

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CLEUDER ROQUE ARRUDA DE MATOS

CROMOTOGRAFIA DE PFEIFFER APLICADA NA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE
DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Monte Carmelo
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CLEUDER ROQUE ARRUDA DE MATOS

CROMOTOGRAFIA DE PFEIFFER APLICADA NA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE
DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador (a): Edmar Isaias de Melo

Monte Carmelo
2022

CLEUDER ROQUE ARRUDA DE MATOS

CROMOTOGRAFIA DE PFEIFFER APLICADA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 14 de julho de 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Edmar Isaias de Melo
Orientador

Prof. Dr. Bruno Henrique Sacoman Torquato da Silva
Membro da Banca

Prof. Dr. Douglas José Marques
Membro da Banca

Monte Carmelo
2022



ATA

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Ata da defesa de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Data: 14/07/2022

Hora de início: 15h30 min

Hora de encerramento: 17h20min

Local: a defesa ocorreu de forma online utilizando a plataforma da Rede Nacional de Pesquisa- RNP, no <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/RENAGRI-UFU-MC>.

Nome do discente: Cleuder Roque Arruda de Matos

Matrícula: 31611AGR029

Título: CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER APLICADA NA AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Reuniu-se a Banca Examinadora com o presidente da mesa apresentando o discente e, agradecendo a presença do público. Em seguida foi concedida a palavra para exposição do trabalho, conforme as Normas de Trabalho de Conclusão de Curso.

A seguir o presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato; concluída a arguição, nos termos regimentais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu a nota final: 86 (oitenta e seis) pontos.

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato:

(X) Aprovado(a) () Reprovado(a).

Para constar, foi lavrada a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca.

Prof. Dr. Edmar Isaías de Melo (Presidente da banca)

Prof. Dr. Douglas José Marques (Membro 1)

Prof. Dr. Bruno Henrique Sacoman Torquato da Silva (Membro 2)



Documento assinado eletronicamente por **Douglas José Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 14/07/2022, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edmar Isaías de Melo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 14/07/2022, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Henrique Sacoman Torquato da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 14/07/2022, às 17:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3752752** e o código CRC **66DB15EF**.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	32

RESUMO

A cromatografia de Pfeiffer (CCP) é um método de análise que permite a interpretação rápida da qualidade do solo, no entanto, a aplicação desta técnica necessita de estudos que apresente correlação dos resultados obtidos por essa metodologia com resultados de fertilidade de solo obtidos por métodos convencionais. Assim, o trabalho objetivou avaliar a CCP como ferramenta de análise complementar da fertilidade de solo sob diferentes sistemas de produção. Foram avaliados as características cromatográficas da zona central, interna, intermediária, externa e a relação de tamanho entre essas regiões cromatográficas, que foram categorizadas utilizando escala de notas propostas pela Soiltech e corroboradas com as variáveis pH, fósforo disponível (P), atividade microbiana, condutividade elétrica, matéria orgânica total, carbono da fração lábil, e concentração de potássio (K) em amostras de solo em diferentes sistemas produção (pastagem, hortaliças sob cultivo convencional e agroecológico, além de vegetação nativa do bioma cerrado). As características cromatográficas que melhor ajustaram ao modelo foram observadas para os solos sob cultivo agroecológico e pastagem, apresentando correlação com a maioria das variáveis de fertilidade do solo. Conclui-se com a pesquisa que as características cromatográficas permitiram aplicar a cromatografia de Pfeiffer como ferramenta de análise complementar aos métodos convencionais de avaliação da fertilidade de solo do bioma cerrado sob diferentes sistemas de uso.

Palavras-Chave: cromatografia planar, bioindicação, fertilidade de solo.

ABSTRACT

The Pfeiffer chromatography (PCC) is a method of analysis that allows rapid interpretation of soil quality, but the application of this technique requires studies that present correlation of the results obtained by this methodology with soil fertility results obtained by conventional methods. Thus, the work aimed to evaluate CCP as a tool for a complementary analysis of soil fertility under different production systems. We evaluated the chromatographic characteristics of the central, inner, intermediate and outer zones and the size ratio between these chromatographic regions, which were categorized using a scale of notes proposed by Soiltech and corroborated with the variables pH, available phosphorus (P), microbial activity, electrical conductivity, total organic matter, labile carbon and potassium (K) concentration in soil samples from different production systems (pasture, vegetables under conventional and agroecological cultivation, and native vegetation of the cerrado biome). The chromatographic characteristics that better adjusted to the model were observed for the soils under agroecological cultivation and pasture, presenting correlation with most of the soil fertility variables. It is concluded with the research that the chromatographic characteristics allowed applying the Pfeiffer chromatography as a complementary analytical tool to conventional methods of soil fertility evaluation in the cerrado biome under different use systems.

Keywords: planar chromatography, bioindication, soil fertility

1 INTRODUÇÃO

Os solos contribuem para as necessidades humanas básicas, como comida, água e suprimento de ar, e são os principais portadores da biodiversidade (LELAGO, BURAKA, 2019). A qualidade do solo foi definida por muitos autores e refere-se à capacidade de um solo vivo para funcionar, dentro dos limites naturais ou administrados do ecossistema, para sustentar a produtividade de plantas e animais, para manter ou aprimorar a qualidade da água e do ar e para apoiar a saúde de plantas e animais (NYAMSHA, KANSAL, 2018).

A qualidade do solo, geralmente é avaliada por parâmetros físico-químicos, incluindo parâmetros de fertilidade e concentrações de contaminantes (JOINEL et al., 2016). Por outro lado, parâmetros biológicos do solo também são considerados indicadores de qualidade do solo (CLUZEAU et al., 2012).

As propriedades físicas e químicas do solo são consideradas como indicadores de qualidade, além de apresentar características fáceis de observação, entretanto os indicadores biológicos são mais dinâmicos e podem sinalizar se o manejo adotado está levando a um processo de degradação ou reabilitação do solo (AQUINO, 2005). Conforme Primavesi (2014), as análises químicas muitas vezes são de perfil do solo fora do alcance necessário, além de que a análise convencional não permite identificar em que condição os nutrientes minerais se encontram no solo, se na forma oxidada (disponível às plantas), ou reduzida (geralmente tóxica) (SIQUEIRA, 2016).

Um método de avaliação da qualidade do solo que contempla propriedades físicas, químicas, biológicas e, inclusive, bioquímicas, é o método de cromatografia de Ehrenfried Pfeiffer, ou conhecido como cromatografia circular de Pfeiffer (CCP) (SIQUEIRA, 2016). Neste método o cromatograma apresenta a qualidade do solo por diferentes zonas, cores, formatos e integração entre as regiões do cromatograma. O resultado cromatográfico pode levar a uma análise de qualidade do solo que carrega informações sobre a atividade microbiológica, a mineralogia e matéria orgânica do solo, configurando um método de análise integral da qualidade do solo, cuja avaliação consiste basicamente na interpretação das características reveladas por imagem como cor, forma e harmonia (PERUMAL, et al., 2016).

De acordo com sua definição, a cromatografia é um método físico de separação no qual os componentes a serem separados são distribuídos entre duas fases, uma das quais é

estacionária (fase estacionária) enquanto a outra (fase móvel) se move em uma direção definida (IUPAC 1997). Na CCP a separação dos componentes de uma amostra tende a formar quatro regiões de forma radial, denominadas de região central, interna, intermediária e externa (Figura 1) (KOKORNACZYK, M. O. et al., 2017; RESTREPO, PINHEIRO, 2011).

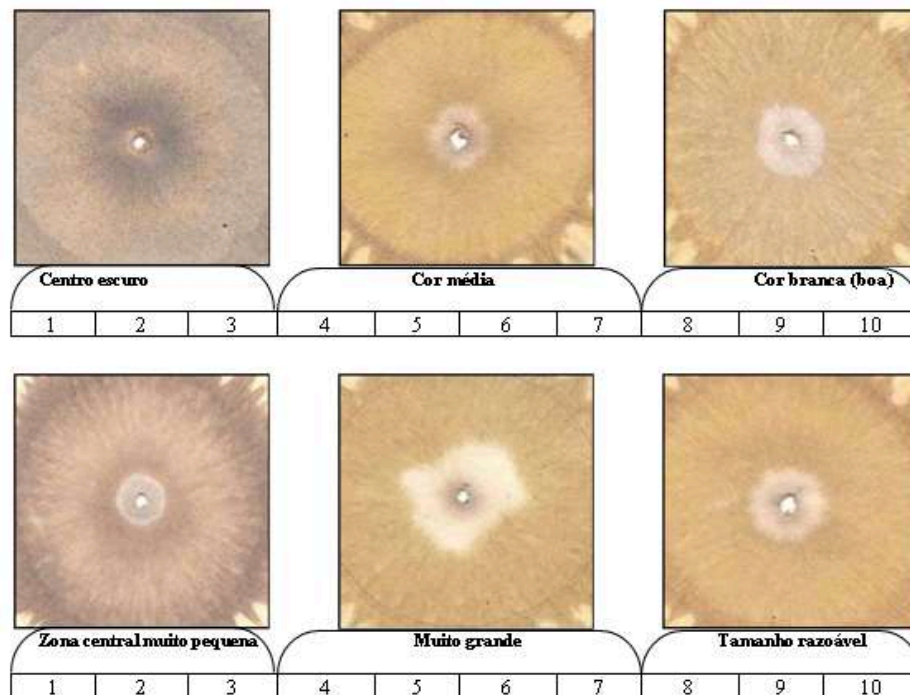
Figura 1 - Coloração e desenvolvimento das radiações que podem estar presentes na CCP.



