

Características físico-hídricas e microbiológicas de três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG

Physic-hydric and microbiological characteristics of three different types of soil on a rural property in Paraisópolis, MG

Características físico-hídricas y microbiológicas de tres diferentes tipos de suelo en una propiedad rural en Paraisópolis, MG

Recebido: 04/12/2023 | Revisado: 16/12/2023 | Aceitado: 17/12/2023 | Publicado: 19/12/2023

Yasmin Torres de Almeida Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8548-9743>

Universidade do Vale do Sapucaí, Brasil

E-mail: yas.mim1118@gmail.com

Luiz Francisley de Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6497-7468>

Universidade do Vale do Sapucaí, Brasil

E-mail: francisleybiologo@univas.edu.br

Resumo

As mudanças de uso do solo de floresta nativa para áreas agrícolas ou de pastagem provocam alterações nos atributos físico-hídricos do solo que interferem nas características químicas e microbiológicas. Este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade de três tipos de solo em uma propriedade rural. As amostras de solo foram retiradas de áreas de cultivo agrícola, solo de pastagem e floresta secundária (nativa). Foram avaliados: Umidade, Capacidade de Retenção de Água, a população bacteriana cultivável e também a produtora de ácido indol-3-acético. Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O solo de cultivo demonstrou melhor qualidade com relação aos outros. Os atributos do solo de pastagem apresentam semelhança com o solo de Floresta secundária demonstrando bom estado de preservação. Os indicadores de qualidade do solo testados neste estudo são boas ferramentas para o monitoramento.

Palavras-chave: Bactérias edáficas; Qualidade física do solo; Água disponível.

Abstract

Changes in land use from native forest to agricultural or pasture areas cause changes in the physical-hydric attributes of the soil that interfere with chemical and microbiological characteristics. This study aims to evaluate the quality of three types of soil in a rural property. Soil samples were taken from areas of agricultural cultivation, pasture soil and secondary (native) forest. Were evaluated: Moisture, Water Retention Capacity, cultivable bacterial population and also producer of indole-3-acetic acid. Data were submitted to analysis of variance and the comparison of means was performed using the Tukey test ($p < 0.05$). The cultivation soil showed better quality in relation to the others. The attributes of the pasture soil present similarity with the soil of Secondary Forest demonstrating a good state of preservation. The soil quality indicators tested in this study are good monitoring tools.

Keywords: Edaphic Bacteria; Physical soil quality; Available water.

Resumen

Los cambios de uso del suelo de bosque nativo a áreas agrícolas o de pastoreo provocan cambios en los atributos físico-hídricos del suelo que afectan sus características químicas y microbiológicas. Este estudio tiene como objetivo evaluar la calidad de tres tipos de suelo en una propiedad rural. Se tomaron muestras de suelo de áreas de cultivo agrícola, suelo de pasto y bosque secundario (nativo). Se evaluó: la humedad, la capacidad de retención de agua, la población bacteriana cultivable y también el productor de ácido indol-3-acético. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El suelo de cultivo demostró una mejor calidad en comparación con los demás. Los atributos del suelo de pasto son similares al suelo de bosque secundario, demostrando un buen estado de conservación. Los indicadores de calidad del suelo probados en este estudio son buenas herramientas para el monitoreo.

Palabras clave: Bacterias edáficas; Calidad física del suelo; Agua disponible.

1. Introdução

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento dos agroecossistemas, sendo constituído por atributos físicos, químicos e biológicos, entretanto, os três aspectos são indiretamente dependentes, ou seja, melhorando a qualidade física de determinado solo indiretamente se está contribuindo para a melhoria das suas condições biológicas e químicas (Dexter, 2004). As características do solo que podem servir de parâmetros para sua qualificação físico-hídricas são: densidade, porosidade, resistência à penetração mecânica e infiltração da água. Essas características isoladas ou associadas podem influenciar o escoamento superficial e conseqüentemente as perdas de água e solo (Castro *et al.*, 2012).

A parte biológica é composta por organismos que compõe a micro, meso e macrofauna que influenciam e são influenciados pelas características do solo. Dentre estes, os microrganismos edáficos formam o grupo mais abundante, diverso e importante, pois realizam diversos processos essenciais para o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Shoemaker *et al.*, 2017).

Os microrganismos do solo são essenciais na ciclagem e reposição de nutrientes e desempenham papel importante no desenvolvimento de plantas, principalmente pela supressão de doenças e promoção do crescimento vegetal (Rashid *et al.*, 2016). Alguns desses microrganismos desempenham um papel benéfico no crescimento e na saúde das plantas, ao mesmo tempo em que podem aprimorar a qualidade do solo e da água. Esta tecnologia social é reconhecida por seu potencial em elevar a sustentabilidade e a independência na produção agrícola familiar, constituindo-se também como uma ferramenta essencial na busca por alimentos mais saudáveis (Figueiredo *et al.*, 2021).

