

RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CENTRO AGROTECNOLOGICO EM PALMAS-TO

Fernanda Barros Ataíde¹; Marcia Cristina da Silva Lopes²; Roberta Zani da Silva²; Evelynne Urzêdo Leão²

RESUMO:

A inclusão de atributos biológicos para estudos de qualidade de solos pode anteceder respostas às alterações no solo devido ao seu uso e manejo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo sob diferentes usos no Centro Agrotecnológico em Palmas-TO. Foram utilizadas áreas de plantio de forrageiras, milho e cerrado nativo presentes no Centro Agrotecnológico de Palmas da Unitins em Palmas-TO em que as amostras foram coletadas em zigzag na profundidade de 0 – 10 cm. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (áreas e testemunha) e cinco repetições. Para quantificação de bactérias, foi preparada 1 g de solo diluída em 9 ml de solução salina (NaCl) e plaqueamento de 0,1 ml da diluição 10^{-3} dessa solução em meio de cultura SMA com fungicida. Para fungos, diluiu-se 1 g de solo em 9 ml de água destilada e esterilizada, e plaqueamento de 0,1 ml da solução em meio BDA com antibiótico. As placas foram incubadas em temperatura de 25° C com fotoperíodo de 12 horas. As bactérias foram contadas em 24 horas e fungos em sete dias, e a quantificação foi expressa em UFC.g⁻¹. A maior média de UFC de bactérias foi observada na área de forrageira ($6,07 \times 10^6$) e de fungos foi na área de cerrado nativo ($15,2 \times 10^4$). Foi possível identificar os fungos dos gêneros *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Pestalotia*. Apresentou-se correlação positiva em geral entre o número de UFC.g⁻¹ de fungos e bactérias com os atributos químicos e físicos avaliados. De forma geral, ao relacionar os atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos observamos que há uma variação entre estas relações, principalmente quando se trata de atributos microbiológicos. A microbiota do solo é variável conforme o sistema de cultivo adotado, e reflete as interações entre as práticas agrícolas, as plantas cultivadas e as condições ambientais.

Palavras-chave: Qualidade do solo, Microbiologia, Indicadores Biológicos.

CONNECTION BETWEEN PHYSICAL, CHEMICAL, AND MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL UNDER DIFFERENT USES AT THE AGROTECHNOLOGICAL CENTER IN PALMAS-TO

ABSTRACT:

The inclusion of biological attributes for soil quality studies may precede responses to changes in the soil due to its use and management. This study aimed to assess the connection between the physical, chemical, and microbiological attributes of soil under different land uses at the Agrotechnological Center in Palmas, Tocantins, Brazil. Areas planted with forage, corn, and native cerrado found at the Centro Agrotecnológico de Palmas at Unitins in Palmas-TO were used, where samples were collected in a zigzag pattern at a depth of 0 - 10 cm. A completely randomized design was used, with four treatments (areas and control) and five replications. To quantify bacteria, 1 g of soil diluted in 9 ml of saline solution (NaCl) was prepared and 0.1 ml of the 10^{-3} dilution of this solution was plated in an SMA culture medium with fungicide. For fungi, 1 g of soil was diluted in 9 ml of distilled and sterilized water, and 0.1 ml of the solution was plated in a PDA medium with an antibiotic. The plates were incubated at a temperature of 25° C with a photoperiod of 12 hours. Bacteria

¹Mestranda em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS; fernandaataidertc@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-0584-1274>; ²Professora Doutora da Universidade Estadual do Tocantins, marcia.cs@unitins.br, roberta.zs@unitins.br, evelynne.ul@unitins.br, <https://orcid.org/0000-0002-1974-6043>; <https://orcid.org/0000-0003-2440-1442>; <https://orcid.org/0000-0002-3817-8520>.

were counted in 24 hours and fungi in seven days, and quantification was expressed in CFU.g⁻¹ (Colony-Forming Units). The highest mean CFU of bacteria was observed in the forage area (6.07×10^6) and fungi was observed in the native Cerrado area (15.2×10^4). We identified the fungi of genera *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, and *Pestalotia*. There was an overall positive correlation between the number of CFUs per gram of fungi and bacteria with the assessed chemical and physical attributes. Generally, when relating the physical, chemical, and microbiological attributes of soils, we observe variations, particularly concerning microbiological attributes. The soil microbiota varies depending on the adopted cultivation system and reflects on the interactions among agricultural practices, cultivated plants, and environmental conditions.

Keywords: Soil quality, Microbiology, Biological Indicators.