Fonte: RESTREPO, PINHEIRO, 2011

A região central ou zona de oxigenação, circula todas as substâncias presentes na amostra, pelo fenômeno da capilaridade. Essa região indica as condições de desenvolvimento das atividades fermentativas microbiológicas. Ausência dessa região no cromatograma ou caso ela seja de cor preta indica mínimo de metabolismo microbiano aeróbico e máxima fermentação anaeróbica, indicativo de utilização de agrotóxicos, ou solos revolvidos e colocados sob intensa exposição ao sol, solos compactados, desestruturados e pobres em matéria orgânica. Essa região apresentando uma cor branco prateado e ou cor creme indica maior metabolismo aeróbico e solo bem estruturado, aerado e não compactado. Cor muito branca dessa região pode indicar um excesso de adubação nitrogenada, uso de adubos de alta solubilidade, por exemplo, uréia, ou uso constante de herbicidas e de compostos não bioestabilizados.

Figura 2- Avaliação da zona central.



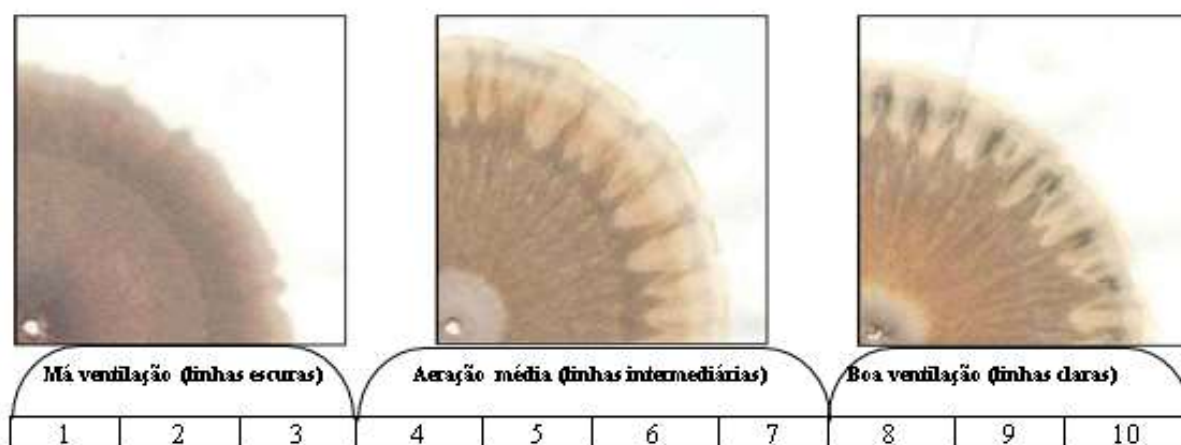
Fonte: Soiltech, 2008.

A região interna, localizada logo após a região central é denominada zona dos minerais, onde ficam retidas substâncias mais pesadas, que reagem com nitrato de prata impregnado no papel de filtro. O ideal é que seja diversa, harmônica, e que integre com as demais regiões do cromatograma, com coloração cuja distinção entre ela e a zona anterior seja possível. Esta zona pode ou não estar integrada com as demais zonas do cromatograma, dependendo do tipo de solo e do estado de degradação em que este se encontra. Como os minerais e demais substâncias possuem carga elétrica e campo eletromagnético, que por sua vez está diretamente relacionado às condições de vida do solo, isto influencia em como se manifesta o desenho do cromatograma. Podendo apresentar através de sua radiação pelas características da ramificação que ocorrem em forma de setas e/ou “flechas” sobrepostas de forma mais ou menos perceptível, podendo ser desde a zona central à extremidade do cromatograma, que sendo de coloração com tom amarelo-dourado e quanto mais diversa e integrada harmoniosamente às outras zonas, maior é a qualidade de sua condição mineralógica e vida do solo.

O pleno desenvolvimento desta zona, bem integrado às demais, ilustra uma boa condição da atividade biológica do solo, integração e harmonia entre o componente mineral-biológico. Essa zona pode variar desde um círculo linear baixa interação entre a parte mineralógica e biológica do solo ou ausência de atividade biológica, até total integração com

as outras zonas. Suas cores variam de preto até ouro e laranja. Quando esta zona apresenta coloração clara, partindo da zona interna até o final do croma de forma harmônica, é indicador de solo saudável. Cromatogramas que apresentam colorações escuras e uniformes, que partem desde a zona central sem se distinguir da zona mineral apresentando terminações pontiagudas, indicam solos de má qualidade, mineralizados, erosivos, compactados e sem estrutura. Essas características podem ser oriundas de mecanização pesada e, na maioria das vezes, apresentam ausência de matéria orgânica e atividade microbiológica deficiente.

Figura 3- Avaliação da zona interna.



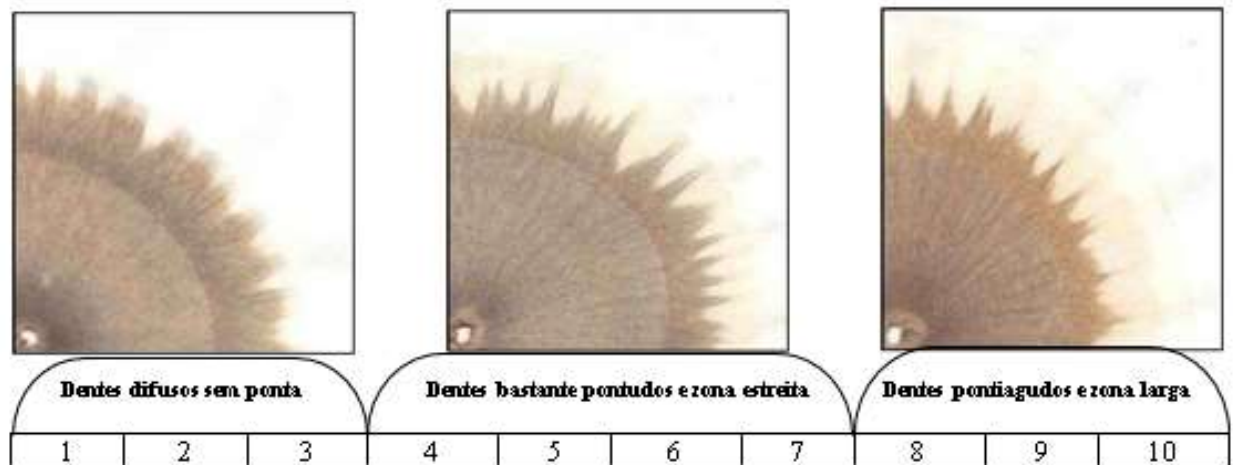
Fonte: Soiltech, 2008.

Outra região cromatográfica a ser avaliada na CCP é a região intermediária, onde se manifesta a ocorrência ou ausência e qualidade da matéria orgânica, conforme as substâncias presentes em concentração e qualidade. Essa região também expressa de forma mais significativa o grau de desenvolvimento, integração e harmonia, ou se há bloqueios entre o componente mineral e orgânico e inter-relação com o componente biológico. Nesta região se desenrola a conformação final do cromatograma, a qual consiste em uma zona de transição que, de forma abrupta ou não, revela o grau de harmonia segundo as condições físicas e atividade macro e microbiológica no solo, o que tem relação direta com o manejo adotado e demais práticas culturais.

A coloração dessa região do cromatograma varia de castanho escuro até prata. Essa região do cromatograma indica presença de matéria orgânica, mas não significa que esta está integrada ao solo ou biologicamente ativa. A integração ocorre quando é possível notar a invasão de traços entre as zonas adjacentes ocasionando uma mudança gradual. Zona

intermediária escassa, não integrada às demais zonas, é indicativo de baixa atividade biológica e reduzida quantidade de matéria orgânica. Essas características são frequentes em solos mecanizados e com aplicação intensiva de insumos químicos solúveis, que não aportam biomassa no solo e, como consequência, promovem baixa ciclagem de nutrientes.

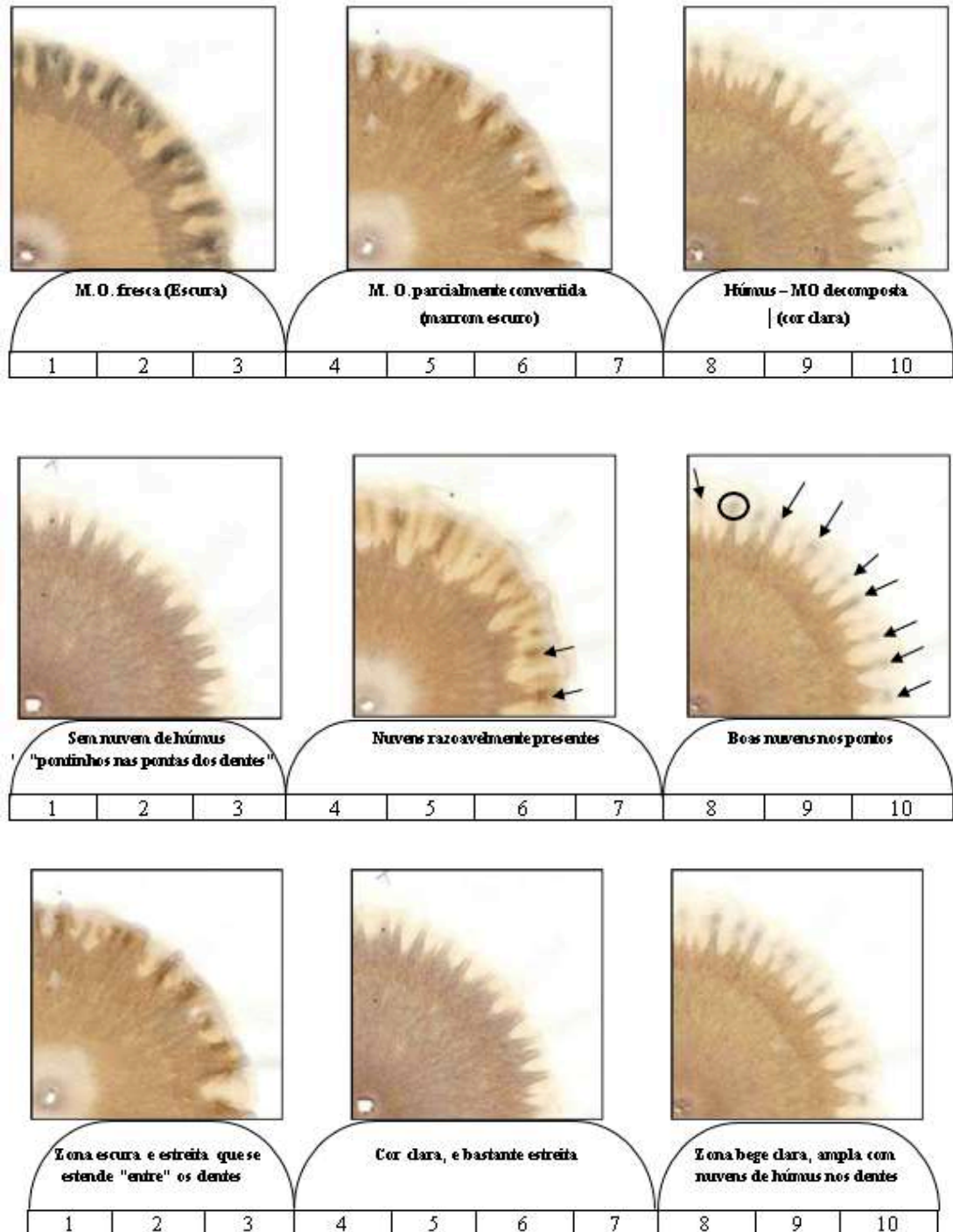
Figura 4- Avaliação da zona intermediária.