As bactérias capazes de promover o crescimento de plantas são denominadas Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) e estão, geralmente, em íntima associação com as plantas. Os mecanismos de promoção de crescimento vegetal podem ser diretos como, por exemplo, solubilização de fosfato, fixação de nitrogênio, produção de sideróforos, amônio, vitaminas e fito-hormônios (auxinas, citocininas, giberelinas) (Singh *et al.*, 2019).

Os fito-hormônios são substâncias orgânicas importantes para o desenvolvimento da planta. Os principais grupos de fito-hormônios são as Auxinas, Citocininas, Etilenos, Giberelinas e Ácido Abscísico (Raven *et al.*, 2001). O Ácido Indol-3-acético (AIA) encontra-se no grupo das auxinas, é o mais estudado e é o fito-hormônio mais produzido pelas bactérias (Cassán *et al.*, 2013).

A participação dos microrganismos em diversos processos edáficos e funções do ecossistema possibilita sua utilização no monitoramento da qualidade do solo, o que permite a avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas em longo prazo. A mensuração das atividades físico-hídricas e microbiológica do solo permitem acessar informações sobre a sua qualidade e atividade. A qualidade do solo é descrita como sua habilidade de sustentar e preservar a produtividade biológica dentro do ecossistema, ao mesmo tempo em que mantém a integridade ambiental e favorece a saúde das plantas e animais que dele dependem. Essa qualidade pode ser avaliada por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, que oferecem insights sobre suas condições e capacidades (Leal *et al.*, 2021).

Ao longo dos anos e ainda hoje, há uma constante mudança de uso do solo de floresta nativa para áreas agrícolas ou de pastagem. Essas mudanças provocam alterações nos atributos físico-hídricas do solo que interferem nas características químicas e microbiológicas, reduzindo as taxas de infiltração e percolação de água no solo, além de afetar a abundância e diversidade da fauna edáfica. Esses efeitos podem perdurar por muitas décadas (Baez *et al.*, 2018).

Mediante possíveis alterações provocadas pela mudança de uso do solo de floresta nativa para área de pastagem e de área agrícola, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade desses três tipos de solo em uma propriedade rural do município de Paraisópolis MG a fim de compreender os impactos provocados por esta mudança.

2. Metodologia

2.1 Caracterização da área experimental e local de coleta

Trata-se de um estudo transversal, exploratório, descritivo com abordagem quantitativo (Gil, 2017) realizado no Laboratório de Pesquisas Básicas da Universidade do Vale do Sapucaí. A coleta das amostras foi realizada em uma propriedade rural do município de Paraisópolis - MG. As amostras de solo foram retiradas de áreas com diferentes tipos de utilização, sendo: uma pertencente a uma área de floresta secundária nativa, área de pastagem e uma de solo de cultivo agrícola de milho (*Zea mays* L).

2.1.1 Área de floresta secundária nativa

A área de floresta (-22.5593673, -45.7944975) foi escolhida como testemunha por representar a condição inicial do solo. Para delimitar a área, foi escolhido um fragmento de floresta secundária com características homogêneas em termos de relevo e distribuição do dossel, localizada aos arredores da propriedade distante 500 m da área agrícola.

2.1.2 Área de pastagem

A área de pastagem (-22.5598258, -45.7916751) é uniforme em termos de relevo e cobertura de plantas de *Brachiaria brizantha* (Hochst Stapf). Esta área não recebeu correção ou fertilização do solo, desde sua implantação. Atualmente, não há animais de corte no pasto e esta área não desenvolve nenhuma atividade. A área de pastagem encontra-se a 360 metros da área de cultivo agrícola e de 290 metros da floresta secundária.

2.1.3 Área de cultivo agrícola

A área de cultivo agrícola (-22.5568569, -45.7904259) encontra-se dentro dos limites de uma propriedade de aproximadamente 1.000 m² e a prática de cultivo neste solo se dá por mais de 15 anos. Antes de ser utilizada como área de plantio, a área não possuía histórico de cultivos agrícolas, sendo que neste local havia um pasto. Atualmente o solo está sendo usado para o cultivo de milho e adota práticas conservacionistas de cultivo direto.

2.2 Coleta e preparo das amostras

Inicialmente cada área foi subdividida em 5 pontos com 1 metro de distância entre si para formar a amostra composta do solo de cada área, representando assim uma área amostrada. Foi realizada uma limpeza dos locais com auxílio de uma vassoura para retirada de galhos, pedras e outros materiais. Em seguida foi realizada a coleta do solo numa profundidade de 0 até 20 cm utilizando uma pá. As amostras foram transferidas para sacos plásticos devidamente identificados e transportados em até 24 horas.

