



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília

Análise comparativa da qualidade do solo por meio da cromatografia de Pfeiffer

Pedro Alberto Côrtes Silva Freitas

Trabalho de conclusão de curso apresentado como quesito obrigatório para conclusão do curso superior de tecnologia em agroecologia

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Viviane Evangelista dos Santos Abreu

Planaltina-DF, 24 de novembro de 2025

Resumo

A Cromatografia de Pfeiffer é uma técnica qualitativa fundamental para o diagnóstico da saúde do solo em contextos agroecológicos. O presente trabalho objetivou analisar comparativamente a qualidade do solo em sistemas de manejo agroecológico, convencional e de preservação no IFB Campus Planaltina. A metodologia, baseada nos princípios participativos de Restrepo e Pinheiro, foi estruturada em duas etapas sazonais (início e auge da seca). A primeira etapa confirmou, via análise semiquantitativa, o estado de degradação biológica dos solos convencionais em contraste com a vitalidade das áreas agroecológicas e de preservação. A segunda etapa deparou-se com uma falha metodológica sistemática, caracterizada pelo travamento da corrida cromatográfica. A investigação do fenômeno, que incluiu testes de diluição e fundamentação química, levou à conclusão de que a falha foi causada pela precipitação de hidróxidos de ferro e alumínio, abundantes nos Latossolos, ao reagirem com o nitrato de prata em condições de alta concentração mineral induzida pela seca. O estudo conclui que, embora eficaz para o diagnóstico comparativo, a técnica padrão possui limitações em solos oxidicos sob estresse hídrico, exigindo adaptações. Adicionalmente, validou-se o alto potencial da cromatografia como ferramenta pedagógica e de extensão para a tomada de decisão no manejo.

Palavras-Chave: Saúde do solo; Agroecologia; Indicadores visuais; Diagnóstico participativo; Limites metodológicos.

Abstract

Pfeiffer Chromatography is a fundamental qualitative technique for diagnosing soil health in agroecological contexts. This study aimed to comparatively analyze soil quality in agroecological, conventional, and preservation management systems at the IFB Campus Planaltina. The methodology, based on the participatory principles of Restrepo and Pinheiro, was structured in two seasonal stages (beginning and peak of the dry season). The first stage confirmed, through semi-quantitative analysis, the state of biological degradation in conventional soils, in contrast to the vitality of agroecological and preservation areas. The second stage encountered a systematic methodological failure, characterized by the stalling of the chromatographic run. The investigation of this phenomenon, which included dilution tests and chemical grounding, led to the conclusion that the failure was caused by the precipitation of iron and aluminum hydroxides, abundant in Latosols (Oxisols), reacting with silver nitrate under conditions of high mineral concentration induced by the drought. The study concludes that, while effective for comparative diagnosis, the standard technique has limitations in oxidic soils under hydric stress, requiring adaptations. Furthermore, the high potential of chromatography as a pedagogical and extension tool for management decision-making was validated.

Keywords: Soil health; Agroecology; Visual indicators; Participatory diagnosis; Methodological limits.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura, em seus diversos modelos, estabelece uma relação direta com a qualidade e a saúde do solo, um recurso fundamental para a conservação dos ecossistemas e para a segurança alimentar. O solo é a base de toda a vida e "não existe ser humano sadio se o solo não for sadio" (Primavesi, 2002). A busca pela compreensão da complexa dinâmica do solo vai além da simples análise de nutrientes, mas sim com intencionalidade de interpretar seus aspectos físicos, químicos e, sobretudo, biológicos de forma integrada. Nesse cenário, há a importância de aplicar-se metodologias com índices qualitativos que visam oferecer um diagnóstico rápido, visual e integral da condição do solo.

Dentre estas, destaca-se a Cromatografia de Pfeiffer, uma técnica de análise de imagem desenvolvida por Ehrenfried Pfeiffer na década de 1950. Este método, também conhecido como cromatografia circular em papel, permite uma avaliação visual da qualidade do solo a partir de padrões, formas e cores que se revelam após a reação de uma amostra de solo em papel filtro impregnado com nitrato de prata (AgNO_3) e hidróxido de sódio (NaOH). A interpretação dos cromatogramas permite inferir sobre a estrutura, a atividade microbiana, o teor de matéria orgânica e o equilíbrio nutricional do solo (Pinheiro, 2011). Por sua simplicidade e baixo custo, a técnica possui grande potencial pedagógico e de diagnóstico participativo junto a agricultores (Restrepo; Pinheiro, 2011).

Este potencial analítico e pedagógico tem impulsionado a aplicação da técnica em diversos estudos acadêmicos no Brasil, que a utilizam como um indicador visual sensível às práticas de manejo. Trabalhos recentes, têm empregado a cromatografia justamente para "analisar e comparar a fertilidade do solo sob diferentes ambientes, como o sistema de produção convencional, o agroecológico e o ecossistema de mata nativa" (Matos, 2022). Demonstra-se a capacidade do método em fornecer um diagnóstico qualitativo que reflete a saúde do solo de forma muito alinhada aos indicadores biológicos. Estes estudos reforçam o papel da cromatografia não apenas como uma curiosidade histórica, mas como uma metodologia relevante e atual para a pesquisa em agroecologia.

No entanto, para além de sua validação acadêmica, o valor central da técnica reside em seu profundo alinhamento com os princípios da soberania e autonomia camponesa. A cromatografia, como defendida por seus principais disseminadores, é uma ferramenta de empoderamento (Restrepo e Pinheiro, 2011). O método permite "resgatar o agricultor da dependência dos laboratórios, da compra de insumos [...] e das interpretações técnicas que não entendem". Ao ser uma técnica de baixo custo, que pode ser realizada com materiais simples, ela permite ao agricultor tornar-se o investigador de sua própria terra (Restrepo e Pinheiro, 2011).

Este processo de "aprender a ler" o solo, de interpretar visualmente as zonas e as formas do cromograma, devolve ao produtor a capacidade de tomar decisões de manejo baseadas em sua própria observação e análise. Trata-se, portanto, de uma ferramenta que "democratiza a informação sobre a terra e a coloca nas mãos de quem realmente a cultiva" (Pinheiro, 2011). A adoção desta metodologia no presente trabalho não é, portanto, uma escolha meramente técnica, mas também um ato político-pedagógico, alinhado à construção de um conhecimento agroecológico participativo e autônomo.

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal de Brasília (IFB) – Campus Planaltina, uma instituição que abriga diferentes sistemas de manejo e espaços naturais em sua área, constituindo um laboratório ao ar livre, ancorado na realidade, para estudos comparativos. Essa proposta de investigação surgiu da necessidade de caracterizar, analisar e sistematizar a observação da diversidade de usos do solo no campus, onde coexistem áreas manejadas com base em princípios agroecológicos, sistemas convencionais com uso de adubação química e agrotóxicos, e zonas de preservação ambiental. Propôs-se realizar neste estudo o mapeamento cromatográfico em diferentes pontos dessas áreas, criando uma base de dados que permitam análises comparativas entre os sistemas de uso e o grau de degradação ou saúde do solo.

