

# **AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO PELO MÉTODO DE CROMATOGRAFIA CIRCULAR DE PFEIFFER**

**Alexander Ferreira**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de  
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia*

Orientado por

**Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

**Manuel Ângelo Rosa Rodrigues**

**Luiz Carlos Dias da Rocha**

**Bragança-PT**

**2023**

Alexander Ferreira

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DO  
SOLO PELO MÉTODO DE CROMATOGRAFIA CIRCULAR DE  
PFEIFFER**

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com o Instituto Federal do Sul de Minas - Campus Inconfidentes.

Orientadores:

Prof. Dr. Margarida Maria P. Arrobas  
Rodrigues

Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Prof. Dr. Luiz Carlos Dias da Rocha

Bragança, Portugal

Fevereiro, 2023

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, especialmente ao meu pai Francisco Vicente Ferreira Filho pelo apoio e pela confiança nessa etapa que estive longe deles.

Agradeço a minha companheira de vida Jéssica Barbosa da Silva pela compreensão, apoio e incentivo para que pudesse concluir esse estudo, minha fonte de força para eu chegar até a esse momento.

A minha orientadora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues pela paciência, pela disponibilidade, pelo conhecimento, pelo tratamento a minha pessoa e todo apoio e suporte para eu realizar esse estudo, sou muito grato pelo crescimento profissional e pessoal. Ao meu coorientador Manuel Ângelo Rosa Rodrigues pela contribuição e ajuda pela disponibilidade dos materiais para realização deste trabalho.

Ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade de conhecer outra realidade de agricultura e cultura, e pela estrutura cedida para realização deste trabalho no Centro de Investigação de Montanha (CIMO). Agradeço ao pessoal do CIMO e do laboratório de solos da Escola Agrária Superior de Bragança pelo apoio, especialmente ao Nuno, a Rita, André, Dimande, Soraia e a Ana pela paciência e contribuição na elaboração desta dissertação.

Agradeço ao Instituto Federal do Sul de Minas - Campus Inconfidentes, a assessoria Internacional, na pessoa do Rafael Gomes Tenório pela oportunidade de ter essa experiência profissional e pessoal, sou muito grato por todo apoio e suporte. Ao meu coorientador, professor e amigo Luiz Carlos Dias Rocha pela ajuda e apoio para que pudesse realizar esse trabalho. Ao Núcleo de Estudo em Agroecologia - NEA Raiz do Campo - especialmente aos amigos Syara, Diogo, Aloisia, Mark, Jonas, Débora, Breno, Richard, Silvia, Ana Paula e o Cauê por toda base de conhecimentos agroecológicos que me inspirou e inspira a cada dia para ser melhor como profissional e ser humano.

Agradeço ao David Sossego da UFPB pelo apoio a técnica da cromatografia Circular de Pfeiffer. Aos meus amigos do Brasil pelas mensagens de apoio e incentivo nesse tempo que estive fora, que me deram força para conseguir concretizar esse estudo. e a todas as pessoas de Bragança que de uma forma

contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação e que eu pudesse ter essa experiência profissional e pessoal, GRATIDÃO a todos/as.

*“No pensar, lucidez. No sentir, afeição. No querer, ponderação. Se eu aspiro essas qualidades, posso esperar que saberei orientar-me nas trilhas da vida, diante de corações humanos, no âmbito do dever, pois a lucidez provém da luz da alma, a afeição mantém o calor do espírito, ponderação revigora a força vital, e tudo isto, na confiança de Deus, conduz nos caminhos dos homens a bons e seguros passos da vida.”*

Rudolf Steiner

## RESUMO

O solo é um dos recursos naturais relevantes para a manutenção da vida no planeta e para a produção agrícola. Na agricultura, a realização de análises químicas são utilizadas como mecanismo para o reconhecimento da qualidade dos solos. No entanto, métodos qualitativos têm sido testados e recomendados por possibilitarem a obtenção de informação mais completa acerca do histórico, condição química, física e biológica do solo. O presente estudo, objetivou avaliar os parâmetros de qualidade do solo pelo método agroecológico da Cromatografia Circular de Pfeiffer, juntamente com métodos analíticos tradicionais quantitativos para comparação dos resultados. Para a realização da cromatografia, amostras de solo coletadas em diferentes ambientes e em duas épocas do ano, foram processadas (identificadas, secas, peneiradas e pesadas), submetidas à solução extratora (NaOH), à solução reveladora de Nitrato de Prata (AgNO<sub>3</sub>) e impregnadas em um disco de papel-filtro de 150 mm e levadas para secagem na ausência de luz. Os métodos analíticos tradicionais utilizados foram os teores de matéria orgânica, carbono orgânico total do solo, nitrogênio mineral, fósforo, potássio, potencial de hidrogênio (pH), umidade, capacidade de troca catiônica e a atividade da enzima fosfatase. Os resultados das análises tradicionais demonstraram que o teor de matéria orgânica do solo influenciou positivamente a capacidade de troca catiônica do solo nas duas datas analisadas e, no mês de dezembro, a retenção da umidade no solo dos locais analisados. A técnica da cromatografia se mostrou viável para o monitoramento da qualidade do solo, sem necessidade de equipamentos caros. Apresentou uma relação positiva com indicadores tradicionais da qualidade do solo, nomeadamente com o teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, umidade, os teores de fósforo e potássio e com a atividade da enzima fosfatase. A cromatografia pode ser utilizada como uma técnica integral ou complementar às técnicas analíticas tradicionais de análise da qualidade do solo. Esta técnica mostrou ser sensível aos compostos de natureza bioquímica presente nos solos, podendo trazer maior entendimento dos processos bioquímicos que acontecem nos solos agrícolas, a partir da análise e interpretação dos padrões formados nas distintas zonas e características de importância como um todo.

**Palavras-chave:** Manejo do Solo; Qualidade e Saúde do Solo; Análises de Solos; Cromatografia Circular de Pfeiffer.

## ABSTRACT

The soil is one of the relevant natural resources for maintaining life on the planet and for agricultural production. In agriculture, performing the chemical analyzes are used as a mechanism for recognizing soils quality. However, qualitative methods have been tested and recommended as they make it possible to obtain more complete information about the history, chemical, physical and biological condition of the soil. The present study aimed to evaluate soil quality parameters using the agroecological method of Pfeiffer's Circular Chromatography, tog with traditional quantitative analytical methods to compare results. For performing the chromatography, soil samples collected in different environments and at two times of the year, were processed (identified, dried, sieved and weighed), submitted to an extracting solution (NaOH), a Silver Nitrate revealing solution (AgNO<sub>3</sub>) and impregnated in a 150 mm filter paper disc and taken to dry in the absence of light. The traditional analytical methods used were organic matter content, total soil organic carbon, mineral nitrogen, phosphorus, potassium, hydrogen potential (pH), moisture, cation exchange capacity and phosphatase enzyme activity. The results of the traditional analyzes showed the soil organic matter content positively influenced the cation exchange capacity of the soil in the two analyzed dates and, in the month of December, the moisture retention in the soil of the analyzed places. The chromatography technique proved to be viable for monitoring soil quality, without the need for expensive equipment. It showed a positive relationship with traditional indicators of soil quality, namely with the organic matter content, cation exchange capacity, moisture, phosphorus and potassium contents and with the activity of the phosphatase enzyme. The chromatography can be used as an integral technique or as a complement to traditional analytical techniques for soil quality analysis. This technique proved to be sensitive to the compounds of a biochemical nature present in the soils, making it possible to bring greater understanding of the biochemical processes that take place in agricultural soils, from the analysis and interpretation of the patterns formed in the different zones and characteristics of importance as a whole.

**Keywords:** Soil Management; Soil Quality and Health; Soil Analysis; Pfeiffer Circular Chromatography.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1	Objetivo geral.....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>2</b>
3.1	Qualidade do solo e saúde do Solo.....	4
3.2	Indicadores da qualidade do solo.....	5
3.2.1	Matéria orgânica e carbono orgânico do solo.....	8
3.2.2	Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e pH do solo.....	10
3.2.3	Nitrogênio do solo (N).....	11
3.2.4	Fósforo e Potássio do solo.....	11
3.2.5	Enzimas do solo: Fosfatase.....	13
3.3	Cromatografia Circular de Pfeiffer como método de avaliação de parâmetros de qualidade do solo.....	13
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
4.1	Caracterização das áreas dos solos em estudo.....	16
4.2	Coleta do solo e tratamento das amostras.....	18
4.3	Procedimentos Analíticos.....	18
4.3.1	Cromatografia Circular de Pfeiffer.....	18
4.4	Análises Analíticas Tradicionais.....	29
4.4.1	Matéria Orgânica (M.O) - Carbono Facilmente Oxidável.....	29
4.4.2	Carbono Total (CT).....	30
4.4.3	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	31
4.4.4	Umidade gravimétrica do solo.....	31
4.4.5	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), Potássio (K <sub>2</sub> O) disponíveis no Solo.....	31
4.4.6	Capacidade troca catiônica (CTC).....	31
4.4.7	Nitrogênio Mineral.....	32
4.4.8	Fosfatase.....	32

4.5	Análise de dados.....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1	Análises analíticas tradicionais.....	33
5.1.1	pH e umidade do solo.....	33
5.1.2	Carbono Orgânico do solo.....	36
5.1.3	Nitrogênio Mineral do Solo.....	38
5.1.4	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) e Potássio (K <sub>2</sub> O) do solo.....	40
5.1.5	Capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.....	43
5.1.6	Atividade da Enzima Fosfatase.....	44
5.2	Cromatografia Circular de Pfeiffer.....	46
5.2.1	Resultados gerais.....	46
5.2.2	Resultados por locais.....	49
5.3	Considerações feitas sobre a técnica da Cromatografia Circular de Pfeiffer...69	
5.4	Relação entre os Indicadores Analíticos Tradicionais e a Cromatografia Circular de Pfeiffer.....	71
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Relação entre as práticas de manejo e qualidade do solo.....3
- Figura 2:** Representação do preparo da solução extratora (NaOH) a esquerda e solução reveladora (AgNO<sub>3</sub>) à direita..... 19
- Figura 3:** Etapas do preparo do solo e o processo de dinamização da amostra de solo: 1: A amostra é moída em um almofariz. 2: processo de peneirado da amostra, utilizando uma peneira de 0,4 mm (40 mesh). 3: coletado a parte mais fina do solo, após o peneiramento. 4: Foram pesadas 10g de solo. 5: erlenmeyer de 250 ml com 10 g de solo e 100 ml da solução extratora de NaOH. 6: Processo de dinamização do solo.....20
- Figura 4:** Etapas do preparo do papel filtro: papel molde (1), perfuração do centro do papel com um furo de 2 mm (2), perfuração das marcas de padronização da impregnação das soluções 4 e 6 cm (3), papel de filtro pronto para as análises (4).35
- Figura 5:** Impregnação do AgNO<sub>3</sub> (A) ; impregnação da solução de solo + NaOH (B); representação esquemática do desenrolar dos testes de Cromatografia Circular de Pfeiffer (C): uma folha de papel filtro circular com uma inserção de pavio na perfuração central está localizada numa placa de Petri e uma tampa de garrafa PET para que a extremidade do pavio seja imersa na solução (fase líquida) a ser embebida..... 22
- Figura 6:** Imagem a direita: A folha impregnada é colocada sobre um suporte de placas de Petri e levado para uma caixa com ausência de luz para secar. Imagem à esquerda: os cromatogramas são colocados em luz direta por 14 dias.....23
- Figura 7:** Identificação esquemática das principais zonas de um cromatograma.... 24
- Figura 8:** Parte superior: exemplos de seções de padrão mostrando características (A) concêntricas e (B) radiais fortemente marcadas. Parte inferior: seções do padrão ilustrando, de (A) a (D), um desenvolvimento crescente de características radiais (por exemplo, canais e picos) e intensidade de cor, e o aumento da integração e diminuição de recursos concêntricos (por exemplo, anéis concêntricos)..... 25
- Figura 09:** Evolução radial dos cromatogramas (esquerda); desenho radial dos cromatogramas (direita).....26
- Figura 10:** Imagem à esquerda: padrões de cores para análise cromatográfica de solos. Imagem à direita: seis características diferentes da terminação dos dentes de

um cromatograma: 1: Terminação ideal, em forma de explosão e manchas enzimáticas. 2: Terminação não ideal, em forma plana circular e sem bordas. 3: terminação não ideal em formas de dentes de cavalo. 4: terminação não ideal em forma de dentes pontiagudos. 5: terminação não ideal, em forma de agulhas irregulares. 6: terminação não ideal em formas de grão de milho.....	27
<b>Figura 11:</b> Características visuais de importância.....	26
<b>Figura 12:</b> Cromatogramas de sistemas biológicos. Esquerdo: cromatograma de excelência de um solo tropical em sistema biológico, Colômbia. Direito: cromatograma do solo da horta urbana comunitária, da Escola Superior Agrária (ESA) de Bragança. PT.....	29
<b>Figura 13:</b> Imagem A: preparo das soluções de solo com 1 g de terra + 10 ml dicromato de potássio + 20 ml ácido sulfúrico + 200 ml de água destilada. Imagem B: solução de dicromato de potássio (49,04 g de $K_2Cr_2O_7$ + 1000 ml de água destilada). Imagem C: solução de 0,5N $Fe^{++}$ (196,1g $Fe(NH_4)_2(6H_2O)$ + 800 ml de água destilada com 20 ml $H_2SO_4$ concentrado.....	30
<b>Figura 14:</b> Desenvolvimento de cor pelo método do fenato para determinação de ião amônio.....	32
<b>Figura 15:</b> Valores de pH das amostras de solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 1,69.....	34
<b>Figura 16:</b> Valores de pH das amostras de solo dos diferentes ambientes do mês de dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 0,87.....	34
<b>Figura 17:</b> Valores de umidade do solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 20,02%.....	35
<b>Figura 18:</b> Valores de umidade do solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 11,31%.....	35

**Figura 19:** Valores do carbono orgânico dos solos dos diferentes ambientes, no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas entre os valores comparado entre o mesmo atributo analisado, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação(%): COT (6,18), COFO (10,13)..... 36

**Figura 20:** Valores do carbono orgânico dos solos avaliados no mês de dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas entre os valores comparado entre o mesmo atributo analisado, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação(%): CT (9,40), CFO (13,67)..... 37

**Figura 21:** Concentrações de nitrogênio mineral das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os mesmos tratamentos no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (13,54), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (11,86) e N mineral (14,42).....39

**Figura 22:** Concentrações de nitrogênio mineral das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os mesmos tratamentos no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ) a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (13,54), NH<sub>3</sub> (11,86) e N mineral (14,42)..... 39

**Figura 23:** Valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 30,46%..... 41

**Figura 24:** Valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 21,05%..... 41

**Figura 25:** Valores de K<sub>2</sub>O das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 25,62%..... 42

**Figura 26:** Valores de K<sub>2</sub>O das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2022. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não

diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 11,78%.....	43
<b>Figura 27:</b> Valores da CTC do solo dos diferentes ambientes, no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 8,52 %.....	45
<b>Figura 28:</b> Valores da enzima fosfatase das amostras de solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 16,99.....	45
<b>Figura 29:</b> Valores da enzima fosfatase do solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. INIAV. 2022. Manual de Fertilização das Culturas. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 14,92.....	45
<b>Figura 30:</b> Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, no mês de julho. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nos gráficos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: integração (20,45), flechas e plumas (5,85), dentes (19,39) e cores 19,94.....	47
<b>Figura 31:</b> Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, na mesma data. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nos gráficos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: integração (20,45), flechas e plumas (5,85), dentes (19,39) e cores 19,94.....	48
<b>Figura 32:</b> Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, julho e dezembro.....	49
<b>Figura 33:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T1-OT, no mês de julho .....	50
<b>Figura 34:</b> Cromatograma do solo (T1-OT),julho. Papel filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	51
<b>Figura 35:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo de T1-OT, no mês de dezembro.....	51

<b>Figura 36:</b> Cromatograma do solo (T1-OT), dezembro. Papel filtra TECH, e papel Whatman nº1.....	52
<b>Figura 37:</b> T1-OT - São Pedro - Solo ocupado com olival em sistema de uso tradicional (Leptossolo). Papel filtro Filtra TECH #4.....	53
<b>Figura 38:</b> Cromatogramas do tratamento 2A (julho), local T2-T . Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	54
<b>Figura 39:</b> Cromatogramas do T2-T, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	54
<b>Figura 40:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T2-T, no mês de dezembro. ....	55
<b>Figura 41:</b> Cromatogramas do T2-T. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	56
<b>Figura 42:</b> T2-T - Valongo – Parcela com cultivo de trigo em sistema de cultivo convencional (Cambissolo). Papel filtro Filtra TECH #4. ....	57
<b>Figura 43:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo T3-PT, no mês de julho.....	58
<b>Figura 44:</b> Cromatogramas do T3-PT, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	58
<b>Figura 45:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do T3-PT, dezembro.....	59
<b>Figura 46:</b> Cromatogramas do T3-PT, dezembro. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	60
<b>Figura 47:</b> T3-PT - Poulão – Parcela ocupada com uma pastagem temporária (Fluvissole). Papel filtro Filtra TECH, #4.....	61
<b>Figura 48:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do T4-OP, julho.....	62
<b>Figura 49:</b> T4-OP, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	62
<b>Figura 50:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T4-PO, no mês de dezembro de 2021.....	63
<b>Figura 51:</b> T4-PO, dezembro. Papel filtro Filtra TECH e papel filtro Whatman nº1..	64
<b>Figura 52:</b> T4-OP - Pinheiro Manso – Cultivo de oliveira em sistema silvipastoril convencional (Cambissolo). Papel filtro Filtra TECH, #4.....	65

<b>Figura 53:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T5-L, no mês de Julho de 2021.....	66
<b>Figura 54:</b> Cromatogramas do T5-L, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	66
<b>Figura 55:</b> Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T5-L, no mês dezembro de 2021.....	67
<b>Figura 56:</b> Cromatogramas T5-L, dezembro. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.....	68
<b>Figura 57:</b> 5-L-St <sup>a</sup> Apolónia – Lameiro, ou pastagem permanente (Fluvissole). Papel filtro Filtra TECH,#4.....	69

# 1 INTRODUÇÃO

A agricultura praticada nos dias atuais apresenta função importante na produção de alimentos, fibras e energia, mas se mostra dependente de práticas agrícolas como mecanização, irrigação e agroquímicos. Agrotecnologias que trazem preocupações relativas à sustentabilidade dos ecossistemas e à saúde pública, sendo comum as revelações acerca da necessidade de práticas sustentáveis de cultivo (BHADURI *et al.*, 2017). Segundo JANVIER *et al.* (2007) existe um interesse por práticas culturais que favoreçam métodos biológicos e estas práticas têm uma forte influência na saúde do solo, contribuindo também para a melhoria da saúde das plantas, tanto por meio de mudanças nas características físico-químicas quanto pela influência nas comunidades microbianas do solo.

Em sistemas sustentáveis, técnicas agroecológicas consistem na acumulação de experiências produtivas em uma abordagem sistêmica dos processos agroalimentares, possibilitando a ampliação dos vínculos positivos entre agricultura e saúde e demonstrando que a maneira como a agricultura é praticada pode promover a saúde do solo, reduzir e até evitar a degradação ambiental, minimizar a incidência de insetos-praga e ainda produzir alimentos saudáveis reduzindo os riscos à saúde humana (ALTIERI; NICHOLLS, 2020).

Em sistemas produtivos mais complexos, a análise química tradicional pode não ser suficiente para revelar as características do solo, que é um recurso finito essencial para a produtividade agrícola e a qualidade ambiental (ADETUNJI *et al.*, 2017). Para avaliar a qualidade de solos agrícolas, alguns pesquisadores agroecológicos de referência como Sebastião Pinheiro, Ana Maria Primavesi e Stephen Richard Gliessman indicam métodos qualitativos, como o uso do método da cromatografia circular de Pfeiffer (CCP) que pode ser uma alternativa no monitoramento da qualidade do solo, visto que este apresenta resultados integrados e qualitativos dos atributos e da saúde do solo.

O conhecimento da cromatografia tem sido, nos últimos anos, uma importante ferramenta para a obtenção de informações, tendo em vista a sua capacidade para expressar de forma relativamente prática e de fácil visualização as mudanças das características do solo ocasionadas pelas ações humanas. A realização deste trabalho busca ampliar os conhecimentos sobre o emprego desta

ferramenta no reconhecimento dos indicadores da qualidade e saúde do solo juntamente e por comparação com metodologias analíticas tradicionais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Como objetivo principal procura-se, neste trabalho, avaliar os parâmetros de qualidade do solo pelo método da Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP), juntamente com métodos quantitativos padrão.

### **2.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos pretende-se a) utilizar a Cromatografia Circular de Pfeiffer como ferramenta para analisar a qualidade do solo; b) analisar os solos com o uso de métodos padrão como a determinação do teor em carbono de fácil oxidação, carbono orgânico total, nitrogênio mineral, capacidade de troca catiônica, pH, fósforo, potássio e a atividade da enzima fosfatase do solo. Estas determinações são usadas para determinar a validade do método de cromatografia circular de Pfeiffer. Por último procura-se avaliar c) a influência do tipo de papel usado nos padrões dos cromatogramas.

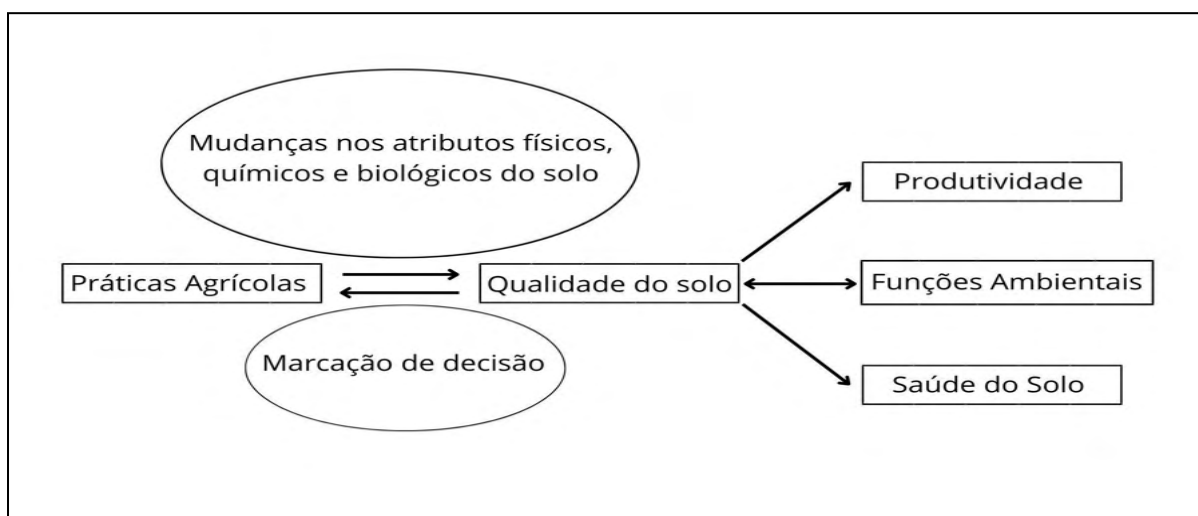
## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Segundo FEIL e SCHREIBER (2017) a definição de sustentabilidade é um processo que mensura o grau ou nível da qualidade do sistema complexo ambiental humano com o intuito de avaliar a distância deste em relação ao sustentável. O termo agricultura sustentável fornece pontos de discussão, um senso de direção e uma urgência, que despertou muito entusiasmo e pensamento inovador no mundo agrícola (ETINGOFF, 2016).

Em se tratando de uma indagação do termo *sustentabilidade agrícola*, segundo GLIESSMAN (2000) é conceituada como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos e fibras sem comprometer as condições que viabilizam

esse processo de produção ao longo dos anos. Uma referência de agricultura sustentável é a *agroecologia*, uma ciência com um amplo campo do conhecimento, em que mais do que tratar sobre o manejo ecológico responsável dos recursos naturais, possui um enfoque holístico e uma abordagem sistêmica, nas diferentes inter-relações e mútua influência (CAPORAL *et al.*, 2009).

Sobre um recurso essencial para a agricultura, o *solo*, é necessário desenvolver uma gestão sustentável do mesmo, que conduza a uma agricultura saudável. Segundo ZORNOZA *et al.*, (2015), a inter relação entre práticas de manejo, qualidade do solo, produtividade, funções ambientais e saúde do solo são consequência indireta das práticas de gestão em outros componentes, **Figura 1**.



**Figura 1:** Relação entre as práticas de manejo e qualidade do solo.

**Fonte:** Zornoza *et al.*, 2015.

O solo é um recurso natural que desempenha um papel de extrema importância no ecossistema. Por este motivo é muito importante desenvolver ações que contribuam para a sua conservação, para um aproveitamento mais eficiente, com o mínimo de danos possível. Para isso é necessário conhecer o tipo de solo que vai ser utilizado, procurar entender os fatores relacionados com a sua formação natural, estando tais fatores inter-relacionados com a dinâmica física, química e biológica do recurso, sofrendo ação do tempo para formação da camada da terra num determinado ambiente (BARRETO *et al.*, 2016).

A formação dos solos é influenciada por fenômenos de natureza ambiental, nomeadamente os relacionados com o clima. O clima do tipo mediterrâneo tem, em geral, um inverno chuvoso e um verão seco e quente. Este tipo clima ocorre no litoral dos EUA (Califórnia), nas Cordilheira dos Andes no Chile, Sul da Europa,

Norte e Sudoeste da África e sudoeste da Austrália, encontrados nas partes ocidentais de todos os continentes, entre a zona de temperatura mais fria e a zona quente e seca do deserto (YAALON, 1995).

Os solos formados em ambiente mediterrânico são influenciados por fatores climáticos caracterizados por chuvas de inverno, com alguns meses de excesso de água, meses de verão quentes e secos com déficits de umidade que resultam na seca dos solos e da sua vegetação anual (PEREIRA *et al.*, 2004). Os solos na região de Trás-os-Montes, localizados na região nordeste de Portugal, possuem limitações quanto ao uso agropecuário devido a várias características do clima temperado em terras frias, como solos pouco profundos, reduzida umidade no solo, elevada presença de materiais grosseiros (pedregosidade) e declives acentuados (RANZAN, 2020).

Segundo FIGUEIREDO (2013) de entre as principais unidades de Trás-dos-Montes no Nordeste de Portugal destacam-se os Leptossolos (71,6%) que estão mais representados em áreas montanhosas, seguidos de Cambissolos (13,4 %). Os leptossolos são solos pouco desenvolvidos, caracterizados por um horizonte superficial A em cima da rocha-mãe. Os cambissolos são solos mais desenvolvidos, em geral com maior quantidade de matéria orgânica e argila, componentes que se podem acumular em horizontes mais profundos.

### **3.1 Qualidade do solo e Saúde do Solo**

A definição da qualidade do solo (QS) tem sido uma questão desafiadora, uma vez que os solos apresentam alta variabilidade em propriedades, características e funções (ZORNOZA, 2015). O solo é um sistema dinâmico, heterogêneo, poroso, vivo e natural, crucial para manter todo o ecossistema, e sua importância na produção agrícola é avaliada pela sua capacidade de suportar o crescimento das culturas. Esta capacidade é consequência da sua qualidade e saúde, condições determinadas por diferentes propriedades (BHADURI *et al.*, 2022).

A conservação e manutenção da qualidade e saúde do solo é determinante para a prestação de diversos serviços ecossistêmicos, benefícios que as populações obtêm do solo, como alimentos, água, madeira e fibra. É ainda determinante na regulação dos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas, como regulação do ciclo da

água, ciclo do carbono, ciclo do nitrogênio, ciclo do enxofre e outros, possibilitando o avanço da gestão sustentável do solo (PEREIRA *et al.*, 2019).

O conceito de qualidade do solo, segundo ARAÚJO (2007), incorpora a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema, visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas, dos animais e do Homem. A qualidade do solo está relacionada à quantidade e tipo de inter-relações entre os seres vivos. Trata-se de um conceito dirigido para a dinâmica das propriedades e processos do solo, constituindo um factor essencial na sustentabilidade dos agroecossistemas. Outros autores optam por utilizar termo *saúde do solo* em vez de *qualidade do solo*, para uma melhor abordagem da conservação do solo aos olhos dos que observam o solo como um sistema vivo.

Na União Europeia a definição de saúde do solo é a capacidade contínua do solo de funcionar com um sistema vivo vital, dentro dos limites do ecossistemas e do uso da terra, para sustentar a produtividade biológica, promover a qualidade dos ambientes aéreo e aquático, e manter a saúde vegetal, animal e humana (PINHEIRO, 2015, p. 43).

Segundo WANDER *et al.*, (2019) a qualidade do solo se refere às características e dinâmicas das propriedades do solo, enquanto a saúde do solo define função em termos da capacidade do solo de fornecer um serviço baseado no estoque ou processo existente, assim aplicando o termo qualidade do solo para descrever o estado do solo como indicadores isolados e não ordenados, e saúde do solo para fornecer a valorização do status funcional de um solo em relação aos serviços gerados pelo mesmo.

### **3. 2 Indicadores da qualidade do solo**

Segundo ARAÚJO (2007) os indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de saúde do agroecossistema. Os indicadores da qualidade do solo são ferramentas importantes que permitem conhecer as alterações resultantes das ações humanas. Também podem ser considerados critérios que permitem avaliar a qualidade dos solos e compará-los, quando estes são submetidos a diferentes práticas agrícolas, possibilitando

compreender os efeitos positivos e negativos das práticas agrícolas de uso da terra na qualidade e saúde do solo.