No laboratório, as amostras foram depositadas, espalhadas e desborradas em um papel Kraft identificado sobre uma bancada. Em seguida, o solo foi peneirado em peneira 10 *mesh* com abertura de 2 mm (Frighetto & Valarini, 2000), e dividido em três partes: 1^a foi utilizada para quantificar a quantidade de água presente no solo; 2^a foi utilizado para calcular a capacidade de retenção de água; 3^a para quantificação das bactérias cultiváveis.

2.3 Determinação da umidade

Para determinar a umidade do solo, foi pesado 20,0 g de solo com umidade natural tamisado em peneira de 2 mm de malha, em recipiente de peso conhecido e em balança analítica. Em seguidas as amostras foram levadas à estufa por 24 horas a 105 °C. Após esse período, as amostras foram deixadas esfriar em dessecador e o em seguida foi pesado o recipiente com o solo seco. A umidade do solo foi verificada utilizando a equação 1.

Eq.1

$$U = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100$$

Em que: W1 é o peso do recipiente; W2 é o peso do recipiente + solo; W3 é o peso do recipiente + solo seco. Nesta etapa, foi aferida a água presente no solo no momento da coleta para calcular o conteúdo da água existente inicialmente na amostra (AS). A umidade foi dada em porcentagem correspondente a massa de solo (Frighetto & Valarini, 2000). Os testes foram realizados em triplicatas.

2.4 Determinação da capacidade de retenção de água

Para esta análise, 20,0 g de solo com umidade natural foi colocada sobre papel filtro acondicionado em um funil e montado sobre um Erlenmeyer de 250 mL previamente pesado. Sobre a amostra foi dispensada pequenas porções de 100,0 g de água destilada (pesada em uma balança analítica).

O sistema foi deixado por 24 horas coberto com papel alumínio para evitar a evaporação. Da mesma forma descrita, também foi montado um sistema controle, sem a amostra de solo. O frasco coletor foi pesado novamente, numa balança analítica. A capacidade de retenção de água foi verificada utilizando a equação 2.

Eq.2

$$CR(\%) = \frac{(100 - Ap) + As}{Ss} \times 100$$

Em que: Ap é o peso da água percolada (g); As é o conteúdo da água existente inicialmente na amostra (g); Ss é peso seco do solo obtido após secagem do solo úmido (20 g) em estufa (105°C) até massa constante (g). A capacidade de retenção de água foi dada em porcentagem correspondente a massa de solo (Frighetto & Valarini, 2000). Os testes foram realizados em triplicatas.

2.5 Determinação da população bacteriana do solo

A avaliação da população bacteriana foi realizada pela técnica da contagem em placas de Petri utilizando o meio de Thorton (K₂HPO₄ 1 g; MgSO₄.7H₂O 0,2 g; CaCl₂ 0,1 g; NaCl 0,1 g; FeCl₃ 0,002 g; KNO₃ 0,5 g; Asparagina 0,5 g; Manitol 1 g; Agar 15 g; Água destilada p/ 1000 mL) suplementado com 1% de Triton X-100 (delimitador de colônias) e Cicloheximida (antifúngico) (Frighetto & Valarini, 2000).

Para isso, prepararam-se sete diluições decimais em série, partindo de 10g de solo úmido colocado em frascos contendo 90 ml de solução salina esterilizada. Após homogeneizados, foram depositados e espalhados sobre a superfície do meio de cultura, 100 µL de cada suspensão. O teste foi realizado em triplicata e as placas foram incubadas em estufas a 28 °C. A contagem das colônias foi realizada 3 dias após a incubação e o resultado expresso em UFC/g de solo seco.

2.6 Determinação da população bacteriana produtora de ácido indol-3-acético (AIA)

A avaliação da população bacteriana produtora de AIA foi realizada pela mesma técnica descrita anteriormente com modificação. A suspensão utilizada foi a mesma e na composição do meio de cultura Thorton foi adicionado 5 mM de L-triptofano (precursor de AIA). Os testes foram realizados em triplicatas.

Após três dias de incubação a 28 °C, as colônias foram contadas e em seguida, foram depositados sobre cada colônia um disco de papel filtro Whatman de 6 mm estéril. As placas foram reincubadas por 1 hora e após esse período, cada disco foi

retirado do meio de cultura e depositado sobre a tampa da placa de Petri. Em seguida, cada disco recebeu 5 µL do reativo de Salkowski e foram novamente reincubadas por 30 minutos no escuro. Após essa etapa, discos que apresentarem cor avermelhado no período de 30 minutos a 2 horas são positivos para AIA.

Os microrganismos produtores de AIA foram contados e sua população comparada com a população bacteriana total. O resultado foi expresso em porcentagem de bactérias produtoras de AIA.

2.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias das medidas dos halos comparadas pelo teste Tukey, ambos a 5% de significância, utilizando-se o Software R. 2.5.1.