O objetivo deste estudo é analisar e comparar a qualidade do solo de áreas sob manejo agroecológico, convencional e em áreas de fitofisionomias nativas do bioma Cerrado, utilizando a Cromatografia de Pfeiffer como ferramenta diagnóstica. Para isso foram conduzidas duas etapas de coleta de solo, no início do período seco e no auge do período seco. Essa abordagem sazonal visava observar possíveis variações na dinâmica do solo em resposta às condições climáticas. Contudo, a análise do trabalho se desdobra em duas frentes: a análise comparativa da saúde do solo e um relato investigativo sobre os fatores que influenciaram a execução do método cromatográfico.

Nesse sentido, as atividades dessa pesquisa tiveram como intenção: Produzir cromatogramas das amostras de solo utilizando a técnica de Pfeiffer, respeitando os critérios técnicos de preparo, aplicação e observação; Interpretar os padrões cromatográficos obtidos, com base em parâmetros reconhecidos na literatura, buscando identificar características como atividade biológica, presença de matéria orgânica e estrutura física e química do solo; Avaliar a replicabilidade do método cromatográfico em uma segunda etapa de coletas, realizada sob as condições climáticas do auge da estação seca. Realizar análises comparativas entre os diferentes tipos de uso e manejo do solo presentes no campus, utilizando critérios técnicos para identificação de padrões e anomalias; Investigar e discutir as possíveis causas ambientais e metodológicas responsáveis pelas falhas sistemáticas observadas na formação dos cromatogramas durante a segunda etapa da pesquisa. Por fim, esse trabalho visa estimular o uso da cromatografia como ferramenta de análise participativa em processos de extensão e educação agroecológica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida com base em uma abordagem de estudo de caso, combinando análise laboratorial qualitativa com uma investigação metodológica aprofundada. O delineamento do trabalho foi estruturado em duas etapas sazonais distintas para avaliar a dinâmica do solo em diferentes condições climáticas no bioma Cerrado.

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Brasília (IFB) – Campus Planaltina, localizado na região administrativa de Planaltina, Distrito Federal, sob as coordenadas geográficas [-15.541459, -47.625696]. A região está inserida no bioma Cerrado, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, de maio a outubro, e uma chuvosa, de novembro a abril. O solo da região é predominantemente classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, caracterizado pela elevada acidez e pela expressiva presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Embrapa, 2013).

Foram selecionadas três áreas distintas dentro do campus Planaltina para a coleta de amostras, representando diferentes sistemas de uso e manejo do solo:

a) **Área de cerrado nativo (AN):** Áreas demonstrativas de diferentes fitofisionomias do bioma cerrado em áreas de parque ecológico, sendo elas: Mata de galeria, Mata seca, Cerrado típico, Cerrado rupestre e Campo sujo.

b) **Área de manejo agroecológico (AE):** Áreas de produção com base agroecológica em diferentes sistemas;

c) **Área de manejo convencional (AC):** Área cultivada com grandes culturas, seguindo um modelo de produção com uso de fertilizantes minerais sintéticos e defensivos químicos.

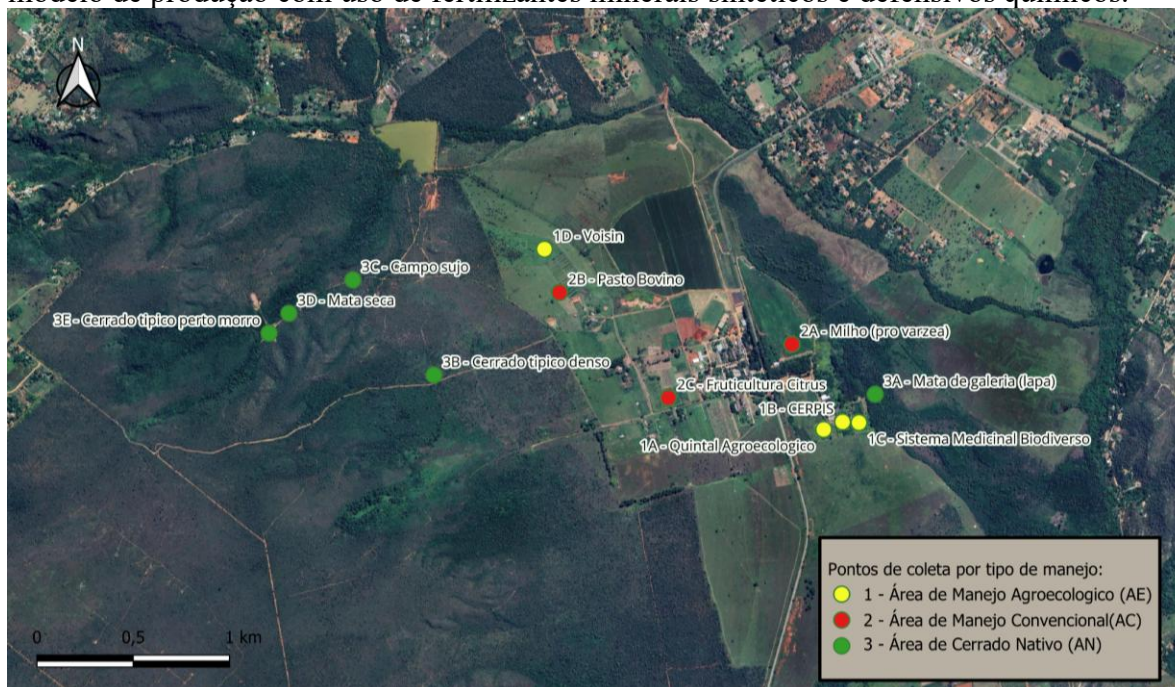


Figura 1. Mapa dos pontos de coleta no IFB Campus Planaltina, 2025

2.2. Coleta das amostras de solo

Os procedimentos de coleta foram realizados seguindo um protocolo adaptado de Matos (2022) em dois períodos: junho, no início do período de estiagem; em outubro, no auge da seca.

Para a coleta, foi utilizada uma perfuratriz de solo portátil acoplada a uma broca helicoidal (trado). Um suporte guia de perfuração, desenvolvido artesanalmente, foi empregado para garantir a verticalidade e a separação precisa das amostras por profundidade. Em cada uma das três áreas, foi realizada uma amostragem composta, coletando-se subamostras em pontos aleatórios para formar uma amostra representativa da área.

Na primeira etapa, as amostras foram coletadas da camada de 0-20 cm de profundidade nos dias 22 a 24 de junho. Na segunda etapa, a coleta foi estratificada em duas profundidades: 0-20 cm e 20-40 cm. A coleta foi feita nos dias 02 a 04 de outubro. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e transportadas ao laboratório.

2.3. Preparo das amostras de solo

Após a coleta e o transporte ao laboratório, as amostras de solo foram processadas para atingir a granulometria e a homogeneidade necessárias para a análise cromatográfica. O protocolo de preparo seguiu uma sequência rigorosa para garantir a representatividade da amostra. Primeiramente, o solo foi seco ao ar e passado em peneira de malha grossa para remover

pedregulhos e raízes. Em seguida, foi macerado em um pilão de madeira para destorroar os agregados maiores. O passo final do preparo físico consistiu em passar o material por um tecido fino (voal), uma etapa que Restrepo e Pinheiro (2011) destacam como essencial para obter a "flor da terra", uma amostra de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) com partículas uniformes. Apenas após este processo completo, a amostra foi considerada pronta para a pesagem.