Os indicadores de qualidade do solo podem ser ativos valiosos para monitoramento e avaliação de ecossistemas. Recentemente têm-se registrado avanços no desenvolvimento de metodologias para análises de solos, oportunidades sem precedentes para integrar indicadores de solos em programas de produção agrícola sustentável e áreas em restauração ecológica (GYAWALI *et al.*, 2022). Os indicadores podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. Na **Tabela 1** estão representados os principais indicadores e sua relação com a qualidade do solo.

**Tabela 1:** Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e sua relação com a qualidade do solo.  
**Fonte:** Adaptado de ARAÚJO, 2007.

	<b>INDICADORES</b>	<b>RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO SOLO</b>
	<b>Carbono Orgânico</b>	<b>Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo</b>
<b>FÍSICOS</b>	<b>Estrutura do solo</b>	<b>Retenção e transporte de água e nutrientes</b>
	<b>Infiltração e densidade do solo</b>	<b>Movimento da água e porosidade do solo</b>
	<b>Capacidade de retenção de umidade</b>	<b>Armazenamento e disponibilidade da água</b>
<b>QUÍMICOS</b>	<b>pH</b>	<b>Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes</b>
	<b>Condutividade elétrica</b>	<b>Crescimento vegetal e atividade microbiana</b>
	<b>Conteudos de N, P e K</b>	<b>Disponibilidade de nutrientes para as plantas</b>
<b>BIOLÓGICOS</b>	<b>Biomassa microbiana</b>	<b>Atividade microbiana e reposição de nutrientes</b>
	<b>Fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN)</b>	<b>Potencial de suprimento de N para as plantas</b>
	<b>Atividade enzimática do solo</b>	<b>Atividade microbiana e catalítica do solo</b>
	<b>Respiração do solo</b>	<b>Atividade microbiana</b>
	<b>Mineralização de nutrientes N, P e S</b>	<b>Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes</b>

O carbono orgânico do solo (COS) é o indicador mais utilizado para a avaliação qualidade do solo, seguido de pH, condutividade elétrica, nitrogênio total e o teor de nutrientes, que são indicadores de fertilidade do solo. Os indicadores físicos mais utilizados são o tamanho das partículas (textura), estabilidade de agregados e densidade aparente. Sobre as propriedades biológicas, destaca-se principalmente carbono da biomassa microbiana, nitrogênio fixado biologicamente e atividade enzimática (ZORNOZA *et al.*, 2015).

De acordo com PRIMAVESI (2018) o sistema solo vivo abriga uma grande diversidade de bactérias, protozoários, vermes e insetos, que juntamente com o espaço vital da raiz estabelecem uma ação de benefício recíproco entre solo-planta-microvida. No solo, os minerais, composto orgânicos e microorganismos atuam e interagem com suas reações físicas, químicas e biológicas, em processos nos quais os micróbios alternam a transformação de materiais (minerais e orgânicos) por meio de processos de fermentação ou respiração, conforme as condições ambientais (PINHEIRO, 2015).

A biocenose do solo, termo cunhado para denominar a ação mútua entre solo-planta-microorganismos, trás a importância dessa interação dos animais, vegetais e microorganismos para a fertilidade do solo, que é diferente para cada ambiente, conforme as condições naturais e depende de uma série de variáveis a serem consideradas, desde o arejamento do solo, a quantidade de radiação que recebe, a quantidade de nutrientes minerais, húmus e humidade, o tipo de uso do, entre outras (PRIMAVESI, 2018).

Segundo PINHEIRO (2015) essa interação entre solo, plantas e microorganismos é o que permite a fertilidade do solo crescente ao longo do tempo, controlada de acordo com o metabolismo dos microorganismos no meio. De um modo geral, quanto mais diversidade e relações interespecíficas entre bactérias, fungos, plantas e outros seres mais saudável será o solo. Segundo ARAÚJO (2007) a preocupação com o uso dos recursos naturais tem priorizado cada vez mais a busca de alternativas de produção que visem sobretudo a sustentabilidade e qualidade do recurso solo.

Os microorganismos que habitam o solo possuem funções de grande importância econômica e ambiental, dentre as mais diferentes funções atribuídas, uma das mais importante é a degradação de compostos orgânicos, portanto a ciclagem de nutrientes, agentes de processos de fixação biológica de nitrogênio e na simbiose com as plantas na absorção de nutrientes (MIRAMARI, 2013). Dentre os serviços ecossistêmicos promovido pela diversidade de microorganismos podemos destacar a ciclagem do nitrogênio, transformação da matéria orgânica; até processos biotecnológicos, como a utilização da microbiota como alimento, promotor da biorremediação e do biocontrole, ou como promotora de processos de polinização (PIMENTEL *et al.*, 1997).

Os solos desempenham um papel fundamental nos principais ciclos biogeoquímicos (carbono, nutrientes e água), enquanto abrigando a maior diversidade de organismos terrestres, fornecem serviços ecossistêmicos fundamentais, e o manejo para mudar um processo do solo em apoio a um serviço ecossistêmico, pode fornecer co-benefícios para outros serviços ou resultar em compensações, essa capacidade dos solos de fornecer serviços é conferida principalmente por dois atributos, o alcance dos processos biogeoquímicos que ocorrem no solo e funcionalidade da biodiversidade do solo (SMITH *et al.*, 2015).

A biomassa microbiana do solo desempenha papéis importantes na ciclagem de nutrientes, supressão de fitopatógenos, decomposição de resíduos orgânicos e degradação de poluentes, sendo um bom indicador de qualidade do solo, dentro dos conceitos de qualidade do solo e serviços ecossistêmicos, podemos levar em consideração a diversidade funcional microbiana nos agroecossistemas (KASCHUK *et al.*, 2010). Os bioindicadores da saúde do solo são propriedades mensuráveis que definem os componentes bióticos no solo e poderiam potencialmente ser usados como grandeza na determinação da funcionalidade do solo sobre uma ampla gama de condições ecológicas (BHADURI *et al.*, 2022).

### 3.2.1 Matéria orgânica e carbono orgânico do solo

A matéria orgânica é entendida como um complexo emaranhado de diversas substâncias nutritivas, divididas em dois grupos: substâncias orgânicas de origem vegetal ou animal não humificadas e substâncias orgânicas de natureza específica designadas de húmus. De acordo com PRIMAVESI (2018) as substâncias orgânicas não humificadas são fonte importante de substâncias nutritivas para as plantas e microorganismos. Elas decompõem-se com relativa facilidade em solo tropicais e mais devagar em solos temperados. As substâncias húmicas ajudam o solo a conservar a umidade e promovem a formação de boa estrutura (condicionadores). Do ponto de vista químico, possuem locais ativos, dotados de carga elétrica, que retêm nutrientes tornando-os mais disponíveis para as plantas (PINHEIRO, 2018).

A matéria orgânica desempenha um papel importante no equilíbrio biogeoquímico do solo, influenciando os atributos físicos, químicos e biológicos do mesmo, com reflexo na estabilidade da produtividade dos agroecossistemas. O

aumento dos teores de matéria orgânica do solo pode estar relacionado com o aumento na eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas, levando a um aumento na produtividade das culturas. Desta forma, este componente do solo desempenha um papel importante na sustentabilidade agrícola (COSTA et al., 2013).

Segundo PINHEIRO (2018) as substâncias orgânicas servem como fonte principal de alimento para a maioria dos microrganismos do solo, exercendo por isso grande influência sobre a atividade vital dos microrganismos. Os indicadores biológicos mostram que os microrganismos do solo com suas características como a abundância, atividade bioquímica e metabólica, além de proporcionarem respostas mais rápidas a mudanças no ambiente, apresentam um alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo (ARAÚJO, 2007).

O teor de C no solo contribui com a boa estrutura física do solo, segundo GOMES (2006); (SMITH *et al.*, 2015). Os atributos físicos em relação ao meio agrícola são de grande importância pela relação direta com os processos hidrológicos, taxa de infiltração, redução do escoamento superficial, drenagem e erosão, e também suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo. Os indicadores físicos são úteis para avaliação do estado de conservação do solo possibilitando a gestão segura dos recursos naturais (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

Segundo ROCHA JUNIOR *et al.* (2022) a qualidade estrutural do solo varia com os níveis de degradação dos ecossistemas, sob diferentes uso do solo observando-se melhor qualidade dos solos sob floresta, devido aos seus maiores teores de matéria orgânica em todas as profundidades estudadas. Esta característica permitiu verificar uma maior capacidade de retenção de água no solo.

O armazenamento de C no solo é de grande importância para as funções dos ecossistemas, impactando e retroalimentando o sistema climático da terra, através das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, que são armazenados no solo removido da atmosfera durante a fotossíntese. O teor de M.O. no solo confere benefícios para a saúde humana como o aumento da produção de alimentos, fibras e culturas energéticas, contribui com o teor de fibras nos alimentos através da melhoria da fertilidade do solo (SMITH *et al.*, 2015).

### 3.2.2 Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e pH do solo

Segundo MANRIQUE *et al.*, (1991) é importante conhecer a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, propriedade relacionada com a caracterização da disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas. Segundo BACHE (1970) a CTC é definida como uma medida da capacidade do solo para adsorver cátions de tal forma que possam ser facilmente trocados por íons concorrentes.

O estudo da CTC é necessário para o entendimento de diversos fenômenos químicos que ocorrem nos solos, já que a maioria das reações eletroquímicas que influenciam a sua fertilidade e a nutrição de plantas e que podem interferir em fenômenos relacionados com o seu manejo e conservação ocorre na superfície dessas partículas. Do ponto de vista prático, a CTC é determinada a partir da concentração dos cátions cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), estes dois últimos designados de acidez de troca. Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas (RONQUIM, 2010).

O pH é reconhecido como um dos atributos químicos do solo mais descritos, que mais influencia as comunidades microbianas, a solubilidade dos minerais e a disponibilidade de nutrientes (COTTA, 2016). Existe uma grande relação entre a atividade microbiana e o pH do solo. O aumento do pH para valores próximos da neutralidade contribui para a estabilidade dos agregados e o volume macroporos. Em reação ácida, se desenvolvem fungos acidófilos, tendo uma diminuição da componente bacteriana. Ainda em ambientes ácidos faltam seres que misturam e removem a terra, como as minhocas (PRIMAVESI, 2018).

O pH do solo pode ser um fator limitante à fixação biológica de nitrogênio tanto para valores maiores como para valores menores dos considerados adequados. Com respeito à solubilidade e disponibilidade de nutrientes, a acidez está diretamente relacionada com menores teores de fósforo e cálcio e teores excessivos de alumínio. O fósforo tende a ficar imobilizado por adsorção dos íons fosfato nos colóides de óxidos de ferro e alumínio presentes neste tipo de solo (CASSETARI; SILVA; CARDOSO, 2016).

### 3.2.3 Nitrogênio do solo (N)

O nitrogênio é um elemento essencial para todos os organismos vivos e o principal nutriente que limita a vida em nosso planeta. É necessário para a biossíntese de componentes celulares chave, como proteínas e ácidos nucleicos e sua disponibilidade depende de diversas reações transformadoras de nitrogênio que são realizadas por microrganismos (KUYPERS *et al.*, 2018).

A origem de nitrogênio no solo a partir da qual as plantas têm acesso está associada a nitrogênio orgânico que é oriundo de restos vegetais, animais e microrganismos, e os adubos de síntese industrial. Em alguns solos poderá existir uma pequena fração associada a argilas. Também o nitrogênio atmosférico constitui uma fonte importante para as plantas e este entra no solo pela fixação simbiótica de bactérias e algas por via física através das águas pluviais que são absorvidas pelas camadas superficiais da terra (PRIMAVESI, 2018).

Segundo CASSETARI *et al.*, (2016) as bactérias diazotróficas têm a capacidade de habitar diferentes ambientes e todas utilizam a mesma estratégia bioquímica para realizar a fixação biológica do nitrogênio, com a ajuda da enzima nitrogenase, responsável por catalisar o processo de redução do N-atmosférico a N-amoniacal, forma assimilável pelos seres vivos.

Cerca de 95% do N presente no solo encontram-se na forma orgânica. Para além do N orgânico, existem formas inorgânicas minerais ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), que estão bem caracterizadas, uma vez que podem ser separadas e quantificadas, mesmo que suas concentrações no solo sejam bem menores do que a fração orgânica. Estas formas são de grande importância para a nutrição das plantas (VIEIRA, 2017).

### 3.2.4 Fósforo e Potássio do solo

O fósforo (P) é um dos 17 elementos considerados essenciais para o crescimento vegetal. A dinâmica do P no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos e as propriedades físicas e químicas e mineralógicas do solo, de forma que o solo pode ser fonte ou dreno de P. Para entender como os microrganismos atuam na ciclagem de P no solo deve-se

conhecer as formas de P e suas interações com os organismos do solo (BINI; LOPEZ, 2016).

O fósforo é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, na formação dos ácidos nucleicos, e integra a estrutura de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (DECKER, 2019). Segundo VIEIRA (2017), o P é utilizado particularmente na aquisição, armazenamento e utilização de energia. Quantidades insuficientes deste nutriente no solo limitam a fixação biológica de nitrogênio, com reflexo na redução do número e da biomassa dos nódulos nas raízes das plantas, bem como na diminuição da atividade da nitrogenase.

De acordo com PRIMAVESI (2018), o elemento fósforo é um elemento-chave da vida vegetal e a decomposição dos fosfatos minerais está ligada a processos bioquímicos. A atividade mais importante desse processo é realizado pelos microrganismos do solo, que produzem ácidos capazes de dissolver os fosfatos ou de convertê-los em formas orgânicas, deixando-o disponível para as plantas.

O fósforo é um elemento encontrado em pouca quantidade na natureza. Os compostos de fósforo são adicionados ao solo na forma de resíduos de plantas e de animais e na forma de adubos produzidos a partir de rochas fosfatadas. Também pode existir no solo associado à atividade microbiana. WAKSMAN (2012) refere que 50% do total de cinzas de azotobacter e de outras bactérias é composto de ácido fosfórico).

O potássio (K) é também um dos elementos essenciais para a vida. Existe em grandes quantidades na maioria dos solos, por se tratar de um componente de feldspatos, silicatos zeolíticos e não zeolíticos e existe também na forma orgânica. Em caso de deficiência, é aplicado no solo na forma de sais hidrossolúveis, sobretudo na forma de sulfato e cloreto ou na forma de composto orgânicos (PRIMAVESI, 2018).

WAKSMAN (2012) refere que a existência de potássio no solo disponível para as plantas depende essencialmente da atividade microbiana do solo que transforma os sais minerais e permite a maior disponibilidade de potássio. No entanto, a concentração do potássio disponível é controlada por vários fatores como a sua concentração total, umidade do solo, pelo complexo de troca do solo, pH,

quantidade de húmus no solo, para além da atividade de microorganismos (PRIMAVESI, 2018).

### 3.2.5 Enzimas do solo: Fosfatase

Um estudo de solos agrícolas urbanos, com base na atividade enzimática do solo, pode avaliar a sua qualidade seu poder discriminatório é suficiente para identificar um grau de saúde ou qualidade do solo (IGALAVITHANA *et al.*, 2017

Segundo SHI (2011) algumas enzimas do solo têm grande importância nas reações bioquímicas catalisadas do solo como por exemplo reações importantes na decomposição da matéria orgânica do solo. Algumas enzimas são capazes de manifestar a direção e a magnitude da decomposição do carbono e da ciclagem de nutrientes do solo. Um exemplo são as lignoceluloses que são enzimas essenciais no processo de decomposição da matéria orgânica (PINHEIRO (2015).

Segundo OLANDER e VITOUSEK (2000) microrganismos do solo e plantas produzem enzimas que contribuem para o aumento da disponibilidade para aumentar o fornecimento de nitrogênio inorgânico e fósforo.

As fosfatases são um grupo de enzimas que possuem a capacidade de catalisar a hidrólise de ésteres e anidridos do ácido fosfórico com posterior liberação de fosfato inorgânico. Assim, estas enzimas constituem uma importante fonte mineralizadora de fosfato e o disponibilizam para as plantas na forma inorgânica (ZAGO, 2016).

### **3.3 Cromatografia Circular de Pfeiffer como método de avaliação de parâmetros de qualidade do solo.**

Por meio dos indicadores da qualidade do solo é possível qualificar e quantificar a saúde do solo, auxiliando os agricultores nas melhores tomadas de decisão dos manejos agrícolas, mas os limites de tempo e recursos muitas vezes restringem o número de parâmetros que podem ser analisados (GYAWALI *et al.*, 2022). A cromatografia pode ser uma alternativa na análise qualitativa que possibilita apresentar resultados consistentes de maneira simples da qualidade do solo.

Segundo FOLLADOR (2015) a técnica da cromatografia foi inventada em 1902 pelo botânico russo Mikhail Tswett, descrito em suas publicações fundamentais de no período 1903 a 1906. Os primeiros trabalhos desenvolvidos por um método complexo através da utilização de colunas de vidro, possibilitaram descobrir que a maioria das substâncias possuem uma cor específica e este facto acabou por se tornar uma revolução mundial (PINHEIRO, 2011).

O casal russo, Nicolai Izmailov e Maria Schraiber substituíram a coluna de vidro por folhas de papel de filtro, possibilitando um auto registro depois da separação das substâncias que permaneceram de forma documentada nos papéis. Ao aplicar uma mistura fluida com diferentes componentes a um papel de filtro, pode-se observar como, devido à ação capilar, diferentes elementos na mistura são embebidos pelo papel em formas distintas, formando padrões diferenciados (FOLLADOR, 2015).

Segundo MAZEDA (2016) o método de Dinamolises Capilar, precursor da CCP que foi idealizado por Kolisko e Kolisko (1939), que por trazer uma forma de estudar o papel primordial dos processos vitais do solo, desenvolvidos a partir da Agricultura Biodinâmica de Rudolf Steiner durante a primeira metade do século XX. O objetivo dos métodos geradores de imagens é expor a manifestação das características associadas à composição do solo. Os métodos de imagem foram usados em atividades baseadas na Agricultura Biodinâmica, desde que foram desenvolvidas no início do século XX até os dias atuais, sofrendo algumas modificações, mas com o mesmo intuito a investigar a vitalidade de várias substâncias orgânicas.

A CCP é um método analítico baseado nos princípios do método de Kolisko e Kolisko (1939) mas com desenvolvimentos posteriores, método usado para testar a qualidade dos solos (MAZEDA, 2016). A CCP são padrões coloridos formados em papéis de filtro circulares, pré-tratados com uma substância fotossensível ( $\text{AgNO}_3$ ), e embebidos com um extrato aquoso de NaOH da amostra de solo (KOKORNACZYK *et al.*, 2016).

A técnica foi aplicada pelo químico alemão Dr. Ehrenfried Pfeiffer na década de 1950, pioneiro em uma nova forma de trabalhar com cromatografia em papel para avaliar as qualidades de húmus ou composto em solos (FOLLADOR, 2015). Pfeiffer percebeu que a fertilidade do solo é complexa, os micróbios criam, transformam e destroem continuamente complexas moléculas orgânicas e

inorgânicas e vice-versa. Mais tarde aprimorou a técnica para analisar a saúde do solo (PINHEIRO, 2015).

O método desenvolvido por Pfeiffer foi baseado em sua “*Teoria da vitalidade do solo*”, onde ele propôs que as relações entre microrganismos, solos e plantas promovem contínuas transformações de energia, base para sustentação da vida. Deste modo, através da cromatografia, Pfeiffer buscou avaliar a saúde do solo, estabelecendo associações das imagens formadas com o teor de matéria orgânica, microvida e grau de oxidação/redução de enzimas, vitaminas, proteínas e substâncias xenobióticas (PINHEIRO, 2015).

Segundo Rivera (2016) solo fértil e saudável é aquele capaz de proporcionar crescimento de biomassa e diversidade genética de microrganismos e outros seres que reciclam a matéria orgânica, oriunda do metabolismo de plantas e animais, e os reconstróem em formas disponíveis para as plantas, refletindo a disponibilidade e eficiência em diferentes condições do ambiente, que possui carga elétrica e magnetismo distintos, observados nas diferentes radiações (formas) e cores dos cromatogramas. Por essa teoria, a fertilidade de um solo é maior quanto maior for a diversidade da vida que cresce e se alimenta sobre e dentro dele (PILON *et al.*, 2018).

A CCP, apesar de pouco conhecida, consiste em um método refinado de análise integrada das dimensões físicas, químicas e biológicas do solo (PILON *et al.*, 2018). Segundo NOVAIS *et al.* (2018) a CCP é uma alternativa à análise de solo laboratorial clássica, com menor custo e com possibilidade de ser realizada em diversos locais. O método da CCP é uma técnica com rigorosos procedimentos, cuidados e disciplina desde a coleta do material, identificação, secagem, acondicionamento e preparo dos papéis filtros (RIVERA, 2014).

A interpretação dos cromatogramas exige aprimoramento da técnica, levando em consideração o histórico da área, diversidade biológica (fauna e flora). Conforme o indivíduo vai praticando, mais precisa será a leitura (PILON, 2018). A CCP busca estabelecer condições para a leitura da qualidade da vida no solo em um determinado momento, visualizado em um cromatograma, por meio da harmonia de cores e desenhos entre todos os diferentes componentes (minerais, orgânico, energético e eletromagnético) do solo (RIVERA, 2016).

A interpretação dos cromatogramas está fundamentada na solubilidade, concentração, constância e qualidade dos nutrientes, ou seja, em função do

metabolismo, na estrutura e saúde do solo vivo, as quais necessitam estar integradas. Com prática, este método permite determinar que mineral está em harmonia com a matéria orgânica, pH, biodiversidade de microorganismos ou grau de oxidação/redução de enzimas, vitaminas e proteínas ( PINHEIRO,2011).

Segundo KOKORNACZYK *et al.* (2016) conforme sua regularidade e a complexidade dos arranjos (formas) e as características importantes dos padrões integrais entre as zonas, os cromatogramas possibilitam a interpretação de indicadores de alta qualidade ou indicadores de baixa qualidade do solo. Os padrões cromatográficos obtidos no seu estudo tiveram correlação fortes e significativas entre os parâmetros químicos do solo como pH, teor de matéria orgânica, teor de nitrogênio total, fósforo disponível e teores de areia, argila e limo, criando correlações positivas com características de indicadores de alta qualidade dos cromatogramas.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

As amostras foram retiradas de cinco locais, em duas datas diferentes: em julho e dezembro de 2021, de forma a que pudessem apresentar variações nas características do comportamento do solo, conforme as condições edafoclimáticas de cada época do ano.

Todas as localizações estão situadas na região nordeste de Portugal e, em todas elas, com as devidas diferenças associadas à altitude, os meses de menor disponibilidade de água no solo acontecem nos meses de julho e agosto, altura em que as temperaturas são mais elevadas e a precipitação mais reduzida.

### **4.1 Caracterização das áreas dos solos em estudo**

T1 - São Pedro – Solo ocupado com olival em sistema de uso tradicional, de sequeiro, mobilizado (**T1-OT**). Localizado na região do município de Mirandela. Este local está a 240 m de altitude, tem uma temperatura média anual de 14,3 °C e uma precipitação anual de 509 mm (COBA, 1991). O solo é pouco profundo, classificado de Leptosolo.

T2 - Valongo – Parcela com cultivo de trigo (**T2-T**) em sistema de cultivo convencional na zona, num Cambissolo. Esta parcela também está situada no município de Mirandela e tem as mesmas características climáticas, ou seja, ambas as localizações possuem um clima mediterrânico. Estão situadas nas coordenadas mais gerais de 41° 29'N e 7° 10'W.

O substrato rochoso destas duas parcelas é o xisto.

T3 - Poulão – Parcela ocupada com uma pastagem temporária (**T3-PT**). O solo é classificado como Fluvissolo (ARROBAS *et al.*, 2013). A sua textura é franca e os teores de argila, limo e areia são respectivamente 21%, 25% e 54%. Esta parcela está situada na Quinta do Poulão da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (Latitude, 41° 47' 47,50" N; Longitude, 6° 46' 5,72" W). A região apresenta um clima do tipo mediterrânico com alguma influência Atlântica (COBA, 1991). Os valores da temperatura média do ar e da precipitação acumulada da normal climatológica 1971-2000 são, respectivamente, 12,3°C e 758,3 mm.

T4 - Pinheiro Manso - Cultivo de oliveira em sistema convencional na região, com a particularidade de a superfície do solo ser mantida com uma pastagem natural, pastoreada com ovelhas (**T4-OP**). O olival está instalado num Cambissolo, localizado também numa Quinta da Escola Superior Agrária de Bragança – Quinta do Pinheiro Manso.

T5 - St<sup>a</sup> Apolónia – Lameiro, ou pastagem permanente (**T5-L**). A parcela é um Fluvissolo, já que se encontra localizada junto a uma linha de água (Rio Fervença) e está situada no Campus da Escola Superior Agrária de Bragança, designado de Quinta de St<sup>a</sup> Apolónia. As coordenadas destas parcelas são próximas das da Parcela T3 - Poulão. A altitude varia entre os 700 e os 750 m. A temperatura média e precipitação anual acumulada é também a mesma. O substrato rochoso destas parcelas é dominado por rochas de natureza ultrabásica.

## 4.2 Coleta do solo e tratamento das amostras

As amostras de solo das análises tradicionais foram coletadas utilizando uma sonda, retirando amostra de solos de 0 a 20 cm de profundidade, com um total de 3 repetições por local. No laboratório, metade das amostras foi congelada para a determinação de espécies iônicas azotadas (nitratos e amónia) e para a determinação da atividade da enzima fosfatase. Antes da análise das amostras por métodos analíticos tradicionais, o solo foi seco a 40 °C em estufa ventilada e posteriormente peneirado num crivo de 2 mm de malha. Para as análises cromatográficas a fração inferior a 2 mm foi moída num almofariz e o solo moído foi peneirado num crivo de 0,4 mm de malha, como descrito em 4.2.1.

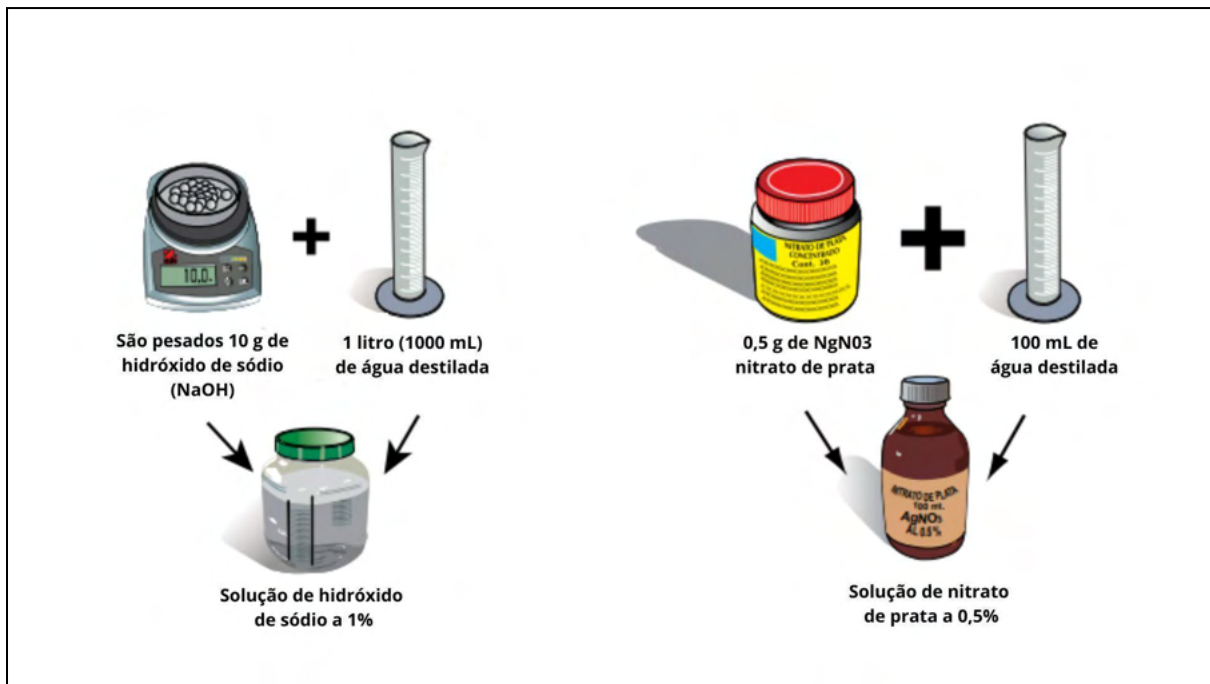
## 4.3 Procedimentos Analíticos

Todos os procedimentos foram realizados no laboratório do Centro de Investigação de Montanha (CIMO), localizado na Escola Superior de Agrária (ESA) do Instituto Politécnico de Bragança, na cidade de Bragança, Portugal.