Fonte: Soiltech, 2008.

A última região que pode aparecer na CCP é denominada de região externa ou enzimática, e corresponde ao aspecto nutricional do solo, presença de húmus permanente. Formações onduladas ténues, ou pontos suaves que podem aparecer nos cromatogramas nessa região são indicadores de solo fértil, com abundância e diversidade nutricional disponível.

Figura 5- Avaliação da zona externa.



Fonte: Soiltech, 2008.

A avaliação das regiões cromatográficas na CCP configura como um método de avaliação da qualidade de vida do solo, ou seja, de sua saúde, permitindo que se faça uma leitura

rápida de forma visual dos atributos do solo integrando as características, física, química e microbiológica do solo associadas ao manejo, que pode auxiliar os agricultores na tomada de decisão no sentido de promover maior produtividade associada a manutenção e melhoria da qualidade do solo. Além disso, estudos que corroborem a avaliação visual dos cromatogramas com atributos físico, químicos e parâmetros de bioindicação de qualidade de solo são importantes para que a CCP seja mais uma ferramenta a ser aplicada na avaliação da qualidade de solo.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a CCP como ferramenta de análise complementar aos métodos convencionais de avaliação da fertilidade de solo em diferentes sistemas de uso. E colaborar com a inserção da cromatografia de Pfeiffer, como ferramenta de análise que complemente os métodos convencionais de avaliação da fertilidade do solo, e que possa corroborar com resultados de bioindicação de qualidade de solo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O entendimento do conceito de qualidade do solo é amplo e deve ser compreendido como o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos (Zilli et al., 2003). Doran & Parkin (1994) definem a qualidade do solo como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do meio ambiente e promovendo a saúde dos animais e das plantas.

O solo tem propriedades químicas, biológicas e físicas que interagem entre si de maneira complexa, determinando a qualidade e capacidade de uso do solo. Ainda que sua qualidade não possa ser medida diretamente, pode ser inferida a partir das mudanças avaliadas nos seus

atributos ou nos atributos do ecossistema, conhecidos como indicadores (SEYBOLD et al., 1997).

Os parâmetros de bioindicação de qualidade de solo devem fornecer algumas medidas da capacidade do solo, produtividade biológica, qualidade ambiental e saúde humana e animal. Eles também podem ser utilizados para avaliar mudanças no funcionamento do solo ou limitações do ecossistema (SEYBOLD et al., 1997), sendo compreensíveis e úteis para o agricultor e, preferencialmente, de fácil execução e custo baixo em relação aos métodos convencionais de análise (DORAN & ZEISS, 2000).

Apesar de existir vários métodos que possibilitem analisar os solos e suas respectivas interferências sobre os componentes do agroecossistema (DONAGEMA et al., 2011), a maioria desses métodos exigem uma gama de conhecimentos, habilidades, infraestrutura e equipamentos, por isto não alcançam uma parcela significativa dos agricultores, uma vez que o próprio agricultor deve executar a avaliação, obter seus resultados e fazer inferências em relação a situação de manejo a ser conduzida no uso do solo.

Um método de baixo custo, de execução simplificada cujos resultados podem facilmente ser interpretados pelos agricultores é a Cromatografia de Pfeiffer. Este método de análise integra informações de caráter físico, químico e biológico do solo, que permite aos técnicos e agricultores perceberem as deficiências e qualidades do solo (PILON, 2014), com foco para o conjunto de variáveis que considerem o solo como um organismo vivo (PRIMAVESI, 1984).

Os padrões da Cromatografia de Pfeiffer podem ser considerados uma fonte de informação que reflete o estado geral do solo. Além disso está cromatografia apresenta uma economia de custo, sendo de fácil execução, e seus resultados podem de forma parcial substituir ou complementar os resultados obtidos por métodos de análises químicas convencionais. Porém, ainda se faz necessário o estabelecimento de padrões relacionados aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo obtidos na cromatografia de Pfeiffer (KOKORNACZYK et al., 2017).

A interpretação da Cromatografia de Pfeiffer leva em consideração os anéis ou zonas que são formados no cromatograma (Figura 1). Ao todo no cromatograma são formadas cinco regiões, denominadas de zonas. A zona central localizada no centro do cromatograma refere-se a condição do solo nos aspectos de qualidade ruim, nitrificado ou boa qualidade; a zona interna, que é o segundo anel, refere-se a zona dos minerais e pode interagir com outras zonas

dependendo do solo; a zona externa, que é o terceiro anel a ser formado pode expressar a ausência ou presença de matéria orgânica e a atividade microbiana; a zona externa pode expressar o potencial de nutrientes do solo, a concentração de húmus disponível, além da atividade enzimática e microbiológica; a zona periférica, região que não é atingida pelos reagentes, é utilizada como uma região de manipulação e identificação do croma (RIVERA; PINHEIRO,2011).

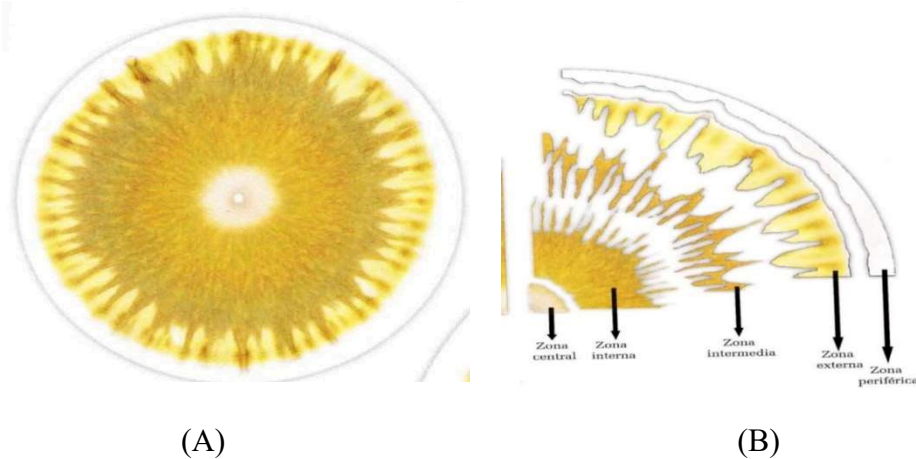


Figura 6. Cromotografia de Pfeiffer (A); Zonas (B)

4 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas em quatro áreas do município de Monte Carmelo-MG, denominadas de propriedade A e B (Cultivo de hortaliças em manejo convencional), C (Transição agroecológico) e D (Pastagem com bovinocultura para produção de leite), todas pertencentes à categoria social da agricultura familiar. Para cada área foram coletadas amostras de solo sob fragmento de vegetação nativa. Foram coletadas cinco amostras compostas em cada área, na profundidade de 0-20 cm.

Figura 7 – Área de cultivo de hortaliças em manejo convencional onde foram coletadas as amostras, no Município de Monte Carmelo.



Fonte: o autor (2022)

Figura 8 – Área de cultivo de hortaliças em manejo convencional onde foram coletadas as amostras, no Município de Monte Carmelo.



