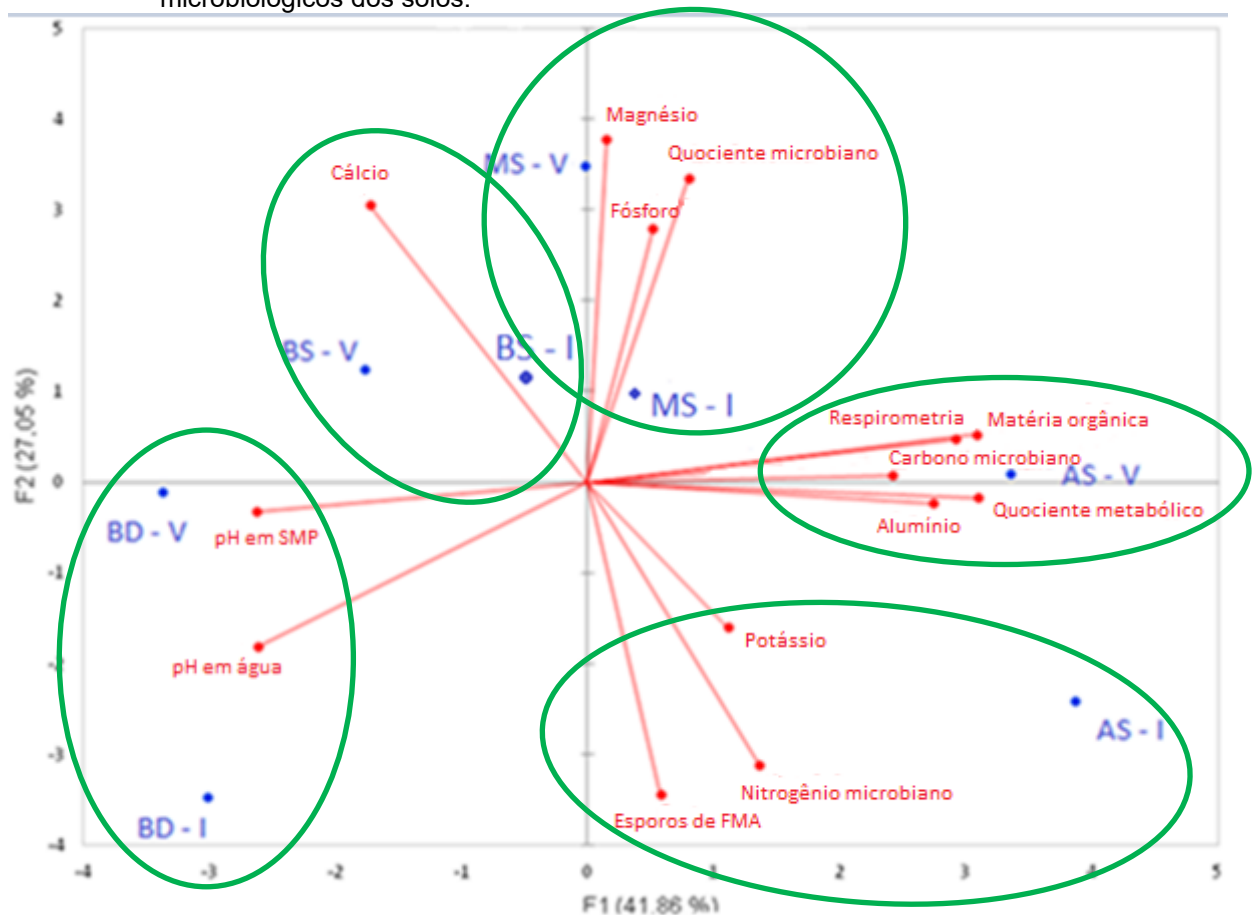
Fonte. Autoria própria, 2019

Pela análise multivariada (Gráfico 2), é possível identificar que as áreas dos solos amostrados ficaram distantes entre si, principalmente as áreas AS e BD que ficaram praticamente opostas, reforçando a existência das diferenças desses ambientes, influenciados principalmente pela umidade do solo.

No solo da área AS, principalmente no período do verão, mais chuvoso, verifica-se um comportamento distinto dos atributos microbiológicos em relação ao solo bem drenado, explicado pelos atributos da respirometria,  $C_{mic}$ , o  $qCO_2$ , além dos teores de MOS e  $Al^{3+}$ . O aumento do  $qCO_2$  sugere condições desfavoráveis aos organismos do solo pela intensa atividade microbiana (TEJNECKÝ et al., 2019), corroborando com a respirometria no solo AS, em que o aumento da respirometria

não significa necessariamente uma aumento na degradação da matéria orgânica, mas pode indicar perturbações no meio (SOUZA et al., 2019). Já o Cmic é um dos indicadores mais importantes nas respostas dos microrganismos a alterações no sistema (MORALES-LONDOÑO, 2019) e fonte para o aumento das funções metabólicas dos microrganismos (COLODEL et al., 2018).

Gráfico 2 – Análise multivariada das áreas de amostragens dos solos na Linha Mazurana/DV e as épocas de coleta, relacionando-as com as médias dos atributos químicos e microbiológicos dos solos.