3. Resultados e Discussão

Os resultados das análises físico-hídricas e microbiológicas dos solos estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físico-hídricas e microbiológicas de três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG.

Solo	Físico-hídrico		Microbiológico	
	Umidade	CRA	População bacteriana (UFC/g)	Bactérias produtoras de AIA
Cultivo agrícola	34,46% a	106,59% a	1,3x10 ⁷ a	27,77% a
Floresta secundária	20,74% b	90,32% b	1,8x10 ⁶ b	9,16% b
Pastagem	20,91% b	85,44% c	1,4x10 ⁶ b	18,68% b

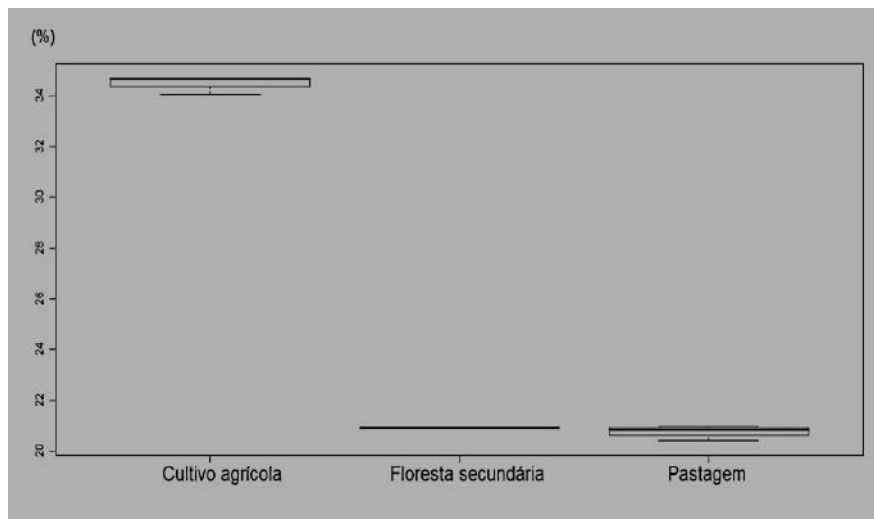
CRA: Capacidade de retenção de água, UFC/g: Unidade formadora de colônia por grama, AIA: Ácido Indol-3-Acético. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Elaborado pelos autores.

Neste estudo, o solo utilizado para prática de cultivo agrícola demonstrou melhor qualidade no que diz respeito aos aspectos físico-hídricos e microbiológicos comparado aos outros tipos de solo. Este resultado pudera ser esperado uma vez que este solo recebe uma atenção específica quanto às práticas de cultivo, pois não há prática de revolvimento do solo e há uma prática de manutenção dos resíduos culturais na sua superfície proporcionando um acúmulo de material orgânico nesta região.

A adoção de práticas conservacionistas como o do sistema de plantio direto, tende a apresentar benefícios ao sistema agrícola. Quando adotada essa prática e a condução do solo for de forma adequada ao longo dos anos, a tendência é que se tenha maior estoque de carbono e nitrogênio no solo. Esse acúmulo se dá pela preservação da matéria orgânica e redução na mineralização dos resíduos (Amorim, 2016).

Com base nos dados analisados, podemos observar que o solo de cultivo agrícola estava mais úmido do que os demais solos analisados como demonstra a Figura 1. Este dado corrobora com Silva *et al.*, (2020) que ressaltam que o funcionamento hidrológico dos ecossistemas é alterado com melhorias dos atributos físico-hídricos proporcionados pela adição contínua de matéria orgânica e pela maior proteção do solo. De acordo com Dardengo e colaboradores (2010), o solo constitui-se no principal reservatório de água para as plantas, sendo assim, sua umidade é um dos fatores limitantes da produtividade agrícola.

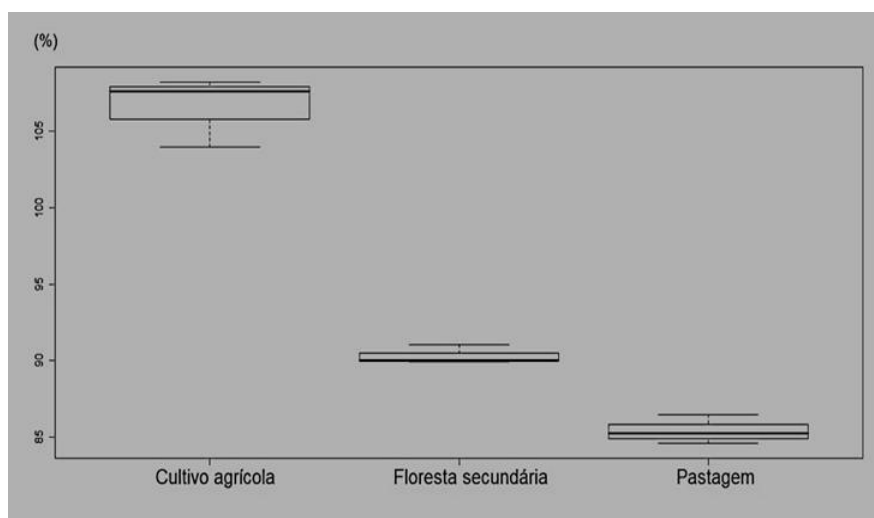
Figura 1 - Umidade relativa de três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG.