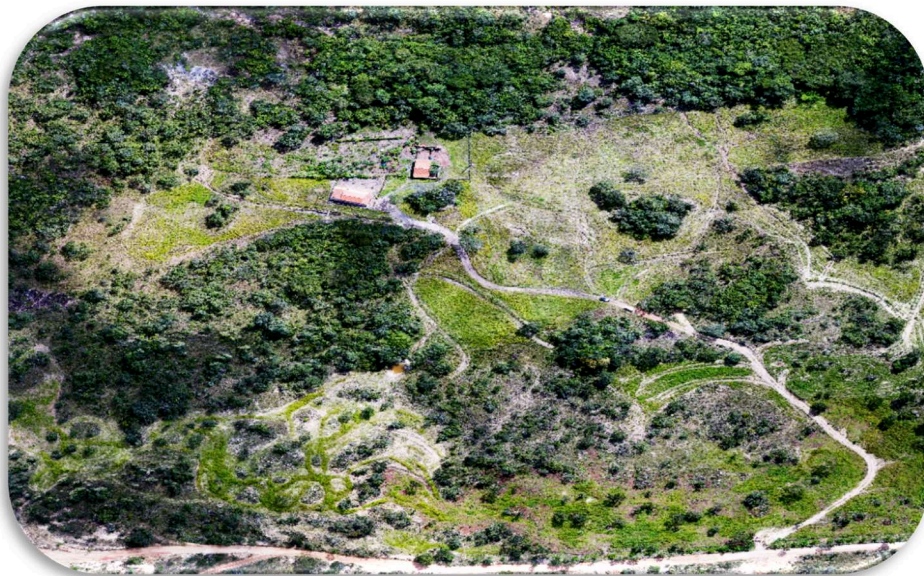
Fonte: o autor (2022)

Figura 9 – Área de cultivo de hortaliças em manejo em transição agroecológico onde foram coletadas as amostras, no Município de Monte Carmelo.



Fonte: o autor (2022)

Figura 10 – Área de pastagem onde foram coletadas as amostras, no Município de Monte Carmelo.



Fonte: o autor (2022)

Figura 11 – Imagens da área da propriedade C no momento da coleta de amostra de solo



Fonte: o autor (2022)

A determinação do pH em água foi realizada de acordo com Embrapa (2011). Foram pesadas amostras de 10mL de solo acondicionadas em frascos plásticos. Em seguida foram adicionados 25mL de água destilada, agitando-se a amostra com bastão de vidro individual e deixando em repouso por uma hora. Logo após agitou-se a amostra e o pH foi determinado em medidor de pH modelo mPA-210 TECNOPON.

A determinação da condutividade elétrica foi realizada em suspensão de solo na proporção de 1:2,5 (10 g de solo e 25,0 mL de água deionizada). As amostras foram agitadas e posteriormente deixadas em repouso até a sedimentação do material em suspensão, fazendo-se em seguida a leitura da condutividade elétrica no sobrenadante com um condutímetro modelo mCA-100 TECNOPON (ALMEIDA et al., 2012).

A atividade microbiana do solo foi avaliada pela determinação da respiração basal do solo (RBS), cujo procedimento foi realizado conforme metodologia descrita por Dionísio et al. (2016). Inicialmente foi determinada a capacidade de retenção de água (CRA) e posterior correção da umidade para 60,0% da CRA, com água destilada. A massa referente a 100,00 g de

solo úmido, previamente peneirado, em peneira de abertura de 2,00 mm, foi pesada e transferida para um frasco de vidro com tampa hermética. Dentro do frasco de vidro foi colocado um tubo de ensaio contendo 10,0 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ padronizado para capturar o CO₂ produzido e outro tubo de ensaio contendo 10,0 mL de água destilada para manter a umidade do ambiente do frasco. Para cada dez frascos de vidro a serem incubados, foi realizado uma prova em branco, que corresponde a um frasco contendo apenas um tubo de ensaio com 10 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ padronizado e outro contendo 10,0 mL de água destilada. Os frascos de vidro foram fechados hermeticamente e incubados em temperatura ambiente por uma semana (168 h). Após o período de incubação, retirou-se dos frascos de vidro os tubos de ensaio contendo NaOH, cuja solução foi transferida para erlenmeyer de 125,0 mL, onde foram adicionados 1,0 mL de BaCl₂ (10% m/V) e duas gotas de fenolftaleína. O excesso de NaOH foi titulado com HCl 0,5 mol. L⁻¹.

A avaliação do carbono lábil foi realizada em duplicata, segundo Blair et al.(1995), adaptado por Shang e Tiessen(1997). Pesou-se 1,0 g de terra fina seca ao ar (TFSA) de peneira de malha menor que 0,5 mm, sendo transferida para um tubo falcon de 50,0 mL envolto com papel alumínio. Foram adicionados 25,0 mL da solução de KMnO₄ 0,033 mol L⁻¹, agitados por 1 hora, e em seguida centrifugados por 5 minutos. Após centrifugação, 40 µL do sobrenadante foram pipetados em tubos de ensaio, completando o volume com 10,0 mL com água. Após isso, foi feita a leitura em espectrofotômetro UV-Vis, modelo DR4000, da HACH em comprimento de onda de 565 nm. A concentração residual de KMnO₄ após a reação com a fração lábil da matéria orgânica presente no solo, foi determinada por curva de calibração construída a partir de uma solução estoque de KMnO₄, 0,00060 mmol L⁻¹. A mudança na concentração de KMnO₄ foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado, assumindo que 1 mmol L⁻¹ de KMnO₄ é consumido na oxidação de 0,75 mmol ou 9 mg de carbono.

Para determinação de fósforo assimilável foi utilizada metodologia de acordo com a Embrapa (2011). Inicialmente foram adicionados 5 cm³ de solo em erlenmeyers de 125 mL e então adicionados 50 mL de solução extratora (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). A mistura resultante foi agitada durante 5 minutos no agitador circular horizontal, sendo posteriormente colocada para decantar durante uma noite, tendo antes o cuidado de desfazer os montículos que se formaram no fundo dos erlenmeyers. Pipetou-se um volume do extrato da amostra, definido com base na faixa linear de resposta da curva de calibração, para tubo de ensaio com capacidade de 10,0 mL, no qual foi também adicionado 3,0 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída e 0,2 mL de ácido ascórbico (1,5 % m/V) e completando o volume

até 10,0 mL com água destilada. Soluções padrões (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mg L⁻¹), em triplicata, preparadas a partir de solução estoque de KH₂PO₄ (25,0 mgL⁻¹de P), 3,0 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída e 0,2 mL de ácido ascórbico (1,5 % m/V), foram utilizadas para obtenção da curva de calibração. Tubos de ensaio contendo as soluções padrões e as amostras foram agitadas manualmente durante 1 a 2 minutos e deixadas em repouso por uma hora. Após esse período fez-se a leitura da absorvância, no comprimento de onda de 660 nm, em espectrofotômetro UV-Vis, da HACH, modelo DR 4000.

A matéria orgânica foi avaliada conforme metodologia adaptada de Raij et al. (2001), onde 0,0125 g de TFSA com granulometria menor que 100 mesh foi colocada em tubo de ensaio de 10,0 mL. Em seguida, foi adicionado 0,5 mL de solução de K₂Cr₂O₇, 0,167 mol L⁻¹ e 0,5 mL de H₂SO₄ concentrado. O tubo foi agitado manualmente e deixado em repouso por 30 minutos. Após esse período foi acrescentado 2,5 mL de água destilada e em seguida aquecido a 120°C por 30 minutos em bloco digestor. Após esse período, o tubo de ensaio foi deixado em repouso por 24 horas. Sem agitação, parte do sobrenadante foi transferido para uma célula espectrofotométrica e a absorvância lida a 650 nm em espectrofotômetro UV-Vis, da HACH, modelo DR 4000, previamente acertado o zero com prova em branco. O teor de matéria orgânica foi calculado por uma curva de calibração construída a partir de soluções de padrões de sacarose (20, 40, 60, 80,100,120,140,160 mg L⁻¹ de Carbono), utilizada para calcular a concentração de carbono na amostra de solo em g kg⁻¹, e o fator de 1,724 foi utilizado para converter o valor da concentração de carbono em teor de matéria orgânica no solo.

As amostras de solo foram avaliadas por cromatografia circular de Pfeiffer (CCP) conforme a metodologia adaptada de Pinheiro (2011) e Pilon et al. (2018). As substâncias do solo foram extraídas com solução de hidróxido de sódio (1,0 % m/V) e distribuídas quantitativamente no papel de filtro impregnado previamente com nitrato de prata (0,5% m/V). Posteriormente, os cromatogramas foram expostos durante três dias consecutivos, à iluminação indireta, em condições ambientais de dias ensolarados. Após revelação, os cromatograma foram digitalizados a fim de preservar a qualidade das imagens.

Os cromatogramas foram avaliados visualmente, de forma qualitativa, considerando a presença de quatro regiões: zona central (ZC), zona interna (ZI), zona intermediária (ZM) e zona externa (ZE). Essa avaliação qualitativa foi categorizada utilizando um parâmetro de escalas de notas (Soiltech Solutions), com modificações descritas a seguir: para ZC foram considerados os critérios tamanho e coloração, para a ZI, foram avaliadas linhas radiais e

integração com as demais zonas, para ZM avaliou-se tamanho e forma das terminações, e para ZE, avaliou-se coloração e formato. Também foi avaliado a relação entre o tamanho das zonas (RZ).

Os resultados obtidos foram submetidos a testes de homogeneidade das variâncias (teste de Levene, $p > 0,05$) e a normalidade dos resíduos (teste de Anderson – Darling, $p > 0,05$). Quando as variâncias não foram homogêneas ou os resíduos não seguiram a normalidade, foi aplicado log ou raiz quadrada nas variáveis, visando atender os pré-requisitos necessários para se aplicar testes de médias de variáveis paramétricas. As médias das variáveis paramétricas foram submetidas à análise de variância (teste de Levene) e teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5%. Todos os testes foram realizados utilizando software estatístico R (R CORE TEAM., 2016). Todos os gráficos foram elaborados por meio do software livre SciDAVis (SciDavis, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cromatogramas (Figura 12, 13, 14 e 15) foram avaliados por zonas: zona central, zona interna, zona intermediária, zona externa e as relações mutuas das zonas entre si, além da transição entre elas. As notas dos cromatogramas de solo foram atribuídas a partir de escala elaborada por laboratório holandês (Soiltech Solution), e no final foi feito uma média das avaliações, cujos resultados estão apresentados na tabela 1.