Legenda: AS-I: área com alta saturação de água no inverno; AS-V: área com alta saturação de água no verão; BS-I: área com baixa saturação de água no inverno; BS-V: área com baixa saturação de água no verão; MS-I: área com média saturação de água no inverno; MS-V: área com média saturação de água no verão; BD-I: área controle (bem drenado) no inverno; BD-V: área controle (bem drenado) no verão.

Fonte. Autoria própria, 2019.

Já o solo da área AS amostrado no inverno apresentou maiores concentrações de Nmic, esporos dos FMA e disponibilidade de K, a interação entre esses parâmetros pode ter sido influenciado pela temperatura. Mcgonigle e Miller (1999) identificaram que os esporos dos FMA foram maiores em temperatura mais

baixas, e ainda, Duan et al. (2015) concluíram que os fungos podem absorver nitrogênio em forma de nitrato ou como algumas fontes orgânicas de nitrogênio.

No solo da área BD, nas épocas de inverno e verão, apresentaram maior relação o pH-H<sub>2</sub>O e o pH-SMP, com pH superior as demais áreas amostradas, provavelmente em função do menor teor de MOS, fazendo com que os atributos de acidez do solo dessa área se mantivessem estabilizados durante todo o ano. De acordo Kai-Lou et al. (2020) o pH é um dos principais fatores que afetam os processos do solo, acabam afetando suas propriedades químicas, físicas e biológicas (ROSA; CAPONI; JÚNIOR, 2016).

As áreas MS e BS foram as que ficaram mais próximas, provavelmente pela caracterização dessas áreas atreladas a flutuação do lençol freático, promovendo a oscilação da disponibilidade dos atributos químicos e microbiológicos no decorrer do ano nessas áreas (RAMALHO et al., 2019).

## **6 CONCLUSÃO**

Os solos hidromórficos de origem basáltica do Sudoeste do Paraná possuem atributos químicos e microbiológicos distintos dos observados em solos bem drenados da mesma Região.

Os atributos químicos e microbiológicos também variam entre os solos hidromórficos do Sudoeste do Paraná em função da condição de umidade do solo.

No decorrer do ano, em função da variação das condições de pluviosidade e temperatura, os atributos microbiológicos dos solos hidromórficos e bem drenados oscilam enquanto os atributos químicos permanecem estáveis.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos hidromórficos são encontrados em áreas úmidas, com características pedológicas ligadas à dinâmica fluvial da paisagem, e apresentam importantes funções ambientais, como regulação de fluxo de água na paisagem local, corredores naturais de fauna de espécies nativas e flora com espécies típicas do local e, principalmente, pela função de reposição de água no lençol freático, por ser intimamente relacionado ao ciclo das águas, o qual ajuda a manter a condição hídrica em épocas de estiagem.

Em função dessa importância, essas áreas úmidas são consideradas áreas de preservação permanente (APP) de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012. Contudo, mesmo sendo considerados de preservação permanente, muitas vezes essas áreas são desmatadas, aterradas ou drenadas, principalmente para o avanço da pecuária e agricultura, provocando ainda mais a degradação dos solos hidromórficos e comprometendo as suas funções ambientais.

Por meio das análises microbiológicas e químicas dos solos hidromórficos no Sudoeste do Paraná, evidenciou-se que o comportamento dos atributos microbianos do solo são distintos de áreas saturadas em relação aos solos de áreas bem drenadas e que variam em função do nível de saturação de água do local. Isso se dá principalmente em função do conteúdo de carbono orgânico que acumula do solo à medida que aumenta a saturação de água e, conseqüentemente, diminui a disponibilidade de O<sub>2</sub>.

Além disso, a dinâmica da atividade microbiana dos solos hidromórficos se modifica no decorrer do ano em função da saturação de água do solo, que depende do regime hídrico e da temperatura. No solo da área com alta saturação com água, verificou-se um comportamento distinto dos atributos microbiológicos em relação ao solo bem drenado principalmente no período do verão, mais chuvoso, explicado pelos atributos da respirometria, C<sub>mic</sub>, o qCO<sub>2</sub>, além dos teores de MOS e Al<sup>3+</sup>. Já o solo da área bem drenada apresentou pouca variação nos atributos microbiológicos no decorrer do ano, além de apresentar maior pH-H<sub>2</sub>O e pH-SMP, provavelmente em função do menor teor de MOS.

Esses dados reforçam a importância da proteção e conservação dos solos hidromórficos no Brasil, principalmente em regiões onde eles são encontrados em menor quantidade, como no Sudoeste do Paraná, também servindo como subsídios

para a implantação de sistemas racionais de uso e manejo para a manutenção sustentável desses ecossistemas.

Assim, a partir dos dados obtidos no presente estudo e com o intuito de aprofundar e aumentar a abrangência das pesquisas com solos hidromórficos, sugere-se:

- Avaliar a composição microbiana dos solos hidromórficos, buscando identificar grupos funcionais mais relevantes conforme a variação nas condições de umidade do solo.

- Realizar um estudo sobre a dinâmica de flutuação do lençol freático e seu efeito sobre os atributos microbiológicos dos solos hidromórficos.