### 4.3.1 Cromatografia Circular de Pfeiffer;

#### a) Preparo da solução extratora e a solução reveladora

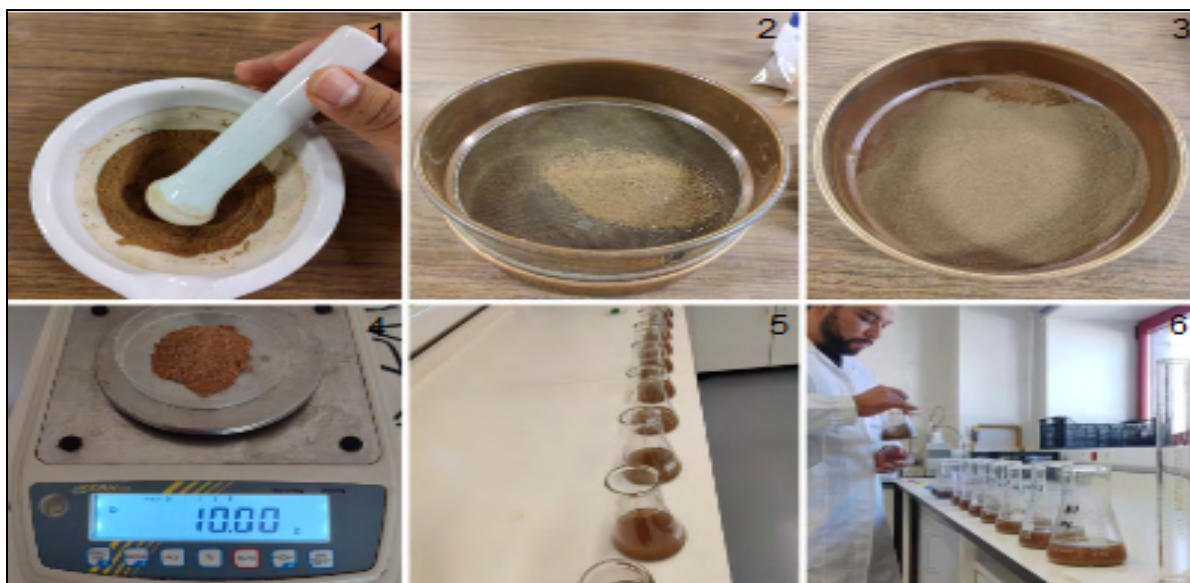
Para a preparação da solução reveladora (nitrato de prata -  $\text{AgNO}_3$ ), pesou-se 0,5 gramas de nitrato de prata, que foi adicionado a 100 mL com água destilada. A solução foi identificada como solução de nitrato de prata 0,5% e armazenada em frasco de vidro caramelo, protegido da luz e calor. A solução extratora (hidróxido de sódio -  $\text{NaOH}$ ) é preparada com 10 gramas de hidróxido de sódio adicionadas a 1000 mL de água destilada. A solução foi identificada solução de soda cáustica a 1%, **Figura 2**.



**Figura 2:** Representação do preparo da solução extratora (NaOH) a esquerda e solução reveladora ( $\text{AgNO}_3$ ) à direita.

**Fonte:** RIVERA e PINHEIRO (2011)

Para a análise, 10 gramas de amostra do solo seco, moído e peneirado (fração menor de 0,4 mm) foram pesadas e colocadas em um erlenmeyer de 250 mL, juntamente com 100 mL de solução extratora. Para dinamizar a solução, a mistura foi agitada de forma circular 7 vezes para a direita, seguida de 7 vezes para a esquerda, devendo ser repetida 7 vezes em cada conjunto direita-esquerda. Em seguida, a solução ficou em repouso durante quinze minutos e repetiu-se os movimentos circulares (7 x 7 x 7). Em seguida, procedeu-se novo repouso de 60 minutos, seguido de novos movimentos circulares (7 x 7 x 7) seguido de novo repouso durante seis horas, após esse tempo já está pronta para sua utilização, **Figura 3.**

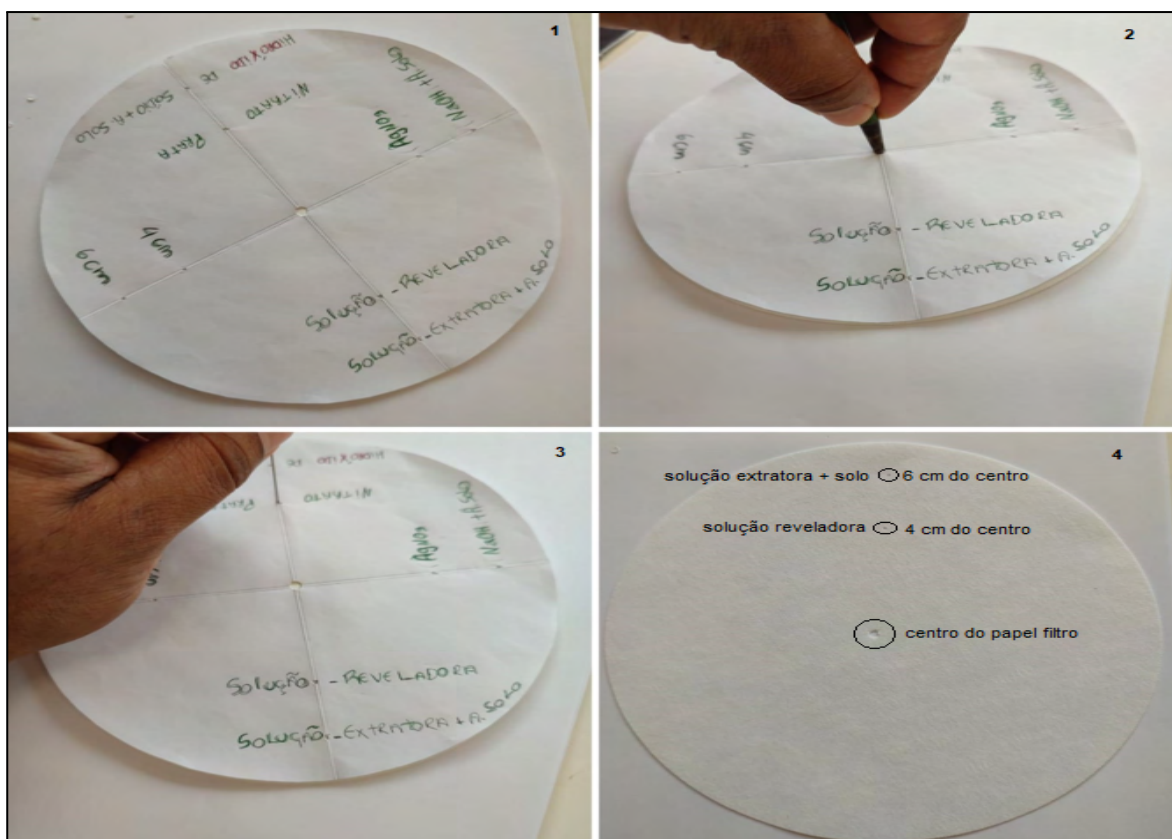


**Figura 3:** Etapas do preparo do solo e o processo de dinamização da amostra de solo: 1: A amostra é moída em um almofariz. 2: processo de peneirado da amostra, utilizando uma peneira de 0,4 mm (40 mesh). 3: coletado a parte mais fina do solo, após o peneiramento. 4: Foram pesadas 10g de solo. 5: erlenmeyer de 250 ml com 10 g de solo e 100 ml da solução extratora de NaOH. 6: Processo de dinamização do solo.

#### b) Preparo do papel filtro

O papel filtro utilizado para todos os cromatogramas foi o da marca whatman nº 1, de 150 mm de diâmetro. Também se testou outra marca de papel de filtro, Filtra Tech (filtração muito rápida) para se avaliar a influência do papel neste processo.

Em primeiro lugar preparou-se um molde com a marcação do seu centro, com raio de 7,5 cm. O centro foi perfurado com uma agulha de seringa hipodérmica e com uma régua marcou-se as distâncias de 4 e 6 cm do centro. Nestas distâncias também, se perfurou com a agulha, **Figura 4**. Em seguida, perfurou-se o centro dos discos foliares utilizando o molde previamente preparado, utilizando-se um vazador de couro de 2 mm de diâmetro. Também foram feitas as perfurações no papel filtro, utilizando a agulha hipodérmica. Estas demarcações são feitas para uma melhor padronização do cromatogramas, impregnação da solução  $\text{AgNO}_3$  a 4 cm e a solução de solo com NaOH a 6 cm, **Figura 4**.



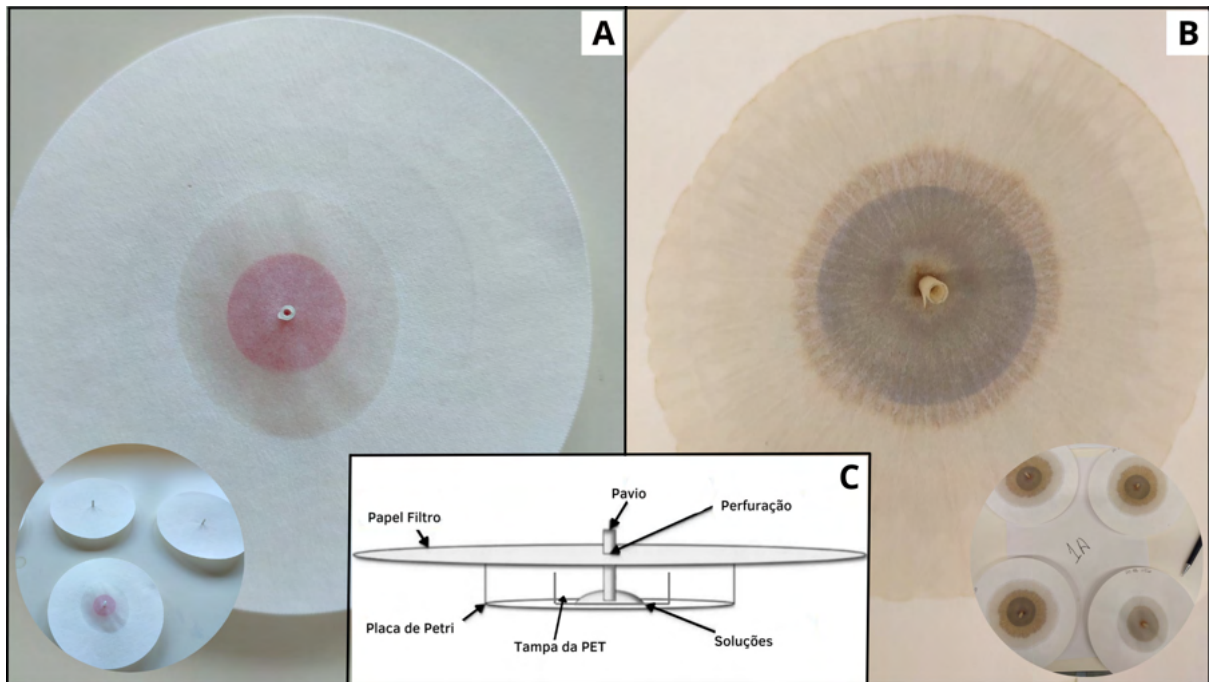
**Figura 4:** Etapas do preparo do papel filtro: papel molde (1), perfuração do centro do papel com um furo de 2 mm (2), perfuração das marcas de padronização da impregnação das soluções 4 e 6 cm (3), papel de filtro pronto para as análises (4).

Os canudinhos (pavio ou mecha) de papel filtro, são utilizados para o transporte da solução de impregnação pelo processo de capilarização. Foram elaborados com diâmetro de 2 mm com papel idêntico ao usado para os discos. Para isso, partindo do centro de um disco, demarcou-se com a ponta do lápis a cada 2 cm nos quatro sentidos e depois quadrícula-los. Com a tesoura eliminou-se as quadrículas incompletas, cada quadrado de 2 cm x 2 cm foi enrolado pelo seu lado com um prego de aço de uma polegada, formando um tubo de aproximadamente 2 mm de diâmetro que é introduzido até a metade no centro do disco pelo vazador de couro.

### c) Impregnação do papel filtro (sensibilização)

Para a impregnação da solução no disco, foi colocada uma tampa de garrafa de polietileno tereftalato (PET) contendo a solução, e esta foi disposta dentro de uma placa de Petri de 12 cm de diâmetro, a fim de manter o disco na horizontal,

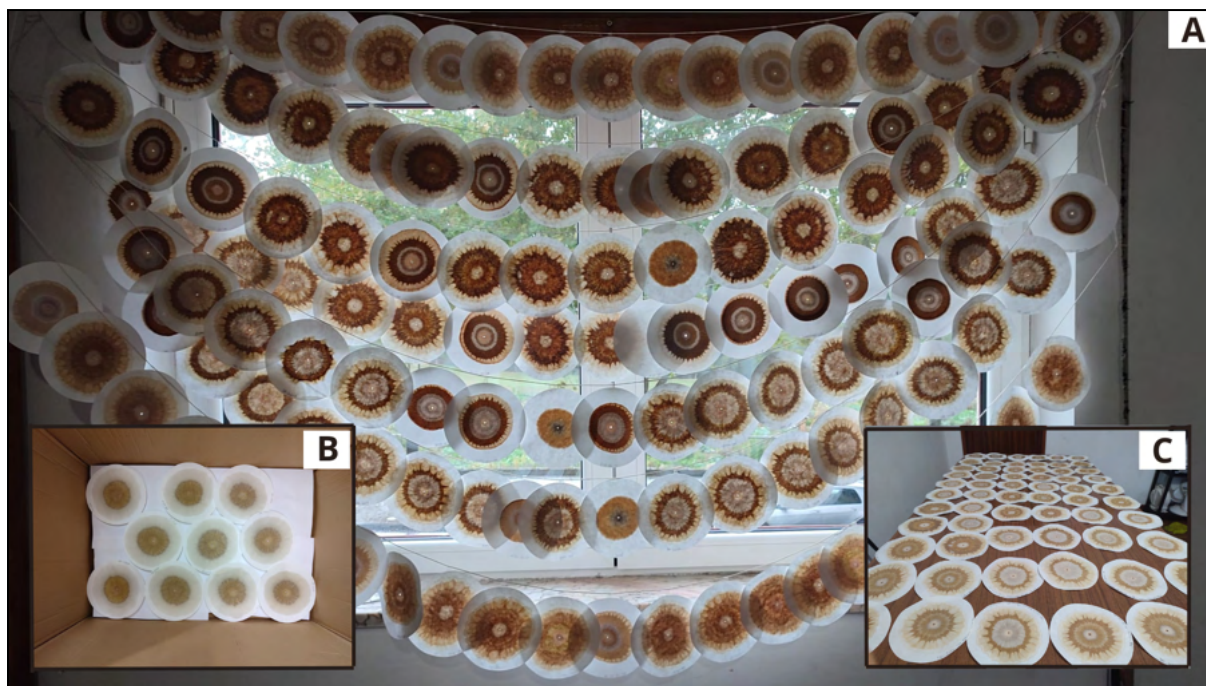
**Figura 5.** O disco de papel filtro contendo um pavio a ser impregnado, foi colocado sobre a tampa da PET e a placas de Petri, assegurando o contato do pavio com a solução de 0,5% de  $\text{AgNO}_3$ , para que esta ascenda e impregne o papel até uns dois milímetros antes da primeira perfuração (4 cm).



**Figura 5:** Impregnação do  $\text{AgNO}_3$  (A) ; impregnação da solução de solo + NaOH (B); representação esquemática do desenrolar dos testes de Cromatografia Circular de Pfeiffer (C): uma folha de papel filtro circular com uma inserção de pavio na perfuração central está localizada numa placa de Petri e uma tampa de garrafa PET para que a extremidade do pavio seja imersa na solução (fase líquida) a ser embebida.

**Fonte:** Adaptado MIRANDA, 2018.

A sequência do processo de impregnação do papel de filtro com soluções é a seguinte: em primeiro lugar faz-se a impregnação do papel com  $\text{AgNO}_3$ ; a folha impregnada é colocada sobre um suporte de placas de Petri e levado para uma caixa com ausência de luz para secar, sendo necessário o mínimo de quatro horas para secar o papel. Depois realiza o mesmo procedimento para a impregnação da solução de solo com o extrato de NaOH, no mesmo papel filtro seco impregnado com o nitrato de prata. Após esta segunda impregnação os discos de papel são levados para uma caixa com ausência de luz para secar e depois colocados em luz indireta por 14 dias, **Figura 6.**



**Figura 6:** Imagem a direita: A folha impregnada é colocada sobre um suporte de placas de Petri e levado para uma caixa com ausência de luz para secar. Imagem à esquerda: os cromatogramas são colocados em luz direta por 14 dias.

#### d) Interpretação dos cromatogramas

Segundo RIVERA e PINHEIRO (2011) a interpretação dos cromatogramas baseia-se no conhecimento básico que dominamos sobre o que é um cromatograma e suas partes, somado a uma noção da química analítica. CCP é um método qualitativo com o intuito de observar os padrões que se desenvolvem na interação das diferentes substâncias presentes no solo. Um cromatograma se divide em diferentes zonas, **Figura 7**.

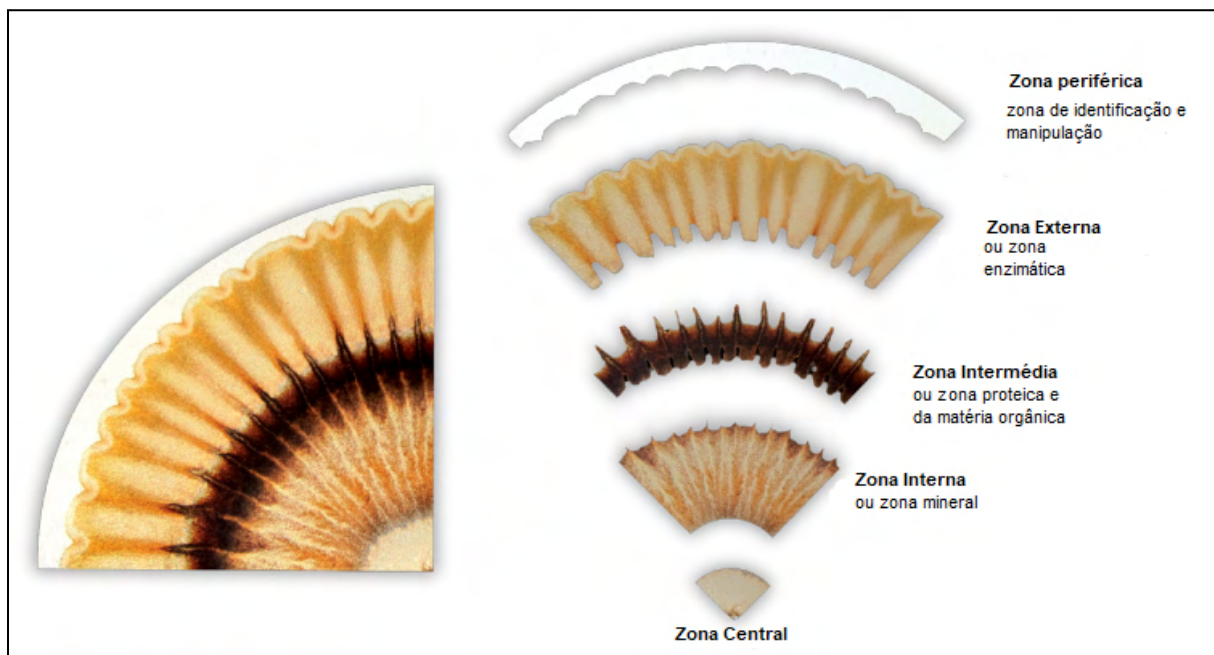
- Zona central - local onde passam todas as substâncias presentes na amostra. É conhecida como a zona da oxidação e indica as condições de desenvolvimento das atividades fermentativas microbiológicas, com formas desde a ausência da zona. As cores desta zona variam do preto ou cinza, indicando o baixo metabolismo microbiano aeróbico e máxima fermentação anaeróbica; a cor branca indica a reação do nitrato de prata com a presença de produtos nitrogenados; a cor creme indica maior plenitude no metabolismo microbiano aeróbico, enzimático e ação benéfica com uma harmonia estrutural.

- Zona interna - conhecida como a zona mineral e dos nutrientes; é no segundo anel que os minerais se depositam bem como outras substâncias pesadas difíceis de correr. Esta zona indica as condições de desenvolvimento mineral.

- Zona intermédia - ou zona proteica ou da matéria orgânica, é a zona de integração com as outras zonas. Suas cores variam da cor preta, mínimo de atividade, às cores ouro e laranja, indicando o máximo de atividade. Nesta zona desenvolve-se a formação dentada. A forma dos dentes e sua coloração devem estar integradas com as outras zonas.

- Zona externa - zona onde se observam as condições enzimáticas ou nutricionais do solo. Esta zona pode não existir, ou aparecer uma zona larga e com cores que variam do castanho escuro ao tom ocre. A expressão de boa qualidade são as bolsinhas e nuvens com bordadura em tons café claros e escuros, que mostram o valor biológico e as reservas nutricionais, revelando a vitalidade dos solos.

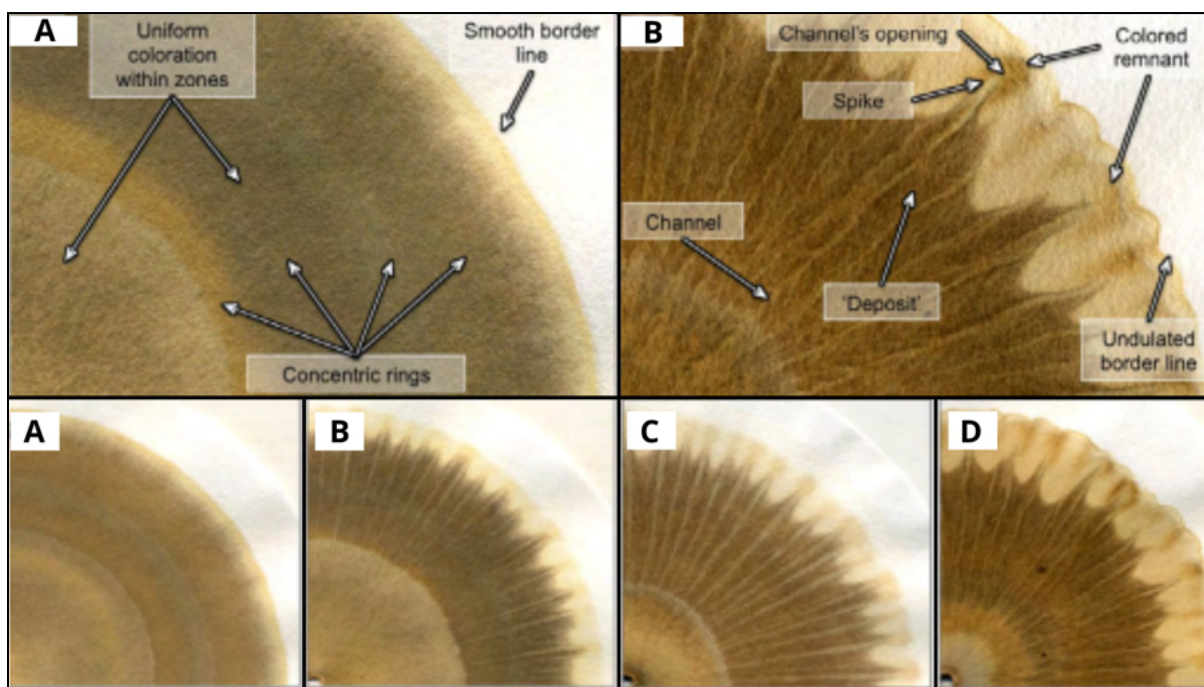
- Borda externa - zona de manipulação e identificação do cromograma.



**Figura 7:** Identificação esquemática das principais zonas de um cromatograma.

**Fonte:** RIVERA e PINHEIRO (2011)

A interpretação dos cromas foi baseada na caracterização de cada zona, formas e cores, integração entre as mesma, canais (flechas) e picos (dentes). Interpretando as características dos cromatogramas pode ter-se um panorama do ciclo biogeoquímico de forma rápida, de cada solo estudado, conforme a **Figura 8**.

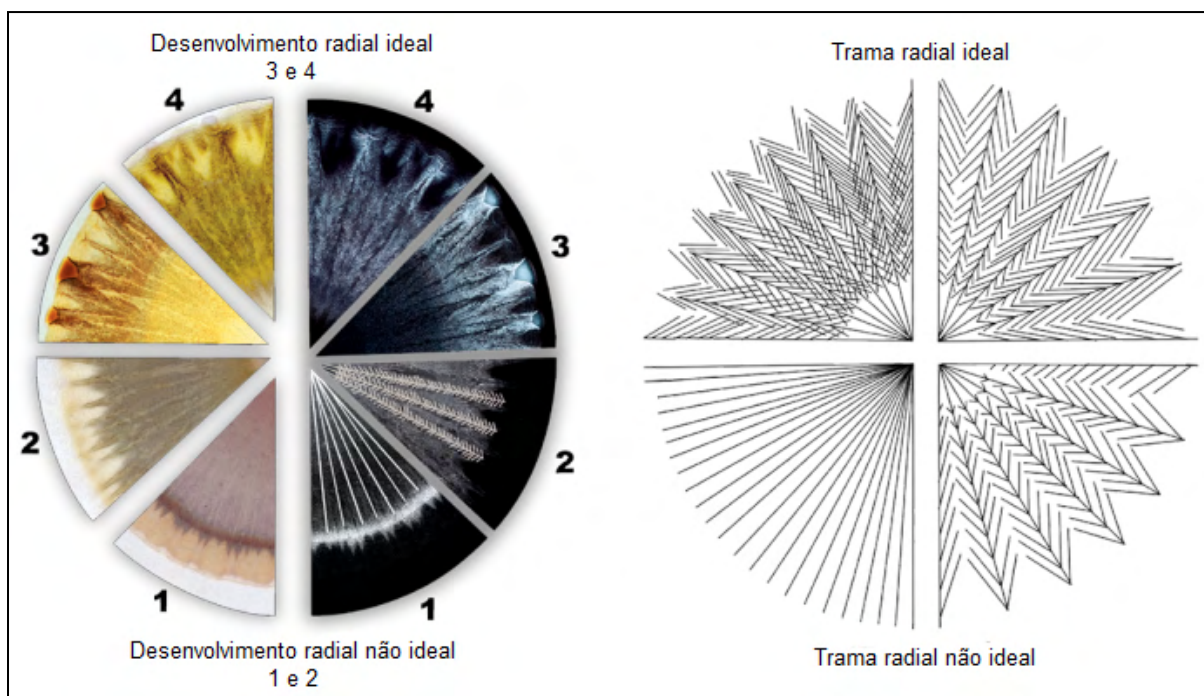


**Figura 8:** Parte superior: exemplos de seções de padrão mostrando características (A) concêntricas e (B) radiais fortemente marcadas. Parte inferior: seções do padrão ilustrando, de (A) a (D), um desenvolvimento crescente de características radiais (por exemplo, canais e picos) e intensidade de cor, e o aumento da integração e diminuição de recursos concêntricos (por exemplo, anéis concêntricos).

**Fonte:** Adaptado KOKORNACZYK *et al.* (2016)

A radiação das formas dos canais dos cromatogramas também mostra uma evolução gradual, passando de uma formação de linhas muito retas a partir da área central para a formação de várias estradas sinuosas ramificadas, semelhante a uma pluma de penas de vários tamanhos. Para o caso de análise de solos cultivados, quando a radiação está totalmente ausente sinal de que estamos diante de um terreno totalmente destruído, compactado pela mecanização pesada e sem qualquer estrutura, na qual se efetuou a aplicação de fertilizantes químicos e fitofármacos.

Quando as imagens de cromatogramas mostram na radiação a formação de caminhos sinuosos é sinal de que os solos começam a ser de melhor qualidade estrutural ou eles começaram sua recuperação como aumento da atividade microbiológica, estimulada pela matéria orgânica incorporada. E quando os vários caminhos de uma cromatograma explode em círculo final da figura e formam suaves nuvens marrons ou luas em tamanhos diferentes é sinal a partir da análise de um solo excelente qualidade, **Figura 9**.



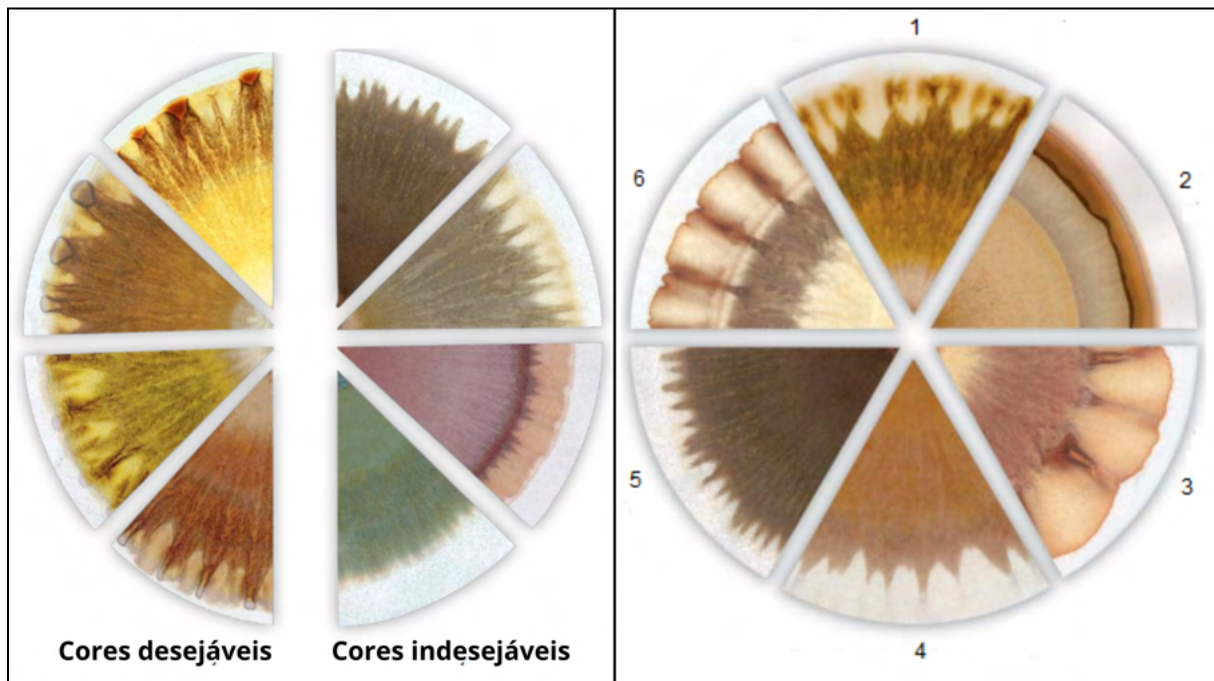
**Figura 09:** Evolução radial dos cromatogramas (esquerda); desenho radial dos cromatogramas (direita).