Teste Tukey, $p < 0,05$. Fonte: Elaborado pelos autores.

Neste estudo, ainda foi possível observar uma similaridade na taxa de umidade dos solos de pastagem e de floresta secundária, entretanto, a capacidade de retenção de água do solo de floresta secundária foi melhor do que a de área de pastagem como demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Capacidade de retenção de água de três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG.



Teste Tukey, $p < 0,05$. Fonte: Elaborado pelos autores.

Para Barreto e colaboradores (2006), o grande aporte de matéria orgânica encontrado nas florestas tropicais e subtropicais contribui para a fertilidade do solo, além de aumentar da capacidade de troca de cátion, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo. Por isso é esperado que em áreas preservadas ou em fase de regeneração passiva ocorram melhorias na infiltração e percolação de água.

A curva de retenção de água no solo (CRA) tem sido utilizada na avaliação da qualidade física do solo sendo um valioso indicador de qualidade do solo, visto que através dele é possível estimar o teor de água na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente, a capacidade de água disponível às plantas, entre outros (Silva *et al.*, 2020).

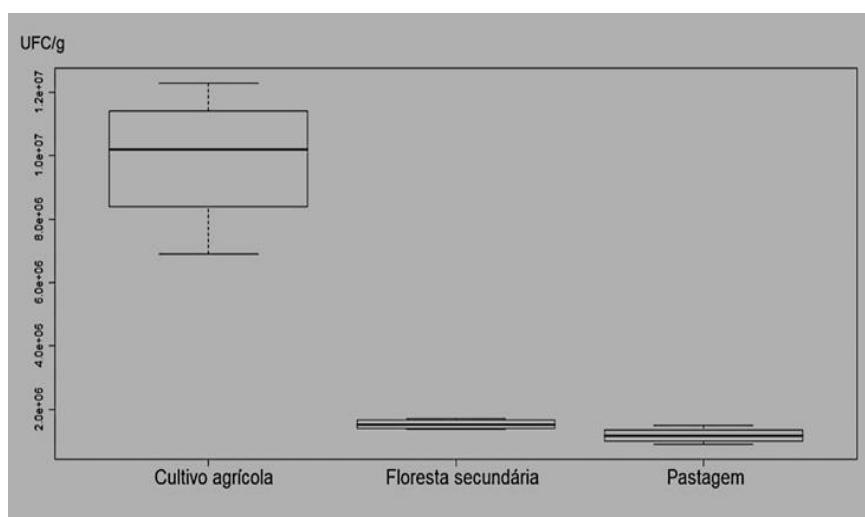
De acordo com Lucas e colaboradores (2011), a capacidade de retenção de água é uma característica importante na descrição do comportamento físico-hídrico dos solos não saturados. Scorza Junior e colaboradores (2010) ressaltam essa

importância para o manejo da irrigação onde, através de seus parâmetros, é possível determinar quando e quanto irrigar, essencial também para estabelecer condições de manejo adequadas para a proteção ambiental em sistemas agrícolas.

Para Silva e colaboradores (2020), o conhecimento dos atributos físico-hídricos de solos é uma importante ferramenta para o seu manejo e também para o manejo de suas sub-bacias hidrográficas. Esses parâmetros de qualidade são variáveis influenciadas principalmente pela ação antrópica tais como a expansão da pecuária, uso de maquinários e produtos químicos, exploração da água, construção de barragens e estradas; que levam a alterações físicas, químicas e biológicas do solo (Sano *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2016).

Com relação aos atributos microbiológicos, à população bacteriana cultivável do solo de cultivo agrícola foi maior do que nos outros tipos de solo (Figura 3). A quantificação da densidade populacional de microrganismos no solo desempenha um papel fundamental na compreensão das interações ecológicas nesse ambiente. Para Leal *et al.* (2021), essa análise é essencial para identificar os fatores que impactam o equilíbrio microbiológico do solo.

Figura 3 - População bacteriana edáfica cultivável de três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG.



Teste Tukey, $p < 0,05$. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os microrganismos no solo desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica. Ao utilizar esses materiais como fonte de energia e nutrientes para seu crescimento, eles temporariamente retêm elementos como carbono, nitrogênio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e micronutrientes. Quando os microrganismos morrem, esses elementos são liberados e se tornam disponíveis para as plantas. Essa interação é crucial para o ciclo de nutrientes e para a fertilidade do solo (Chaves *et al.*, 2022).