## 8 REFERÊNCIAS

- AMARAL, Laís. O.; Santos, Selma S. A. Proposta de tratamento e controle de efluentes de uma indústria alimentícia. **Científico**, v. 18, n. 38, 2018.
- ALVES, Jonathan F. C.; Rocha, Danilo C.; Silva, Cássio da S.; Miyazaki, Leda C. P. Educação ambiental aplicada ao ensino dos solos: o projeto de extensão universitária “educasolos” como um meio de conscientização. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 4, p. 274-286, 2015.
- ANDERSON, Traute-Heidi; Domsch, Klaus H. Application of ecophysiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.
- ANDERSON, John P. E. Soil respiration. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, **N. methods of soil an 2**, p. 831-871, 1982.
- ANDRIGHETTI, Maria S.; Nachtigall, Gilmar R.; Queiroz, Sonia C. N.; Ferracini, Vera L.; Ayub, Marco A. Z. Biodegradação de glifosato pela microbiota de solos cultivados com macieira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1643-1653, 2014.
- ARAUJO, Tais dos S.; Gallo, Anderson de S.; Araujo, Faguiner dos S.; Santos, Lilian C.; Guimarães, Nathalia F.; Silva, Rogério F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.
- BOGNOLA, Itamar A.; Potter, Reinaldo O.; Carvalho, Américo P.; Fasolo, Pedro J.; Bhering Silvio B.; Martorano, Lucienta G. Caracterização dos Solos do Município de Carambeí, PR. **Embrapa Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 08**, 2002.
- BÁEZ-PÉREZ, Ana L.; Gómez-Romero, Mariela; Villegas, Javier; Barrera, Erick; Carreto–Montoya, Lorena; Lindig–Cisneros, Roberto. Inoculación con hongos micorrízicos y fertilización con urea de plantas de fraxinus uhdei en acrisoles provenientes de sítios degradados. **Botanical Sciences**, v. 93, n. 3, p. 501-508, 2015.
- BALOTA, E. L.; Colozzi-Filho; A.; Andrade, D. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.
- BARDDAL, Murilo L.; Roderjan, Carlos V.; Galvão, Franklin; Curcio, Gustavo R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em araucária. **Revista Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, 2004.
- BARROS, Inácio de; Pacheco, Edson P.; Carvalho, Hélio W. L.; Cintra, Fernando L. D.; Silva, Juliana M. L.; Dantas, Erick N.; Soares, Tássia F. S. N. Desempenho da

Cultura do Milho em Diferentes Sistemas de Manejo do Solo nas Condições do Agreste Sergipano. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2015.

BECKER, Elsbeth L. S.; Buriol, Galileo A.; Streck, Nereu A. Clima e distribuição dos solos zonais no Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Geografar**, v. 12, n. 1, p. 112-129, 2017.

BESSEN, Marcos R.; Ribeiro, Ricardo H.; Monteiro, Alessandra N. T. R.; Iwasaki, Guilherme S.; Piva, Jonatas T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuária**, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018.

BERTOL, Ildegardis; Beutler, Josué F.; Leite, Dirceu; Batistela, Odair. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Revista Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BELEM, Anderson L. G.; Rodrigues, Raquel M. Potencialidade do NDVI para mapeamento do estado de conservação em app nas BH dos rios Butuí e Icamauã. I **Congresso de Geografia e Física**, 2017.

BLOISE, Gabriela L. F.; Júnior, Osmar A. C.; Reatto, Adriana; Guimarães, Renato F.; Martins, Éder S.; Carvalho, Ana P. F. Avaliação de suscetibilidade natural a erosão dos solos da bacia do Olaria – DF. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**, 2001.

BOX, G. E.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series B (Methodological), p. 211-252, 1964.

BUCZKO, Uwe; Kohler, Stefan; Bahr, Fredericke; Scarnweber, Tobias; Wilmking, Martin; Jurasinski, Gerald. Variability of soil carbon stocks in a mixed deciduous forest on hydromorphic soils. **Geoderma**, p. 8-18, 2017.

CADORIN, Danielle A.; Mello, Nilvânia.; Montemezzo, Emílio. Aspectos químicos e morfológicos dos solos urbanos utilizados pelas espécies *Lagerstroemia indica* L., *Schinus molle* L. e *Bauhinia variegata* L., em três bairros da cidade de Pato Branco – PR. **Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 3, p. 39-51, 2013.

CARVALHO, Juliana dos S.; Kunde, Roberta J.; Stöcker, Cristiane Mariliz; Lima, Ana C. R.; Silva, Jamir L. S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

COLODEL, James R.; Pierangeli, Maria A. P.; Souza, Marcelo F. P.; Carvalho, Marcos A. C.; Dalchiavon, Flávio C. Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho- -Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 287-297, 2018.

CURCIO, Gustavo R.; Souza, Letícia P.; Bonnet, Annete; Bardal, Murilo L. Recomendação de Plantio com Espécies Arbóreas Nativas, por Tipo de Solo, para Recuperação Ambiental das Margens da Represa do Rio Iraí, Pinhais, PR. **Comunicado Técnico 149, 1º Edição Embrapa Florestas**, 2005.