**Fonte:** RIVERA e PINHEIRO (2011)

Os padrões das colorações dos cromatogramas durante e depois da análise são importantes para complementar as informações para uma boa interpretação. Cores principais indicativas de boa saúde do solo (solos de boa qualidade) são cores que refletem o bom estado evolutivo dos solos. São exemplos dessas cores o amarelo, tons dourados, alaranjados, avermelhados ou castanhos claros e esverdeados. Quando em um cromatograma se encontra a combinação de cafés claro e muito escuro, estamos diante de um processo de desenvolvimento intermediário onde a matéria orgânica se encontra no estado bruto, acumulada ou em fase de maturação e integração no fertilizante ou no solo. Algumas colorações indicam condições indesejáveis do solo: preto, cinza, marrom muito escuro, lilás e tons violeta, cinza e azul. Essas sombras refletem um estado de má qualidade do solo.

As características dos dentes também são um parâmetro importante na avaliação dos cromatogramas. Representam o potencial enzimático do solo e o estado do metabolismo microbiano, refletindo as transformações realizadas pelos microorganismos que complexam e liberam nutrientes. O cromatograma revela seis características diferentes da zona externa. A sua formação é fundamental para a interpretação da zona externa e revelam como ocorrem as reações enzimáticas dos

processos que decorrem na amostra de solo. Em geral, os dentes de cavalo não são desejados assim como formações pontiagudas e irregulares **Figura 10**.



**Figura 10:** Imagem à esquerda: padrões de cores para análise cromatográfica de solos. Imagem à direita: seis características diferentes da terminação dos dentes de um cromatograma: 1: Terminação ideal, em forma de explosão e manchas enzimáticas. 2: Terminação não ideal, em forma plana circular e sem bordas. 3: terminação não ideal em formas de dentes de cavalo. 4: terminação não ideal em forma de dentes pontiagudos. 5: terminação não ideal, em forma de agulhas irregulares. 6: terminação não ideal em formas de grão de milho.

**Fonte:** RIVERA e PINHEIRO (2011)

Segundo PILON *et al.*, (2018)., os padrões visuais são divididos em quatro características: 1. *integração*, que refere-se à conexão entre zonas do centro ao fim da imagem; 2. *plumas*, que são flechas que podem ocorrer desde o centro da imagem e terminam nos picos mais escuros; 3. *picos*, que são estruturas pontiagudas que ocorrem entre a terceira zona de cores escuras; e 4. as *cores* que ocorre com maior predominância em cada zona do cromatograma **Figura 11**.

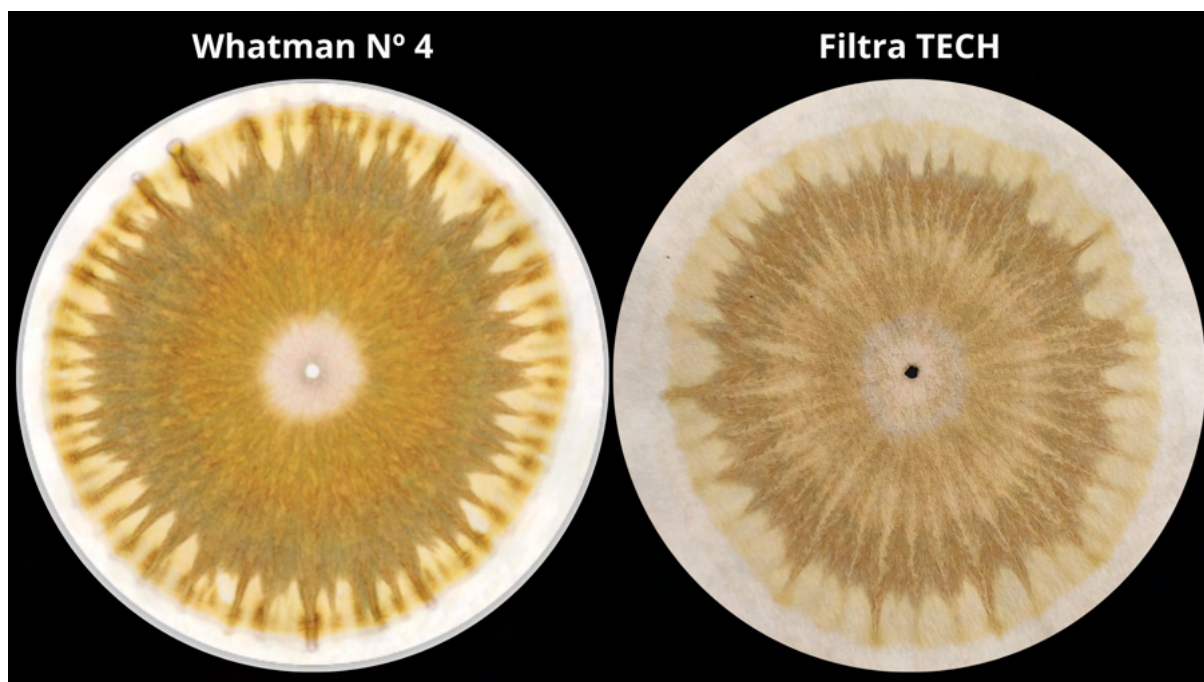
1. Integração	Escore	2. Plumas
Anéis, concêntricos marcados e homogêneos (Ausência de integração)	1	Ausência ou pluma vertigial
Alguns anéis, integração abrupta	2	Apenas linhas radiais
Integração clara de padrões	3	Linhas radiais a plumas estreitas
Integração gradual	4	Linhas ou plumas radiais que cobrem todo cromatograma
Integração difusa e padrões que se entrelaçam	5	Plumas radiais proeminentes/espessas
3. Picos	Escore	4. Cores
Ausência de picos ligados as plumas	1	Homogêneo; escuro e preto; cores borradas, pouco intensas
Pontiagudos	2	Cinza e marron
Pontiagudos com derivações	3	Bege
Alguns picos que se abrem no final em manchas	4	Claro esbranquiçado
Picos que se abrem no final total em manchas	5	Amarelo, creme, intenso e heterogêneo

**Figura 11:** Características visuais de importância.

**Fonte:** Adaptado PILON *et al.*, 2018.

De acordo com PILON *et al.*, (2018). e RIVERA e PINHEIRO (2011) as principais características visuais de importância da interpretação dos cromatogramas, são baseada em critérios de forma concordante com a literatura consultada, por meio da comparação dos cromatogramas, por imagem digital e os cromatogramas observado na luz natural. E foi ainda realizada a descrição das zonas que compõem um cromatograma, interpretando os cromatogramas como um todo, tentando entender os processo biogeoquímico que acontece em um determinado espaço (ambiente) e tempo.

Para se compreender a interpretação dos cromatogramas foi realizado análise da CCP com um solo de um sistema biológico (à direita), representante da horta comunitária de Instituto Politécnico de Bragança (IPB), que apresentou características visuais de importância de um solo com boa estrutura e fertilidade, apresentando uma harmonia entre as zonas, cores claras e uma zona externa com características de presença de enzimas do solo. Amostragem de solo foi retirada no dia 6 de outubro de 2022, período com pouca precipitação na região, sendo um período seco que limita o metabolismo microbiano. Para comparação usou-se um cromatograma de excelente qualidade de um solo em sistema biológico (à esquerda), utilizando um papel filtro tradicional utilizado pela técnica, **Figura 12**.



**Figura 12:** Cromatogramas de sistemas biológicos. Esquerdo: cromatograma de excelência de um solo tropical em sistema biológico, Colômbia. Direito: cromatograma do solo da horta urbana comunitária, da Escola Superior Agrária (ESA) de Bragança, PT.  
**Fonte:** Adaptado (RIVERA e PINHEIRO, 2011).

Vale salientar que o cromatograma da esquerda pertence a um solo tropical, que conforme as condições do clima possibilita uma maior atividade e diversidade da vida no solo, tendo maiores quantidades e diferentes tipos de compostos orgânicos.

Sendo o papel de filtro um elemento essencial nesta análise, este trabalho incluiu o teste com 2 tipos de papel de filtro: Filtra Tech QL01, de 210 µm de espessura, equivalente ao papel de filtro whatman nº 4 que consta da bibliografia, e um teste complementar com um papel de filtro whatman nº 1, de 180 µm de espessura.

#### **4.4 Análises Analíticas Tradicionais**

##### **4.4.1 Matéria Orgânica (M.O) - Carbono Facilmente Oxidável**

O carbono facilmente oxidável é avaliado pelo procedimento de Walkley-Black. O carbono orgânico facilmente oxidável é determinado pela oxidação ácida cromosulfúrica da amostra no período de 30 minutos. Após a reação, o excesso de  $\text{Cr}_2\text{O}_7$  é titulado com solução de sulfato de ferro amoniacal e o  $\text{Cr}_2\text{O}_7$

reduzido durante a reação com o solo é considerado equivalente ao C orgânico presente na amostra (REEUWIJK, 2002), **Figura 13**.



**Figura 13:** Imagem A: preparo das soluções de solo com 1 g de terra + 10 ml dicromato de potássio + 20 ml ácido sulfúrico + 200 ml de água destilada. Imagem B: solução de dicromato de potássio (49,04 g de  $K_2Cr_2O_7$  + 1000 ml de água destilada). Imagem C: solução de 0,5N  $Fe^{++}$  (196,1g  $Fe(NH_4)_2(6H_2O)$  + 800 ml de água destilada com 20 ml  $H_2SO_4$  concentrado).

#### 4.4.2 Carbono Total (CT)

O carbono orgânico total é avaliado por combustão seca da amostra e avaliado pelo método gravimétrico. A técnica de perda de peso por ignição envolve a queima de uma amostra de solo previamente seca a 105 °C e posteriormente colocada em uma mufla a 450 °C pelo período de 6 horas. A perda de massa da amostra está diretamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica no solo (REEUWIJK, 2002).

#### 4.4.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH do solo é medido potenciometricamente na suspensão sobrenadante de uma mistura solo:água na proporção de 1:2,5. (REEUWIJK, 2002).

#### 4.4.4 Umidade gravimétrica do solo.

Para a determinação da umidade do solo das amostras coletadas, com 3 repetições por área analisada para o mês de julho e dezembro, as amostras foram transferidas para beakers identificados e com massa conhecida, pesadas e levadas para estufa em uma temperatura de 105° por um período de 24 horas. Após esse tempo, as amostras foram retiradas e após o seu resfriamento foi realizada a pesagem (REEUWIJK, 2002).

#### 4.4.5 Fósforo ( $P_2O_5$ ), Potássio ( $K_2O$ ) disponíveis no Solo

As formas facilmente solúveis de fósforo na forma de  $P_2O_5$  e potássio na forma de  $K_2O$  são extraídas com uma solução que combina lactato de amônio e ácido acético, tamponado a pH 3,7. O fosfato no extrato é determinado colorimetricamente com o método do azul de molibdato de amônio, com ácido ascórbico como agente redutor. É usado um espectrofotômetro de absorção molecular a 882 nm. O potássio é determinado por fotometria de chama (BALBINO, 1968).

#### 4.4.6 Capacidade troca catiônica (CTC)

A capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos é determinada a partir do somatório da concentração de cálcio, magnésio, potássio e sódio (bases de troca), alumínio e hidrogênio (acidez troca). Para a quantificação das bases de troca, uma amostra de solo é misturada com uma solução de acetato de amônio ajustada para pH 7,0. Depois de filtrada a amostra, Ca e Mg são medidos por espectrometria de absorção atômica; K e Na são medidos por espectrometria de emissão de chama. A acidez de troca é determinada por titulação. Uma amostra é misturada com uma solução de KCl 1M. Após filtração o extrato é titulado com hidróxido de sódio usando a fenolftaleína como indicador (REEUWIJK, 2002).

#### 4.4.7 Nitrogênio Mineral

O azoto mineral foi determinado após a quantificação dos iões nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amónio ( $\text{NH}_4^+$ ). Uma amostra de solo foi sujeita a extração com KCl 2M durante uma hora e posteriormente filtrada com papel de filtro whatman 42. Os nitratos foram determinados no extrato por espectrofotometria na gama ultravioleta (220 nm com uma segunda leitura a 275 nm para eliminação da interferência de compostos orgânicos dissolvidos). O ião amónio foi determinado após desenvolvimento de cor pelo método do fenato e determinado por espectrofotometria de absorção molecular a 640 nm (APHA, 2017), **Figura 14**.



**Figura 14:** Desenvolvimento de cor pelo método do fenato para determinação de ião amónio.

O azoto mineral foi calculado pela soma de N associado ao ião nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) e ao ião amónio ( $\text{N-NH}_4$ ).

#### 4.4.8 Fosfatase

A enzima fosfatase ácida é avaliada com base na quantidade de *p*-nitrofenol que é liberada após a incubação de uma amostra de solo com *p*-nitrofenil fosfato, durante uma hora a 37°C. A quantidade de *p*-nitrofenol é avaliada por espectrofotometria de absorção molecular a 400 nm (ALEF *et al.*, 1995).

## 4.5 Análise de dados

As análises quantitativas foram realizadas para cada tratamento 3 repetições para cada atributo analisado das amostras. Na análise qualitativa (CCP) foram realizadas 9 repetições para cada tratamento, para cada característica visual de importância. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo utilizado para a comparação de médias o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

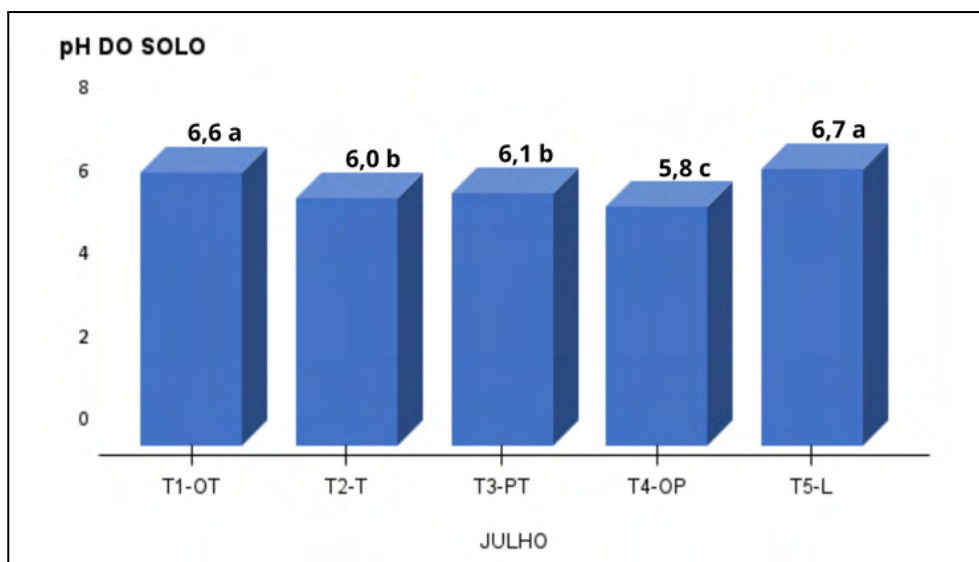
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises Analíticas Tradicionais

Os valores foram apresentados em gráficos em formatos de colunas elaborados no programa Google Sheets.

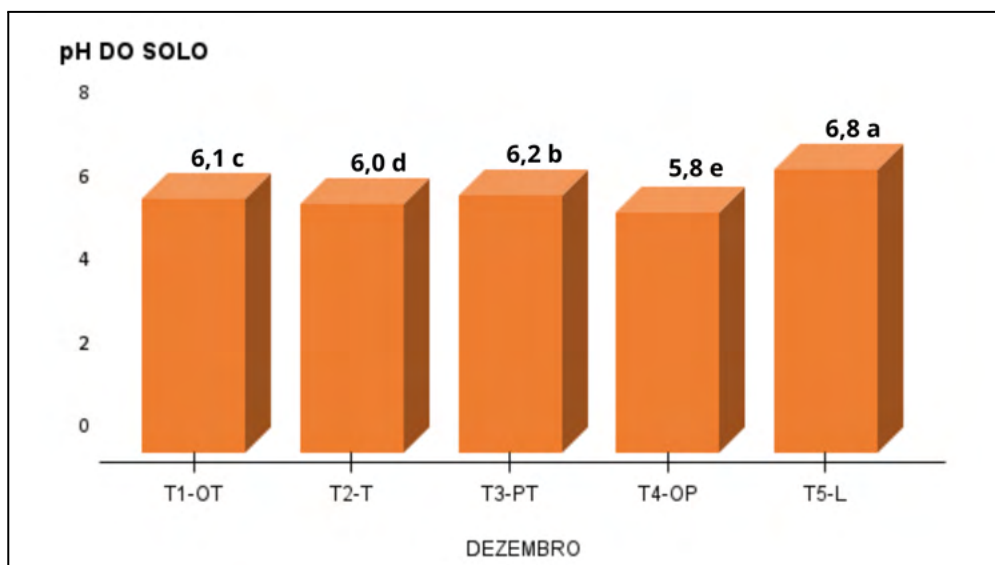
#### 5.1.1. pH e Umidade do Solo

Os valores de pH do solo no mês de julho, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. O local com o maior valor foi T5-L com pH de 6.7, seguida pelo T1-OT com pH 6.6, T3-PT com pH de 6.1, T2-T com pH de 6 e T4-OP com pH de 5.8. Os valores de pH variaram significativamente entre si no mês de julho **Figura 15**. O olival de S. Pedro (T1) e o lameiro (T5-L) apresentaram os valores significativamente mais altos e o olival do Pinheiro Manso (T4) o valor significativamente mais baixo.



**Figura 15:** Valores de pH das amostras de solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 1,69.

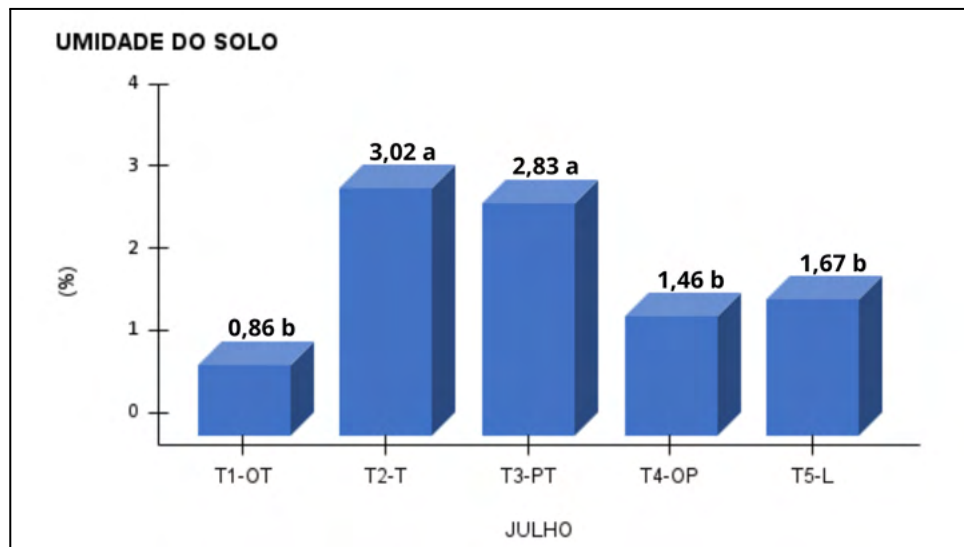
Os valores de pH do solo, no mês de dezembro, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. Os valores variaram entre 5,8 (T4 OP ) e 6,8 (T5 – L), conforme a **Figura 16**.



**Figura 16:** Valores de pH das amostras de solo dos diferentes ambientes do mês de dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 0,87.

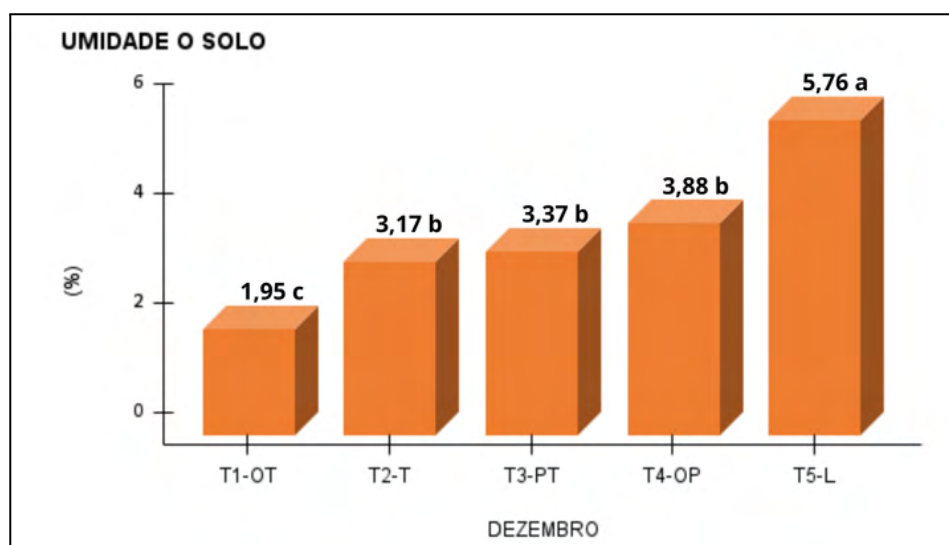
Os valores de pH do solo para os meses de julho e dezembro apresentaram valores classificados de subácidos conforme FONSECA *et al.* (2012) , sendo T5-L a parcela que registou os maiores valores para as duas épocas do ano. A parcela T4-OP apresentou os menores valores para as respectivas épocas analisadas.

Os valores de umidade do solo, no mês de Julho, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. O maior valor registado corresponde a T2-T com 3,02%, seguido de T3-PT com 2,83%, T5-L com 1,67%, T4-OP com 1,46% e T1-OT, com 0,86%, conforme a **Figura 17**.



**Figura 17:** Valores de umidade do solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 20,02%.

Os valores de umidade do solo, no mês de dezembro, apresentaram diferenças significativas entre os diferentes ambientes analisados. O local com o valor significativamente maior foi o de T5-L com 5,76% seguido T4-OP com 3,88%, T3-PT com 3,37%, T2-T com 3,17%, seguido e T1-OT com 1,95%, conforme a **Figura 18**.

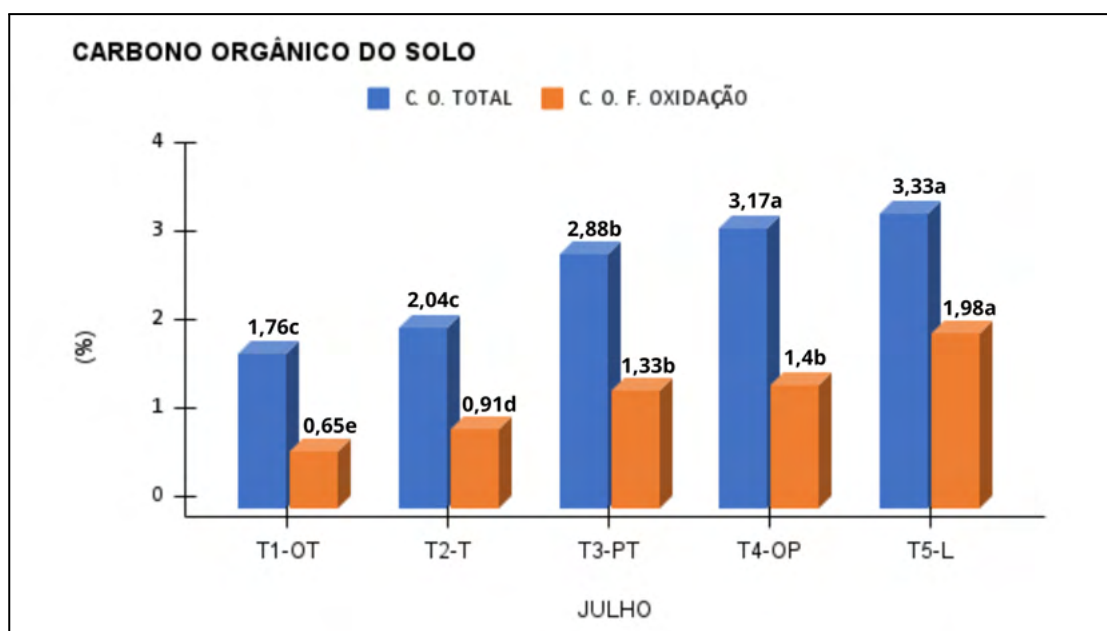


**Figura 18:** Valores de umidade do solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 11,31%.

No mês de dezembro, a umidade do solo deve estar relacionada com o teor de matéria orgânica. A umidade para o mês de julho deverá estar relacionada com a produção de biomassa e o sistema radicular das gramíneas dos sítios T2 e T3, assim uma melhor proteção do solo favorecendo o teor de umidade.

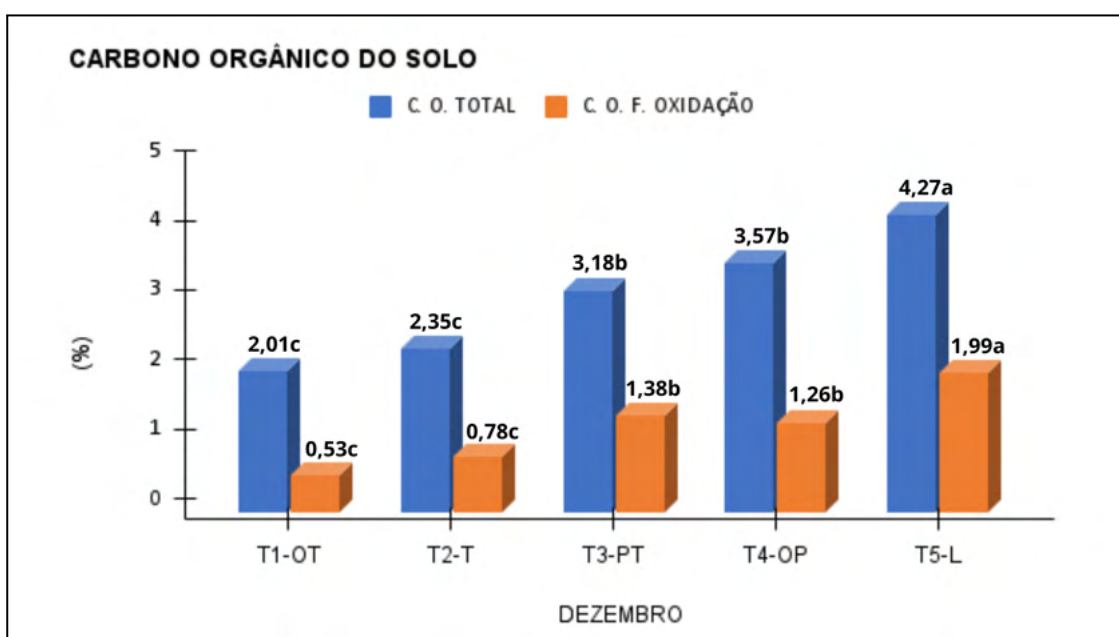
### 5.1.2 Carbono Orgânico do Solo

Os valores do carbono orgânico do solo no mês de julho, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. Registraram-se os seguintes valores para o Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono Orgânico de Fácil Oxidação (COFO) determinado pelo método Walkley-Black (WB), o local que apresentou um valor significativamente superior às demais áreas avaliadas, foi o T5-L com 3,33% de COT e 1,98% COFO, seguido T4-OP com 3,17% COT e 1,40% COFO, T3-PT com 2,88% COT e 1,33% COFO, T2-T com 2,04% COT e 0,91% COFO, T1-OT (São Pedro/Olival Convencional) com 1,76% COT e 0,65% COFO, conforme a **Figura 19**.



**Figura 19:** Valores do carbono orgânico dos solos dos diferentes ambientes, no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas entre os valores comparado entre o mesmo atributo analisado, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação(%): COT (6,18), COFO (10,13).

Os valores do carbono orgânico do solo COT no mês de dezembro, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados, embora com a mesma tendência e ordem de grandeza dos valores registados no mês de julho. O local que apresentou o valor significativamente mais elevado foi de novo T5-L com 4,27% COT e 1,99% COFO, como seria de esperar. A estes valores seguiu-se T4-OP com 3,57% COT e 1,26% COFO, T3-PT com 3,18% COT e 1,38% COFO, T2-T com 2,35% COT e 0,78% COFO, T1-OT com 2,01% COT e 0,53% COFO, conforme a **Figura 20**.



**Figura 20:** Valores do carbono orgânico dos solos avaliados no mês de dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas entre os valores comparado entre o mesmo atributo analisado, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação(%): CT (9,40), CFO (13,67).