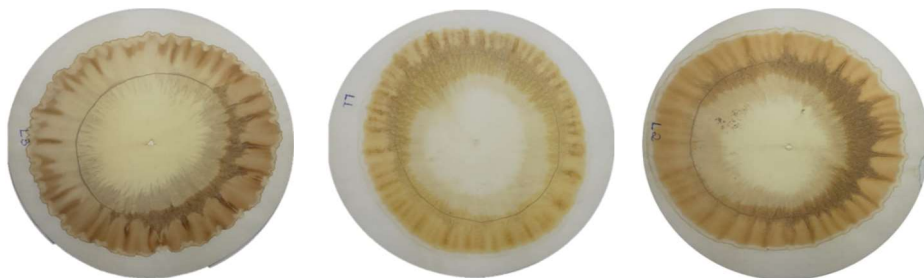
A zona central (ZC) fornece uma imagem da fertilidade do solo de forma geral, cujas características observadas no cromatograma são cor e tamanho dessa região cromatográfica. A coloração branca dessa região cromatográfica indica boas condições de fertilidade gerais do solo sendo categorizada uma pontuação que pode variar de 8,0 a 10,0 pontos. Os solos com maiores valores para cor da ZC, foram aqueles onde se pratica o cultivo com hortaliças com práticas de manejo com transição agroecológica, cuja pontuação média para essa característica cromatográfica foi de 8,0 pontos (Tabela 1).

Figura 12 - Cromatogramas de amostras de solo sob cultivo hortaliça com manejo convencional (HC).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 13 - Cromatogramas de amostras de solo sob cultivo de hortaliça com manejo em transição agroecológica (HA).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 14 - Cromatogramas de amostras de solo sob vegetação nativa do bioma cerrado (VN).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 15 - Cromatogramas de amostras de solo sob pastagem (PAS).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Os demais sistemas de uso do solo apresentaram pontuação dentro dessa categoria de pontuação, que os permitiram classificá-los como solos com boa fertilidade e não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 0,05. Os sistemas de uso, VN, PAS e HC, apresentaram uma cor da ZC intermediária indicando que esses solos não têm condições boas de fertilidade, mas também não apresentaram nenhum fator de perturbação, pois as pontuações dessa característica cromatográfica apresentaram pontuações entre 4,0 e 7,0.

Outra característica cromatográfica da ZC, é o tamanho, onde caso seja observado um tamanho pequeno ou muito grande em relação às demais regiões cromatográficas, pode indicar uma má condição do solo em termos de fertilidade. Todos os tratamentos apresentaram o tamanho da ZC categorizados entre 4 e 7, indicando que todos os solos apresentaram condições medianas de qualidade, sendo destaque mais uma vez para HA e HC, já que apresentaram maiores valores em relação aos solos com VN e PAS, aja visto que os mesmos não receberam aplicação de fertilizantes seja mineral, no caso do HC, ou orgânico no caso do solo HA.

Tabela 1- Características cromatográficas em função do sistema de produção.

Tratamento	CorZC	TamZC	ZI	ZM	ZE	RZ
HA	8,0 a	6,0 a	2,0 b	3,7 b	6,7 a	0,17 a
HC	5,4 b	7,0 a	3,6 b	4,3 b	5,1 b	0,16 a
VN	4,5 b	5,0 b	3,8 b	4,8 b	5,8 b	0,11 a
PAS	4,3 b	4,9 b	6,6 a	6,8 a	5,0 b	0,02 b
CV(%)	16,8	15,4	21,0	22,1	10,7	3,5

CorZC: cor da zona central; TamZC: tamanho zona central; ZI: zona interna; ZM: zona intermediária; ZE: zona externa; RZ: relação entre o tamanho das zonas.

A zona interna (ZI) pode ser relacionada com capacidade de aeração e retenção de umidade do solo, que está correlacionada a uma estruturação do solo construída pela ação de microrganismos, além de indicar a utilização de práticas de manejo com uso de máquinas agrícolas ou que não privilegiam menos revolvimento e compactação do solo. As linhas radiais

claras devem estar presentes nesta região cromatográfica estendendo-se do centro do cromatograma, indicando uma boa aeração do solo, o que permite categorizar uma pontuação para essa zona em valores que vão de 8 à 10 pontos. (SOLTEICH SOLUTION, 2008).

Se essas linhas radiais não estiverem presentes, a aeração do solo e, portanto, a capacidade de retenção de umidade estão comprometidas e provavelmente esse solo está sob uma situação de manejo que está provocando sua compactação, o que categoriza uma pontuação de 1 à 3 pontos para essa região cromatográfica. Uma situação de categorização de pontuação mediana para essa região, indica uma situação média na aeração e compactação do solo, sendo atribuída de 4 à 7 pontos.

Os solos HA, HC apresentaram pontuações menores que 4,0 pontos, indicando uma baixa aeração e solos compactados, sendo que apenas o solo sob pastagem (PAS) apresentou uma pontuação media, indicando uma melhor aeração e menor compactação em relação aos demais solos, o que pode ser atribuído a presença de gramíneas (SALTON et al., 2008). Em específico os solos sobre vegetação nativa também apresentaram valores de pontuação baixos para essa região cromatográfica, o que pode ser atribuído a situações de contaminação ambiental, ou excesso de umidade, o que proporciona processos anaeróbicos nesses solos (MICHEREFF; ABDRADE; MENEZES, 2005).

A zona intermediária do cromatograma fornece informações sobre aspectos biológicos do solo, em específico a riqueza e diversidade de organismos e microrganismos presentes no solo. A borda dessa região cromatográfica deve ser pontiaguda e longa, caso contrário é um indicativo de que a atividade microbiana no solo é baixa (SOILTECH SOLUTION, 2008).

Regiões cromatográficas intermediárias que apresentam formas pontiagudas, distribuídos uniformemente e longas apresentam pontuações categorizadas de 8,0 à 10,0 pontos. Caso a região cromatográfica apresente formas difusas sem características de terminação pontiaguda, são categorizadas com pontuação de 1 à 3. Já em regiões intermediárias que apresentam formas pontiagudas, porém estreitas são categorizadas com pontuação de 4 à 7.

Os solos HA, HC e VN apresentaram valores intermediários de pontuação para essa região cromatográfica, e se diferenciaram em relação a solo PAS, que apresentou uma maior valor de pontuação de ZI, provavelmente devido ao ambiente da rizosfera das gramíneas proporcionar condições favoráveis a atividade de organismos e microrganismo entretanto, apesar de ser superior aos demais solo, o solos PAS não apresentou pontuação que permitisse

classifica-lo como condições ótimas para organismos e microrganismo, o que pode ser atribuído a situação de uso desse solo para a bovinocultura de leite.

A zona externa, segundo laboratório Soiltech Solution (2008), exhibe o estado do húmus do solo, o estado da matéria orgânica, se a matéria orgânica foi recentemente incorporada ao solo e se está em fase inicial de metabolização, ou se está em estágio mais avançado, na forma de húmus. Nessa região cromatográfica, em específico pode ser categorizado a presença de terminações no formado de nuvens e a coloração dessa região. Caso essa região apresente uma coloração marrom claro ou bege com presenças de terminações no formato de nuvens é indicativo de um solo com boas quantidades de matéria orgânica e com presença de húmus.

Caso o solo apresente matéria orgânica em início de metabolização, que pode ter sido carbonizada, isso se manifestará com a presença de uma borda marrom escura nessa região cromatográfica e nesse sentido a pontuação poderá ser categorizada de 1 à 3 pontos. Nenhum dos cromatogramas tal característica. Entretanto, apresentaram essa região cromatográfica com pontuação intermediária, ou seja, de 4 à 7, indicando a presença de matéria orgânica parcialmente metabolizada ou parcialmente humificada. O solo sob cultivo de HA, apresentou diferença significativa pelo teste Tukey, ao nível de significância 0,05 apresentando uma pontuação de 6,7. No entanto, nenhum dos cromatogramas apresentou essa região cromatográfica de cor bege e ampla, indicando que maior parte da matéria orgânica no solo não se encontra em estágio avançado de humificação.

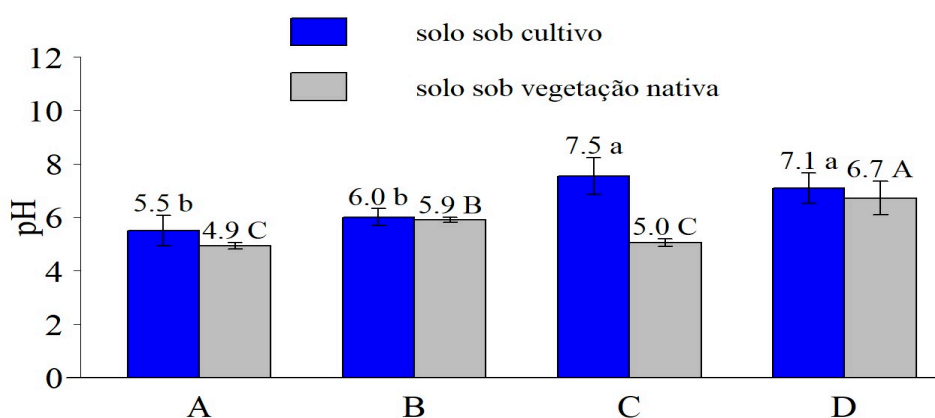
A relação ou a proporção entre tamanho das regiões cromatográficas (RZ) indica que o solo apresenta umidade adequada, boa atividade microbiana e matéria orgânica em processo de estabilização. Essa característica cromatográfica não foi categorizada em uma pontuação de 1 a 10 pontos, sendo apresentado apenas os valores da razão entre o raio de cada região cromatográfica (Tabela 1). Os solos PAS foram aqueles que apresentaram menor RZ se diferenciando dos demais pelo teste de Tukey ao nível de significância 0,05. Para os demais solo essa característica cromatográfica não apresentou diferença entre si.