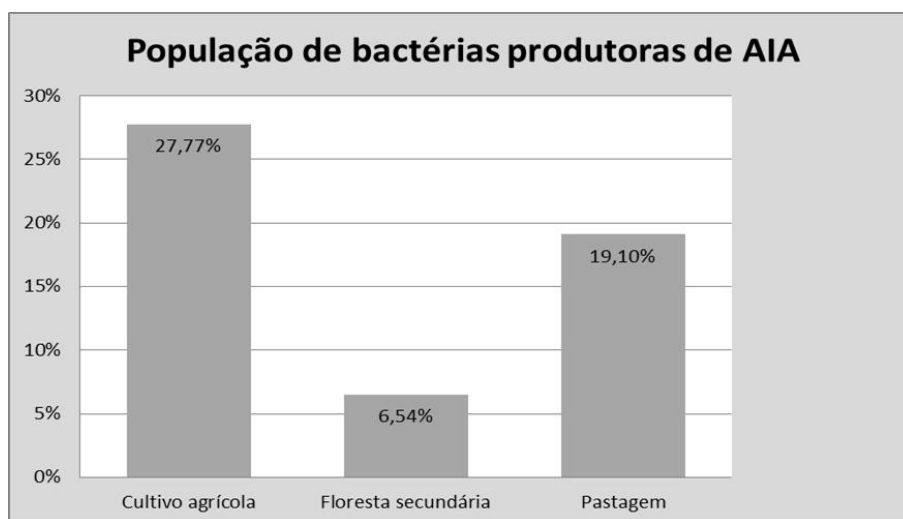
Esses microrganismos são altamente influenciados por uma variedade de elementos, como o pH do ambiente, a temperatura, a presença e o tipo de compostos carbonados e nitrogênio combinado, as condições climáticas, a disponibilidade de água e até mesmo pela cobertura vegetal e manejo do solo. Para Silva *et al.* (2021b), essa diversidade microbiana está intrinsecamente ligada a uma série de fatores abióticos e a interdependência entre eles desempenha um papel crucial na ecologia, na atividade e na dinâmica populacional desses microrganismos no ambiente do solo. Dessa maneira, é perceptível que o método de cultivo empregado no tipo de solo com práticas agrícolas tem levado a um aumento significativo na população de microrganismos. Essa constatação alinha-se aos achados descritos por Silva *et al.* (2021a) e Chaves *et al.* (2022), os quais apontam que os sistemas de cultivo induzem mudanças nos atributos microbiológicos do solo em comparação com o estado natural preservado do ambiente, como a floresta nativa. A ausência de revolvimento do solo e a prática de manter os

resíduos culturais na superfície têm contribuído para um acúmulo substancial de material orgânico nessa região. Esse acúmulo se torna uma fonte abundante de energia que favorece o crescimento e a proliferação dos microrganismos no ambiente.

Ao determinar a quantidade de microrganismos e observar como ela varia em resposta a diferentes condições ambientais, podemos desvendar as relações intrincadas que governam a dinâmica dessas comunidades microbianas. Essas informações detalhadas são essenciais para orientar práticas de manejo do solo e para promover a sustentabilidade ambiental, fornecendo insights valiosos sobre a saúde e a fertilidade do solo (Leal *et al.*, 2021).

Neste estudo, também foi verificada uma maior ocorrência de bactérias produtoras de AIA no solo de cultivo agrícola (Figura 4). O AIA está relacionado com uma grande influência na taxa de crescimento dos meristemas apicais, flores e frutos. É responsável também pelo alongamento e síntese de células, promovendo a formação de raízes adventícias no caule e a expansão radicular e conseqüentemente o crescimento da planta (Taiz & Zeiger, 2004). Embora existam vias bioquímicas variáveis para a biossíntese desta auxina, a maioria das espécies bacterianas que sintetizam o AIA utiliza preferencialmente, o aminoácido L-triptofano como precursor desse fito-hormônio (Rosenblueth & Martinez-Romero, 2006).

Figura 4 - Taxa da população bacteriana produtora de AIA em três diferentes tipos de solo de uma propriedade rural em Paraisópolis, MG.



Teste Tukey, $p < 0,05$. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com Lambrecht *et al.* (2000), durante a germinação de sementes e as fases iniciais de crescimento das plântulas, as raízes em desenvolvimento liberam alguns exsudados incluindo L-Triptofano, precursor de ácido indol acético, que algumas bactérias utilizam para produzir AIA. Esta interação positiva entre as raízes das plantas e AIA bacteriano pode, por sua vez, estimular o desenvolvimento radicular das plantas. Mesmo sem diferença estatística, o solo de pastagem apresentou maior porcentagem de bactérias produtoras de AIA do que as do solo da floresta secundária. Isto se deve ao fato de que este ambiente está povoado por gramíneas que tem como característica inúmeras raízes equivalentes saindo de pontos muito próximos que diferente das raízes axiais, não se aprofunda muito no solo corroborando ainda mais com Lambrecht *et al.* (2000).