O parâmetro COT do solo, apresentou os maiores valores aos locais T5-L, e T4-OP nas duas épocas analisadas. A razão para estes resultados deve estar associada ao facto de em ambos os locais a superfície do solo estar ocupada por pastagens permanentes que, através do sistema radicular das plantas que compõem as pastagens, se vai acumulando matéria orgânica no solo, pela ausência de mobilização. No caso do lameiro (T5-L), a proximidade de uma linha de água pode contribuir para a diminuição da atividade microbiana que degrada a matéria orgânica, o que contribuirá para a acumulação deste componente no solo. Os valores maiores de dezembro para o COT devem estar ainda mais associados à

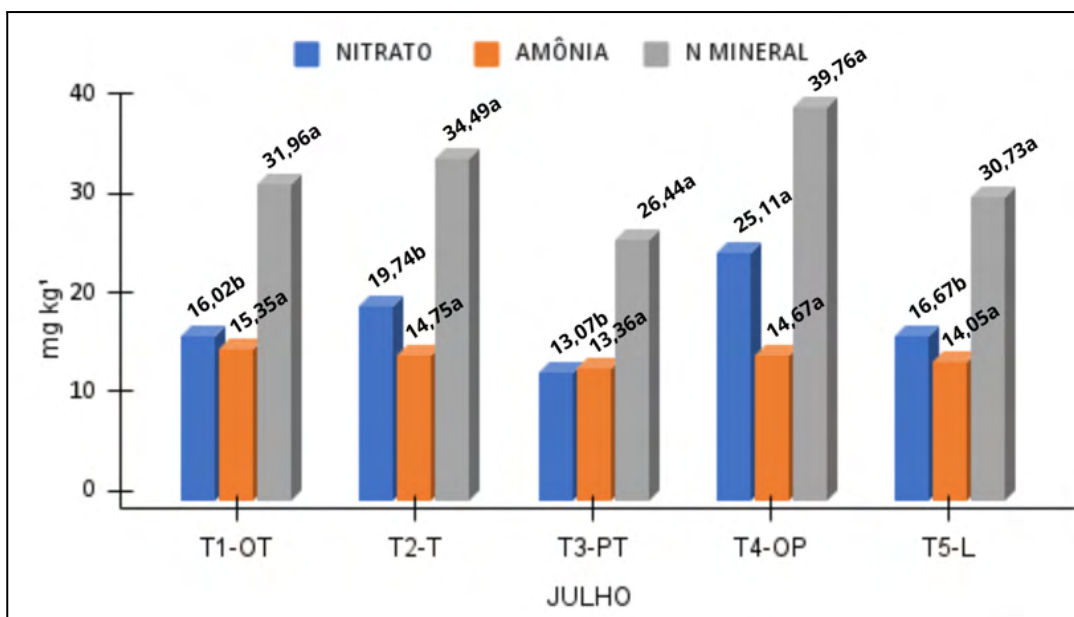
situação que evidencia o efeito do ambiente anaeróbio na redução da taxa de decomposição da matéria orgânica no solo (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

O local T3-PT apresentou um COT com menor valor nas duas épocas avaliadas em relação aos T5 e T4, e apresentou uma maior umidade do solo no mês de julho em relação ao T5 e T4, que pode estar relacionada com a biomassa das gramíneas, proporcionando uma melhor proteção do solo segundo PRIMAVESI (2018) pastagem, contribuindo para a manutenção do COT, pois o denso sistema radicular de gramíneas, com alto teor de lignina, favorece o acúmulo de matéria orgânica, contribuindo para uma maior umidade do solo no mês de julho.

O local T2-T apresentou um valor mais baixo de COT e uma umidade maior no mês de julho que os demais ambientes, consequência da proteção do solo pelo material orgânico da cultura do Trigo (*Triticum*) consequência do teor de lignina por se tratar de uma gramínea. O sítio T1-OT apresentou os menores valores de COT, que podem estar relacionados com a pouca produção de biomassa na superfície do solo e com o manejo cultural dos olivais (*Olea europaea*) que é feito com mobilização do solo para controlar as plantas invasoras e para evitar a competição por nutrientes e água com a cultura de interesse. A mobilização do solo contribui para o seu arejamento e acelera os processos de mineralização, deixando o solo exposto e sem cobertura vegetal.

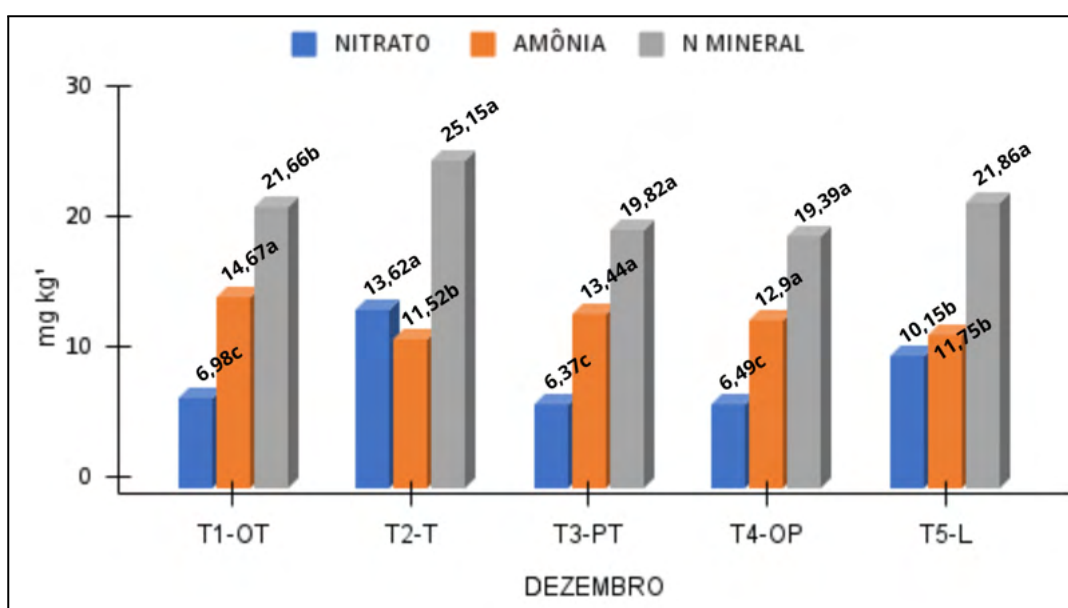
### 5.1.3 Nitrogênio Mineral do Solo

As concentrações dos íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o nitrogênio mineral nos solos no mês de julho de 2021, não apresentaram diferenças significativas entre si. O local que mostrou a maior concentração de N mineral foi T4-OP com  $39,78 \text{ mg kg}^{-1}$ , seguido pelo T2-T com  $34,49 \text{ mg kg}^{-1}$ , T1-OT com  $31,96 \text{ mg kg}^{-1}$ , T5-L com  $30,73 \text{ mg kg}^{-1}$ , T3-PT com  $26,44 \text{ mg kg}^{-1}$ , conforme a **Figura 21**.



**Figura 21:** Concentrações de nitrogênio mineral das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os mesmos tratamentos no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (13,54), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (11,86) e N mineral (14,42).

No mês de dezembro de 2021 as concentrações dos íons nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e N mineral nos solos apresentaram diferenças significativas. O sítio que obteve a maior concentração de N mineral foi T2-T com 25,15 mg kg<sup>-1</sup>, seguido T5-L com 21,86 mg kg<sup>-1</sup>, T1-OT com 21,66 mg kg<sup>-1</sup>, T3-PT com 19,82 mg kg<sup>-1</sup>, T4-OP com 19,39 mg kg<sup>-1</sup>, conforme a **Figura 22**.



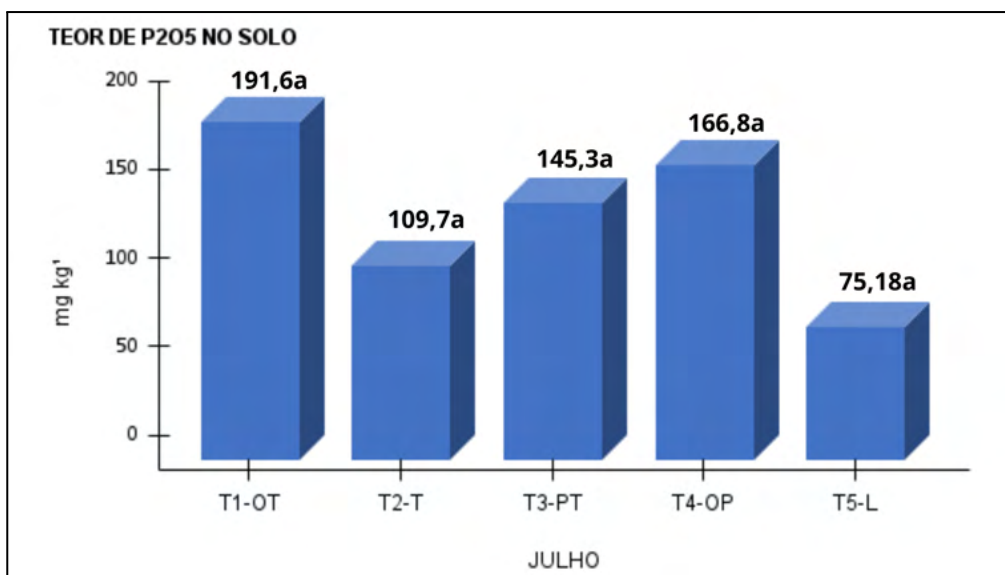
**Figura 22:** Concentrações de nitrogênio mineral das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os mesmos tratamentos no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (13,54), NH<sub>3</sub> (11,86) e N mineral (14,42).

Os teores de nitrogênio mineral apresentaram valores mais elevados no solo no mês de julho para todos os ambientes avaliados, tendo-se registrado uma queda do teor no solo no mês de dezembro, pela questão do aumento da umidade do solo. O nitrato é altamente solúvel em água, sendo suscetível de ser perdido por lixiviação para as camadas mais profundas do solo nos meses mais chuvosos do ano. Além disso, em dezembro já as plantas foram colhidas e o nitrogênio acumulado nos seus tecidos. O nitrogênio mineral apresentou valores praticantes semelhantes nos diferentes ambientes analisados.

#### 5.1.4 Fósforo ( $P_2O_5$ ) e Potássio ( $K_2O$ ) do Solo

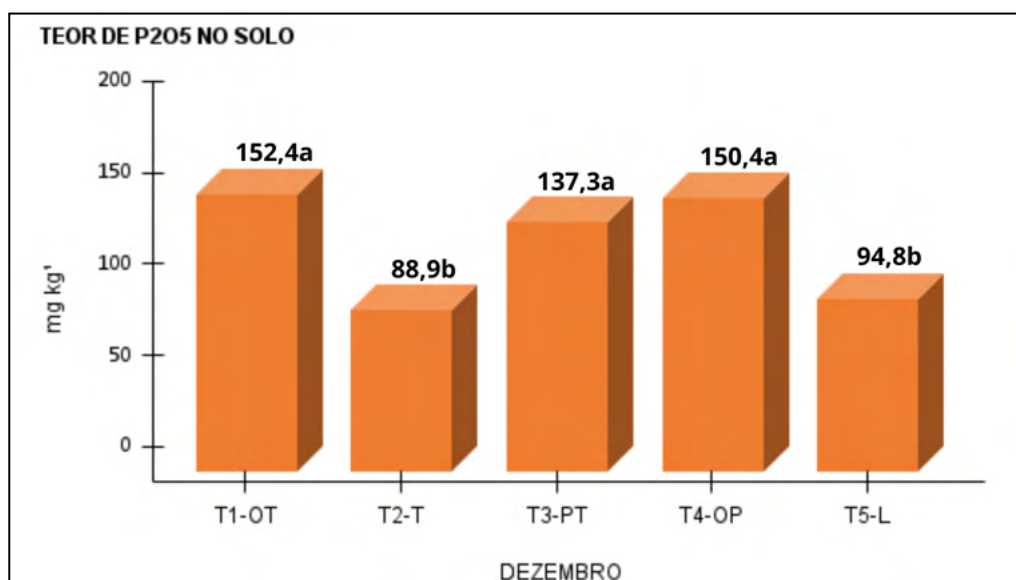
A determinação de fósforo e potássio no solo é essencial para se conhecer a potencial disponibilidade destes macronutrientes para as plantas.

No mês de julho, os valores de  $P_2O_5$  no solo não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes ambientes analisados foram registrados os valores: o local que obteve o maior valor foi T1-OT com  $191,6 \text{ mg kg}^{-1}$ , seguido T4-OP com  $166,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , T3-PT com  $145,3 \text{ mg kg}^{-1}$ , T2-T com  $109,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , T5-L com  $\text{mg kg}^{-1}$ , conforme a **Figura 23**. Embora o valor de fósforo em T5-L seja bastante menor, a ausência de diferenças significativas para os restantes locais deve estar relacionada com o elevado coeficiente de variação dos resultados de fósforo nas repetições. A grande variação entre repetições pode estar relacionada com o facto de este lameiro ser pastoreado e algumas amostras poderem ter apanhado alguns dejetos.



**Figura 23:** Valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 30,46%.

No mês de dezembro verificaram-se diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. O local que registou o maior valor foi T1-L com 152,4 mg kg<sup>-1</sup>, seguido T4-OP com 150,4 mg kg<sup>-1</sup>, T3-PT com 137,3 mg kg<sup>-1</sup>, T5-L com 94,8 mg kg<sup>-1</sup>, T2-T com 88,9 mg kg<sup>-1</sup>, conforme a **Figura 24**.

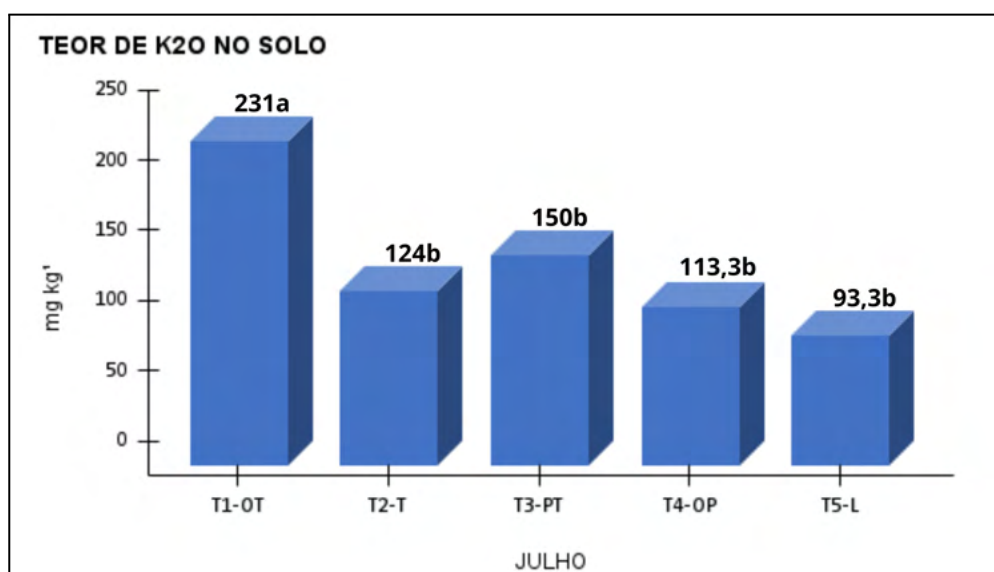


**Figura 24:** Valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 21,05%.

As concentrações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o mês de julho e dezembro apresentaram valores considerados de médio a altos para os tratamentos, de acordo com INIAV (2022). O local T1-L apresentou os maiores valores para as duas datas, que pode

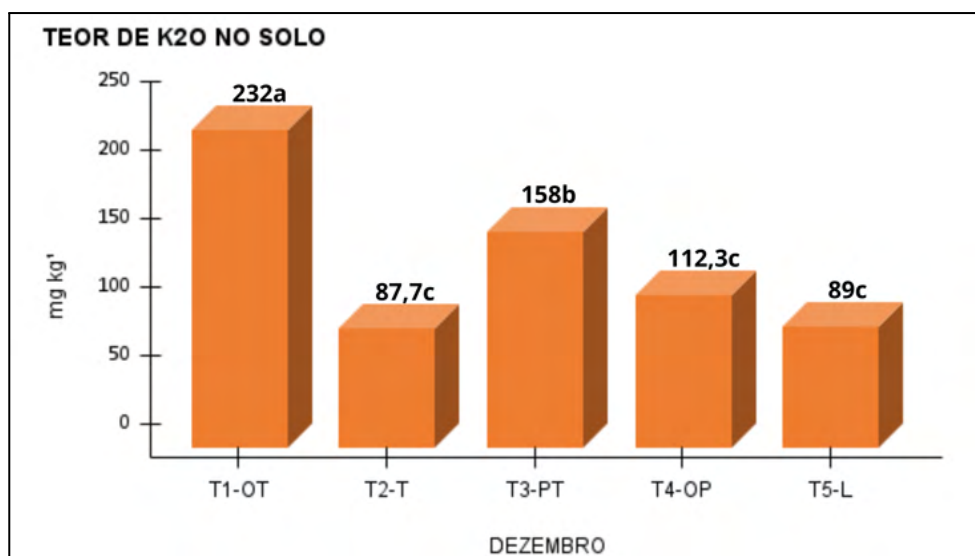
estar relacionada com o à adubação de fertilizantes químicos feito em excesso nas oliveiras. De qualquer forma, os valores diminuíram em dezembro em todos os locais, o que poderá estar relacionado com o maior teor de humidade do solo que poderá ter diluído o nutriente.

Os valores de  $K_2O$  no solo no mês de julho, apresentaram diferenças significativas entre os diferentes ambientes analisados. O local com o maior valor foi T1-OT com  $231 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$  seguido pelo T3-PT com  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$ , T2-T  $124 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$ , T4-OP com  $113,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$  e T5-L com  $93,3 \text{ mg kg}^{-1}$  conforme a **Figura 25**.



**Figura 25:** Valores de  $K_2O$  das amostras de solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 25,62%.

Os valores de  $K_2O$  no mês de dezembro também apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. O local que obteve o maior valor foi também T1-OT com  $232 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$ , seguido de T3-PT com  $158 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$ , T4-OP com  $112,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$ , T2-T com  $87,7 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $K_2O$  e por último T5-L com  $89 \text{ mg kg}^{-1}$  conforme a **Figura 26**.

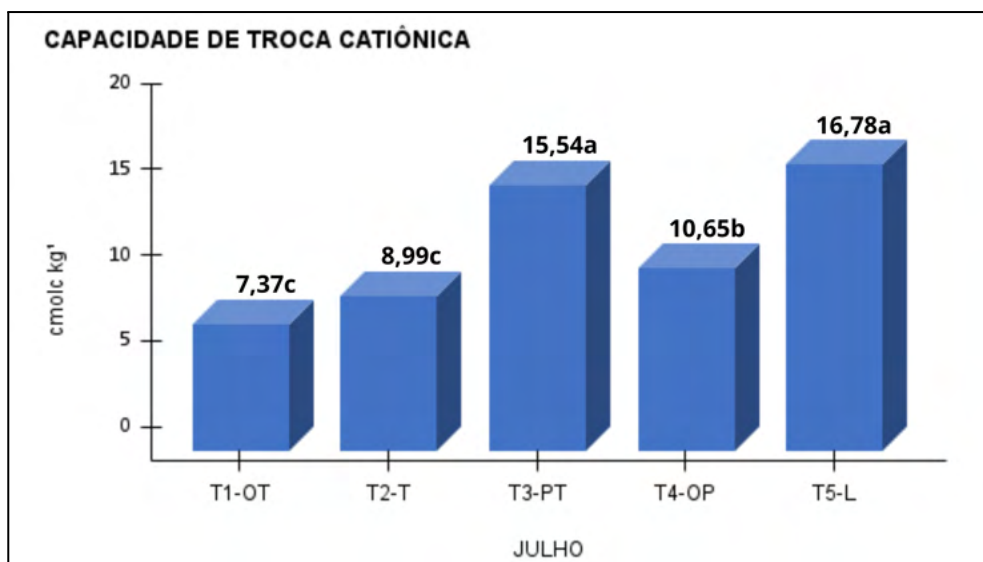


**Figura 26:** Valores de K<sub>2</sub>O das amostras de solo dos diferentes ambientes em dezembro de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 11,78%.

As concentrações de K<sub>2</sub>O dos tratamentos nos meses de julho e dezembro apresentaram valores considerados médios e muito alto (INIAV 2022). Os maiores valores associados a T1-L, devem estar relacionados com a natureza do material originário destes solos, naturalmente rica em potássio, aliada à adubação química realizada nas oliveiras.

#### 5.1.5 Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do Solo

Os valores da CTC do solo no mês de julho, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. O local T5-L apresentou o maior valor, com 16,78 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, seguido pelo T3-PT com 15,54 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, T4-OP com 10,64 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, T-2-T com 8,99 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, T1-OT com 7,37 cmol<sub>c</sub>kg<sup>-1</sup>, conforme a **Figura 27**.



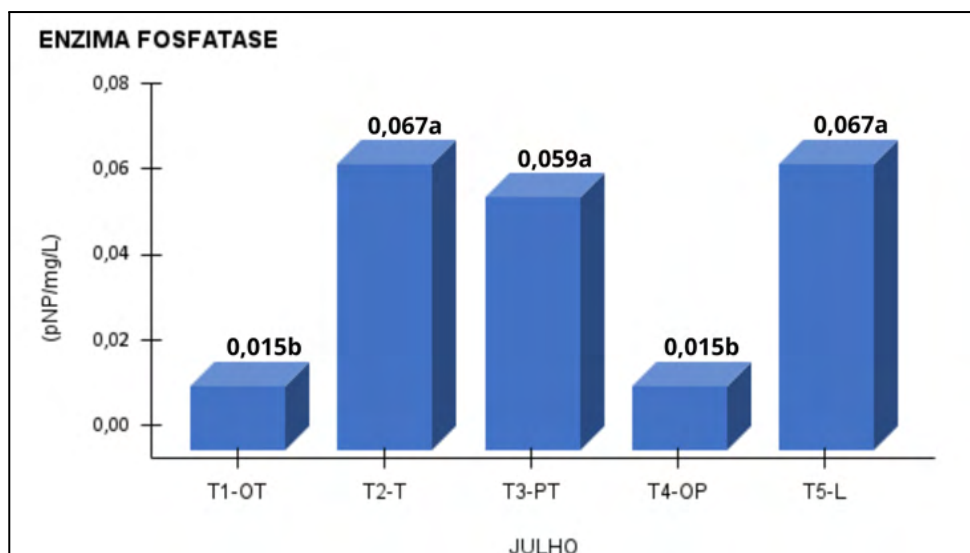
**Figura 27:** Valores da CTC do solo dos diferentes ambientes, no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: 8,52 %.

Os valores da CTC do solo no mês de dezembro de 2021 (não apresentados), seguem a mesma tendência e magnitude de valores dos verificados em julho.

A Capacidade de Troca Catiônica também foi influenciada pelo teor de COT no solo, sendo que os sítios que tiveram os maiores valores para o mês de julho foram T3-PT, T4-OP e T5-L. De acordo com JÚNIOR (2011), em um estudo observou que os valores de CTC no solo acompanharam os resultados dos teores de matéria orgânica em todos os solos analisados, na camada superficial do solo. A matéria orgânica do solo contribui para a existência de cargas negativas que retêm os cátions que caracterizam a CTC dos solos. Os locais T1-OT e T2-T, localizados na região com menor precipitação, sujeitos a mobilização do solo, com menor teor de matéria orgânica, possuem valores de CTC classificados de baixos. Os valores dos locais T3-PT, T4-OP e T5-L são classificados de médios (INIAV, 2022).

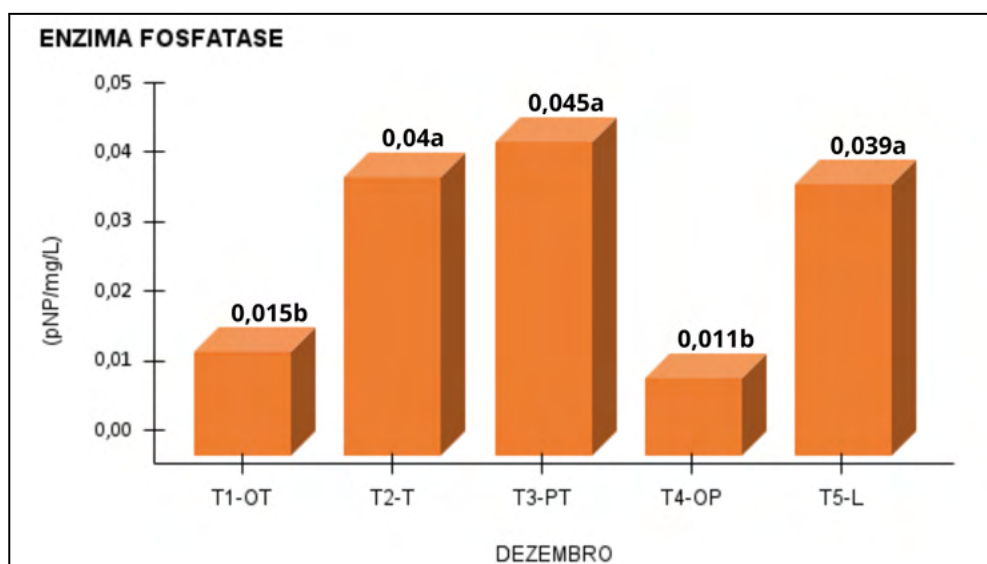
#### 5.1.6 Atividade da Enzima Fosfatase

Os valores da enzima fosfatase do solo no mês de julho apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados. Obtiveram os seguintes valores: o local com maior atividade desta enzima foi T5-L com 0,067 pNP/mg/L e T2-T com 0,067 pNP/mg/L, seguida pelo T3-PT com 0,059 pNP/mg/L, T1-OT com 0,015 pNP/mg/L e T4-OP com 0,015 pNP/mg/L, conforme a **Figura 28**.



**Figura 28:** Valores da enzima fosfatase das amostras de solo dos diferentes ambientes no mês de julho de 2021. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 16,99.

Os valores da enzima fosfatase dos solos no mês de dezembro, apresentaram diferenças significativas nos diferentes ambientes analisados mas também com o mesmo padrão de resultados registados em julho, ou seja, os maiores valores de atividade registaram-se em T2-T com 0,040 pNP/mg/L), T3-PT com 0,045 pNP/mg/L) e T5-L com 0,039 pNP/mg/L), com um pequeno aumento da atividade em T3-PT relativamente a julho, **Figura 29.**



**Figura 29:** Valores da enzima fosfatase do solo dos diferentes ambientes em julho de 2021. INIAV. 2022. Manual de Fertilização das Culturas. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Médias seguidas pela mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação 14,92.

Os locais que mostraram maior atividade, T2-T, T3-PT e T5-L, que podem estar relacionados com o teor de umidade e COT no solo, que são parâmetros que favorecem a atividade de microrganismo no solo. Nos sítios T1-OT e T4-OP, os menores valores da atividade da fosfatase no solo podem estar relacionados com o maior valor de  $P_2O_5$  no solo. De acordo com OLANDER e VITOUSEK (2000) a adição de fósforo na forma de adubos anula a atividade de microrganismos relacionados à atividade da fosfatase no solo. Os resultados de fósforo no solo destes locais parecem confirmar esta tese.

## **5.2 Cromatografia Circular de Pfeiffer**

### **5.2.1 Resultados gerais**

De acordo com a literatura, a realização da CCP, os cromatogramas devem ser feitos com o papel filtro Whatman N°1 e N°4. No entanto, na tentativa de avaliar a influência do tipo de papel no desenvolvimento do cromatograma, introduziu-se uma pequena experiência com outro papel. Assim, a partir dos padrões estabelecidos, fizemos um esforço para atribuir ao estudo presente que utilizou um papel Filtra TECH, similar ao whatman N° 4 que corresponde a uma impregnação rápida, e foi comparado com o papel whatman N°1 que corresponde a uma impregnação média.

#### **a) Solos coletados no mês de julho de 2021**

De acordo com a metodologia de avaliação utilizada (descrita na figura 11), as características visuais de importância dos cromatogramas obtiveram os seguintes resultados da média das 9 repetições, para cada tratamento, pelo programa SISVAR FERREIRA (2014). Os valores foram apresentados em gráficos em formatos de radar elaborados no programa Google Sheets.

Para a característica *Integração*, o mês de julho apresentou os maiores escores com diferenças significativas, os sítios T3-PT com escore (2,67), e T5-L com escore (2,44), seguido pelos outros sítios com escores significativamente

inferiores: T4-OP, com escore (2,33), T2-T com escore (2,11) e T1 -OT com escore (2,11).

Para a característica visual de importância *Flechas e Plumas*, no mês de julho, não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos, com os escores para T3-OP com (3,11), T5-L com escore (3,11), T1-OT com escore (3,00), T2-T com escore (3,00) e T4-OP com escore de (3,00).

Para a característica *Picos (Dentes)* no mês de julho registaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, com o valor superior significativamente superior relativamente aos demais locais T5-L com escore (3,44), seguido pelo T3-PT com escore (2,89), T4-OP com escore de (2,78), T2-T com escore (2,67), valores significativamente superiores a T1-OT com escore (2,00).

A característica *Cores* dos cromatogramas não apresentou diferenças significativas entre locais, no mês de julho. Registou-se o escore (2,56) em T5-L, T3-PT com escore (2,33), T2-T com escore (2,22), T1-T com escore (2,11) e T4-OP com escore (2,00), conforme a **Figura 30**.

	julho	dezembro	T1-OT	T2-T	T3-PT	T4-OP	T5-L
Integração			2,11b	2,11b	2,67a	2,33b	2,44a
Plumas ou flechas			3,00b	3,00b	3,19a	3,00b	3,11a
Picos ou dentes			2,00c	2,67b	2,89b	2,78b	3,44a
Cores			2,11a	2,22a	2,33a	2,00a	2,56a

**Figura 30:** Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, no mês de julho. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nos gráficos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: integração (20,45), flechas e plumas (5,85), dentes (19,39) e cores 19,94.

**Fonte:** FERREIRA, 2014.

#### b) Solos coletados no mês de dezembro de 2021

De acordo com a metodologia de avaliação utilizada, as características visuais de importância dos cromatogramas mostraram os seguintes resultados:

A característica *integração*, no mês de dezembro apresentou os maiores escores com diferenças significativas, os sítios T3-PT com escore (2,67), T2-T com escore (2,56) e T5-L com escore (2,56), seguido pelos outros sítios com escores inferiores significativamente, T1-OT com escore (2,11), T4-OP com escore (2,00).

A característica visual de importância *Flechas e Plumas*, no mês de dezembro não revelou diferenças significativas, à semelhança do que tinha sido observado em julho. T5-L apresentou-se com escore (3,11), T1-OT com escore (3,00), T2-T com escore (3,00), T3-PT com escore (3,00) e T4-OP com escore (3,00).

Para a característica *Dentes (Picos)* no mês de dezembro, identificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, com o valor significativamente superior para os demais sítios associado a T5-L com escore (3,56) e T4-OP com escore (3,33), seguido pelo T2-T com escore (2,67), T3-PT com escore (2,56), com valores significativamente superiores ao T1-OT com escore (2,33).