Outra característica cromatográfica que não foi categorizada em pontuação de 1 à 10 pontos, foi a transição entre as diferentes regiões cromatográficas, onde a fusão entre as regiões é um indicativo de um solo de boa qualidade, que se traduz em boa atividade microbiana, presença de matéria orgânica em estabilização e com uma estrutura física não comprometida. Verificando os cromatogramas das figuras 5, 6, 7 e 8 essa característica é observada nos

cromatogramas do solo HA e na maioria dos solos de VN, sendo pouco evidenciada nos solos de PAS e HC.

Os solos dos diferentes tratamentos também foram avaliados em relação ao pH em água, condutividade elétrica, concentração de fósforo assimilável, concentração de potássio, matéria orgânica, fração lábil da matéria orgânica (concentração de carbono lábil) e atividade microbiana (avaliada pela respiração basal do solo-RBS), avaliados por metodologias de análise convencionais, no sentido de verificar correlações entre as características cromatográficas e atributos do solo, (Figura 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22).

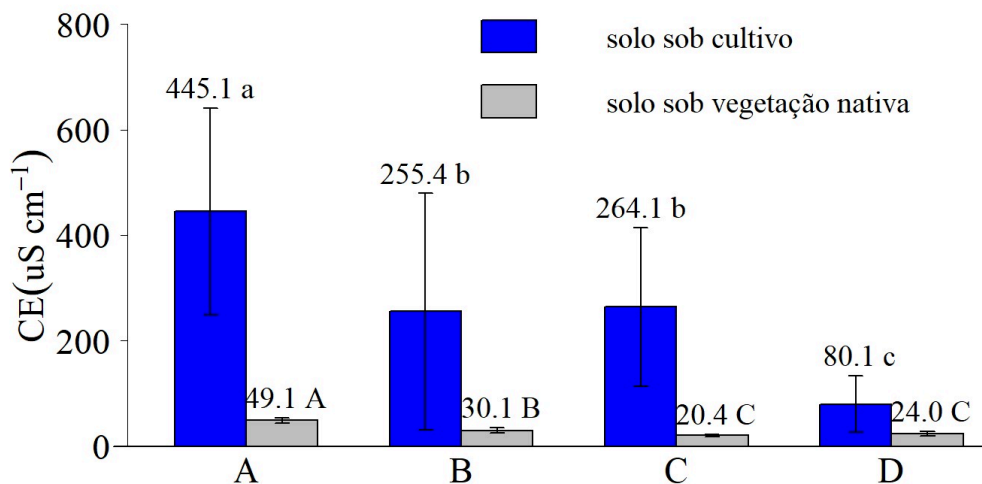
Figura 16 – pH do solo sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Os solos das propriedades C e D, sob cultivo apresentaram valor de pH próximo a neutralidade como pode ser observado na Figura 16, visto que para o solo da propriedade A esse valor mais elevado pode ser atribuído a prática de manejo que prioriza a adubação orgânica, o que promove a imobilização do Al no solo e conseqüentemente uma menor acidez ativa (MÜLLER, 2012), enquanto o solo da propriedade D a menor acidez observada para esse solo pode ser atribuído a adição de resíduos lignocelulósicos pirolisados, que segundo Schomberg et al. (2012) pode acarretar o aumento do pH do solo. O solo de todas as propriedades que estão sob vegetação nativa do bioma cerrado apresentou valores de pH que corroboram com a característica de maior acidez da maioria dos solos desse bioma (NOGUEIRA, M. A. et al., 2019). O valor médio de pH para os solos sob cultivo, das propriedades A e B, é um indicativo de que o manejo convencional, que não prioriza a adição de matéria orgânica, necessita da adição de corretivo, sendo mais evidente no solo sob cultivo da propriedade A.

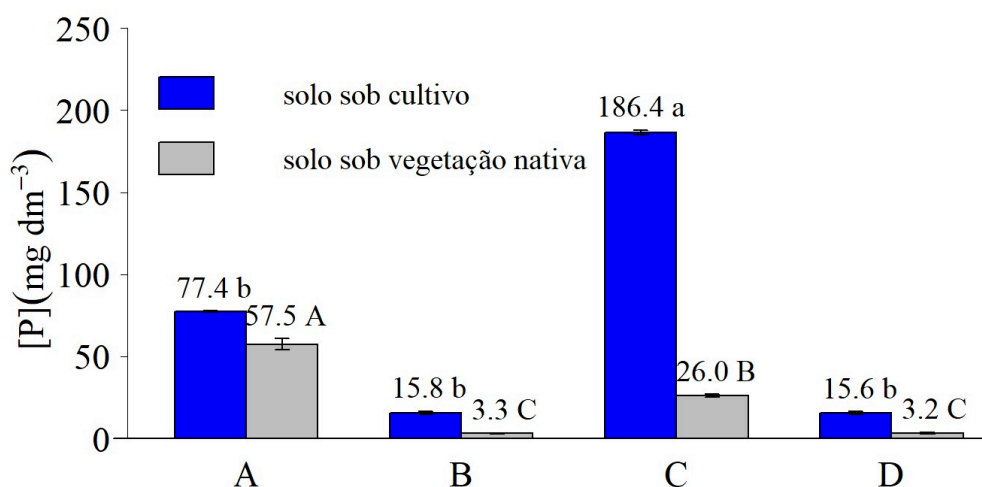
Figura 17 – CE sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

A condutividade elétrica (CE) (Figura 17) permite avaliar a concentração de sais o solo, tendo relação com a capacidade de troca de cátions do solo, onde solos com maior capacidade de troca catiônica (CTC) apresentam valores mais elevados deste atributo (CORASSA, et al., 2016). A condutividade elétrica (CE) também pode ser utilizada para verificar e confirmar a fertilização convencional do solo, pelo uso de adubos químicos. A propriedade A, onde foi evidenciado a fertilização convencional, apresentou maior valor de CE do solo em comparação com os solos das propriedades B e C, cuja fertilização é prioritariamente orgânica, seguidas da propriedade D, com menor valor de CE, onde não ocorreu adubação do solo devido ao manejo da pastagem não exigir adubação mais frequente como no cultivo de olerícolas. A influência do manejo do solo é evidente quando se compara os resultados de CE do solo sob cultivo com os valores de CE do solo sob vegetação nativa, com baixa CE, característico do solo do bioma cerrado e também devido a não adição de adubos e corretivos. Em específico o solo sob cultivo da propriedade D apresentou CE maior que o solo sob vegetação nativa, podendo tal fato, ser atribuído a adição de material lignocelulósico pirolisado (PASCUAL, M. B. et al., 2020).

Figura 18 – Fósforo disponível sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

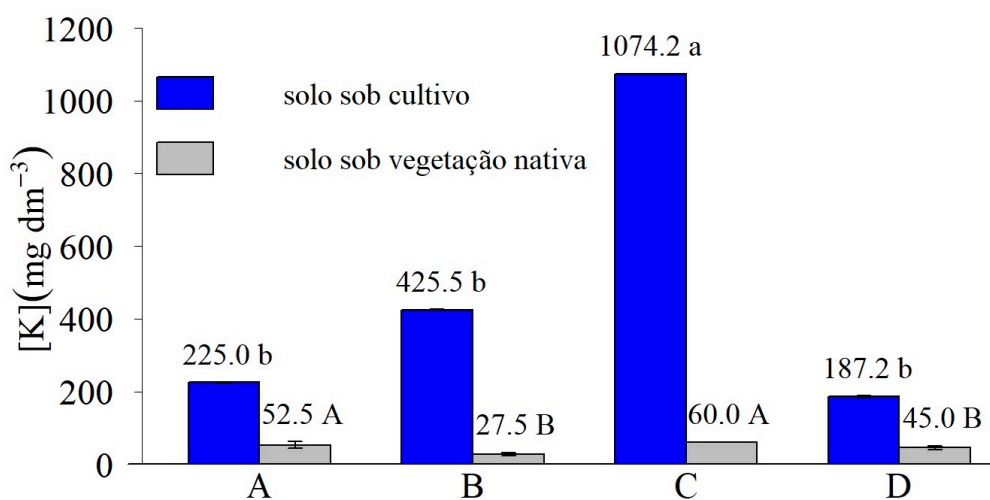
O fósforo do solo é distribuído em formas que variam com a natureza química do ligante e a energia de ligação entre o solo e este elemento. Quanto à natureza do ligante, o P pode ser encontrado como P orgânico e P inorgânico em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos, entre outros (SCHMITT, et al., 2019). Assim, as formas de P do solo têm diferentes capacidades de dessorção e abastecimento da solução do solo, segundo sua natureza química e energia de ligação. Do ponto de vista da Fertilidade do Solo, independentemente da natureza química, o P é dividido de acordo com a facilidade de reposição da solução do solo. Em específico esse trabalho avaliou as concentrações de fósforo disponíveis na solução do solo, ou seja, o fosforo prontamente assimilável pelas plantas.

Concentrações maiores de P (Figura 17) foram observadas no solo da propriedade C, o que pode ser tanto um indício da aplicação de fertilizante fosfatado. No entanto, práticas de manejo que privilegiam o aumento da atividade microbiana no solo sob cultivo, o que pode ser confirmado pelos elevados valores de RBS (Figura 22), pode ter contribuído para solubilização das formas de P no solo dessa propriedade (DE OLIVEIRA et al., 2017). Os solos sob cultivo das propriedades B, D e A, não foram evidenciados o uso de práticas que privilegiam o aumento da atividade microbiana no solo, portanto menores valores de P foram observados nessas propriedades, em relação ao solo da propriedade C.