CUNHA, João R.; Leite, Luiz F. C.; Souza, Djalma J. A. T.; Filho, Carlos H. A. M. Biomassa microbiana e atividade enzimática de um latossolo em diferentes sistemas de manejo do cerrado Piauiense. **Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Meio-Norte**, v. 2, p. 64-68, 2016.

CUNHA, Tony J.; Mendes, Alessandra M. S.; Giongo, Vanderlise. Matéria orgânica do solo. **Embrapa**, capítulo 9, p. 273-293, 2015.

DADALTO, Juliana P.; Fernandes, Haroldo C.; Teixeira, Mauri M.; Cecon, Paulo R.; Matos, Antonio T.; Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DENG, Lei; Wang, Kaibo; LI, Jianping; Zhao, Gangwei; Shangguan, Zhouping Effect of soil moisture and atmospheric humidity on both plant productivity and diversity of native grasslands across the Loess Plateau, China. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 525-531, 2016.

DIÓGENES, Larissa C.; Filho, José F. L.; Silva, Alessandro F. T.; Nóbrega, Júlio C. A.; Nóbrega, Rafaela S. A.; Filho, João I.; Júnior, Aderson S. A. Microbial activities, carbon, and nitrogen in an irrigated Quartzarenic Neosol cultivated with cowpea in southwest Piauí. **Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1765-1774, 2017.

DOMINATI, E. J.; MACKAY, A.; LYNCH, B.; HEATH, N.; MILLNER, I. An ecosystem services approach to the quantification of shallow mass movement erosion and the value of soil conservation practices. **Ecosystem Services**, v. 9, p. 204-215, 2014.

DUAN, J.; TIAN, H.; DRIJBER, R. A.; GAO, Y. Systemic and local regulation of phosphate and nitrogen transporter genes by arbuscular mycorrhizal fungi in roots of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 199-208, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.006>

ESPINOSA, Jorge A. S., SANABRIA, Yolanda. R. Procesos específicos de formación en andisoles alfisoles y ultisoles en colombia. **Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia**, v. 12, n. 2, p. 85-97, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Os microrganismos do solo e a dinâmica da matéria orgânica em sistemas de produção de grãos e pastagem. **Coleção Sistema Plantio Direto**, 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997.

FAJARDO, Juan D. V.; Souza, Luiz A. G.; Alfaia, Sônia S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo

Solimões e médio Amazonas. **Revista Acta Amazônica**, v. 39, n. 4, p. 731 - 740, 2009.

FARIA, André L. L.; Silva, Jorge X.; Goes, Maria H. B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.

FARIA, Alvaro B. C.; Pertille, Carla T.; Miranda; Fabiani D. A. Análise da adequação florestal de pequenas propriedades rurais no Sudoeste do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 432-443, Santa Maria, 2019.

FERREIRA, Dorotéia A.; Carneiro, Marco A. C.; Junior, Orivaldo J. S. Fungos Micorrízicos Arbusculares em um Latossolo Vermelho sob Manejos e Usos no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 51-61, 2012.

FERREIRA, Ederson P. B.; Stone, Luis F.; Martin-Didonet, Claudia C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FERREIRA, Wendy C.; Machado, Lilian S.; Freitas, Danival V.; Corrêa, Robson S.; Guilherme, Frederico S. G. Regeneração natural em uma área de nascente em recuperação no parque ecológico Diacuí, Goiás. **Global Science Technology**, v.11, n. 03, p. 135-146, 2018.

FERRONATO, Chiara; Marinari, Sara; Francioso, Ornella; BELLO, Diana; Trasar-Ceped, Carmen; Antisari, Livia V. Effect of waterlogging on soil biochemical properties and organic matter quality in different salt marsh systems, **Geoderma**, v. 338, n. 15, p. 302-312, 2019.

FIGUEIREDO, Cícero C.; Resck, Dimas V. S; Gomes, Antonio C.; Ferreira, Eloisa A. B.; Ramos, Maria L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 551-562, 2007.

FRAGA, Marcelo E.; Braz, Denise M.; Rocha, Joecildo F.; Pereira, Marcos G.; Figueiredo, Daniel V. Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 4, p. 857-865, 2012.

FRAXE, Therezinha J. P.; Pereira, Henrique S.; Witkoski, Antônio C. Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais, **Editora da Universidade do Amazonas**, p. 35-52, 2007.

FU, Dongqing; Yang, Hang; Wang, Li; Yang, Siqian; Li, Ruirui.; Zhang, Wenjuan; Ai, Xiaoyan; Al, Yingwei; Vegetation and soil nutrient restoration of cut slopes using

external soil spray seeding in the southwestern China plateau region. **Journal of Environmental Management**. V, 228, p. 47-54, 2018.

GALDINO, Sérgio; Tosto, Sergio G.; Quartaroli, Carlos F. Método para mapeamento da contribuição de terraços agrícolas nas perdas de solo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 2536-2538, 2019.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, Cambridge, U. K., v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GIACOMINI, Sandro J.; Aita, Celso; Miola, Ezequiel C. C.; Recous, Sylvie. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2661-2668, 2008.