A característica *Cores* dos cromatogramas, no mês de dezembro, não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos. T3-PT apresentou o escore (2,44), T5-L com escore (2,44), T1-OT escore (2,22), T4-OP com escore (2,22), T2-T com escore (2,11), conforme a **figura 31**.

	julho	dezembro	T1-OT	T2-T	T3-PT	T4-OP	T5-L
Integração			2,11b	2,56a	2,67a	2,00b	2,56a
Plumas ou flechas			3,00a	3,00a	3,00a	3,00a	3,11a
Picos ou dentes			2,33b	2,67b	2,56b	3,33a	3,56a
Cores			2,22a	2,11a	2,44a	2,22a	2,44a

**Figura 31:** Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, na mesma data. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nos gráficos não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; coeficiente de variação: integração (20,45), flechas e plumas (5,85), dentes (19,39) e cores 19,94.

**Fonte:** FERREIRA, 2014.

Os resultados das características visuais de importância para as duas épocas não apresentaram uma grande variação dos resultados, sendo que o mês de dezembro obteve resultados superiores que o mês de Julho, que pode estar relacionada com o aumento da umidade do solo, **Figura 32**.

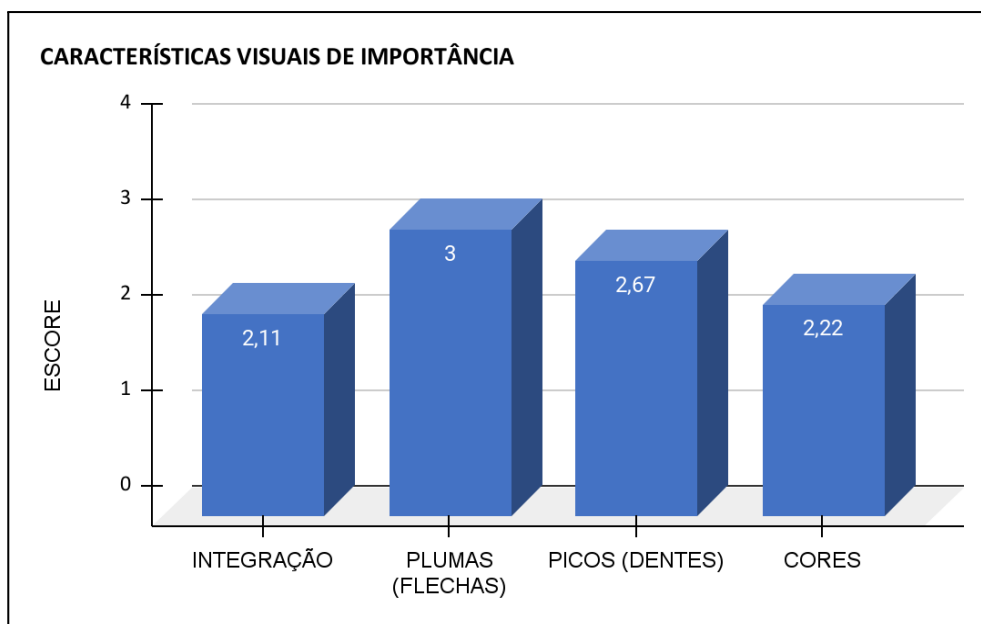
	julho	dezembro	T1-OT		T2-T		T3-PT		T4-OP		T5-L	
Integração	2,11	2,11	2,11	2,11	2,56	2,56	2,67	2,67	2,33	2,00	2,44	2,56
Plumas ou flechas	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,19	3,00	3,00	3,00	3,11	3,11
Picos ou dentes	2,00	2,33	2,67	2,67	2,67	2,67	2,89	2,56	2,78	3,33	3,44	3,56
Cores	2,11	2,22	2,22	2,22	2,11	2,11	2,33	2,44	2,00	2,22	2,56	2,44

**Figura 32:** Resultado das características visuais de importância dos cromatogramas das amostras de solos, dos diferentes ambientes analisados, julho e dezembro.

## 5.2.2 Resultados por locais

a) T1-OT - São Pedro – Solo ocupado com olival em sistema de uso tradicional (Leptossolo).

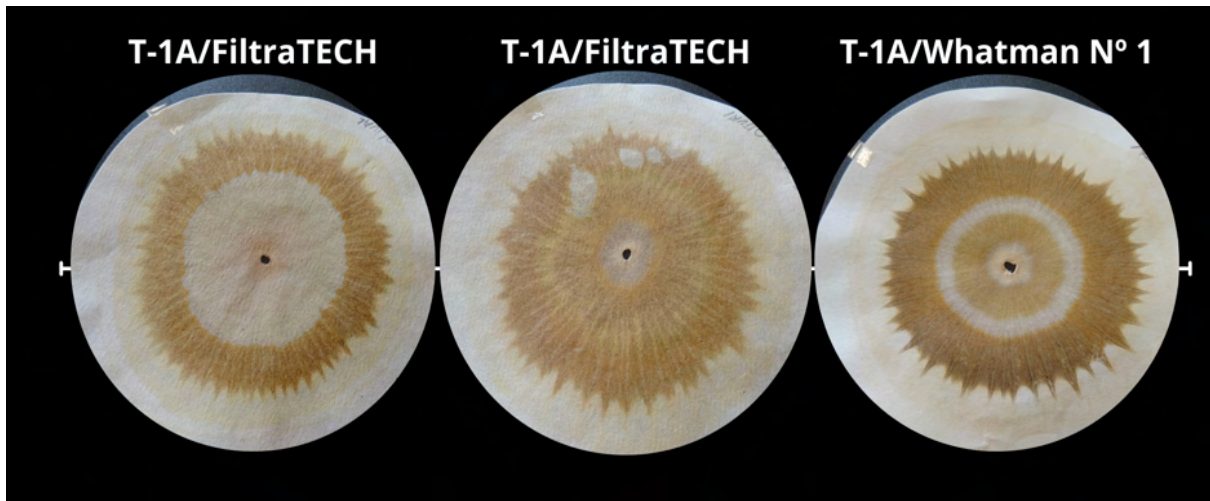
Conforme PILON et al. (2018). os resultados dos escore dos cromatogramas na avaliação das principais características dos cromatogramas do solo do mês de julho do local São Pedro, apresentou uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que varia do cinza, marrom e violeta, conforme na **Figura 33**.



**Figura 33:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T1-OT, no mês de julho.

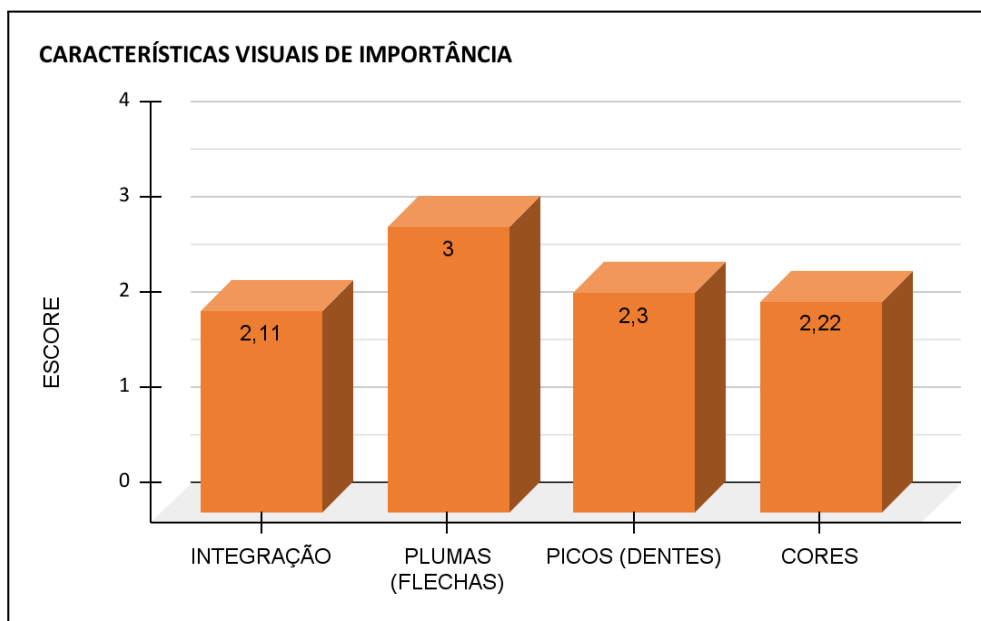
As descrições dos padrões de cada zona foram observadas de forma visual e analisadas de acordo com PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 34**.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC), apresentou um aspecto indesejável, zona pouco desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco beje claro no centro, mostrando pouco metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com pouco atividade microbiana, índice de compactação e estrutura pouco desenvolvida, e pouca interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) mostrou uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e radiações rasas e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) revelou uma cor marrom homogênea com poucas ramificações, apresentando dentes pontiagudos uniformes rasos, e um aspecto irregular na harmonia radial do croma como um todo, com cores borradas e escuras.
- Zona Externa ou Zona Enzimática, obteve uma cor clara depois dos dentes, refletindo a um solo com baixas concentrações de substâncias enzimáticas e húmicas no solo, que reflete o baixo metabolismo microbiano conforme na ZC.



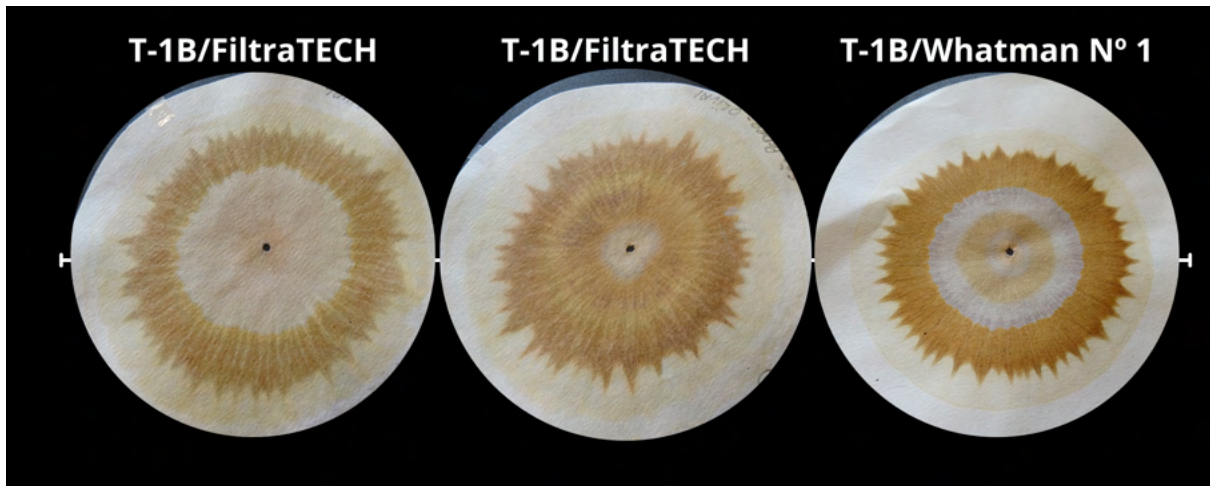
**Figura 34:** Cromatogramas do solo (T1-OT), julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

Conforme PILON et al., (2018) os resultados dos escore dos cromatogramas na avaliação das principais características dos cromatogramas do solo do mês de dezembro de T1-OT apresentaram uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que varia do cinza, marrom e violeta, conforme a **Figura 35**.



**Figura 35:** Valores dos escores das características visual de importância do solo de T1-OT, no mês de dezembro.

As descrições dos padrões de cada zona foram observadas de forma visual e analisadas de acordo com a metodologia de PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento conforme a **Figura 36**.

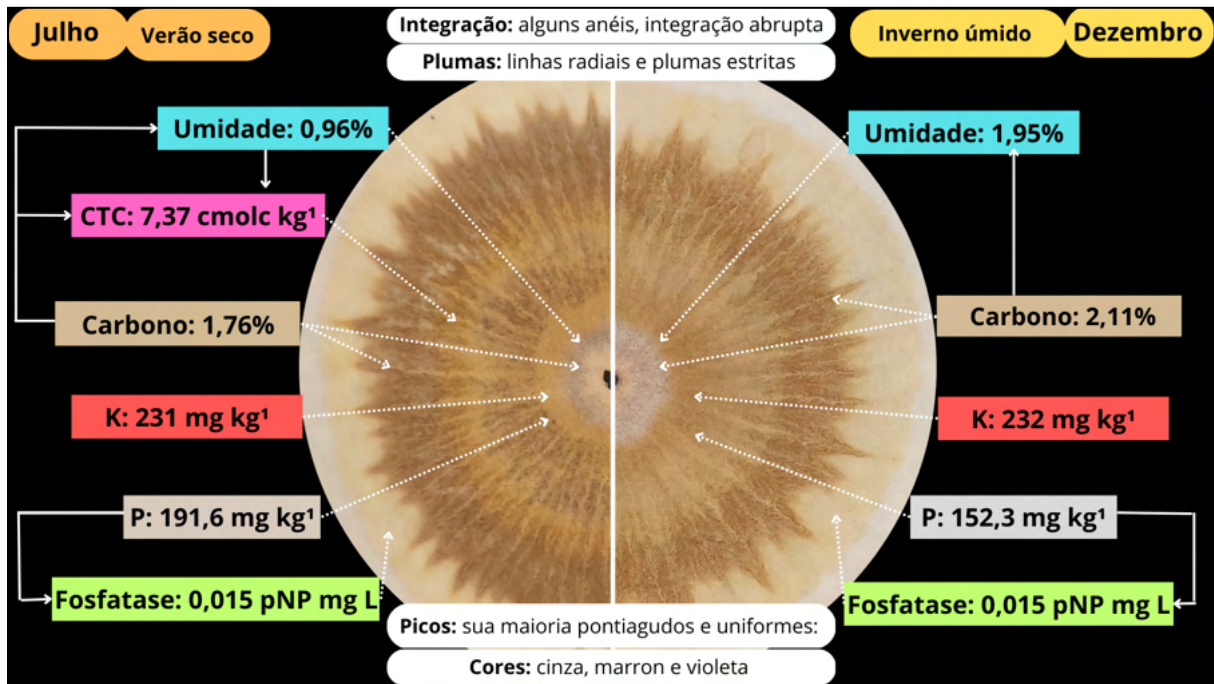


**Figura 36:** Cromatogramas do solo (T1-OT), dezembro. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC), apresentou um aspecto indesejável, com uma zona pouco desenvolvida, cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando pouco metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com pouca atividade microbiana, indicação de compactação e estrutura do solo pouco favorável. Possui pouca interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) mostrou uma cor escura com anel claro do cinza, violeta e bege, com aspecto pouco harmônico, e radiações rasas e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou da matéria orgânica (ZI) obteve uma cor marrom com poucas ramificações, apresentando dentes pontiagudos pouco irregulares, e um aspecto irregular na harmonia radial do croma como um todo.
- Zona Externa ou Enzimática (ZE), apresentou a cor clara sem manchas depois dos dentes, refletindo a um solo com baixas substâncias enzimáticas e de compostos húmicos no solo, que reflete o baixo metabolismo microbiano, observado na ZC.

Analisando as duas datas diferentes, julho e dezembro, conforme observado nos padrões da maioria dos cromatogramas, o solo T1-OT apresentou características de um solo com pouca fertilidade, tanto para o mês de julho como para dezembro. Apresentou-se como um solo com pouco metabolismo microbiano nas duas datas conforme a ZC pouca desenvolvida, alguns cromatogramas apresentaram na ZM um aspecto de cores opacas com bege e violetas, com pouca

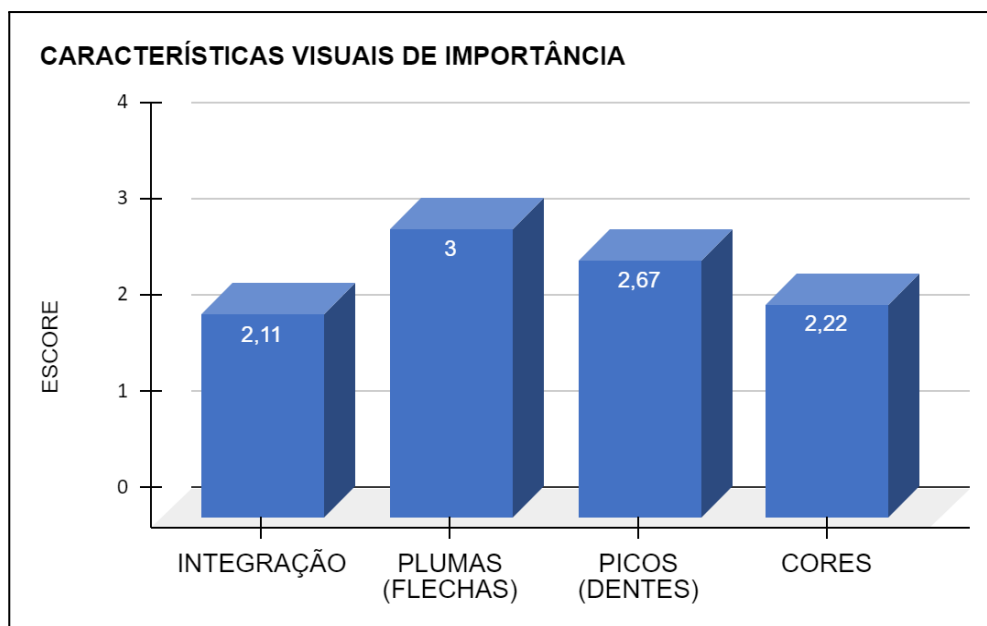
interação entre as demais zonas. Na ZI verificaram-se cores escuras e opacas com formação de pequenos dentes pontiagudos homogêneos, apresentando falta de matéria orgânica no solo. Na ZE verificou-se pouca presença de manchas após os dentes, um sinal de baixo metabolismo enzimático do solo. Em geral os cromatogramas apresentaram-se pouco harmônicos como um todo, **Figura 37**.



**Figura 37:** T1-OT - São Pedro – Solo ocupado com olival em sistema de uso tradicional (Leptossolo). Papel filtro Filtra TECH #4.

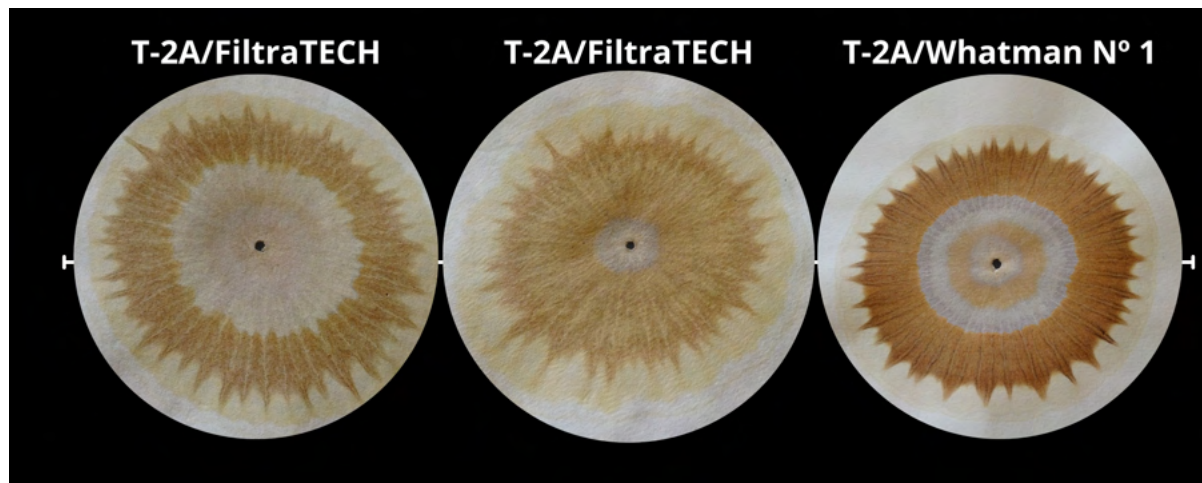
b) T2-T - Valongo – Parcela com cultivo de trigo em sistema de cultivo convencional (Cambissolo)

Ainda usando a análise de PILON et al., (2018) os resultados dos escore dos cromatogramas na avaliação das principais características dos cromatogramas do solo do mês de julho de 2021 da zona T2-T apresentaram uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que variam do cinza a marrom e violeta. A pontuação das características avaliadas apresenta-se na **Figura 38**.



**Figura 38:** Valores dos escores das características visual de importância do solo em T2-T, no mês de julho.

A descrição dos padrões de cada zona foi efetuada com base na observação da forma visual e analisada conforme PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 39**.

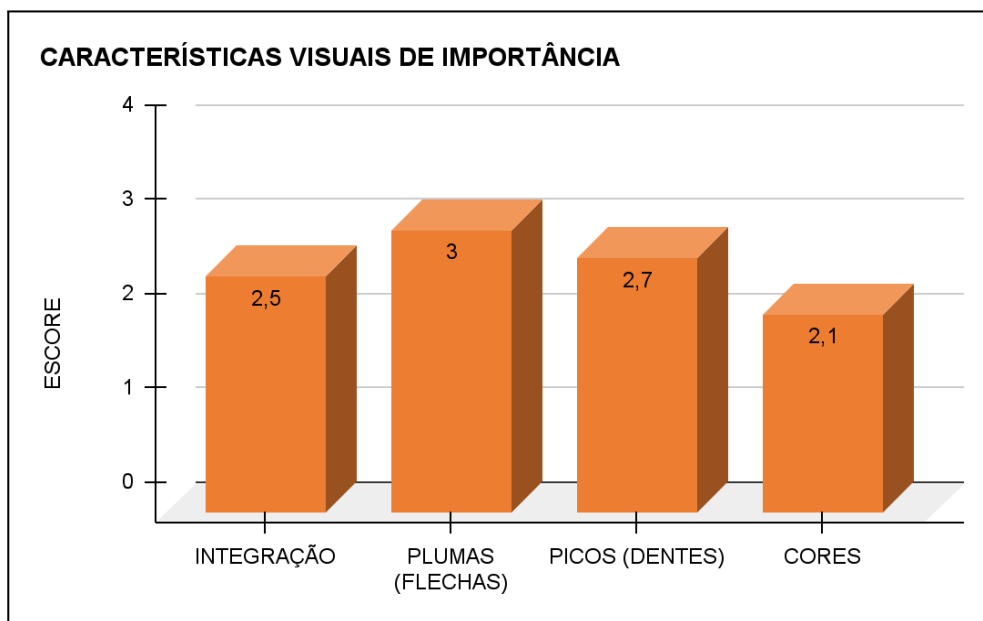


**Figura 39:** Cromatogramas do T2-T, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) - apresentou um aspecto indesejável, com zona pouco desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco beje claro no centro, mostrando pouco metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com pouco atividade microbiana, indício de compactação e estrutura pouco favorável do solo; possui pouca interação com a zona dos minerais.

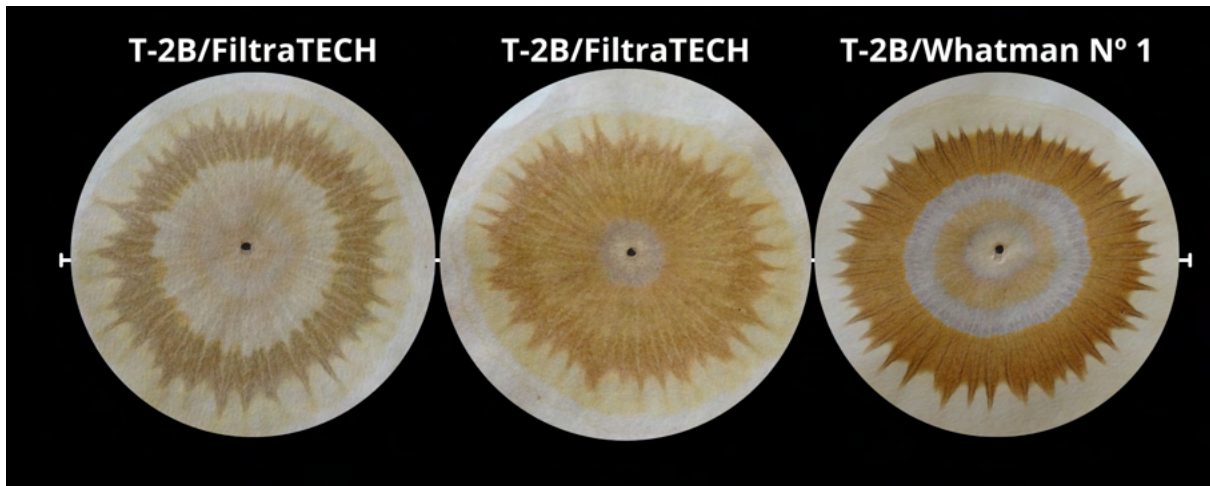
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) - com uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) – apresentou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com pouca presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos pouco irregulares, e um aspecto irregular na harmonia radial do croma como um todo.
- Zona Externa ou Zona Enzimática (ZE) - mostrou a cor amarela claro depois dos dentes, refletindo a um solo com baixas substâncias associadas a atividade enzimática e a compostos húmicos no solo, que reflete o baixo metabolismo microbiano conforme observado na ZC.

Na parcela T2-T, o solo coletado no mês de dezembro de 2021, teve os seguintes resultados: possui uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que varia do cinza, marrom e cinza e violeta, conforme se mostra na **Figura 40**.



**Figura 40:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T2-T, no mês de dezembro.

As descrições dos padrões de cada zona foram feitas a partir de observação visual e analisadas conforme PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 41**.

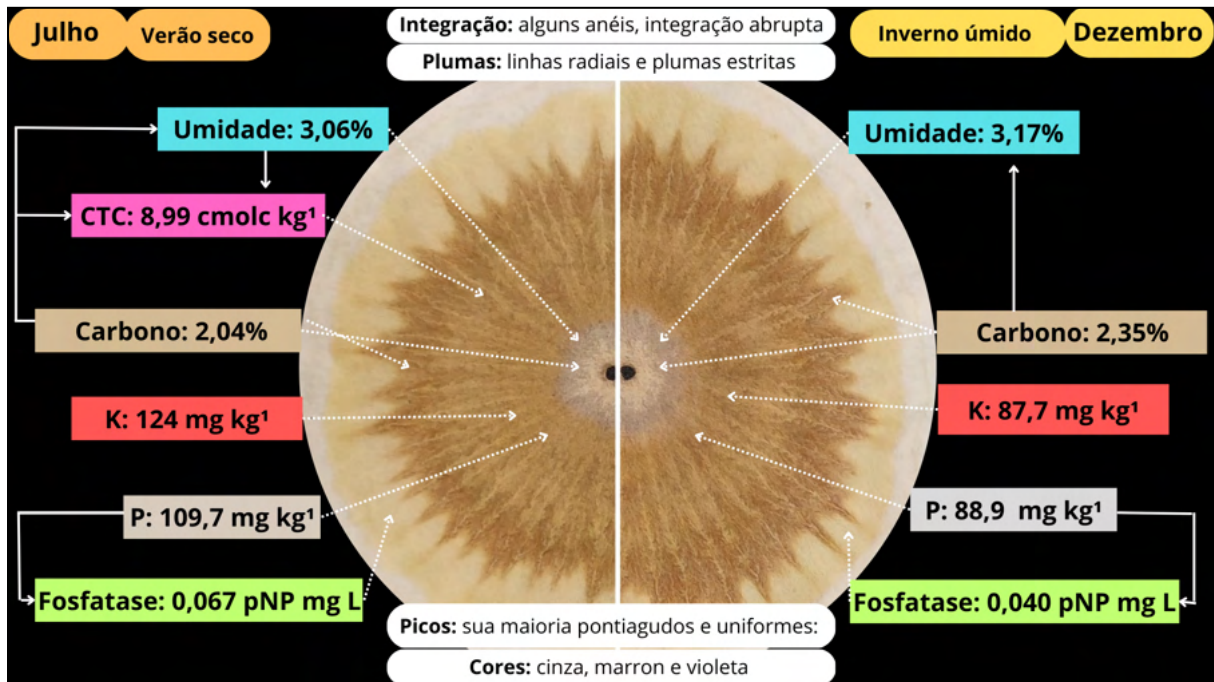


**Figura 41:** Cromatogramas do T2-T. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) - apresentou um aspecto indesejável, com uma zona pouco desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando pouco metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com pouco atividade microbiana, indícios de compactação e pouca estrutura do solo, e possui pouca interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) – mostrou uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) - apresentou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos irregulares, e um aspecto irregular na harmonia radial do cromograma como um todo.
- Zona Externa ou Zona Enzimática (ZE) – com cor amarela claro depois dos dentes, refletindo um solo com poucas substâncias enzimáticas e compostos húmicos no solo, que reflete o baixo metabolismo microbiano.