As concentrações de P nos solos sob vegetação nativa foram menores quando comparadas com as dos solos sob cultivo, o que já era esperado, pois esses solos não recebem

adubação e corretivos. Entretanto, valores mais elevados, no solo sob vegetação nativa das propriedades A e C, podem ser um indicio de influência do manejo do solo sob cultivo, que devido a sua localização, próxima as áreas com solo sob vegetação e o relevo da propriedade podem estar favorecendo a contaminação dos solos sob vegetação nativa com fósforo advindo do manejo dos solos sob cultivo.

Figura 19 –Potássio sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.

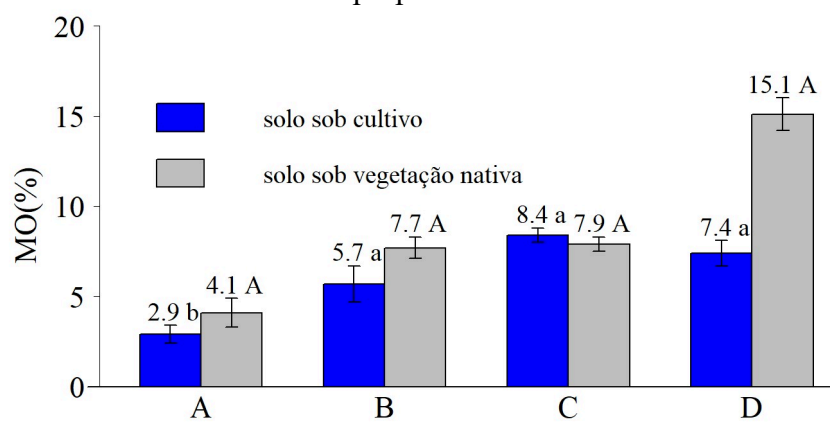


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

O potássio pode ser encontrado em quatro formas no solo: trocável, não trocável, mineral e em solução, no entanto, os solos do Cerrado apresentam baixos teores de potássio trocável e em solução, sendo o nutriente mais exigido pelas culturas o que requer doses elevadas de fertilizante potássico para obtenção de altas produtividades (DINIZ et al., 2007). Em específico, as concentrações de potássio avaliadas foram a soma da forma trocável e em solução (Figura 19).

Para o solo sob cultivo, verifica-se maiores valores de K no solo da propriedade C, o que pode ser atribuído a utilização fertilizante ou corretivo a base de potássio, como por exemplo, fertilizante a base de KCl, apresenta elevada solubilidade em água. No entanto, devido ao fato da situação de manejo do solo da propriedade C, privilegiar o aumento da atividade microbiana, isso pode estar promovendo a solubilização de potássio na forma mineral. Outro fato que pode ter provocado esse aumento nos teores de K do solo sob cultivo na propriedade C, é a valorização da matéria orgânica no sistema de cultivo dessa propriedade, que segundo Brito et al. (2014), o incremento de matéria orgânica no solo pode provocar a retenção de potássio em superfície, reduzindo assim a sua mobilidade e perda por lixiviação.

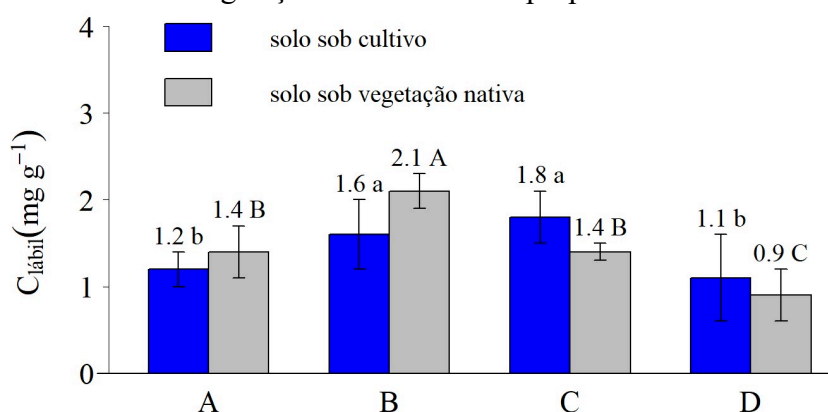
Figura 20 –Matéria orgânica sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

As concentrações de matéria orgânica (MO) no solo sob cultivo (Figura 20) não apresentaram diferenças significativas ao nível de significância de 0,05, com exceção do solo da propriedade A, onde se pratica o sistema de manejo convencional que não privilegia a fertilização com resíduo orgânico compostado, sendo observado valor de MO menores (BORGES,2017).

Figura 21 –Fração lábil da matéria orgânica ($C_{\text{lábil}}$) sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



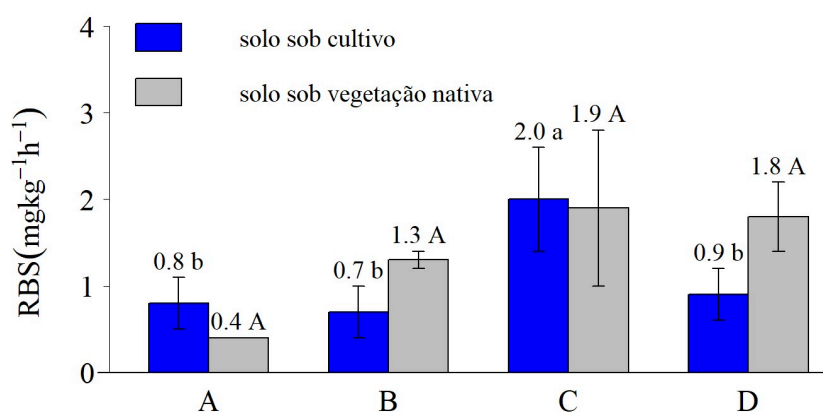
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

O carbono lábil ($C_{\text{lábil}}$) pode ser definido em função do tipo de metodologia experimental de fracionamento da matéria orgânica que pode ser química, física ou biológica. As frações da matéria orgânica do solo lábil, como o carbono da biomassa microbiana, o carbono orgânico

dissolvido, o carbono orgânico particulado e os níveis de carbono oxidável por KMnO_4 são caracterizadas por sua rápida rotatividade, e são recomendadas como indicadores iniciais dos efeitos das práticas de manejo e qualidade do solo (BONGIORNO, G. et al., 2019). O carbono lábil ($\text{C}_{\text{lábil}}$) pode indicar a fração da matéria orgânica do solo facilmente utilizada por microrganismo, além de informar se há utilização de matéria orgânica e esse uso foi recente ou não, pois valores maiores de $\text{C}_{\text{lábil}}$ são observados para uma matéria orgânica que está a mais tempo no solo e sob a ação de microrganismo.

Os resultados de $\text{C}_{\text{lábil}}$ para solo sob cultivo (Figura 21) evidenciam uma matéria orgânica a mais tempo no solo. Para as propriedades B e C, em virtude do manejo priorizar o uso de matéria orgânica, e em específico da propriedade C, os valores de $\text{C}_{\text{lábil}}$ foram superiores aos teores no solo sob vegetação nativa, mais um comportamento que comprova a valorização do uso de matéria orgânica associado ao aumento da atividade microbiana (Figura 23) na propriedade C, pois a matéria orgânica em solos sob vegetação nativa se encontra a mais tempo no solo sofrendo maior ação de microrganismo (solo das propriedades A e B). No solo da propriedade D esperava-se maiores valores de $\text{C}_{\text{lábil}}$ no solo sob vegetação nativa, entretanto, foi observado o oposto, provavelmente devido a adição de material lignocelulósico pirolisado.

Figura 22–Atividade microbiana expressa pela respiração basal (RBS) sob produção comparado com o solo sob vegetação nativa em cada propriedade.



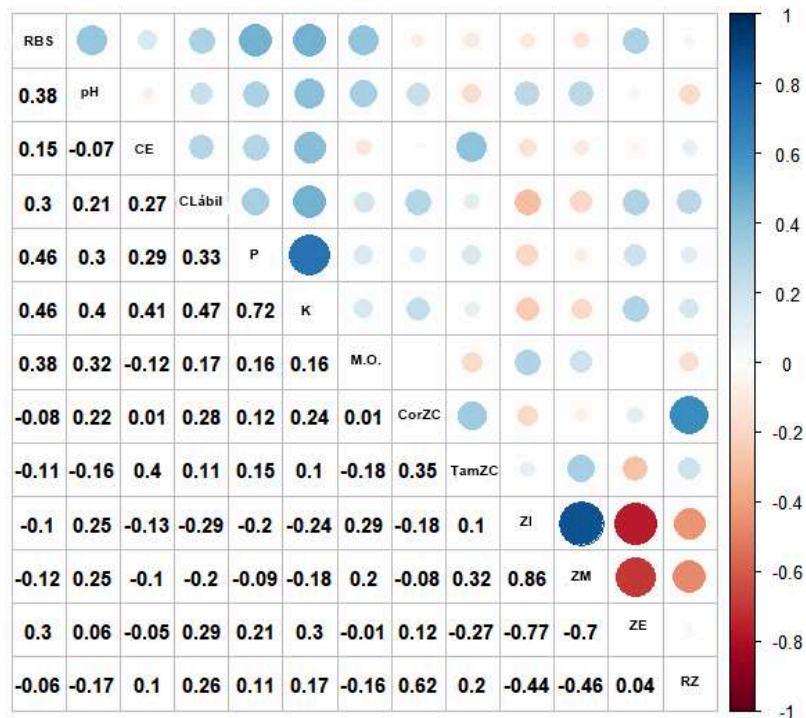
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Os resultados de Respiração Basal do Solo (RBS) (Figura 22) informam sobre a atividade microbiana no solo, a qual pode estar relacionada às práticas de manejo do solo. Por exemplo, a atividade microbiana pode ser elevada em função da cobertura de canteiro com palhada, o que aumenta a umidade do solo, a utilização de substratos orgânicos compostados,

biofertilizantes, além de referendar a ausência de utilização de herbicidas e inseticidas, o que normalmente provoca a diminuição da atividade microbiana do solo, o que pode ser atribuído aos maiores valores de RBS observados no solo sob cultivo da propriedade C, o que já não foi observado no solo sob cultivo das demais propriedades.