GOMES, Algenor S.; Silva, Cláudio A. S.; Parfitt, José M. B.; Pauletto, Eloy A.; Pinto, Luiz F. S. Caracterização de Indicadores da Qualidade do Solo, com Ênfase às Áreas de Várzea do Rio Grande do Sul. **EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2006.

GOMIDE, Plínio H. O.; Silva, Marx L. N.; Soares, Cláudio R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no Município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 567-577, 2011.

GONÇALVES, Flávia; Zanin, Renan F. B.; Somera, Livia F.; Oliveira, Alana D.; Ferreira, José W. S.; Branco, Carlos. J. M. C.; Teixeira, Raquel S. Caracterização Físico-Química e Mineralógica de Três Solos do Estado do Paraná XIX. **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG**, Salvador, Bahia, 2018.

GONÇALVES, Valdinei A.; Melo, Christiane A. D.; Assis, Igor R.; Ferreira, Lino R.; Saraiva, Douglas T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista Ciência Agrária**, v. 62, 2019.

GUERRA, Antonio J. T.; Jorge, Maria C. O. Geomorfologia do cotidiano – A degradação dos solos. **Revista Geonorte**, v. 4, n. 4, p. 116-135, 2012.

GUIMARÃES, Nathalia F.; Gallo, Anderson D.; Fontanetti, Anastásia.; Meneghin, Silvana P.; Souza, Maicon D. B.; Morinigo, Kátia P. G.; Silva, Rogério F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HANADA, Rogério E. Os desafios para a consolidação da agricultura no estado do Amazonas. **Anais da 66ª reunião anual da SBPC - Rio Branco**, 2014.

HANKE, Daniel; Dick Deborah P. Organic matter stocks and the interactions of humic substances with metals in araucaria moist forest soil with humic and histic horizons. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

HOFFMANN, Ricardo B.; Moreira, Évellyn E. A.; Hoffmann, Graciele S. da S.; Araújo, Norma S. F. Effect of soil management on microbial biomass carbono. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

HONG, Hanlie; Fang, Qian; Cheng, Liuling; Wang, Chaowen; Churchman, Gordon J. Weathering induced by microorganisms on clay minerals in hydromorphic soil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.184, p. 272-288, 2016.

HOLANDA, Alan C.; Feliciano, Ana L. P.; Marangon, Luiz C.; Freire, Fernando J.; Holanda, Enio M. Decomposição da serrapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 245-254, 2015.

IVANAUSKAS, Natália M.; Rodrigues, Ricardo R.; Nave, André G. Aspectos ecológicos de um trecho de floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista brasileira de Botânica**, v. 20, n. 2, p. 139-153, 1997.

JUNIOR, Angelo S.; Felício, Joanna D.; Andréa, Mara M. Comparative Assessment of the Effect of Synthetic and Natural Fungicides on Soil Respiration. **Journal Sensors**, v. 12, p. 3243-3252, 2012.

JUNIOR, França P.; Dalla, Villa M. E. C.; Dalla, Villa, J. F. D. Características geomorfológicas e a produção de culturas temporárias no estado do Paraná – Brasil. **Revista Formação**, v. 1, n. 22, p. 71-86, 2015.

KAI-LOU, Liu; Tian-Fu, Han; Jing, Huang; Shah, Asad; Da-Ming, Li; Xi-Chu, Yu; Qing-Hai, Huang; Hui-Cai, Ye; Hui-Wen, Hu; Zhi-Hua, H.; Hui-Min, Zhang. Links between potassium of soil aggregates and pH levels in acidic soils under long-term fertilization regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 197, 2020.

KIZILDAG, Nacide; Cenkseven, Sahin; Koca, Fatih D.; Sagliker, Husniye A.; Darici, Cengiz. How titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles do affect soil microorganism activity? **European Journal of Soil Biology**, v. 91, p. 18-24, 2019.

LIN, Qingyi; Zhang, Lin; Riaz, Muhammad; Zhang, Mengyang; XIA, Hao; Lv, Bo; Jiang, Cuncang. Assessing the potential of biochar and aged biochar to alleviate aluminum toxicity in an acid soil for achieving cabbage productivity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, p. 290-295, 2018.

LISBOA, Bruno B.; Bayer, Cimélio; Passaglia, Luciane. M. P. Soil fungistasis against *fusarium graminearum* under different crop management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 69-77, 2015.



MAFRA, A. L.; Senesi, N.; Brunetti, G.; Miklós, A.A.W.; Melfi, A.J. Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterisation. **Geoderma**, v. 138, p. 170-176, 2007.

MAGALHÃES, Regiane C.; Gomes, Rosileine C. M. Mineralogia e química de solo de várzea e suas susceptibilidades no processo de terras caídas na comunidade do divino Espírito Santo-AM. **Revista Sociedade e Natureza**, v. 25, n. 3, p. 609-621, 2013.

MARCONI, Luis; Armengot, Laura. Complex agroforestry systems against biotic homogenization: The case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, 2019.

MARTINS, Juliana R.; Fernandes, Luiz A.; Oliveira, Agda L. G.; Sampaio, Reginaldo A. Frazão, Leidivan A. Soil Microbial Attributes Under Agroforestry Systems in the Cerrado of Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 2018.