2.4. Preparo das soluções e do papel filtro

A execução da Cromatografia de Pfeiffer exige a preparação precisa de duas soluções primárias e do papel filtro que servirá como meio de revelação (fase estacionária). Este rigor metodológico é a base da técnica, que Restrepo e Pinheiro (2011) detalham como o "preparo de duas soluções, uma de nitrato de prata (AgNO_3) e outra de soda cáustica (NaOH)", que são os reagentes fundamentais para a extração e a revelação.

A solução reveladora foi preparada dissolvendo-se 0,5 g de Nitrato de Prata (AgNO_3 P.A.) em 100 mL de água destilada (solução a 0,5% p/v), sendo armazenada em frasco âmbar. A solução extratora foi preparada dissolvendo-se 1,0 g de Hidróxido de Sódio (NaOH P.A.) em 100 mL de água destilada, utilizando-se uma proveta graduada para a medição precisa do volume (solução a 1% p/v).

O papel filtro é a base onde a "imagem" do solo será formada. Utilizou-se papel filtro qualitativo (Whatman 1), com diâmetro de 150 mm na primeira etapa e 185 mm na segunda. A preparação do papel foi realizada em ambiente com baixa luminosidade para evitar a fotossensibilidade do reagente. De forma análoga, à corrida cromatográfica, foi montado um sistema de impregnação por capilaridade. A solução de AgNO_3 a 0,5% foi depositada em uma tampinha de garrafa PET higienizada, que serviu como reservatório. Um pavio de papel foi inserido no orifício central do papel filtro, com sua extremidade imersa na solução. A solução de nitrato de prata foi então deixada expandir-se pelo papel até formar um círculo central com um raio exato de 4,0 cm. Ao atingir esta marca, o pavio foi removido e os papéis foram acondicionados em local completamente escuro para secagem completa, garantindo a uniformidade da impregnação.

2.5. Execução e desenvolvimento do cromatograma

Esta etapa compreende a extração dos componentes do solo e sua revelação no papel preparado.

2.5.1. Extração e dinamização da amostra de solo

Para cada análise, foram pesadas 5,0 g de TFSA em balança de precisão. A amostra foi transferida para um copo plástico, ao qual foram adicionados 50 mL da solução de NaOH a 1%, medidos em proveta graduada.

A etapa seguinte foi a de dinamização, que busca "acordar a amostra", potencializando a expressão de suas características vitais (Restrepo e Pinheiro, 2011). O método de dinamização adotado consistiu em um protocolo rítmico e pausado: a solução foi agitada em movimentos circulares, seis vezes para a esquerda e seis vezes para a direita, repetindo-se este ciclo por seis vezes. Após esta primeira agitação, a solução repousou por 15 minutos. O ciclo de agitação foi então repetido, seguido por um novo repouso de uma hora. Finalmente, o ciclo de agitação foi realizado pela terceira vez, e a solução foi deixada em decantação. Este processo fracionado visa extrair gradualmente as diferentes frações da matéria orgânica e os componentes minerais do solo.

2.5.2. Corrida cromatográfica e testes de diluição

O aparato para a corrida do croma foi montado utilizando um suporte cilíndrico de cano PVC, sobre o qual o papel filtro preparado era posicionado horizontalmente. Após o período de decantação, coletou-se, com o auxílio de uma seringa, apenas o sobrenadante da solução de solo, evitando-se succionar a borra sedimentada no fundo.

Este extrato foi depositado em uma tampinha de garrafa limpa, que servia como recipiente de alimentação. Um pequeno pavio de papel enrolado foi inserido no centro do papel filtro, com sua extremidade inferior imersa no extrato. O processo de corrida por capilaridade foi monitorado até que a frente de solução atingisse o raio final de 6,0 cm.

Durante a segunda etapa de investigação, os testes de diluição foram realizados diretamente na seringa graduada. Para a diluição de 1:2, aspirou-se 1,0 mL do sobrenadante da solução de solo, seguido pela aspiração de 1,0 mL da solução de NaOH a 1%, agitando-se a seringa para homogeneização. Para a diluição de 1:4, o procedimento foi análogo, utilizando-se 0,5 mL do sobrenadante e 1,5 mL da solução de NaOH.

2.6. Análise por cromatografia de Pfeiffer

A técnica cromatográfica empregada segue os princípios comumente reconhecidos com atualizações metodológicas. Consiste na extração de compostos do solo com solução de hidróxido de sódio a 1%, posterior absorção em papel-filtro circular e revelação com nitrato de prata a 0,5% (Pfeiffer, 1984; Spaccasassi et al. (2021).

O procedimento foi conduzido em ambiente controlado, com atenção à luminosidade, temperatura e tempo de exposição dos cromatogramas. Após a secagem completa, os padrões formados foram analisados com base em parâmetros visuais definidos na literatura: atividade biológica (zonas escuras com estruturas radiantes); equilíbrio mineral (transições de cores e formas); contaminação química (zonas densas ou opacas); presença de matéria orgânica (intensidade das zonas centrais) (Carvalho et al., 2020).

Os cromatogramas obtidos foram digitalizados e avaliados, utilizando matriz interpretativa (Bortoluzzi et al. 2022). Os dados foram organizados em planilhas com os seguintes campos: área, tipo de manejo, coordenadas geográficas e parâmetros cromatográficos qualitativos. A análise comparativa entre áreas com diferentes formas de manejo foi feita por meio de interpretação qualitativa associada à literatura técnica.

A análise cromatográfica é feita a partir da interpretação visual dos cromatogramas. Seguiu-se a divisão em quatro zonas funcionais: zona central (aeração e oxigenação), zona interna (matéria orgânica e equilíbrio mineral), zona intermediária (microbiologia e transformações) e zona externa (atividade enzimática e formação de húmus) (Restrepo e Pinheiro, 2011). Para sistematizar a análise, adotou-se uma escala de pontuação semiquantitativa de 1 a 5 (onde 1 representa um grau mínimo e 5 o grau superior) (Pilon et al., 2018). Em cada zona avaliou-se (i) a interação e harmonia entre as zonas; (ii) a presença e o desenvolvimento de plumas ou radiações; (iii) a presença de picos e suas terminações; e (iv) a cor e a intensidade em cada zona (Tabela 1).

Tabela 1: Critérios e escala de pontuação adotados para avaliação dos cromatogramas segundo os parâmetros de interação entre zonas, formação de plumas, presença de picos e intensidade de cor (adaptado de Pilon et al., 2018).

Pontuação	Critério Avaliado
1	Zona ausente ou extremamente apagada, sem delimitação.
2	Zona tênue, com coloração difusa e sem organização.
3	Zona visível, porém pouco contrastada ou com fragmentação.
4	Zona bem definida, com coloração estável e padrão coeso.
5	Zona viva, intensa, com transições harmônicas e bem delineadas.