Analisando as duas datas diferentes (julho e dezembro), conforme observado nos padrões da maioria dos cromatogramas, a parcela T2-T não mostrou diferenças entre as duas datas. O solo apresentou-se com pouco metabolismo microbiano nas duas datas- A zona interna apresenta uma cor violeta forte que, segundo PFEIFFER (1984), é uma cor que pode estar ligada ao processo de mineralização do solo ou à presença de substâncias xenobióticas, que podem ter afetado o metabolismo microbiano do solo, como observado na ZC. A data de dezembro apresentou um

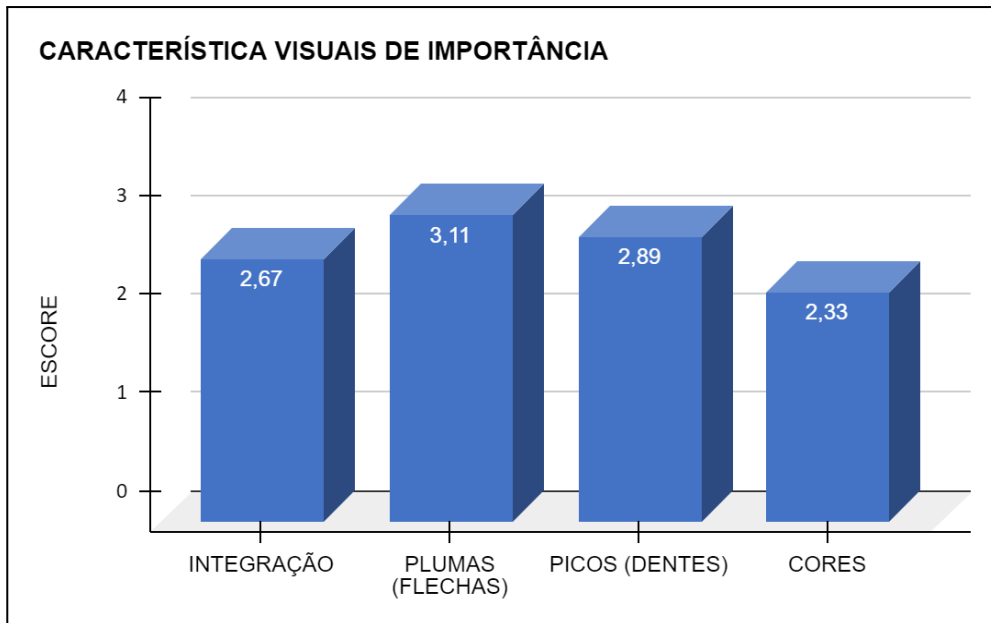
aspecto um pouco melhor que julho, com ramificações um pouco mais fortes no final, dentes mais irregulares, na zona externa, em alguns cromatogramas do mês foi observado pouca presença de manchas após os dentes um sinal de baixo metabolismo enzimático. As duas datas apresentaram padrões pouco harmônicos nos cromatogramas como um todo **Figura 42**.



**Figura 42:** T2-T - Valongo – Parcela com cultivo de trigo em sistema de cultivo convencional (Cambissolo). Papel filtro Filtra TECH #4.

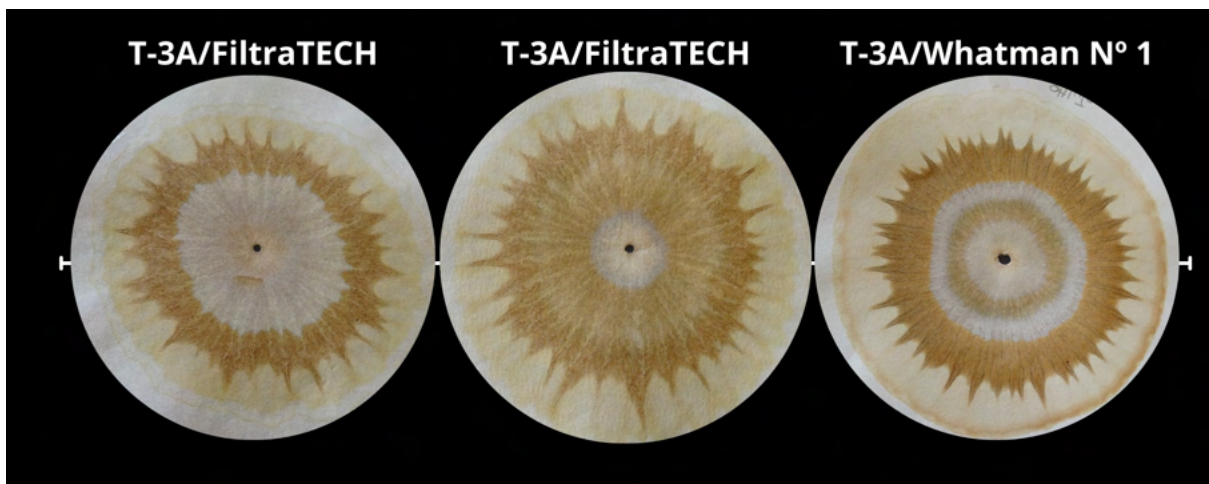
c) T3-PT - Poulão – Parcela ocupada com uma pastagem temporária (Fluvissole)

O local T3-PT mostrou os seguintes resultados: os cromatogramas apresentam uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que variam do cinza, marrom, cinza e violeta, conforme a **Figura 43**.



**Figura 43:** Valores dos escores das características visual de importância do solo T3-PT, no mês de julho.

As descrições dos padrões de cada zona conforme a **Figura 44**, foram feitas de forma visual e analisadas de acordo com a metodologia já descrita (PFEIFFER, 1984 e RIVERA e PINHEIRO, 2011).

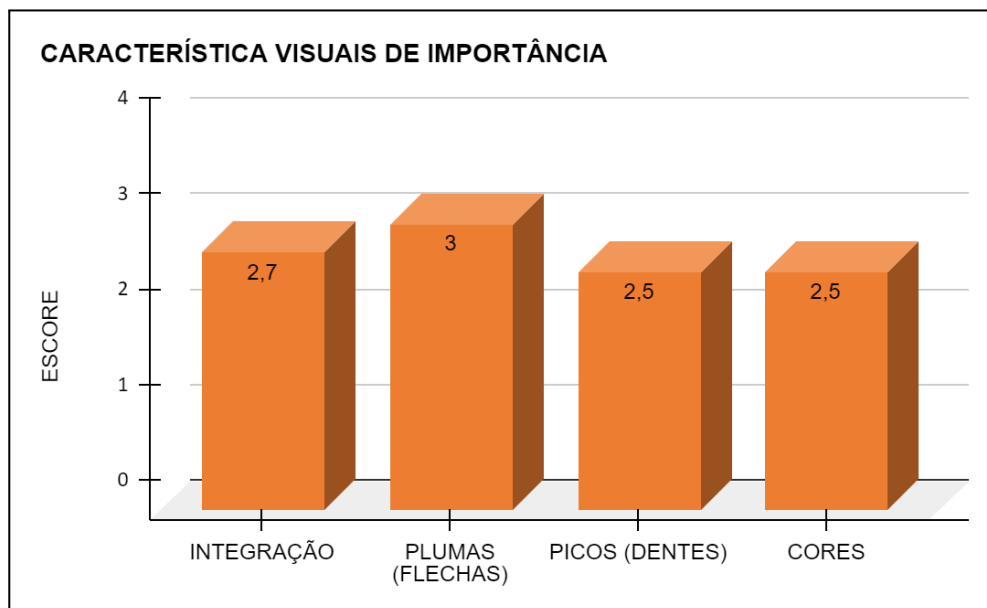


**Figura 44:** Cromatogramas do T3-PT, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) - apresentou um aspecto desejável, zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando indícios de metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com média atividade microbiana, baixa compactação e boa estrutura do solo; possui uma interação com a zona dos minerais.

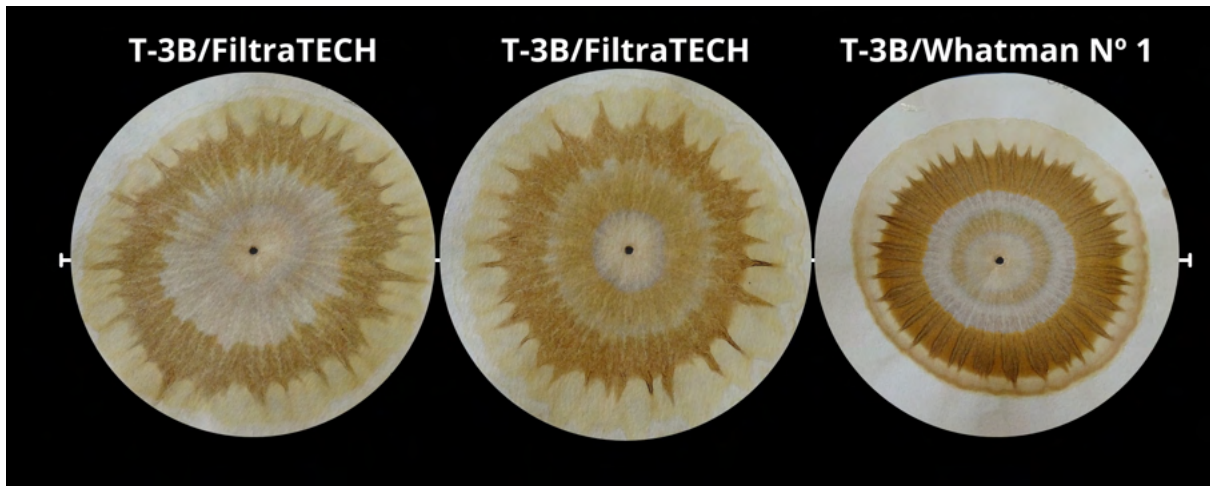
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) - mostrou uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto harmônico, e média integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica - obteve uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos irregulares, e um aspecto irregular na harmonia radial, presença de boa quantidade de matéria orgânica.
- Zona Externa ou Zona Enzimática (ZE) – apresentou cor amarelo claro depois dos dentes, refletindo a um solo com presença de substâncias enzimáticas e de compostos húmicos no solo, que refletiu ao médio metabolismo microbiano conforme a ZC.

O solo coletado no mês de dezembro de 2021, teve os seguintes resultados: possui uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que varia do cinza, marrom e cinza e violeta, conforme a **Figura 45**.



**Figura 45:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do T3-PT, dezembro.

Segue-se a apreciação visual das características dos cromatogramas apresentados no respectivo tratamento, conforme a **Figura 46**.

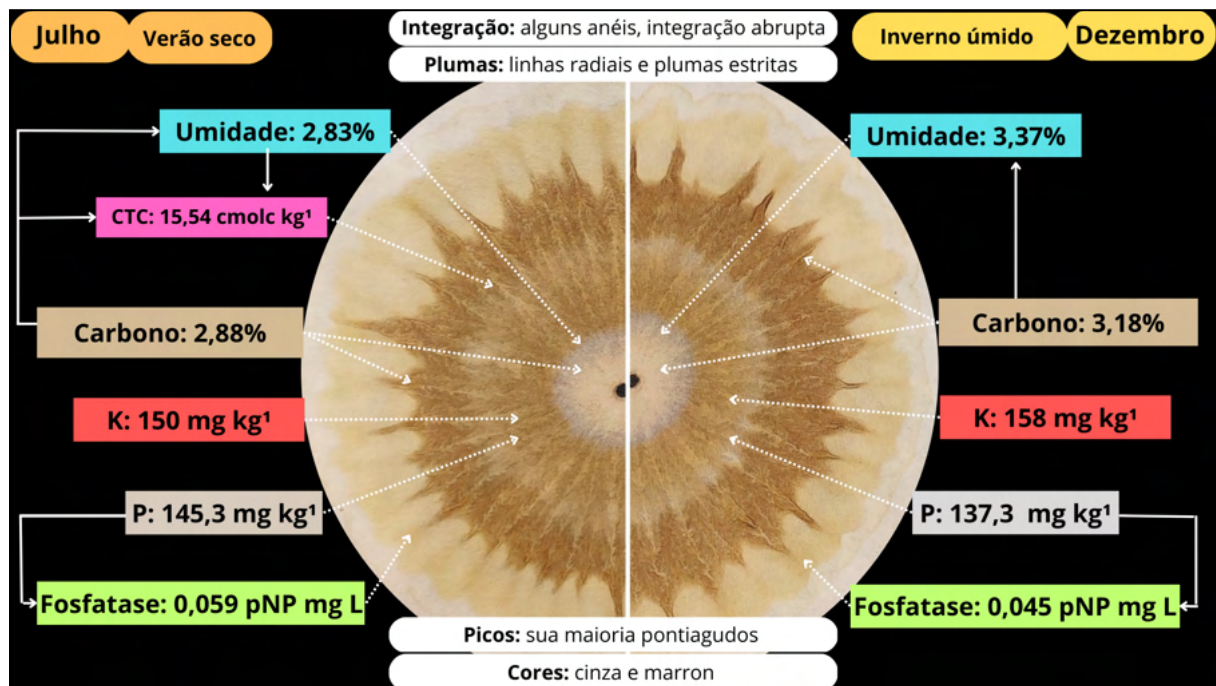


**Figura 46:** Cromatogramas do T3-PT, dezembro. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZM) - apresentou um aspecto desejável, zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando um médio metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com atividade microbiana, indícios de ausência de compactação e boa estrutura do solo, e possui uma interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) - apresentou uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto harmônico, e média integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) - mostrou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos irregulares com marcações escuras, e um aspecto com média harmonia radial do croma como um todo, presença de boa quantidade de matéria orgânica.
- Zona Externa ou Zona Enzimática (ZE) - mostrou a cor amarela claro creme depois dos dentes, refletindo a um solo com presenças de substâncias enzimáticas e de compostos húmicos no solo, que reflete ao médio metabolismo microbiano do solo conforme observado na ZC.

Analisando as duas datas diferente julho e dezembro, conforme observado nos padrões da maioria dos cromatogramas, a parcela T3-PT, se apresentou com um solo com médio metabolismo microbiano nas duas datas, conforme a zona

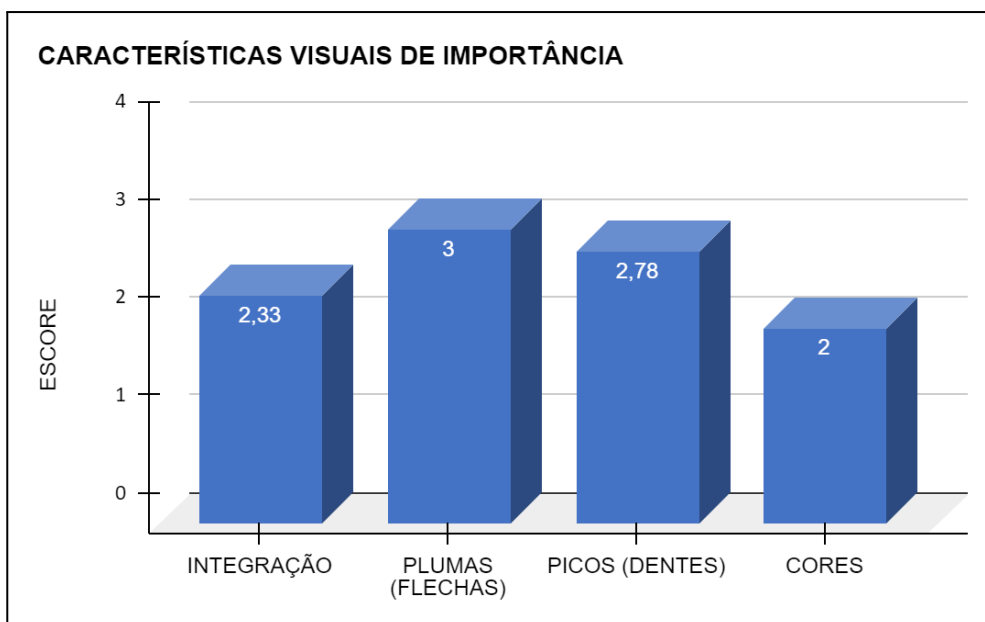
central, sendo que a data de dezembro apresentou um aspecto um pouco melhor que julho, com ramificações pouco mais fortes e escura no final, dentes mais irregulares com marcações escuras (sinal de presença de diferentes substâncias), na zona externa, em alguns cromatogramas do mês de dezembro foi observado a presença de manchas após os dentes, sinal de substâncias enzimáticas com cor amarela creme em alguns cromatogramas uma característica positiva de um solo de qualidade, **Figura 47**.



**Figura 47:** T3-PT - Poulão – Parcela ocupada com uma pastagem temporária (Fluvissole). Papel filtro Filtra TECH, #4.

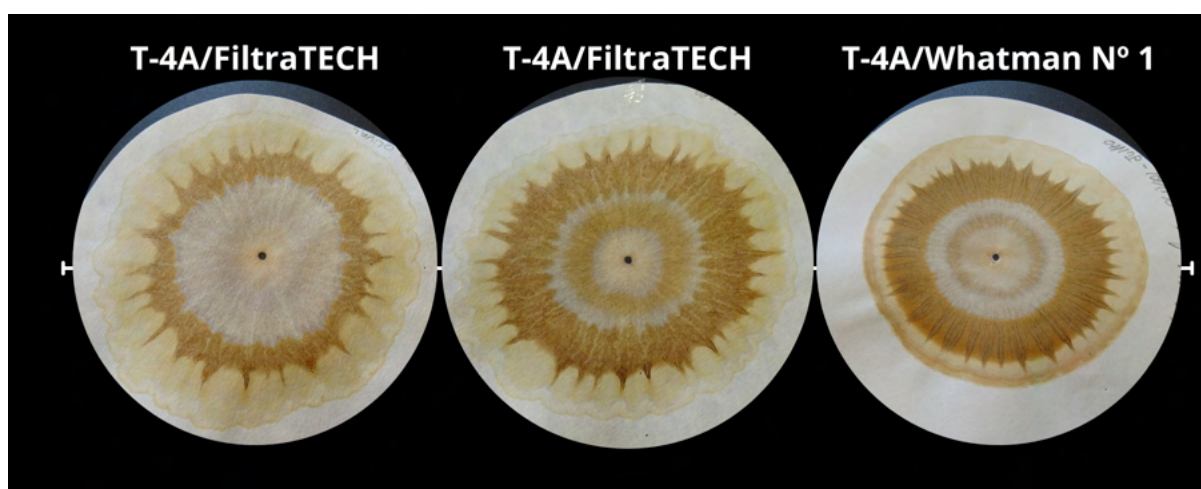
d) T4-OP - Pinheiro Manso – Cultivo de oliveira em sistema convencional na região (Cambissolo)

As análises por meio de escore dos cromatogramas na avaliação das principais características visuais de importância do solo T4-PT, no solo coletado no mês de julho de 2021, apresentou os seguintes resultados: verificou-se uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos e cores que varia do cinza, marrom e cinza e violeta, conforme a **Figura 48**.



**Figura 48:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do T4-OP, julho.

As descrições dos padrões foram observadas visualmente e analisadas conforme PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 49**.

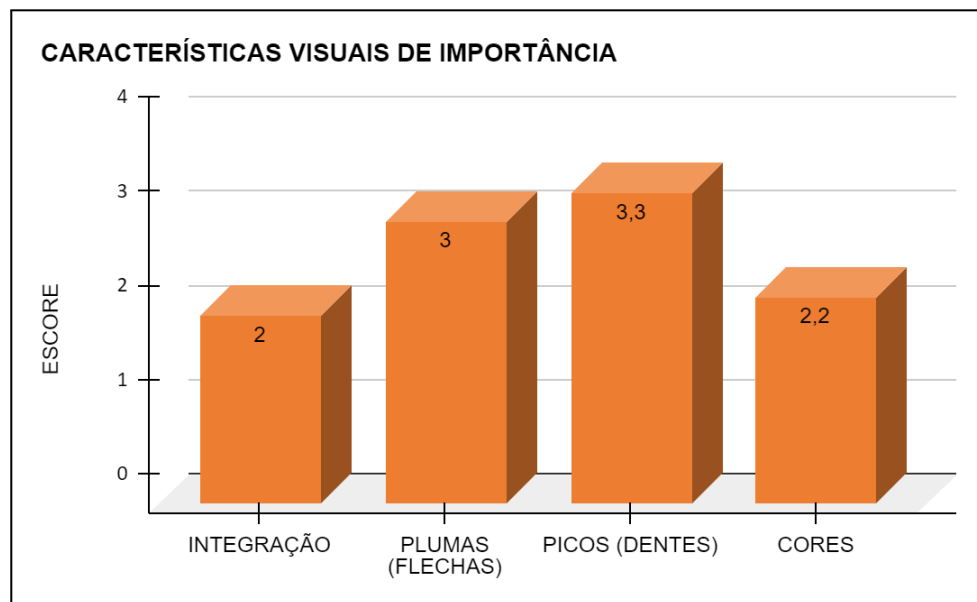


**Figura 49:** T4-OP, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) - apresentou um aspecto desejável, zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando um médio metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com atividade microbiana, baixo índice de compactação e boa estrutura do solo, e possui uma interação com a zona dos minerais.

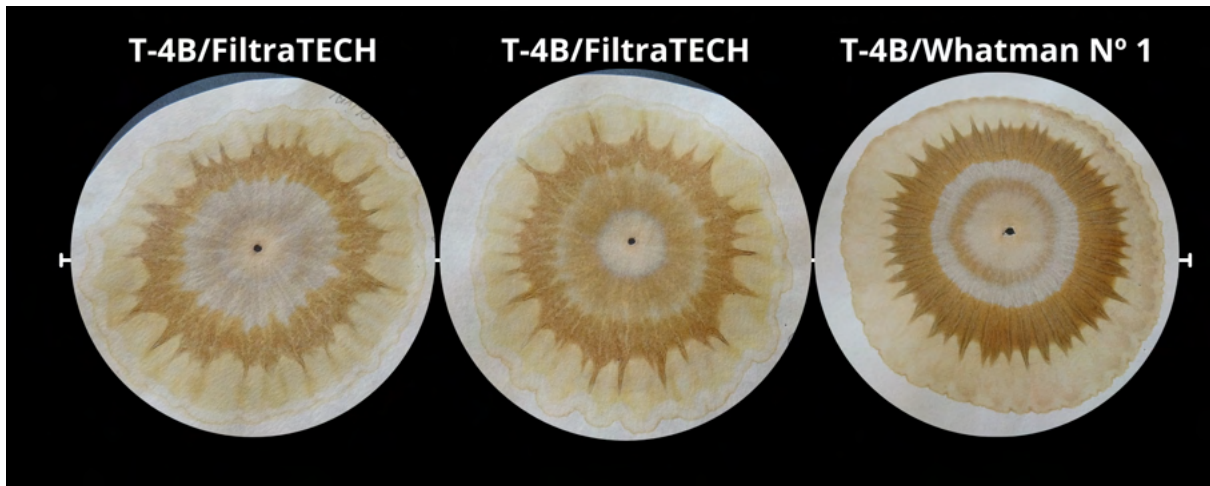
- Zona Interna ou Zona dos Mineral (ZM) – com uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) - mostrou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando pouco número de dentes pontiagudos finos regulares que pode ter alguma relação com a zona mineral do solo, com cores escuras no final sinal de boa presença de matéria orgânica.
- Zona Externa ou Enzimática - apresentou cor amarela clara depois dos dentes, refletindo a um solo com substâncias enzimáticas, que reflete um médio metabolismo microbiano.

De acordo com PILON et al., (2018) as análises por meio de escore dos cromatogramas na avaliação das principais características visuais de importância da parcela T4-PO, o solo coletado no mês de dezembro apresentou os seguintes resultados: possui uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos com derivações e cores que varia do cinza, marrom e cinza e violeta, conforme a **Figura 50**.



**Figura 50:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T4-PO, no mês de dezembro de 2021.

Segue-se a descrição dos padrões de cada zona, observados visualmente e conforme PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011), **Figura 51**.

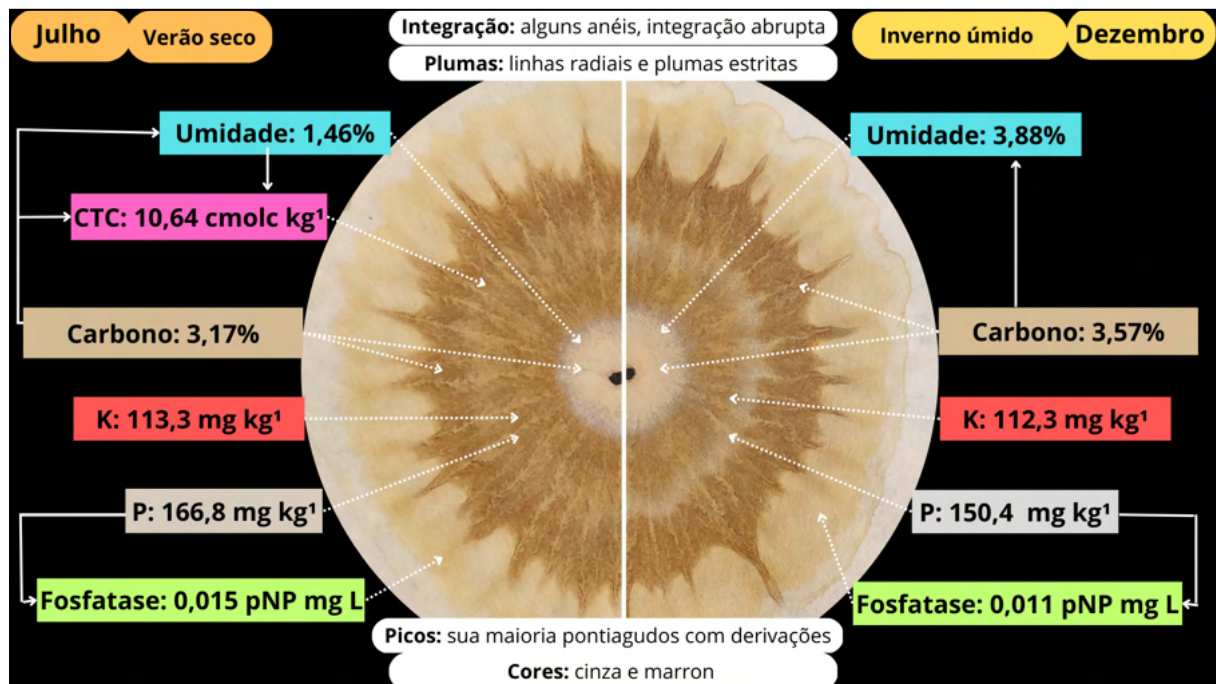


**Figura 51:** T4-PO, dezembro. Papel filtro Filtra TECH e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) – com um aspecto desejável, apresenta uma zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando um metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com atividade microbiana, baixo índice de compactação e boa estrutura do solo, e possui uma interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) – apresenta uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) – mostrou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos regulares com marcações escuras, e um aspecto com média harmonia radial, presença de matéria orgânica.
- Zona Externa ou Zona Enzimática - apresenta a cor amarela claro depois dos dentes, refletindo a um solo com presença de substâncias enzimáticas no solo, que reflete um médio metabolismo microbiano conforme observado na ZC.

Analisando as duas datas diferente, julho e dezembro, conforme observado nos padrões da maioria dos cromatogramas, T4-PO, se apresentou como um solo com médio metabolismo microbiano nas duas datas, conforme a zona central, sendo que a data dezembro apresentou um aspecto um pouco melhor que julho, com ramificações pouco mais fortes e escura no final, dentes mais irregulares com

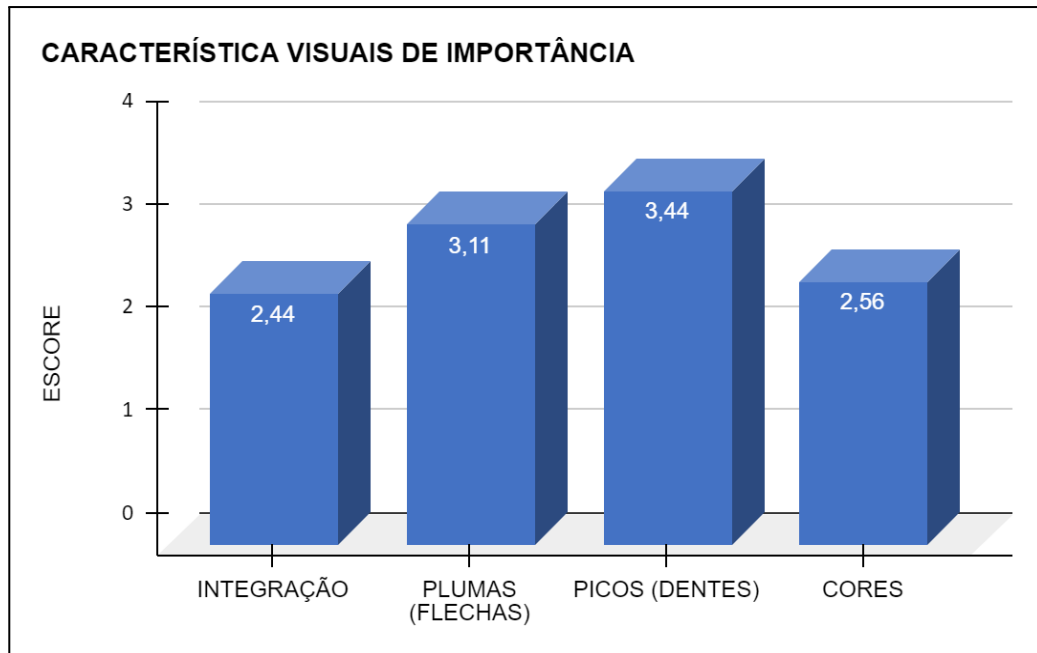
marcações escuras (sinal de presença de diferentes substâncias), na zona externa, em alguns cromatogramas do mês de dezembro foi observado a presença de algumas manchas após os dentes, sinal de substâncias enzimáticas, uma questão observada foi o pouco números de dentes homogêneos em alguns cromatogramas que pode estar ligado a parte mineral do solo, **Figura 52**.



**Figura 52:** T4-OP - Pinheiro Manso – Cultivo de oliveira em sistema silvipastoril convencional (Cambissolo). Papel filtro Filtra TECH, #4.