MARTINI, Leuz C. P.; Uberti, Antonio A. A.; Scheibe, Luiz F.; Comin, Jucinei; Oliveira, Marcelo A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 1, p. 41-52, 2006.

MAURÍCIO, Giovanni N.; Venzke, Tiago S. L. Delimitação e caracterização ambiental do banhado do Pontal da Barra, Pelotas, RS (Parte I): porção leste. **Revista Geographia Meridionalis**, v. 2, n. 2, p. 269–280, 2016.

MCGONIGLE, Terence P.; Miller, Murray H. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. **Applied Soil Ecology**, v. 12, n. 1, p. 41-50, 1999.

MEDEIROS, Terezinha S.; Gomes, Auriane R. M. G.; Alves, Mariany P. B.; Marcelino, Angélica S.; Santos, Darlene M.; Giongo, Angelina M. M.; Costa, Adriana R. Produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cultivado sob níveis de esterco bovino e respiração basal do solo. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 2, p. 1348-1357, 2019.

MELLONI, Rogério; Costa, Natália G.; Melloni, Eliane G. P.; Lemes, Maria C. S.; Alvarenga, Maria I. N.; Neto, José N. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018.

MENEGHETTI, A. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise química de plantas, solo e fertilizantes. **EDUTFPR**, 252 p., 2018.

MENEZES, Valmir G.; Mariot, Carlos H. P.; Lopes, Mara C. B.; Silva, Paulo R. F.; Teichmann, Leandro L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1107-1115, 2001.

MORALES-LONDOÑO, D. M.; Meyera, E.; Kunze, A.; Gonzalez, D.; Prieto-Benavides, O. O.; Armas, R. D.; Reis, M. S.; Soares, C. R. F. S.; Lovato, P. Are microbial activity and arbuscular mycorrhizal fungal community influenced by regeneration stages? A case study in Southern Brazil coastal Atlantic Rain Forest. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 94–98, 2019.

MOREIRA, Taís R.; Santos, Alexandre R.; Dalfi, Raphael L.; Campos, Rafael F.; Santos, Gleissy M. A. D. A.; Eugenio, Fernando C. Confronto do Uso e Ocupação da Terra em APPs no Município de Muqui, ES. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 141-152, 2015.

MOURA, G. S.; Franzener, G. Biodiversity of nematodes biological indicators of soil quality in the agroecosystems. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, p. 1-8, 2017.

NASCIMENTO, D. C.; Berbert, C. P.; Ribeiro, B. T. Variação do pH do solo em seis segmentos de veredas, região de Uberlândia, MG. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2015.

NASCIMENTO, Thays V.; Fernandes, Lindemberg L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

NEVES, Cláudia M. N.; Silva, Marx L. N.; Curi, Nilton; Macedo, Renato L. G.; Moreira, Fátima M. S.; D'Andréa, Alexandre, F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.

NIU, H.; Leng, Y.; Ran, S.; Ameer, M.; Du, D; Sun, J.; Chen, K.; Hong, C. Toxicity of soil labile aluminum fractions and aluminum species in soil water extracts on the rhizosphere bacterial community of tall fescue. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 187, n. 15, 2020.

NOVAK, Elaine; Carvalho, Laércio A.; Santiago, Etenaldo F.; Portilho, I. I. R. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **Revista Cerne**, v. 23, n. 1, p. 19-30, 2017.

NUNES, Malena S.; Cruz, João P. M.; Santana, Iara L.; Azevedo, Ricardo J. G. Técnicas de conservação no combate à erosão do solo: estudo da eficiência do muro de gabiões no bairro nacional, Contagem/Minas Gerais. **I Congresso Nacional de Geografia Física, Instituto de Geociências Unicamp**, 2017.

NUNES, Malena S; Azevedo, Ricardo J. G.; Silva, Paulo E. A. B. A abordagem de conteúdos relativos à ciência dos solos em livros didáticos de geografia para o ensino médio. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v.6, n.3, p.271-281, 2016.

OLIVEIRA, Dalziza; Borrozzino, Edmirson. Temperatura do solo sob três condições de cobertura em Londrina, Paranavaí e Guarapuava, no estado do Paraná. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 131-137, 2018.

PEDROTTI, Alceu; Chagas, Rogério M.; Ramos, Victor C.; Prata, Ana P. N.; Lucas, Arioaldo A. T.; Santos, Pricila B. Causas e consequências do processo de salinização

dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEDRUZZI, Isadora N.; Mascarenhas, Paulo S. M. análise temporal da app de mata ciliar do Rio Gongogi: um dos principais afluentes do Rio de Contas. **Revista Eletrônica da FAINOR**, v. 3, n. 2, p. 256-275, 2018.

PEREIRA, Najara G. F.; Frazão, Leidivan A.; Oliveira, Agda L. G.; Cardoso, Paulo H. C.; Sampaio, Reynaldo A.; Fernandes, Luiz A. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos nos atributos químicos e microbiológicos de um cambissolo háplico. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 115-127, 2015.