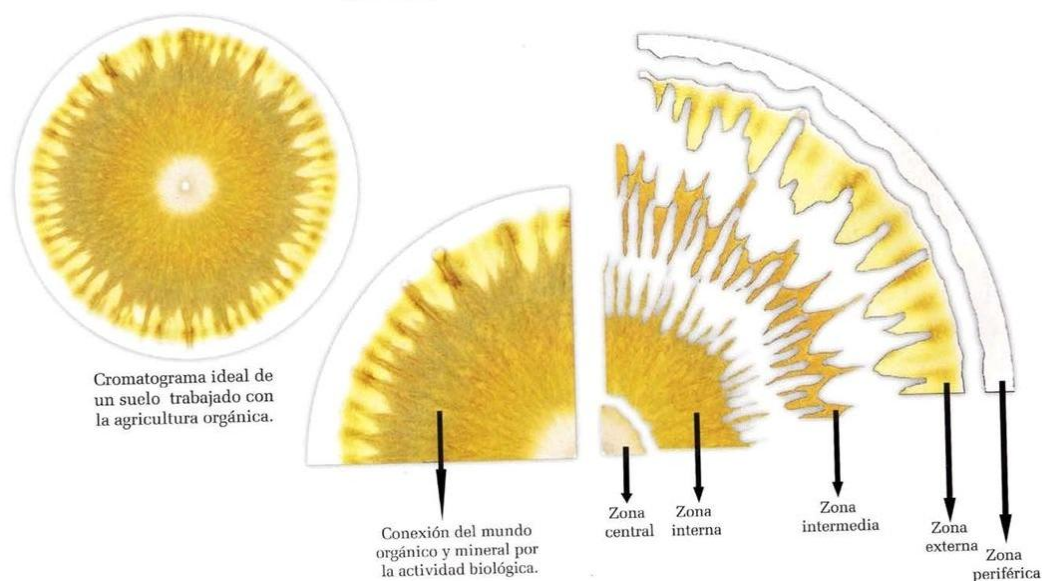


Figura 2: Zonas de um cromatograma
 Fonte: Restrepo e Pinheiro, 2011

É válido informar que, durante a execução da segunda etapa (outubro), foram identificados desafios metodológicos que resultaram em falhas na formação dos cromatogramas. Esse cenário motivou um redirecionamento parcial dos esforços da pesquisa, que passou também a investigar as causas dessas ocorrências. O que inicialmente se apresentou como um obstáculo transformou-se, portanto, em uma oportunidade de aprofundar o conhecimento sobre as sensibilidades e os limites da técnica de Pfeiffer em condições ambientais diferenciadas, bem como interpretações e sistematizações dessa fase.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação e a análise dos resultados foram divididas em duas seções, correspondentes às distintas etapas da pesquisa. A primeira seção aborda a análise comparativa dos cromatogramas obtidos durante o início do período de seca (Junho). A segunda se aprofunda nos desafios metodológicos e nas descobertas da segunda etapa, realizada no auge da estiagem (outubro).

3.1. Primeira fase (início da seca): Interpretação cromatográfica de diferentes tipos de áreas

Foram analisadas quatro zonas do cromatograma, sendo as zonas central, interna, intermediária e externa, cada uma representando aspectos distintos do metabolismo e da estrutura do solo. As pontuações variaram de 1 a 5, sendo 1 indicativo de baixa expressão qualitativa e 5 de máxima expressão. Essa análise permitiu identificar padrões de resposta associados ao tipo de manejo (agroecológico, convencional ou de preservação), evidenciando diferenças nos sistemas avaliados.

A mata de galeria, localizada próxima ao laboratório de práticas agroecológicas, mostrou-se a área com maiores expressões nas zonas, recebendo pontuação máxima em todos os quesitos. O pasto que está localizado em áreas de produção convencional é a área que apresenta os menores valores por zona (Tabela 2).

Tabela 2: Avaliação das Zonas Cromatográficas por Sistema de Manejo (Etapa 1: Junho), considerando diferentes tipos de manejo. Onde: CERPIS (cultivo de plantas medicinais em parceria com o Centro de Práticas Integrativas em Saúde); Medicinal SMB (Sistema Medicinal Biodiverso, cultivo de medicinais consorciadas); Quintal (Hortaliças agroecológicas plantadas em sistema de horta mandala); Voisin (sistema de pastejo racional voisin); Pasto (Área de pastejo intensivo bovino); Fruticultura (monocultivo extensivo de citrus sp); Milho (Monocultivo de milho em área de várzea degradada).

Amostra	Zona Central	Zona Interna	Zona Intermediária	Zona Externa	Categoria
Cerpis	4	3	4	3	Agroecológica
Medicinal	5	3	4	3	Agroecológica
Quintal	2	4	4	4	Agroecológica
Voisin	3	2	3	2	Agroecológica
Pasto	2	1	2	2	Convencional
Fruticultura	2	3	3	2	Convencional

Milho (vereda)	2	2	3	2	Convencional
Mata Seca	2	5	5	5	Área Nativa
Cerrado típico denso	2	3	5	2	Área Nativa
Cerrado Rupestre	1	4	4	4	Área Nativa
Campo sujo	3	5	5	4	Área Nativa
Mata de Galeria (LAPA)	5	3	3	5	Área Nativa

A análise dos dados apresentados por somatórios gerais ainda permite a visualização com maior clareza e distinção entre os sistemas de manejo, revelando o impacto das diferentes práticas na saúde do solo. A interpretação aprofundada dos resultados, fundamentada nos princípios, evidencia padrões de equilíbrio ecológico, ou seja um bom funcionamento nos processos de ciclagem de matéria orgânica, regeneração e degradação (Restrepo e Pinheiro, 2011). Às áreas preservadas apresentam-se com maiores somatórios de pontuação. Ainda, o somatório de pontuações revela o pasto com áreas em menor pontuação (Figura 3).

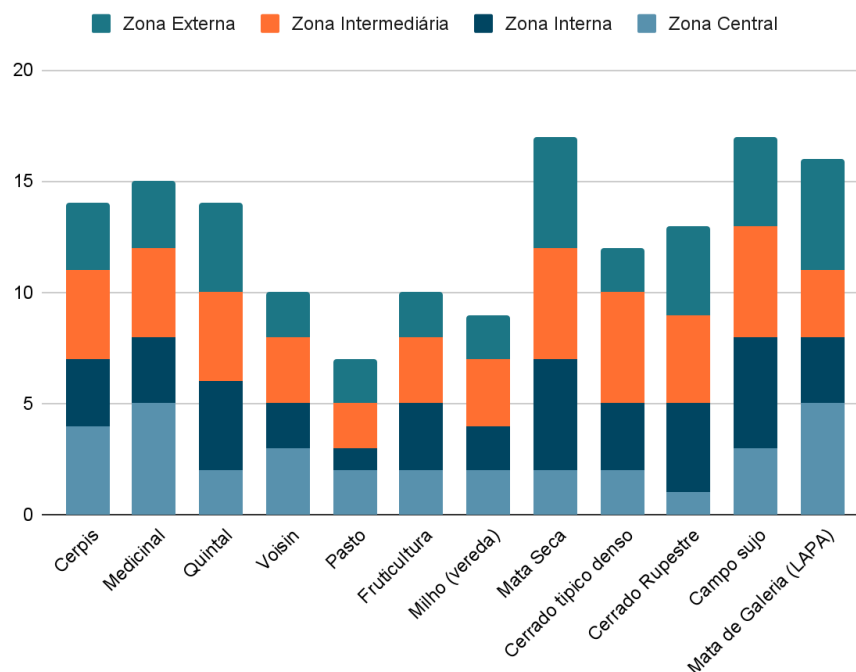


Figura 3. Avaliação Semiquantitativa das Zonas Cromatográficas por sistema de manejo (Etapa 1 - Junho).