INTRODUÇÃO

O manejo agrícola é sustentável somente quando a qualidade do solo, ar e água é mantida ou melhorada, e, no caso do solo, a qualidade depende da manutenção e melhoria de seus atributos físicos, químicos e biológicos, bem como de sua contínua capacidade de produzir alimentos e fibras (Doran e Parkin, 1994).

Os solos sob Cerrado, no Brasil, em geral, apresentam condições físicas favoráveis à agricultura e vêm sendo, gradativamente, explorados com culturas anuais, pastagens e, mais recentemente, reflorestamentos. A mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações profundas nos atributos do solo, quando uma área de vegetação nativa de Cerrado, por exemplo, é convertida em pastagem, ou área de cultivo de grãos, os atributos químicos e microbiológicos do solo são alterados (Costa et al., 2006; Carneiro et al., 2009). Estas alterações podem estar relacionadas com processos do ecossistema e serem sensíveis a variações no uso e manejo do solo, indicando alterações na sua qualidade (Doran e Parkin 1996). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido (Cardoso e Adreote, 2016).

Avaliar a qualidade biológica do solo não é uma tarefa fácil. A multiplicidade de fatores que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em função de tempo e espaço, aliados à complexidade do solo, dificulta esta tarefa (Mendes et al., 2003). Portanto, não é possível ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores (Araújo, 2008).

Indicadores são características mensuráveis (quantitativas ou qualitativas) que participam de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema (Bertini, 2010). Um indicador de qualidade do solo deve correlacionar-se com os processos naturais do ecossistema; ser relativamente de fácil utilização em campo; ser suscetível a

variações climáticas e de manejo; ser componente, quando possível, de uma base de dados (Doran e Parkin 1994).

Os microrganismos, portanto, tornam-se excelentes bioindicadores, pois se relacionam com as propriedades físicas e químicas do solo e estão suscetíveis a quaisquer alterações neste sistema, além de serem relativamente fáceis de mensurar. Entre os atributos microbiológicos utilizados como indicadores destacam-se a densidade total de bactérias, fungos, microrganismos solubilizadores de fosfato, biomassa microbiana e atividade de microrganismos heterotróficos (Silveira et al., 2004).

Esse trabalho teve por objetivo geral quantificar o número de fungos e bactérias do solo sob diferentes usos no Centro Agrotecnológico de Palmas - TO. E os objetivos específicos consistiram em determinar as características físico-químicas dos solos sob diferentes usos; além de determinar as características macromorfológicas dos microrganismos presentes e quando possível identificação a nível de gênero de fungos.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

O Centro Agrotecnológico de Palmas ocupa uma área de 27 hectares e está localizado no Parque Agrotins, na rodovia TO-050, km 23, estrada vicinal km 08, zona rural no município de Palmas - TO.

Foram coletadas amostras de solos em três áreas distintas, conforme apresentado na Figura 1. As áreas são descritas brevemente a seguir: Área 1 – Plantio de forrageiras (localizada entre as coordenadas: S10°24'02.6" de latitude, W48°21'28.6" de longitude e S10°24'07.2" de latitude, W48°21'28.0"); Área 2 – Área de plantio de milho recém colhido, sem vegetação, localizada entre as coordenadas: S10°24'10.2" de latitude, W48°21'26.2" de longitude e S10°24'16.0" de latitude, W48°21'26.8" de longitude; Área 3 – Cerrado Nativo, sem perturbação, localizada entre as coordenadas: S10°23'57.3" de latitude, W48°21'32.2" de longitude e S10°23'56.6" de latitude, W48°21'32.8" de longitude.



Figura 1. Localização das áreas do estudo. Área de plantio de forrageiras (A1), área de plantio de milho (A2), área de cerrado nativo (A3). Fonte: Google Maps 2021.

Testes de diluição do solo

Inicialmente, foram realizados testes de diluição de solo buscando-se definir a concentração que melhor representasse a população microbiana. Foram instalados os ensaios em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e seis concentrações, na profundidade de 0-10 cm, os quais foram representados pelas seguintes concentrações de solução do solo: 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} (Sousa et al., 2019).

Para alcançar as concentrações pretendidas, 1 g da amostra de solo foi diluída em 9 ml de solução salina (NaCl – 0,85%) para bactérias e em 9 ml de água destilada e esterilizada para fungos, e com auxílio de uma micropipeta retirou-se 1 ml desta para um tubo de ensaio no qual continha 9 ml de solução salina/água destilada e esterilizada, resultando em uma diluição de 1:10 (10^{-1}), posteriormente, passou-se 1 ml da diluição 10^{-1} para outro tubo de ensaio que continha o mesmo volume da solução, tornando uma diluição 1:100 (10^{-2}). De forma correlativa, procedeu-se às diluições em série 1:1000 (10^{-3}), 1:10.000 (10^{-4}), 1:100.000 (10^{-5}), 1:1.000.000 (10^{-6}).