PIGOSSO, Márcio; Bonfante, Eduardo; Farias, Edson; Engel, Ivani; Rigatti, Jonas; Nunes, Luis R. Becegato, Valter; Onofre, Sideney B. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jirau Alto - Dois Vizinhos - Paraná. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia - Campus Jataí (UFG)**, v. 13, p. 175-193, 2009.

PINTO-JUNIOR, Osvaldo B.; Sanches, Luciana; Dalmolin, Andrea C.; Nogueira, José S. Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem, **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 813 – 822, 2009.

PORTELA, Ester; Abreu, Maria M. Fixação do potássio nos solos portugueses. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, 2018.

PRATES, Caio J. N.; Barbosa, Romário P.; Fogaça, Josué J. N. L.; Lemos, Odair L., Dutra, Fabrício V.; Silva, Reginaldo M. Análise Multitemporal de Uso e Ocupação do Solo com Enfoque na Silvicultura no Município de Cândido Sales, Bahia, nos Anos de 2005 e 2015. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 01, p. 150-155, 2017.

RASHID, M. I.; Mujawar, L. H.; Shahzad, Y.; Almeelbi, T.; Ismail, B. M.; Oves, M. Bacteria and fungi may contribute to nutrient bioavailability and aggregate formation in degraded soils. **Microbiological Research**, b. 183, p. 26-41, 2016.

RAMALHO, Fernanda L.; Barcelos, Assunção A.; Cabral, João B. P.; Birr, Sheyla O. G. Diagnóstico ambiental do uso e ocupação das terras entre os anos de 2010 a 2015 no córrego matriz, Cachoeira – Alta, Goiás, Brasil. **Revista Geoambiente on-line**, n. 33, 2019.

RAMOS, Rodrigo F.; Sobucki, Lisiane; Rohrig, Bruna; Ludwig, Juliane; Daroit, Daiel J. Diversidade funcional de bactérias isoladas de solos rizosférico e não rizosférico em cultura de milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, 2018.

RATCLIFFE, S.; BOSMAN, B.; CARNOL, M. Spatial and temporal variability of biological indicators of soil quality in two forest catchments in Belgium. **Applied Soil Ecology**, v. 126, p. 148-159, 2018.

Resolução Conjunta IBAMA/SEMA/IAP nº 005. Define critérios para avaliação das áreas úmidas e seus entornos protetivos, normatiza sua conservação e estabelece condicionantes para o licenciamento das atividades nelas permissíveis no Estado do Paraná. 28 de março de 2008.

RIGATTO, Paulo; Stülp, Valter J. Viabilidade econômica de sistemas de produção para regiões de várzeas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 34, n 1 e 2, p. 131-169, 2006.

RIOS, Luciana C.; Matos, Talita S.; Gianerini, Yuri X.; Donagemma, Guilherme K.; Balieiro, Fabiano C.; Polidoro, José C.; Freitas, Pedro L.; Andrade, Cláudio C. Lixiviação de Cálcio, Magnésio e Potássio em Colunas de Um Latossolo Amarelo Distrófico Textura Média, de Luis Eduardo Magalhães - Ba, em Resposta As Doses de Óxido de Magnésio Combinadas com Gesso. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, 2008.

RODRIGUES, Renato A. S.; Montenegro, Abelardo A. A.; Santos, Daniella P.; Magalhães, Adriana G.; Júnior, Robertson P. F. Variabilidade espacial da umidade e das frações granulométricas do solo em um plantio de bananeiras irrigado no semiárido Pernambucano. **Conexões Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 134 - 143, 2017.

ROSA, Anderson.; Caponi, Luiz H.; Júnior, Luiz A. Z. Disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho em função do pH do solo. **Revista Acta Iguazu**, v. 5, p. 108-115, 2016.

ROSA, Suzana F.; Reinert, Dalvan J.; Reichert, José M.; Fleig, Frederico D.; Rodrigues, Miriam F.; Gelain, Neiva S. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* maiden no Pampa Gaúcho. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 580-590, 2018.

ROVEDA, Marcelo.; Pelissari, Allan L.; Genú, Aline M.; Filho, Afonso F.; Roik, Mailson. Modelagem geoestatística da estrutura espacial arbórea e dos atributos do solo em floresta ombrófila mista. **Revista Floresta**, v. 48, n. 1, p. 67-76, 2018. DOI: 10.5380/rfv48 i1.5027

SANTOS, A. C.; Araújo, A. S.; Santos, P. M.; Oliveira, L. B. T.; Oliveira, H. M. R.; André, T. B. Caracterização física e química dos solos de várzeas sob pastejo em relação às superfícies geomórficas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 64-72, 2014.

SANTOS, Eduardo V.; Guilherme, Frederico A. G.; Barbosa, Gustavo R. B.; Carneiro, Steffan E. S. Morfopedologia, composição florística e fitossociologia de uma vereda no sudoeste de Goiás. **Geoambiente on-line**, n. 31, 2018.

SANTOS, Fernando A. S.; Mariano, Raquel S. R.; Pierangeli, Maria A. P.; Souza, Célia A.; Bampi, Aumeri C. Atributos químicos e físicos de solos das margens do Rio Paraguai. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, 2013.