Os cromatogramas mais harmoniosos são exibidos nas amostras de áreas naturais de Cerrado (Figura 4). Com destaque para "Mata Seca" e "Campo Sujo", ambas com pontuação total de 17, são exemplos de um solo ecologicamente equilibrado. O ponto de destaque nestas amostras reside na Zona Intermediária e na Zona Externa, que obtiveram pontuações máximas (5). uma Zona Intermediária vigorosa, com radiações bem formadas, é o reflexo direto de uma intensa e diversificada atividade microbiológica, responsável pela transformação da matéria orgânica (Restrepo e Pinheiro, 2011). Zona Externa bem desenvolvida indica alta atividade enzimática, o que demonstra que os "processos de digestão do solo estão funcionando bem" (Pinheiro, 2011, p. 15). A alta performance nesta categoria a credencia como um referencial de saúde do solo para o estudo.

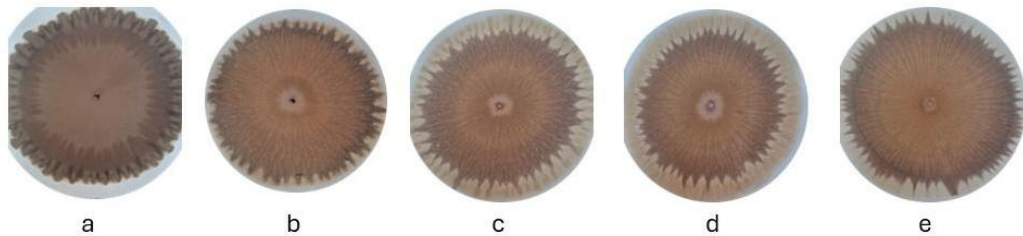


Figura 4: Cromas de Áreas Naturais de Cerrado, onde: a) Mata de galeria; b) Cerrado Típico Denso; c) Campo sujo; d) Mata Seca; e) Cerrado rupestre

Os resultados das áreas agroecológicas demonstram o potencial das práticas regenerativas em manter a vitalidade do solo. As amostras "Medicinal" (15 pontos), "Quintal" e "Cerpis" (ambas com 14 pontos) apresentaram um bom equilíbrio geral (Figura 5 a,b,c). O ponto mais relevante nestas amostras foi a manutenção de uma Zona Intermediária bem pontuada (nota 4). Nesta zona que se manifesta a "vida" do solo. A preservação da qualidade da Zona Intermediária indica que, mesmo sob cultivo, as práticas agroecológicas adotadas estão conseguindo sustentar os processos biológicos essenciais (Pfeiffer, 1984). A amostra "Voisin" (10 pontos) (Figura 5-d), por outro lado, apresentou a menor pontuação do grupo de manejo agroecológico, sugerindo a necessidade de ajustes de manejo para otimizar os processos biológicos neste sistema específico. É importante considerar que tal área ainda passa por processos de transição agroecológica, ao considerarmos que o sistema agroecológico de pecuária foi instalado há menos de 2 anos.

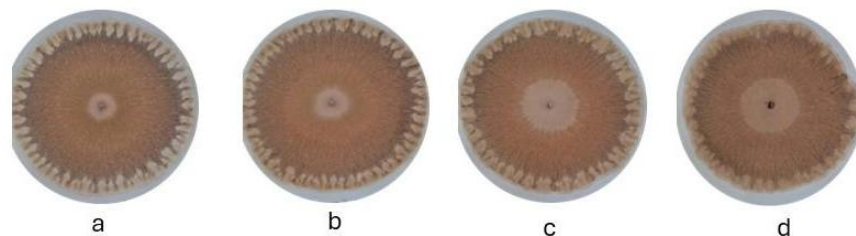


Figura 5: Cromas de Áreas de manejo Agroecológico, onde: a) Quintal; b) Cerpis; c) Sistema Medicinal Biodiverso; d) Voisin

Em nítido contraste, as áreas de manejo convencional apresentaram os piores resultados, um diagnóstico visual da degradação (**Figura 6**). A amostra "Pasto", com a menor pontuação total (7), representa o caso mais crítico. A nota 1 na Zona Interna indica um teor baixíssimo

de matéria orgânica estável, enquanto a nota 2 na Zona Intermediária revela um colapso na atividade microbiológica. Um cromograma com uma Zona Intermediária "fechada" e sem radiações, como observado nestas amostras, é o retrato de um solo compactado e com baixa aeração, onde os processos de decomposição são lentos ou inexistentes (Restrepo e Pinheiro, 2011). A baixa performance geral desta categoria, especialmente nas zonas que representam os componentes vivos do solo (a Zona Intermediária e a Zona Externa), é consistente com estudos que apontam o impacto negativo do uso intensivo de insumos sintéticos e da mecanização sobre a biota do solo (Bortoluzzi et al., 2022).

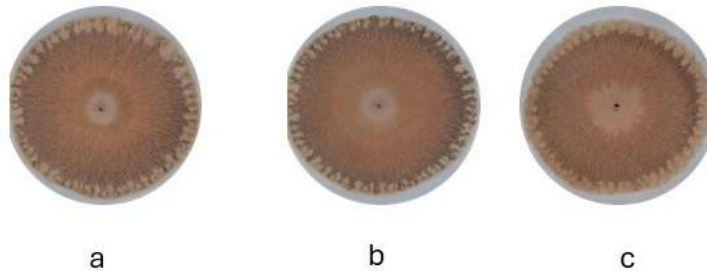


Figura 6: Cromas de Áreas de manejo Convencional, onde: a) Milho; b) Pasto; c) Fruticultura

3.2 Segunda etapa (Auge da seca): A falha sistemática e a investigação metodológica

A segunda etapa da pesquisa, realizada em outubro, no auge da estação seca, foi delineada para avaliar a influência da sazonalidade na qualidade do solo. Contudo, o estudo encontrou um desafio metodológico inesperado que redirecionou o foco desta fase. Houve uma falha sistemática na formação dos cromatogramas, que impediu a replicabilidade direta do método utilizado na primeira etapa. Ao seguir o protocolo padrão, observou-se que a corrida do extrato de solo era consistentemente interrompida ao atingir a fronteira de 4 cm, correspondente à área de impregnação com nitrato de prata. O resultado era um cromatograma incompleto (Figura 7 e 8), com uma densa linha escura demarcando a interrupção, caracterizada como uma "barreira de precipitado", ou seja, uma zona onde os íons se reagiram e se depositaram em forma de precipitado químico nos poros do papel filtro.