Os indicadores microbiológicos têm sido muito utilizados para mensurar a qualidade dos solos. De acordo com Oliveira e colaboradores (2014), isso se deve porque os microrganismos presentes no solo são muito sensíveis a mudanças indicando assim as alterações que o solo está sofrendo ou não. De acordo com Araújo & Monteiro (2007), os microrganismos conseguem dar respostas rápidas as mudanças na qualidade do solo, diferente dos indicadores químicos e físicos que podem levar mais tempo para refletir as alterações do solo.

A quantificação de microrganismos produtores de AIA não é vista como indicador de qualidade do solo, entretanto, a presença em abundância destes microrganismos neste ambiente, podem trazer benefícios para o crescimento vegetal sendo importante tanto na agricultura como em florestamento e em recuperação da cobertura de solos descampados que estão sujeitos a processos de erosão, lixiviação, entre outros.

O desenvolvimento sustentável nos estabelecimentos agropecuários privados pode ser comprometido pela má utilização do solo, levando à degradação dos recursos naturais. Para evitar esse desfecho desfavorável, é imprescindível implementar uma abordagem de gestão que possibilite a compreensão das potencialidades e fragilidades do ambiente, utilizando tais dados como base para o planejamento das atividades humanas (Vendruscolo *et al.*, 2021).

A constante mudança de uso do solo de floresta nativa pra áreas agrícolas ou de pastagem provocam alterações nos atributos físico-hídrico, químicos e microbiológicos que de acordo com Lozano Baez e colaboradores (2018), podem perdurar por muitas décadas. Pereira e colaboradores (2020), ressalta a importância de se avaliar a qualidade física do solo em áreas sob processo de regeneração passiva, sendo fundamental para compreender a variação espacial e temporal sofrida pela estrutura nestas áreas anteriormente degradadas.

Neste sentido, as ações para restaurar os ecossistemas florestais bem como as boas práticas de cultivo e manejo agrícola devem buscar compreender e monitorar as melhorias na estrutura físico-hídrica do solo ao longo do processo uma vez que, segundo Reichert e colaboradores (2003), o bom desempenho de tais ações depende também de solos fisicamente estruturados no sentido de permitir a infiltração e a retenção da água de forma que seja disponibilizada as plantas e aos corpos hídrico, permitindo assim as trocas gasosas com a rizosfera e facilitando o crescimento das raízes ao não oferecer impedimento mecânico.

4. Conclusão

Neste estudo, o solo de cultivo demonstrou melhor qualidade físico-hídrico e microbiológico comparados aos solos de pastagem e de floresta secundária. As boas práticas agrícolas, como irrigação e adubação adequada certamente influenciaram neste resultado, corroborando com a literatura. O solo de pastagem teve os parâmetros avaliados semelhantes ao de áreas de floresta secundária, demonstrando bom estado de preservação.

Os indicadores de qualidade do solo avaliados neste estudo são boas ferramentas para a agricultura e também para a agrofloresta, entretanto são recomendados estudos que envolvam outros parâmetros associados às Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal como solubilização de fosfato, fixação de nitrogênio, produção de sideróforos, amônio, vitaminas e outros fito-hormônios. Essas análises além de apresentarem baixo custo, são de fácil execução e direcionam a importantes tomadas de decisão.

Referências

- Amorim, F. F. (2016). *Agregação e estabilidade da matéria orgânica em sistemas conservacionistas de manejo do solo* (Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre).
- Araújo, A. S. F., & Monteiro, R. T. R. (2007). Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, 23(33), 66-75.
- Barreto, A. C., Lima, F. H. S., Freire, M. B. G. S., Araújo, Q. R., & Freire, F. J. (2006). Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema e agrofloresta e pastagem no sul da Bahia. *Revista Caatinga* (Mossoró, Brasil), 19(4), 415-425.
- Cassán, F., Vanderleyden, J., & Spaepen, S. (2013). Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-GrowthPromoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*. *Journal Of Plant Growth Regulation*, 33(2), 440-459.
- Castro, M. C., Cunha, F. F., Lima, S. F., Paiva Neto, V. B., Leite, A. P., Magalhães, F. F., & Cruz, G. H. M. (2012). Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato Grossense. *Brazilian Geographical Journal*, 3(2), 498-512.
- Chaves, J. S., Silva, L. S., Matos, S. M., Pereira, H. R., Melo, J. J. S., Silva, A. F., Santos, E. J., Silva, R. P., Brito, W. A., & Leite, J. L. (2022). Parâmetros microbiológicos do solo em sistema de produção consorciado sob manejo orgânico. *Research, Society and Development*, 11(10), e237111032643.