A figura 23 mostra os coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis cromatográficas e atributos do solo.

Figura 23 - Correlação de Pearson para atributos do solo e características avaliadas na cromatografia circular de Pfeiffer



CorZC: cor da zona central; TamZC: tamanho zona central; ZI: zona interna; ZM: zona intermediária; ZE: zona externa; RZ: relação entre o tamanho das zonas. pH: potencial hidrogeniônico avaliado em água; RBS: atividade microbiana; CE: condutividade elétrica; Clábil: fração lábil da matéria orgânica; P: fósforo assimilável; K: concentração de potássio; M.O.: matéria orgânica total.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

De acordo com Devore (2006), a cor da zona central do cromatograma (CorZC) apresentou correlação fraca para K ($r=0,24$; $p < 0,05$), C lábil ($r=0,28$; $p < 0,05$). O tamanho da zona central (TamZC) apresentou correlação moderada em relação a variável CE ($r=0,4$; $p < 0,05$). A zona interna do cromatograma (ZI) apresentou correlação fraca com as variáveis pH ($r=0,25$; $p < 0,05$), Clábil ($r = -0,29$; $p < 0,05$), K ($r = -0,24$; $p < 0,05$), M.O. ($r = 0,29$; $p < 0,05$) enquanto que a zona intermediária (ZM) apresentou correlação fraca apenas com o pH ($r=0,25$; $p < 0,05$). A zona externa (ZE) apresentou correlação fraca com as variáveis RBS($r=0,3$; $p <$

0,05), $C_{\text{lábil}}$ ($r=0,29$; $p < 0,05$), K ($r=0,3$; $p < 0,05$) enquanto que a razão entre as zonas cromatográficas (RZ) apresentou correlação fraca apenas com a variável $C_{\text{lábil}}$ ($r=0,26$; $p < 0,05$).

6 CONCLUSÕES

Concluiu-se com a pesquisa que as características cromatográficas cor da zona central, tamanho zona central, zona interna, zona intermediaria, zona externa e a relação entre o tamanho das zonas apresentaram diferenças significativas em relação aos sistema de uso do solo e também apresentaram correlação com as variáveis pH, atividade microbiana, condutividade elétrica, fração lábil da matéria orgânica, fósforo assimilável, concentração de potássio e matéria orgânica total do solo, o que permite aplicar a cromatografia de Pfeiffer como ferramenta de análise complementar aos métodos convencionais de avaliação da fertilidade de solo do bioma cerrado sob diferentes sistemas de uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALMEIDA, B. G. et al. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Comunicado técnico. Embrapa, Rio de Janeiro, p. 11, 2012.

BORGES , S Z. Manejar a matéria orgânica do solo é manejar a qualidade do sistema do solo. **Embrapa**, [s. l.], 23 jan. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/19773148/manejar-a-materia-organica-do-solo-e-manejar-a-qualidade-do-sistema-do-solo>. Acesso em: 8 jul. 2020.

BONGIORNO, G. et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 38-50, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems.

Australian Journal of Agricultural Research, v. 46, p.1459-1466, 1995.

<https://doi.org/10.1071/AR9951459>

CORASSA, G. M. et al. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1306-1316, 2016.

<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900030>

BRITO, O. R. et al. A influência dos resíduos culturais na mobilidade vertical do potássio no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, pág. 3043-3051, 2014.

<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3043>

CLUZEAU, D. et al. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. **European Journal of Soil Biology**, v. 49, p. 63-72, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.11.003>

DE AQUINO, Adriana Maria et al. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.

DE OLIVEIRA M. G. et al. Fermentation liquid containing microbially solubilized P significantly improved plant growth and P uptake in both soil and soilless experiments. **Applied Soil Ecology**, v. 117, p. 208-211, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.008>

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2006. 706 p.

DINIZ, S. F.; BASTOS, F. O. M.; LIMA, R. H. C.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Fontes de potássio não trocável e potássio total em quatro solos do Estado do Ceará. **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 379-386, 2007.

DIONÍSIO, Jair Alves; PIMENTEL, Ida Chapaval; SIGNOR, Diana. Respiração microbiana: Respiração basal do solo. In: DIONÍSIO, Jair Alves et al. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Nepar, 2016. Cap. 12. p. 72-75.

DONAGEMA, G. et al. Manual de métodos de análise de solo. 2nd. Rio de Janeiro, Brazil: EMBRAPA Solos, 2011.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B. Definindo e avaliando a qualidade do solo. Definindo a qualidade do solo para um ambiente sustentável, n. definesoilqua, p. 1- 21, 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil Health and sustainability; managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, p.3-11, 2000.

[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)

EMBRAPA. Documentos 132 Manual de Métodos de Análise de Solo. **Embrapa Solos**, n. ISSN 1517-2627, p. 230, 2011.

FRANCISCO, J. P.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. D. B.; SILVA, J. G. B. Monitoramento da condutividade elétrica e pH da solução do solo sob diferentes doses de aplicação de vinhaça. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa -Mg, v. 23, n. 6, p.552-561, 2015.

<https://doi.org/10.13083/1414-3984/reveng.v23n6p552-561>

IUPAC. 1997. Compendium of chemical terminology. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific.

JOIMEL, Sophie et al. Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. **Science of the Total Environment**, v. 545, p. 40-47, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.035>

KOKORNACZYK, M. O. et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 33, n. 3, p. 143-157, 2017.

<https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1214889>

LELAGO, A.; BURAKA, T. Determination of physico-chemical properties and agricultural potentials of soils in Tembaro District, KembataTembaro Zone, Southern Ethiopia. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 8, n. 2, p. 118-130, 2019.

<https://doi.org/10.18393/ejss.533454>

MÜLLER, D. H. **características de adubos orgânicos, efeitos no solo e no desempenho da bananeira**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

MICHEREFF, S.J; ABDRADE, D.E.G.T; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE**, p. 61-92, 2005.

NOGUEIRA, M. A. et al. Aluminum-accumulating Vochysiaceae species growing on a calcareous soil in Brazil. **Plant and Soil**, v. 437, n. 1, p. 313-326, 2019.

<https://doi.org/10.1007/s11104-019-03978-2>

NYAMSHA, D.; KANSAL, M. L. Describing soil quality with aggregate index for Msange irrigation scheme of Tanzania. **Soil Use and Management**, v. 34, n. 3, p. 418-426, 2018.

<https://doi.org/10.1111/sum.12436>

PASCUAL, M. B. et al. Linking biochars properties to their capacity to modify aerobic CH₄ oxidation in an upland agricultural soil. **Geoderma**, v. 363, p. 114179, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114179>

PILON, L. C.; CARDOSO, J. H.; MEDEIROS, F. S. Guia prático de cromatografia de Pfeiffer. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**. 2018.

PILON, L. C.; REICHERT, J. M.; JACQUES, R. J. S.; SILVA, I. C. L. da. Cromatografia de Pfeiffer: desenvolvimento de padrões brasileiros de uma metodologia para sistemas de agricultura orgânica. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, 20., 2014, Cusco. Anais... Cusco, Perú, 2014.

PINHEIRO, Sebastião. Cartilha da saúde do solo (Cromatografia de Pfeiffer). **Salles Editora**, p. 108, 2011.

PERUMAL, et al. Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients, **Journal of Soil Science Research**, v.1, n.1, 2016.

RIMAVESI, Ana. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. In: Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. Nobel, 1984.

PRIMAVESI, A. Pergunte ao solo e às raízes: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia. **SP. Nobel**, 2014.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 285p, 2001.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RESTREPO, J.; PINHEIRO, S. **Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali, Colombia: COAS editores, 2011.

RIVERA, Jairo Restrepo; PINHEIRO, S. Cromatografia: imagenes de vida y destrucción del suelo. Colômbia, Cali: Impressora Feriva, 2011.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.11-21, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SCHMITT, D. E. et al. Phosphorus fractions in soil cultivated with vineyards after 62 years of poultry litter addition. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

<https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00817>

SciDAVis is a free application for Scientific Data Analysis and visualization,

<http://scidavis.sourceforge.net/> acessado dia 21 de janeiro de 2020. SHANG, C.; TIESSEN,

H. Organic matter lability in tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v.162, p.795-807, 1997.

<https://doi.org/10.1097/00010694-199711000-00004>

SEYBOLD, C.A., MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, p.387-404, 1997.

<https://doi.org/10.1201/9780203739273-27>

SIQUEIRA, Ivando de. Avaliação da fertilidade e vitalidade do solo pela cromatografia de Pfeiffer e seu potencial para motivar manejos agroecológicos. 2016.

SOILTECH SOLUTIONS: Chromabeoordeling. 2005 – 2018. Biezenmortel, Netherlands. [acessado maio de 2020]. <https://www.bio-ron.com/images/stories/files/chroma-analyse.pdf>.

SCHOMBERG, H.H., GASKIN, J.W., HARRIS, K., DAS, K., NOVAK, J.M., BUSSCHER, W.J., WATTS, D.W., WOODROOF, R.H., LIMA, I.M., AHMEDNA, M., 2012. Influence of biochar on nitrogen fractions in a coastal plain soil. **J. Environ. Qual.** 41, 1087-1095. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0133>

ZILLI, Jerri Édson et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.