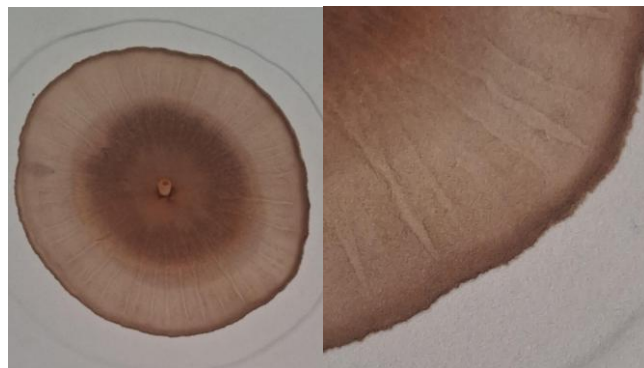


Figura 7 e 8: Cromatograma incompleto da segunda etapa, evidenciando o travamento da corrida do extrato na fronteira de 4 cm.

Este fato ocorreu em amostras de todas as áreas de manejo, indicando que a causa não estava relacionada a um tipo específico de uso do solo, mas sim a uma condição geral e predominante nesta época do ano. Diante disso, a pesquisa passou a investigar os fatores que

poderiam estar causando essa falha, questionando a replicabilidade da técnica sob as condições ambientais adversas de calor intenso e extrema seca. Os testes realizados revelaram resultados que foram sistematizados para avaliação de métodos (Tabela 3).

Tabela 3: Investigação Metodológica dos procedimentos utilizados na Fase 2

Teste	Procedimento	Resultado
Verificação dos Reagentes	Foi avaliada a reatividade química entre as soluções de NaOH e AgNO ₃ , observando-se a formação imediata de um precipitado escuro.	Confirmou-se a atividade dos reagentes, descartando a hipótese de inatividade química.
Teste de Controle (Branco)	Aplicou-se apenas a solução de NaOH a 1% em papel filtro impregnado com AgNO ₃ .	O líquido correu normalmente, indicando ausência de bloqueio no sistema papel-reagentes. Notou-se evaporação acelerada do solvente, atribuída ao clima seco e quente.
Teste de Diluição da Amostra	Foram testadas diluições de 1:2 e 1:4 (extrato/solvente).	A diluição de 1:4 favoreceu a formação da maioria dos cromatogramas, sugerindo que a alta concentração de compostos na solução original era um fator limitante.
Teste do Tempo de Decantação	Foram avaliados tempos de repouso de 12h, 24h e 48h para a solução de solo.	Houve melhora progressiva na corrida com o aumento do tempo, indicando que a sedimentação mais completa das partículas em suspensão beneficia o processo cromatográfico.

A diluição do extrato de solo em 1:4 (uma parte de extrato para três partes da solução de NaOH a 1%) foi a alteração mais eficaz, permitindo que a maioria dos cromatogramas se formasse por completo (Figura 9).



Figura 9: Cromatograma da segunda etapa obtido com sucesso após diluição do extrato de solo em 1:4 (Amostra AN 02 20-40cm).

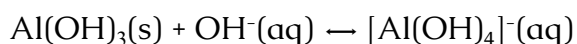
O sucesso da diluição do extrato como solução para as falhas cromatográficas é a evidência central para a formulação de uma possibilidade analítica que explique o fenômeno. A observação sugere que a solução de solo original, extraída das amostras da estação seca, estava supersaturada com algum componente que, ao reagir com o nitrato de prata, formava um precipitado que entupiu os poros do papel, impedindo o fluxo por capilaridade.

A análise central deste trabalho é que este componente em excesso são os hidróxidos de ferro e alumínio, constituintes majoritários da fração argila dos Latossolos do Cerrado (Sousa et al., 2019). A mineralogia destes solos é dominada por gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) e hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Esta composição é quimicamente análoga à da bauxita, o minério-fonte do alumínio industrial. O principal método de refino da bauxita, o **Processo Bayer**, opera justamente na separação química destes dois elementos (Al e Fe) através do uso de NaOH (Oliveira, 2018).

Passou-se então a descrever o processo químico, análogo ao Processo Bayer, que explica o que pode ter acontecido. O processo pode ser dividido em duas etapas-chave:

1. Solubilização seletiva em meio alcalino: O primeiro passo do método é a extração com hidróxido de sódio (NaOH), uma base forte que eleva o pH da solução para níveis superiores a 12. Nestas condições, ocorrem dois comportamentos distintos:

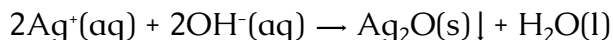
- **Alumínio (Anfoterismo):** A gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que tem caráter anfótero, solubiliza-se seletivamente, formando o íon tetrahidroxialuminato ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$), conforme a reação (LINDSAY, 1979):



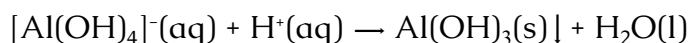
- **Ferro (Insolubilidade):** Em contrapartida, os hidróxidos de ferro (goethita, hematita) não são anfóteros e permanecem insolúveis em $\text{pH} > 12$. Eles formam o resíduo sólido, que no Processo Bayer é conhecido como "Lama Vermelha" (Oliveira, 2018). No extrato do solo, essas partículas de ferro não dissolvidas ficam em suspensão na forma de colóides.

2. Precipitação e coagulação na fronteira de reação: Quando a frente de corrida do extrato alcalino – uma solução com $\text{pH} > 12$, contendo OH^- livre, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ dissolvido e colóides de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ suspensos – atinge a fronteira de 4 cm, ela encontra a fronteira impregnada com nitrato de prata (AgNO_3). Neste ponto, ocorre um "choque" químico:

- **Neutralização pela prata:** A reação imediata é entre as hidroxilas (OH^-) do extrato e os íons prata (Ag^+) impregnados no papel. Esta reação consome o OH^- e forma Óxido de Prata (ATKINS; JONES, 2012):



- **Precipitação do alumínio:** O consumo massivo de OH^- causa uma neutralização abrupta, diminuindo drasticamente o pH local. O íon aluminato ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$), que só era solúvel em pH alto, torna-se instável e sofre precipitação química como Hidróxido de Alumínio de aspecto gelatinoso:



- **Coagulação do ferro:** Paralelamente, os colóides de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) que estavam suspensos encontram essa mesma zona de pH alterado e alta força iônica (devido ao AgNO_3). Essa mudança desestabiliza a suspensão coloidal, causando sua coagulação física (ou floculação), depositando o hidróxido de ferro gelatinoso.

A natureza "gelatinosa" ou "floculenta" destes materiais é o ponto-chave. A formação desta barreira impermeável é, portanto, um evento duplo: (1) uma **precipitação química** do alumínio que estava dissolvido, e (2) uma **coagulação física** dos colóides de ferro que estavam suspensos. Como descrito na literatura (Harris, 2013), esta massa amorfa é altamente eficaz em ocluir (entupir) os poros de meios filtrantes, explicando fisicamente o travamento observado.