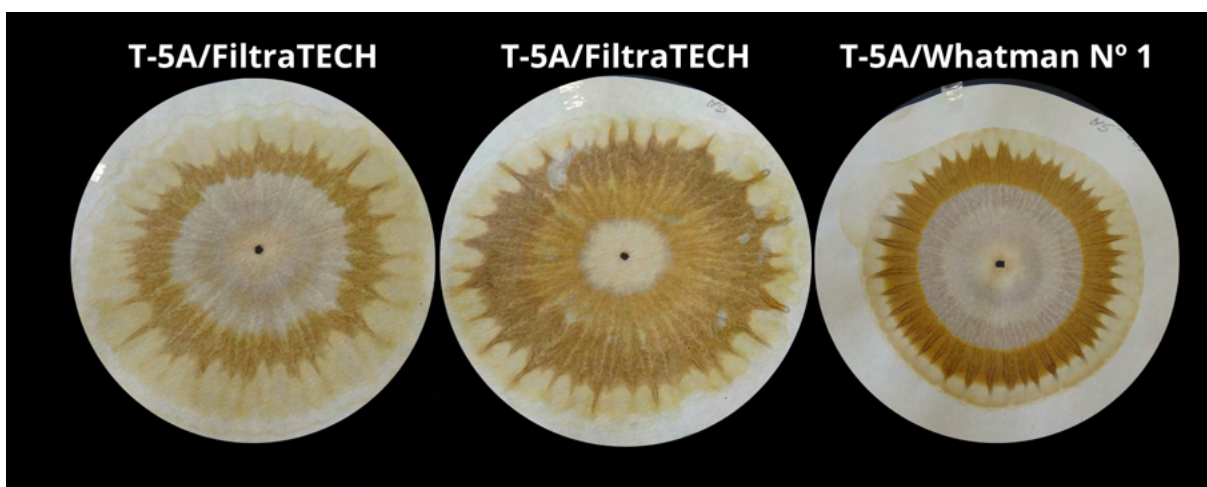
e) T5-L - St<sup>a</sup> Apolónia – Lameiro, ou pastagem permanente (Fluvissole).

Em T5-L, o cromatograma do solo coletado no mês de julho mostrou uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos com derivações e cores que varia do cinza, marrom e violeta, conforme a **Figura 53**.



**Figura 53:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T5-L, no mês de Julho de 2021.

As descrições dos padrões de cada zona são apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 54**.

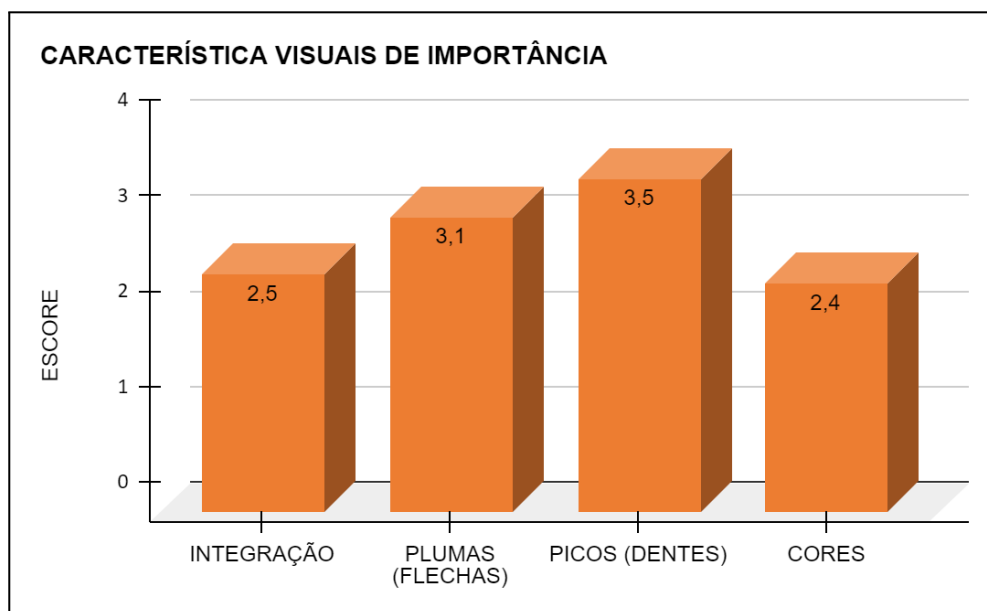


**Figura 54:** Cromatogramas do T5-L, julho. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC), apresentou um aspecto desejável, zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando um metabolismo microbiano de médio a alto, apresentando um aspecto com características do solo com atividade microbiana, baixo índice de compactação e boa estrutura do solo, e possui uma interação com a zona dos minerais.

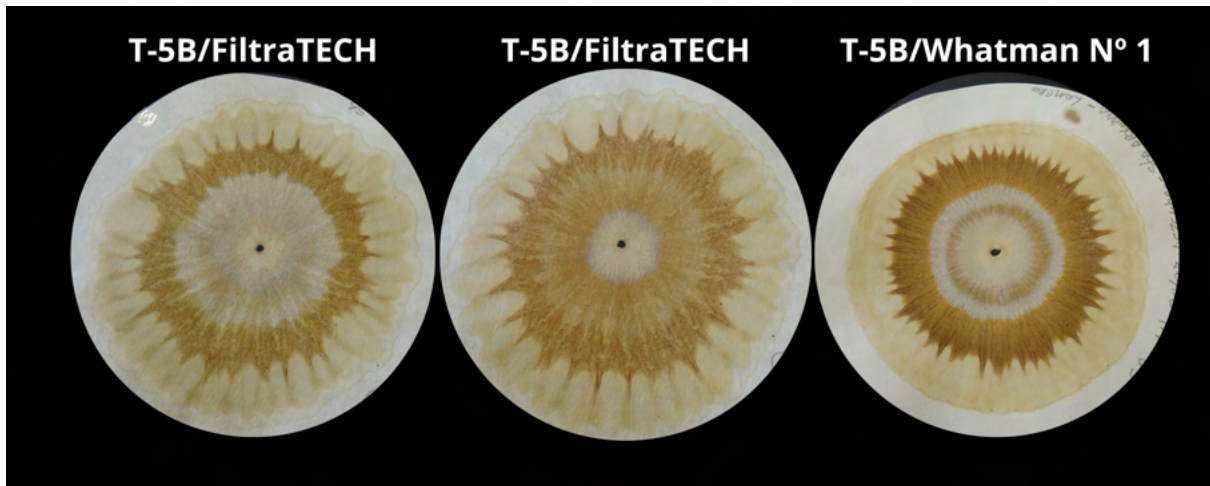
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) apresentou uma cor escura, com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica (ZI) mostrou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos com manchas no final irregulares com marcações escuras, e um aspecto com média harmonia radial do croma, presença de boa quantidade de matéria orgânica no solo.
- Zona Externa (zona enzimática e nutricional), com a cor amarela claro creme depois dos dentes, refletindo a um solo com substâncias enzimáticas, que reflete um médio para alto metabolismo microbiano conforme a ZC.

As análises por meio de escore dos cromatogramas na avaliação das principais características visuais de importância do local T5-L, o solo foi coletado no mês de dezembro de 2021, teve os seguintes resultados, possui uma integração de alguns anéis, integração abrupta, com linhas radiais e plumas estreitas, com picos na sua maioria pontiagudos com derivações e cores que varia do cinza, marrom e cinza e violeta, conforme a **Figura 55**.



**Figura 55:** Valores dos escores das características visual de importância do solo do local T5-L, no mês dezembro de 2021.

As descrições dos padrões de cada zona foram observadas visualmente e analisadas conforme PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011) apresentadas no respectivo tratamento, conforme a **Figura 56**.

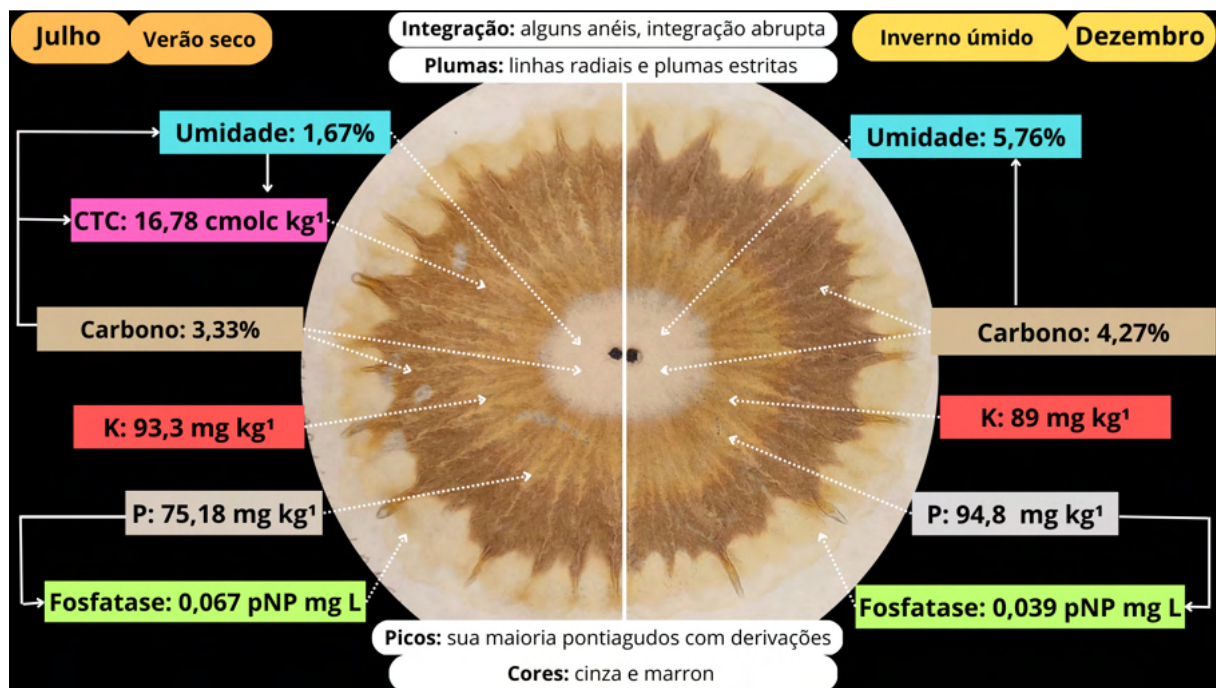


**Figura 56:** Cromatogramas T5-L, dezembro. Papel filtro Filtra TECH, e papel filtro Whatman nº1.

- Zona Central ou Zona Microbiana (ZC) - apresentou um aspecto desejável, zona desenvolvida, com cores violeta nas bordas e pouco bege claro no centro, mostrando um médio para alto metabolismo microbiano, apresentando um aspecto com características do solo com atividade microbiana, indícios de compactação reduzida e de boa estrutura do solo; possui uma interação com a zona dos minerais.
- Zona Interna ou Zona Mineral (ZM) – com uma cor escura com anel claro do cinza ao bege, com aspecto pouco harmônico em alguns cromatogramas, e pouca integração com as demais zonas dos cromatogramas.
- Zona Intermediária ou Zona da Matéria Orgânica – mostrou uma cor marrom, com ramificações (flechas) marcantes, com presença de plumas, apresentando dentes pontiagudos regulares com marcações escuras, e um aspecto com média harmonia radial, presença de boa quantidade de matéria orgânica.
- Zona Externa ou Zona Enzimática – apresentou cor amarela creme clara depois dos dentes, refletindo a um solo com substâncias enzimáticas, que reflete um médio para alto metabolismo microbiano conforme observado na ZC.

Analisando as duas datas diferente julho e dezembro, conforme observado nos padrões da maioria dos cromatogramas, o solo T5 (Lameiro), se apresentou como um solo com médio para alto metabolismo microbiano nas duas datas, conforme a zona central, sendo que a data de dezembro apresentou um melhor

desenvolvimento na zona externa, como um todo não se diferenciando apresentando praticamente um mesmo aspecto, com ramificações pouco mais fortes e escuras no final, dentes pontiagudos, mais irregulares com marcações escuras sinal de presença de diferentes substâncias, na zona externa, em alguns cromatogramas do mês de dezembro foi observada a presença de algumas manchas após os dentes, sinal de presença de substâncias enzimáticas, **Figura 57**.



**Figura 57:** 5-L - St<sup>a</sup> Apolónia – Lameiro, ou pastagem permanente (Fluvissoilo). Papel filtro Filtra TECH, #4.

### 5.3 Considerações feitas sobre a técnica da Cromatografia Circular de Pfeiffer

De modo geral do estudo os cromatogramas apresentaram algumas características parecidas observadas entre os tratamentos, como os canais flechas e plumas semelhantes. As cores não tiveram uma grande variação entre os tratamentos. A zona mineral apresentou-se com cores opacas do bege ao violeta, com pouca integração entre as demais zonas, situação principalmente observada em T1 local com um olival tradicional num ambiente de características fortemente mediterrânicas e em T2 um sistema com trigo na mesma região. Estes locais estão sujeitos a práticas de fertilização associadas à mobilização do solo. A precipitação mais reduzida associada às práticas culturais tradicionais são fatores que

condicionam a solubilidade dos nutrientes, a acumulação de matéria orgânica e a atividade biológica. Estes resultados estão, de um modo geral concordantes com as observações de PFEIFFER (1984) e RIVERA e PINHEIRO (2011). Em resumo, sublinha-se que T1-OT foi o local que apresentou as piores características na questão da qualidade do solo, refletindo sua baixa saúde, conforme a leitura para cada zona e características de importância analisadas. Em sentido contrário, destaca-se o local T5, ocupado por uma pastagem permanente, ou lameiro, que apresentou as melhores características da qualidade, refletindo uma boa saúde do solo.

Nas datas analisadas não se registaram diferenças significativas para algumas características de importância, sendo que a característica *Picos* foi a que teve a maior diferença significativa entre os locais, característica relacionada com teor de carbono orgânico no solo.

Com relação aos meses de amostragem, destaca-se o mês dezembro que apresentara algumas características melhores que julho, como cores mais realçadas, e formas mais harmônicas nos cromatogramas como todo, o que pode estar relacionado com o teor de umidade no solo, que contribui para uma maior atividade microbiana no solo e melhor distribuição dos nutrientes.

O papel filtro utilizado apresentou uma boa resolução das formas e cores, parecendo ser adequado para a realização dos cromatogramas e respetiva da leitura. Com este papel foi possível observar características de interesse conforme encontrada na literatura para outras marcas de papel filtro utilizado e pode, por isso, ser recomendado para a técnica da Cromatografia Circular de Pfeiffer. De acordo com GRACIANO (2020), alguns cromatogramas podem ter uma revelação com cores diferentes em diferentes dias realizados, facto que pode estar relacionado com a umidade relativa do ar e a temperatura no momento do preparo e também com a intensidade de luz durante o processo de revelação quando exposto em luz natural. Neste trabalho de teste ao papel de filtro ,verificou-se que o papel utilizado Filtra Tech QL01 se mostrou equivalente ao recomendado na literatura, whatman nº4. Ambos têm o mesmo tipo de espessura nominal, de cerca de 210 µm. O papel whatman nº1, menos espesso (180 µm não permitiu uma boa resolução dos cromatogramas, o que mostra a importância do papel usado neste tipo de análise.

#### **5.4 Relação entre os indicadores analíticos clássicos e a Cromatografia Circular de Pfeiffer**

A ZC e ZM apresentaram uma boa relação com os teores de fósforo e potássio apresentados nos diferentes solos, sendo que quantidades elevadas de fertilizantes podem influenciar negativamente o metabolismo microbiano. A zona Intermediária apresentou relação positiva com o COT, CTC e umidade do solo. Estes indicadores estão relacionados com o teor de matéria orgânica no solo que foi identificado na intensidade das cores e canais e na quantidade e diversidade de dentes apresentados. Uma hipótese para essa relação poderá estar ligada ao tipo de manejo do solo adotado para cada local, sendo que os solos que tiveram menores revolvimento e maior proteção, apresentaram os melhores valores. Conforme FERREIRA (2021) A CCP possibilitou relacionar os benefícios dos policultivos com relação ao aporte de matéria orgânica, proporcionando condições a uma maior diversidade de microrganismos aeróbicos do solo, assim melhorando os processos químicos, físicos e biológicos dos solos.

Na ZE houve uma relação positiva com a enzima fosfatase, confirmando sua relação com a parte enzimática do solo, considerando as manchas e nuvens e a coloração amarela creme após os dentes. Em relação ao teor de N mineral não se verificou uma relação clara observada entre os padrões dos cromatogramas.

### **6 CONCLUSÕES**

Os resultados das análises analíticas clássicas demonstraram que o carbono orgânico total influenciou positivamente a capacidade de troca catiônica do solo nas duas datas analisadas e, no mês de dezembro, a retenção da umidade no solo dos locais analisados.

Aparentemente, os teores de  $P_2O_5$  influenciaram negativamente os microrganismos responsáveis pela formação da enzima fosfatase nos locais T1: São Pedro/Olival Tradicional e T4: Pinheiro Manso/Olival com pastagem para as duas épocas analisadas.

A técnica da Cromatografia Circular de Pfeiffer se mostrou viável para o monitoramento da qualidade do solo, sem necessidade de equipamentos caros, apresentou uma relação positiva com indicadores tradicionais da qualidade do solo como o carbono orgânico total , capacidade de troca catiônica ,umidade , os teores de fósforo (P), potássio (K) e a atividade da enzima fosfatase.

O papel filtro utilizado Filtra TechQL01 apresentou uma boa resolução das formas e cores, conforme a literatura consultada, apresentando uma leitura confiável dos padrões apresentados nos solos analisados, sendo um opção para a realização da técnica da Cromatografia Circular de Pfeiffer .

A Cromatografia Circular de Pfeiffer pode ser utilizada como uma técnica integral ou complementar às técnicas analíticas tradicionais de análise das propriedades e reações do solo que reflete a qualidade e a saúde do solo. Esta técnica mostrou ser sensível aos compostos de natureza bioquímica presente nos solos, podendo trazer maior entendimento dos processos bioquímicos que acontecem nos solos agrícolas, a partir da análise e interpretação dos padrões formados nas distintas zonas e características de importância como um todo.

Cabe salientar a importância e o aprofundamento do estudo da Cromatografia Circular de Pfeiffer como uma técnica agroecológica, demonstrando seu custo baixo, fácil preparação e execução e interpretação, podendo ser feita por técnicos e agricultores, constituindo uma ferramenta útil na avaliação da qualidade e saúde do solo, trazendo autonomia aos agricultores no monitoramento do efeito do manejo do solo.

## Referências Bibliográficas

- ADETUNJI, A.T., LEWU, F.B., MULIDZI, R., NCUBE, B., 2017. The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal Of Soil Science And Plant Nutrition**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 794-807, set. Springer Science and Business Media LLC.
- ALEF, K., NANNIPIERI, P., 1995. Phosphatase activity. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press.
- ALTIERI, M.A., NICHOLLS, C.I., 2020. A Agroecologia em tempos de COVID-19. **University Of California, Berkeley e Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (Celia)**, Califórnia, p. 1-6, 23 abr.
- ARAÚJO, A.S. F., 2007. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, set.
- ARROBAS, M., CLARO, A.M., FERREIRA, I.Q., RODRIGUES, M.A., (2013). Pastagens temporárias na rotação como forma de promover a fertilidade do solo. **Pastagens e Forragens**, 32/33: 143-156.
- BACHE, B.W., 1970. Barium isotope method for measuring cation-exchange capacity of soils and clays. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 21.4: 169-171.
- BALBINO, L.R., 1968. O método de Egnér-Riehm na determinação do fósforo e do potássio assimiláveis em solos de Portugal. **Revista Agronômica**, 51: 46-56.
- BARRETO, N.C.P., FERRAZ, R.L.S., CAMPOS, A. C., ARAÚJO, M. S., 2016. **Importância da ciência do solo: histórico, conceitos e definições**. Anais I CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora.
- BHADURI, D., PRAMANIK, P., GHOSH, S., CHAKRABORTY, K., PAL, S., 2017. Agroforestry for Improving Soil Biological Health. **New India Publishing Agency**, Nova Deli, p. 465-491, abr.
- BHADURI, D., SIHI, D., BHOWMIK, A., VERMA, B.C., MUNDA, S., DARI, B., 2022. A review on effective soil health bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. **Frontiers In Microbiology**, v. 13, p. 1-25, 17 ago.
- BINI, D., LOPEZ, M.V., 2016. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, E.J.B.N., ANDREOTE, F.D., **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, p. 1-225.
- CAPORAL, F.R., PAULUS, G., COSTABEBER, J.A., 2009. **Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade**. Brasília, p. 1-111, jan.

CASSETARI, A.S., SILVA, M.C.P., CARDOSO, E.J., 2016. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica. In: CARDOSO, E.J.B.N., ANDREOTE, F.D., **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, p. 1-221.

COBA A., 1991. Carta dos solos, **carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra no Nordeste de Portugal**. Lisboa. UTAD, Vila Real.

COSTA, E.M., SILVA, H.F., RIBEIRO, P.R.A., 2013. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, dez.

COTTA, S.R. 2016. O solo como ambiente para a vida microbiana. In: CARDOSO, E.J.B.N., ANDREOTE, F.D. **Microbiologia do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, p. 1-221.

DECKER, J.V.R., 2019. **Dinâmica do fósforo no solo e na cultura do milho (Zea mays) após a aplicação de condicionadores de solo como biochar e zeólitos**. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecologia, Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico, Bragança.

ETINGOFF, K., 2016. **Agricultura Sustentável e Abastecimento Alimentar**. Nova York: Imprensa Acadêmica da Apple, 386 p.

FEIL, A.A., SCHREIBER, D., 2017. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos Ebape.Br**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 667-681.

FERREIRA, A., 2021. **Avaliação dos atributos físicos do solo e cromatografia circular de Pfeiffer em sistemas agroflorestais no município de Inconfidentes/MG**. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Setor de Agroecologia NEA Raiz do Campo, Instituto Federal do Sul de Minas, Inconfidentes.

FIGUEIREDO, T.D.A.F.R., 2013. **Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 57 p.

FOLLADOR, B., 2015. **Portraying Soils and Compost: Color, Form, and Pattern**. The Nature Institute, Nova York, 21 p.

FONSECA, F., QUEIRÓS, A., BUCH, A.C., CARVALHO, F.C., SOUSA, J.P., SANTOS, S.A.P., 2012. **Variação espacial de propriedades físicas e químicas do solo em olivais de Trás-os-Montes**. Bragança: Centro de Investigação de Montanha (Cimo), 12 p.

GLIESSMAN, S. R., 2000. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS.

GOMES, M.A.F., FILIZOLA, H.F., 2006. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 08 p.

GRACIANO, I., MATSUMOTO, L.S., DEMÉTRIO, G.B., PEIXOTO, E.C.T.M., 2020 **Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality**. Journal Of Agricultural Studies, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 420-446, 13 abr.

GYAWALI, A.J., STRICKLAND, M.S., THOMASON, W., REITER, M., STEWART, R., 2022. **Quantifying short-term responsiveness and consistency of soil health parameters in row crop systems**. Part 1: Developing a multivariate approach, Soil and Tillage Research, V 219, 105354, ISSN 0167-1987.

IGALAVITHANA, A.D., FAROOQ, M., KIM, K., LEE, Y., QAYYUM, M., AL-WABEL, M.I., LEE, S., OK, Y.S., 2017. Determining soil quality in urban agricultural regions by soil enzyme-based index. **Environmental Geochemistry And Health**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 1531-1544, 26 jun. Springer Science and Business Media LLC.

JANVIER, C., VILLENEUVE, F., ALABOUVETTE, C., EDEL-HERMANN, V., MATEILLE, T., STEINBERG, C., 2007. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators?. **Soil Biology And Biochemistry**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 1-23, jan. Elsevier BV.

JÚNIOR, C.C., 2011. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar**. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal.

KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M., 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology And Biochemistry**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 1-13, jan. Elsevier BV.

KOKORNACZYK, M.O., PRIMAVERA, F., LUNEIA, R., BAUMGARTNER, S., BETTI, L., 2016. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 143-157, 3 ago.

KUYPERS, M.M.M., MARCHANT, H.K., KARTAL, B., 2018. The microbial nitrogen-cycling network. **Nature Reviews Microbiology**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 263-276, fev. 2018. Springer Science and Business Media LLC.

MANRIQUE, L.A., JONES, C.A., DYKE, P.T., 1991. Predicting Cation-Exchange Capacity from Soil Physical and Chemical Properties. **Soil Science Society Of America Journal**, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 787-794. Wiley.

MASEDA, M.T., 2016. **Desarrollo y Caracterización del Método de Dinamolisis Capilar para el Análisis de Suelos Contaminados: estudio de los suelos de Linares**. 2016. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniería de Minas, Energía y Combustibles, Instituto Politécnico de Madrid, Madrid.

MIRANDA, A.A.C., 2018. **Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de manejo**. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecologia, Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras.

MIRANSARI, M., 2013. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta Physiol Plant**, Krakow, p. 3075-3084.

NASCIMENTO, P.C., BAYER, C., NETTO, L.F.S., VIAN, A. C., VIEIRO, F., MACEDO, V.R.M., MARCOLIN, É., 2009. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 6, p. 1821-1827. FapUNIFESP (SciELO).

NOVAIS, W.O.F., DINIZ, M.A.N., SANTOS, D.G., MEDEIROS, M.G., 2018. Estudo da Cromatografia de Pfeiffer como alternativa agroecológica para análise de solos. **Cadernos de Agroecologia**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 1-6, jul. 2018.

OLANDER, L.P., VITOUSEK, P.M., 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. **Biogeochemistry**, Holanda, v. 49, n. 49, p. 175-190.

PEREIRA, J.S., DAVID, J.S., DAVID, T.S., CALDEIRA, M.C., CHAVES, M.M., 2004. Carbon and Water Fluxes in Mediterranean-Type Ecosystems — Constraints and Adaptations. **Progress In Botany**, [S.L.], p. 467-498. Springer Berlin Heidelberg.

PEREIRA, K., FIGUEIREDO, Tomás., FONSECA, F., MELO FILHO, J.F., 2019. Avaliação das Propriedades Físico-Químicas de Solos com Diferentes Teores de Matéria Orgânica nas Regiões de Montanha no Nordeste de Portugal. In: O solo - alvo prioritário do combate à desertificação. **Encontro Anual das Ciências do Solo**. Beja: Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo. p. 1-4.

PFEIFFER, E.E., 1984. **Chromatography applied to quality testing**. Wyoming: Bio-Dynamic Literature, 44 p.

PILON, L.C., CARDOSO, J.H., MEDEIROS, F.S., 2018. **Guia prático de cromatografia de Pfeiffer**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 16 p. (Documentos ISSN 1516-8840; 455).

PIMENTEL, D., WILSON, C., MCCULLUM, C., HUANG, R., DWEN, P., FLACK, J., TRAN, Q., SALTMAN, T., CLIFF, B., 1997. Economic and Environmental Benefits of Biodiversity. **Bioscience**, Washington, v. 47, p. 747-757.

PINHEIRO, S., 2018. Matéria orgânica do solo. In: PINHEIRO, S., **Agroecologia 7.0: bombeiros agroecológicos** (farinhas de rocha, biofertilizantes, biochar, agrohomeopatia e siderófagos). Porto Alegre: Juquira Candiru Satyagraha, p. 1-663.

PINHEIRO, S., 2015. **Saúde do solo versus agronegócio: biopoder camponês**. Porto Alegre: Salles Editora. 224 p.

PRIMAVESI, A.M., PRIMAVESI, A., 2018. **A biocenose do solo na produção vegetal & deficiência minerais em culturas: nutrição e produção vegetal**. São Paulo: Expressão Popular, 607 p.

RANZAN, A.P., 2020. **Caracterização das bacias de drenagem dos lameiros da alta lombada e onor, parque natural de montesinho**. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico, Bragança.

REEUWIJK, V., 2002. **Procedures for soil analysis**. Technical Paper 9. ISRIC. FAO.

RIVERA, J.R., PINHEIRO, S., 2011. **Cromatografía: imagenes de vida y destrucción del suelos**. Cali: Feriva, 254 p.

RIVERA, J. R., SCHUCH, D.S., 2014. **Técnica da Cromatografia de Pfeiffer: procedimentos metodológicos para análise da qualidade dos solos**. Itajaí: Univali, p. 113-138.

ROCHA JÚNIOR, P.R., DONAGEMMA, G.K., ANDRADE, F.V., PASSOS, R.R., BALIEIRO, F.C., 2022. Physical attributes and organic material in pastures of *Brachiaria brizantha* at degradation levels. **Bioscience Journal**, [S.L.], v. 38, p. 1-9.

RONQUIM, C.C., 2010. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa. 30 p.

SHI, W., 2011. Agricultural and Ecological Significance of Soil Enzymes: Soil Carbon Sequestration and Nutrient Cycling. **Department Of Soil Science**, North Carolina, p. 43-60.

SMITH, P., COTRUFO, M.F., RUMPEL, C., PAUSTIAN, K., KUIKMAN, P.J., ELLIOTT, J.A., MCDOWELL, R., GRIFFITHS, R.I., ASAKAWA, S., BUSTAMANTE, M., 2015. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **Soil**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 665-685.

STEFANOSKI, D.C., SANTOS, G.G., MARCHÃO, R.L., PETTER, F.A., PACHECO, L.P., 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309.

VIEIRA, R.F., 2017. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa. 163 p.

WAKSMAN, S. A., 2012. **O HÚMUS**: origem, composição química, e importância na natureza.. Nova Jersey: Universidade de Rutgers, 406 p.

WANDER, M.M., CIHACEK, L.J., COYNE, M., DRIJBER, R.A., GROSSMAN, J.M., GUTKNECHT, J.L.M., HORWATH, W.R., JAGADAMMA, S., OLK, D.C., RUARK, M., SNAPP, S.S., TIEMANN, L.K., WELL, R., AND TURCO, R.F., 2019. Developments in Agricultural Soil Quality and Health: Reflections by the Research Committee on Soil Organic Matter Management. **Agronomy & Horticulture** -- Faculty Publications. 1251.

YAALON, D.H., 1995. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? **Catena**, Jerusalém, p. 157-169.

ZAGO, L.M.S., 2016. **Uso de enzimas como bioindicadores em solos com diferentes culturas no cerrado goiano**. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Naturais do Cerrado, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2016.

ZORNOZA, R., ACOSTA, J.A., BASTIDA, F., DOMÍNGUEZ, S.G., TOLEDO, D.M., FAZ, A., 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 173-185.