SANTOS, Humberto G.; Jacomine, Paulo K. T.; Anjos, Lúcia H. C.; Oliveira, Virlei A.; Lumbreras, José F.; Coelho, Maurício R.; Almeida, Jaime A.; Filho, José C. A.; OLIVEIRA, João B.; CUNHA, Tony J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, **Embrapa**, 5ª edição, 2018.

SANTOS, Leonardo J. C.; Oka-Fiori, Chisato; Canalli, Naldy E.; FIORI, Alberto P.; Silveira, Claudinei T.; Silva, Julio M. F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 812-820, 2007.

SANTOS, Renata S.; Barreto-Garcia, Patricia A. B.; Scoriza, Rafael N. Fungos micorrízicos arbusculares e serrapilheira como indicadores do efeito de borda em fragmento de floresta estacional, **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 324-335, 2018.

SANTOS, Karla A. Rufino, Iana A. A.; Filho, Mauro N. M. B. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, 2017.

SEMA - Secretaria Meio Ambiente do Estado do Paraná. Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná. **Curitiba: PROATLÂNTICA**, 2002. Relatório Técnico.

SENA, Marcelo M.; Poppi, Ronei J. Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 547-556, 2000.

SCHMITZ, José A. K.; Souza, Paulo V. D.; Kampf, Atelene N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937-944, 2002.

SILVA, Alexandre M.; Canuto, Daniela S. O.; Alves, Marlene C.; Buzetti, Salatiér.; Moraes, Mario L. T.; Sakamoto, Arnaldo Y. Características químicas de um latossolo vermelho em recuperação sob plantio de Pinus spp. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1049-1060, 2016.

SILVA, Cristiane F.; Pereira, Marcos G.; Santos, Vera L.; Miguel, Divino L.; Silva, Eliane M. R. Fungos micorrízicos arbusculares: composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata atlântica, rio de janeiro. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, 2016.

SILVA, Caroline M.; Vasconcelos, Steel S.; Mourão Moises J.; Bispo, Carlos J. C.; Kato, Osvaldo R.; Silva, Alberto C. J.; Castellani, Débora C. Variação temporal do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **ACTA AMAZONICA**, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2016.

SILVA, Enilson B.; Costa, Hermael A. O.; Farnezi, Múcio M. M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 751-757, 2006.

SILVA, Edimilson E.; Azevedo, Pedro H. S.; De-Polli, Helvécio. Determinação do Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo. **Embrapa, Comunicado Técnico 96**. ISSN 1517-8862; 2007. Seropédica-RJ.

SILVA, Edimilson E.; Azevedo, Pedro H. S.; De-Polli, Helvécio. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo. **Embrapa, Comunicado Técnico 98**. ISSN 1517-8862; 2007. Seropédica-RJ.

SILVA, Mozaniel B.; Kliemann, Huberto J.; Silveira, Pedro M.; Lanna, Anna C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, Valentim.; Fagundes, Maurício C. V.; Lima, Marcelo R.; Lima, Valmiqui C.; Tavares, Andressa K. **Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Editora Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 32 p., 2013.

SOUZA, Edicarlos D.; Silva, Camila R. M.; Pinto, Flávio A.; Carneiro, Marco A. C.; Paulino, Helder B.; Pacheco, Leandro P.; Terra, Flávia D.; Laroca, Jackeline V. S. Soil quality indicators after conversion of "murundu" fields into no-tillage cropping in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

TAUK, Sâmia M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 20, p. 299-301, 1990.

THANGARAJAN, Ramya; Bolan, Nanthi S.; Tian, Guanglong; Naidu, Ravi; Kunhikrishnan, Anitha. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil, **Science of The Total Environment**, v. 465, p. 72-96, 2013.

TEJNECKÝ, V.; Křížová, P.; VÍT Penížek, Maňourová, A.; Sillam-Dussès, D.; Šobotník, J.; Akama, P. D.; Lojka, B.; Němeček, K.; Borůvka, L.; Drábek, D. The influence of land use on the chemical characteristics of tropical soil, with emphasis on aluminum. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 204, 2019.

TRANNIN, Isabel C. de B.; Siqueira, José O.; Moreira, Fátima M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

TURETTA, Ana P. D.; Castro, Selma S.; Polidoro, José C. Solos, sustentabilidade e provisão de serviços ecossistêmicos. **Boletim Informativo da SBCS**, p. 26 -30, 2017.

VELOSO, Marcos E. C.; Duarte, Sergio; Neto, Durval D.; Silva, Edson C.; Pereira, Carlos R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função

da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009.

WEI, L.; Archaux, F.; Hulin, F.; Bilger, I.; Gosselin, F. Stand attributes or soil micro-environment exert greater influence than management type on understory plant diversity in even-aged oak high forests. **Forest Ecology and Management**, v. 460, 2020.

WEIHRAUCH, Christoph; Opp, Christian. Ecologically relevant phosphorus pools in soils and their dynamics: The story so far. **Geoderma**, v. 325, p. 183-194, 2018.

WINCKLER, L. T.; Güths, A. K.; Gayer, P. R. Benthic macroinvertebrates and degradation of phytomass as indicators of ecosystem functions in flooded rice cropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 261-270, 2017.