A diluição do extrato, ao diminuir a concentração inicial tanto do alumínio dissolvido quanto dos colóides de ferro, reduziu a massa de material gelatinoso formado por unidade de área, evitando a oclusão completa e permitindo que o fluxo capilar prosseguisse. Este resultado, portanto, transforma a falha em uma descoberta sobre os limites da técnica. A cromatografia de Pfeiffer, embora robusta, mostra-se suscetível a uma severa interferência de matriz iônica e coloidal em solos oxidicos, especialmente sob condições de estresse hídrico. Tal constatação sugere a necessidade de ajustes protocolares, como a diluição sistemática do extrato, ao se trabalhar com Latossolos em períodos de seca intensa, garantindo assim a replicabilidade do método.

3.3. Dimensão pedagógica e de extensão: O diálogo entre saberes

Além da dimensão analítica, a presente pesquisa evidenciou o notável potencial da Cromatografia de Pfeiffer como um instrumento pedagógico e de integração entre ciência, prática e extensão. Este potencial foi particularmente observado durante a apresentação do trabalho no Seminário Integrador do curso de Agroecologia, um espaço de socialização de projetos que contou com a participação de docentes, técnicos e representantes da comunidade externa, incluindo agricultores familiares, assentados da reforma agrária e membros de cooperativas locais. Ainda, apresentou-se esse processo no 13º Congresso Brasileiro de Agroecologia, onde evidenciou-se a potencialidade de circulação de saber dessa prática.

Nestes eventos, a cromatografia foi cogitada como uma alternativa de análise do solo de baixo custo e fácil replicabilidade, capaz de "traduzir" de forma visual os complexos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tornando-os acessíveis a um público diverso. A metodologia de "leitura coletiva" dos cromas, proposta por Pinheiro (2011), mostrou-se uma ferramenta poderosa para o diálogo entre diferentes atores, favorecendo a construção de uma compreensão compartilhada sobre as intrínsecas relações entre o tipo de manejo e a saúde do solo. A visualização dos contrastes entre os cromatogramas das áreas convencionais e das áreas de preservação, por exemplo, gerou debates aprofundados sobre os processos de degradação e regeneração dos agroecossistemas.

A avaliação positiva recebida tanto da comunidade acadêmica quanto dos participantes externos validou a relevância do estudo. O interesse manifestado por estudantes e agricultores em aprender e aplicar a metodologia em suas próprias realidades reforça o potencial da técnica como uma ferramenta diagnóstica e mobilizadora, que empodera os agricultores na tomada de decisão sobre o manejo (Primavesi, 2002). Desta forma, o estudo

transcendeu seus objetivos analíticos, configurando-se também como uma prática de extensão. Ao promover a disseminação de um conhecimento aplicado e fomentar o diálogo de saberes, a pesquisa fortaleceu a perspectiva de um manejo mais consciente e sustentável dos solos, em plena consonância com os princípios que fundamentam a Agroecologia como um campo de ciência, prática e movimento social.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo e em áreas naturais no IFB Campus Planaltina, utilizando a Cromatografia de Pfeiffer como ferramenta diagnóstica. A pesquisa, no entanto, desdobrou-se em duas frentes complementares: a análise comparativa planejada e uma investigação metodológica aprofundada, impulsionada por desafios inesperados. A partir dos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

A Cromatografia de Pfeiffer validou-se como uma ferramenta eficaz para o diagnóstico rápido da saúde do solo, diferenciando com notável clareza os impactos dos diferentes sistemas de manejo. A análise dos cromatogramas da primeira etapa (início da seca) corroborou a possibilidade inicial de que: os solos sob manejo convencional apresentaram padrões visuais de degradação, com baixa atividade biológica, enquanto as áreas de manejo agroecológico demonstraram um estado de saúde muito próximo ao das áreas de preservação nativa, evidenciando o potencial regenerativo destas práticas.

O estudo revelou uma importante limitação da técnica de Pfeiffer quando aplicada a Latossolos sob condições de estresse hídrico e térmico extremo, como as encontradas no auge da seca do Cerrado. A falha sistemática na formação dos cromatogramas não se configurou como um erro, mas como o principal resultado da segunda etapa, demonstrando que a replicabilidade do método padrão não é universal e depende criticamente das condições edafoclimáticas (do solo e do clima).

A possibilidade de explicação analítica da formação de uma barreira de precipitação foi fundamentada. A investigação metodológica, aliada à pesquisa bibliográfica, permitiu concluir que a alta concentração de íons de ferro e alumínio no extrato de solo, solubilizados em meio alcalino, reagiu com o nitrato de prata, formando hidróxidos metálicos gelatinosos. Este precipitado obstruiu os poros do papel filtro, causando o travamento da corrida cromatográfica e explicando o fenômeno observado. A necessidade de diluir o extrato para obter sucesso na análise confirma esta hipótese.

A pesquisa foi além da análise de solo, afirmando-se como uma valiosa experiência pedagógica e de extensão. A apresentação do trabalho em um seminário integrador, no Congresso Brasileiro de Agroecologia e o diálogo com agricultores e a comunidade acadêmica reforçaram o potencial da cromatografia como uma ferramenta para a construção de saberes, traduzindo conceitos científicos complexos de forma visual e acessível, e fomentando a discussão sobre o manejo sustentável dos solos.

Em suma, este trabalho não apenas atingiu seus objetivos de comparar a saúde do solo, mas também contribuiu com um achado original sobre os limites e as necessárias adaptações da Cromatografia de Pfeiffer para a realidade dos solos do Cerrado.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar análises físico-químicas laboratoriais convencionais (teor de argila, Fe, Al,

- matéria orgânica) nas mesmas amostras, a fim de correlacionar os dados quantitativos com os padrões visuais dos cromatogramas e validar estatisticamente as observações.
- Testar sistematicamente diferentes níveis de diluição do extrato de solo em amostras coletadas em diversas épocas do ano, a fim de estabelecer um protocolo de ajuste sazonal para a técnica em Latossolos.
 - Expandir a aplicação da cromatografia como ferramenta de diagnóstico participativo em outras comunidades agrícolas da região, avaliando seu impacto na tomada de decisão dos agricultores sobre o manejo do solo.

AGRADECIMENTOS

Manifesto minha profunda gratidão ao professor e mestre Sebastião Pinheiro, cuja generosidade em compartilhar os saberes da cromatografia de Pfeiffer despertou em mim o desejo de aprofundar o conhecimento sobre os solos do Cerrado e sua vitalidade oculta. Seu ensinamento foi não apenas técnico, mas também ético e inspirador. Agradeço aos professores do curso de Agroecologia, pelo constante incentivo, apoio e pela confiança depositada em mim, assim como pela estrutura e condições oferecidas para que esta pesquisa pudesse ser efetivamente realizada. Agradeço especialmente à docente Viviane Evangelista por me orientar, encorajar e me dar a base necessária para seguir com o trabalho. À técnica Luciana Massukado, registro meu sincero reconhecimento pela disponibilidade e suporte técnico durante algumas etapas do trabalho. Também expressei meu carinho e respeito à comunidade estudantil do IFB, que com companheirismo, afeto e resistência coletiva, fortalece diariamente o meu processo de formação acadêmica e humana. Por fim, registro meu mais profundo agradecimento à minha família, que permitiu que tudo isso fosse possível, criando a base necessária para que eu pudesse estudar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BORGES, E. et al. Estudo da cromatografia de Pfeiffer como alternativa agroecológica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 3, 2015. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2546/1897>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BORTOLUZZI, E. C. et al. Cromatografia aplicada à avaliação de solos sob diferentes usos. *Ciência Rural*, v. 52, n. 5, 2022.
- BRASIL. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Guia prático de cromatografia de Pfeiffer*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 16 p.
- CARVALHO, A. M. et al. Métodos alternativos de avaliação da qualidade do solo: enfoque agroecológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 1, 2020.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos,

2017.