- Dardengo, M. C. J. D., Reis, E. F., & Passos, R. R. (2010). Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro conilon. *Revista Ceres, Viçosa*, 57(1), 042-047.
- Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214.
- Frighetto, R. T. S., & Valarini, P. J. (2000). *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: Manual técnico*. Jaquariuna: EMBRAPA Meio Ambiente.
- Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (6a ed.), Atlas
- Lambrecht, M., Okon, Y., Vande Broek, A., & Vanderleyden, J. (2000). Indole-3-acetic acid: a reciprocal signaling molecule in bacteria-plant interactions. *Trends in Microbiology*, 8(sn), 298-300.
- Leal, M. L. A., Chaves, J. S., Silva, J. A., Silva, L. S., Soares, R. B., Nascimento, J. P. S., Matos, S. M., Teixeira Júnior, D. L., & Brito Neto, A. F. (2021). Efeito dos sistemas de manejo e do uso do solo na população de microrganismos do solo. *Research, Society and Development*, 10(9), e21910917966.
- Lozano Baez, S. E., Cooper, M., Ferraz, S. F., Ribeiro Rodrigues, R., Pirastru, M., & Di Prima, S. (2018). Previous land use affects the recovery of soil hydraulic properties after forest restoration. *Water*, 10(4), 453.
- Lucas, J. F. R., Tavares, M. H. F., Cardoso, D. L., & Cássaro, F. A. M. (2011). Curva de retenção de água no solo pelo método do papel-filtro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 35(6), 1957-1973.
- Oliveira, A. L. M., Dos Reis Costa, K., Ferreira, D. C., Milani, K. M. L., Dos Santos, O. J. A. P., Silva, M. B., & Zuluaga, M. Y. A. (2014). Biodiversity of soil bacteria and its applications for a sustainable agriculture. *Biochemistry and Biotechnology Reports*, 3(1), 56-77.
- Pereira, N. A., Di Prima, S., Bovi, R. C., Da Silva, L. F. S., De Godoy, G., Naves, R. P., & Cooper, M. (2020). Does the process of Passive Forest Restoration Affect the Hydrophysical Attributes of the Soil Superficial Horizon? *Water*, 12(6), 1689.
- Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183(sn), 26-41.
- Raven, P. H., Evert, F. R., & Eichhorn, S. E. (2001). *Biologia Vegetal*. (6a ed.), Guanabara Koogan.
- Reichert, J. M., Reinert, D. J., & Braidia, J. A. (2003). Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciências e Ambiente*, 27, 29-48.
- Rosenblueth, M., & Martinez-Romero, E. (2006). Bacterial endophytes and their interactions with hosts. *Molecular Plant and Microorganisms Interactions*, 19(8), 827-837.
- Sano, E. E., Roberto Rosa, R., Brito, J. L. S., & Ferreira, L. G. (2008). Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(1), 153-156.
- Santos, D. P., Santos, G. G., Santos, I. L., Schossler, T. R., Niva, C. C., & Marchao, R. L. (2016). Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1466-1475.
- Scorza Júnior, R. P., Silva, J. P., & Rigitano, R. L. Simulation of moisture profiles in a Latossol in Dourados region, in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia Agrícola*, 30(1), 22-32.
- Shoemaker, W. R., Locey, K. J., & Lennon, J. T. (2017). A macroecological theory of microbial biodiversity. *Nature Ecology & Evolution*. 1(107), 1-6.
- Silva, P. L. F., Oliveira, F. P., Martins, A. F., Pereira, W. E., Santos, T. E. D., & Amaral, A. J. (2020). Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. *Agrarian*, 13(50), 478-492.
- Silva, H. S., Chaves, J. S., Nascimento, J. P. S., Matos, S. M., Neto, A. F. B., Leite, J. L., Pereira, H. R., & Brito, W. A. (2021a). Atividade microbiana no solo em sistema de produção consorciado, 10(14), e534101422366.
- Silva, T. R. G., Costa, M. L. A., Farias, L. R. A., Santos, M. A., Rocha, J. J. L. & Silva, J. V. (2021b). Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. *Research, Society and Development*. 10 (4), e19710413817.
- Singh, M., Singh, D., Gupta, A., Pandey, K. D., Singh, P. K., & Kumar, A. (2019). Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture*. p.41-66.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2004). *Fisiologia vegetal*. (3a ed.), Artmed.
- Vendruscolo, J., Souza, E., Ferreira, K. R., Cavalheiro, W. C. S., & Hara, F. A. S. (2021). Características da paisagem para subsidiar o manejo dos recursos naturais na microbacia Alto Rio Branco, Amazônia Ocidental, Brasil. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 13(20, Sección I), p. 1-21.