HARRIS, Daniel C. *Análise Química Quantitativa*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LINDSAY, Willard L. *Chemical Equilibria in Soils*. New York: Wiley-Interscience, 1979.

MATOS, C. R. A. *Cromatografia de Pfeiffer aplicada na avaliação da fertilidade do solo sob diferentes sistemas de produção*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 39 p. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35388>. Acesso em: 30 jul. 2025.

OLIVEIRA, Ana Paula R. G. de *et al.* Revisão do Processo Bayer e propriedades da lama vermelha para futuras aplicações. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, e-12226, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/7wWLD4vdCd6nWnNqYzcLXfs/>.

PFEIFFER, E. *Chromatography Applied to Quality Testing*. New York: Biodynamic Farming Association, 1984.

PINHEIRO, Sebastião. *Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos*. Porto Alegre: AS-PTA, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/ambigua/article/download/30279/19694>. Acesso em: 12 jul. 2025.

PINHEIRO, Sebastião; RESTREPO, Javier. *Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos*. Porto Alegre: AS-PTA, 2011. Disponível em: <https://morralcampesino.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/cromatografia-restrepo-pinheiro.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2025.


PRIMAVESI, Ana. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. 7. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

RESTREPO, Jairo; PINHEIRO, Sebastião. *Cromatografia para terra*. [S. l.: s. n.], 2011.

SPACCASSI, S. et al. Avaliação qualitativa do solo por cromatografia de Pfeiffer: revisão de literatura. *Revista Agroecossistemas*, v. 13, n. 1, 2021.

SOUSA, R. N. de; GOEDERT, W. J.; LOPES, A. S. *Solos do Cerrado: características e manejo*. Brasília, DF: Embrapa, 2019..

Apêndice -
Imagens dos ambientes - Locais de coleta

Locais de coleta de solo (coordenadas geográficas em GD)	Imagens dos ambientes
1A - Quintal (-47,690553, -15,660515)	

1B - Cerpis
(-47,689639, -15,660149)



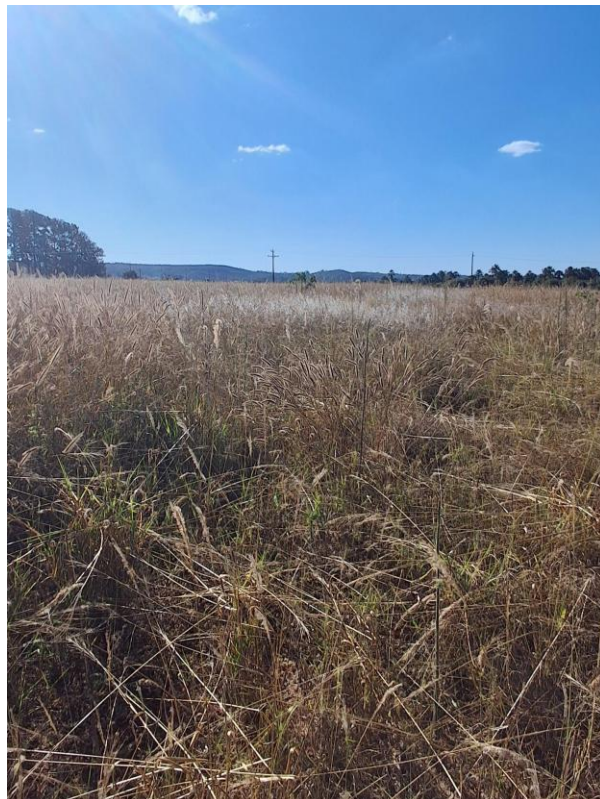
1C - SMB
(-47,688847, -15,660184)



1D - Voisin
(-47,703346, -15,651790)



2A - Milho
(-47,692094, -15,656389)



2B - Pasto
(-47,703346, -15,653885)



2C - Fruticultura
(-47,698075, -15,658981)



3A - Mata de galeria
(-47,688063, -15,658811)



3B - Cerrado tipico denso
(-47,709430, -
15,657882)



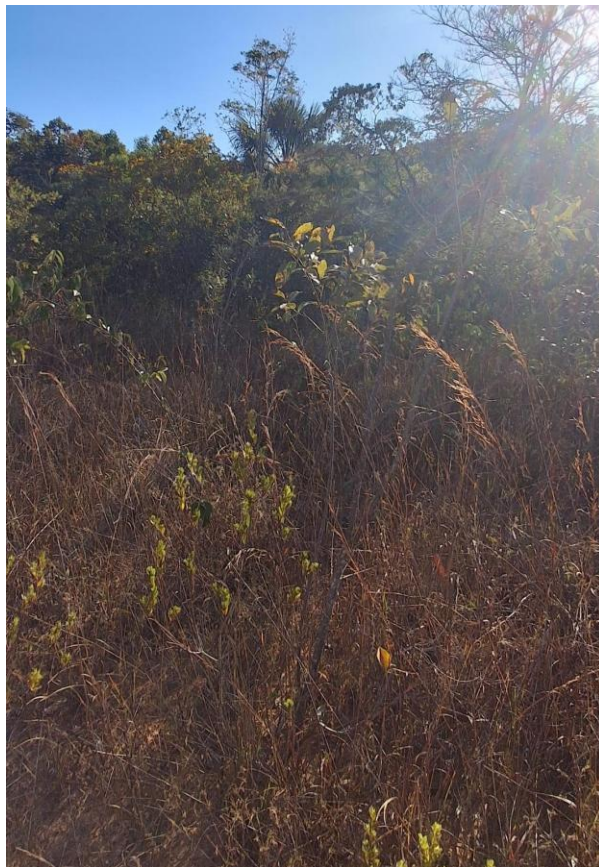
3C - Campo sujo
(-47,713358, -15,653277)



3D - Mata seca
(-47,716457, -
15,654892)



3E - Cerrado rupestre
(-47,717417, -
15,655852)



Documento Digitalizado Público

TCC Final Pedro Alberto Côrtes Silva Freitas

Assunto: TCC Final Pedro Alberto Côrtes Silva Freitas
Assinado por: Edimilson Caldas
Tipo do Documento: Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Público
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Edimilson de Sousa Caldas, ASSISTENTE DE ALUNO**, em 04/12/2025 09:11:11.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/12/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 777459

Código de Autenticação: 0f81347207