A partir destas concentrações, alíquotas de 1 ml de cada diluição foram retiradas e plaqueadas em placas de Petri contendo o meio de cultura SMA [Standard Methods Agar (digestão enzimática de caseína: 5g; extrato de levedura: 2,5 g; dextrose

(glucose): 1 g; ágar: 15 g), com a adição de fungicida (Derosal Plus)] proporcionando ao meio seletividade para o desenvolvimento apenas de bactérias. De modo semelhante, efetuou-se a série de diluições e plaqueadas, o mesmo volume mencionado anteriormente, nas placas contendo meio BDA (infusão de batata de 200 g: 4 g; dextrose: 20 g; ágar: 15 g), contendo antibiótico (Cefalexina 500 mg) proporcionando ao meio seletividade para o desenvolvimento apenas de fungos. A solução foi espalhada nas superfícies dos meios de cultura com o auxílio da alça Drigalski. Totalizando 24 placas de Petri para cada meio (Souza, 2010).

As placas foram lacradas com filme PVC, identificadas e incubadas a $298,15 \text{ K} \pm 2\text{K}$ com fotoperíodo de 12 horas, por um período de 24 horas para quantificação de bactérias e sete dias para quantificação dos fungos. Após este período, avaliou-se o número de colônias que cresceu em cada placa, permitindo obter-se uma estimativa da concentração dos microrganismos presentes na amostra original, multiplicando-os pelo fator de diluição (ex: 10^{-3}), tendo o resultando em unidades formadoras de colônia (UFC) por grama de solo seco da amostra original.

Coleta das amostras e análises

As amostras foram coletadas nas três áreas experimentais descritas anteriormente, de forma aleatória, em ziguezague, retirando-se cinco amostras simples em cada um dos pontos para formar uma amostra composta, totalizando quatro pontos por área, na profundidade de 0-10 cm. As amostras de solo foram extraídas com o auxílio de um auxílio de enxadão e pá e em seguida armazenada em sacos plásticos, devidamente identificados, levados ao laboratório e armazenadas até a sua utilização.

Realizou-se a triagem das amostras, onde foram retiradas aproximadamente 500 g de solo para análise físico-química dos solos, realizadas pelo Laboratório Agroambiental da Unitins. A umidade foi avaliada conforme o Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 1997), no qual a fórmula para o cálculo é: $100(a - b) / b$, onde, a= peso da amostra úmida e b= peso da amostra seca (g). O valor da razão (massa de água / massa de solo seco) multiplicado por cem para se obter em porcentagem.

Quantificação e caracterização macro morfológicas de fungos e bactérias totais

Para a quantificação dos fungos e bactérias totais foram utilizadas as mesmas metodologias mencionadas no teste de diluição, somente com a diluição que melhor representou a quantidade de fungos e bactérias totais das três áreas estudadas, ou seja 10^{-3} , e 0,1 ml (1 μ l) da solução para o plaqueamento. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições e uma testemunha com os meios sem presença de diluição para cada amostra/ponto (4 pontos em cada área), totalizando 24 placas para avaliação de cada microrganismo. Utilizou-se os meios SMA para contabilização de colônias de bactérias e BDA para contabilização de colônias de fungos.

As colônias bacterianas observadas em cada ensaio foram contadas conforme a metodologia proposta por Mendes e Junior, (2012) e caracterizadas macro morfológicamente conforme (Hungria e Silva, 2011). As colônias fúngicas também foram caracterizadas macro morfológicamente, utilizando as metodologias adaptadas de Zermeño (2014); Fepe (2019); Sidrim et al., (2004); e Oliveira (2014), e quando possível, foram identificadas a nível de gênero.

A partir do número de colônias formadas (fungos e bactérias totais), obteve-se uma estimativa

da concentração dos microrganismos presentes na amostra original, multiplicando-os pelo fator de diluição (10^3) x 10 (fator de correção), devido terem sido plaqueadas 100 μ L de suspensão, tendo o resultado em unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC/g de solo).

As médias do número médio de unidades formadoras de colônias de fungos e bactérias foram correlacionadas, através do Coeficiente de Correlação de Pearson (r), com os atributos químicos e físicos dos solos sob os diferentes usos. A classificação dos valores resultantes de r foi definida como: $r = 0,1 - 0,3$ (correlação fraca), $r = 0,4 - 0,6$ (correlação moderada) e $r = 0,7 - 1$ (correlação forte) (Dancey e Reidy, 2006). O coeficiente de correlação de Pearson foi obtido com a função Pearson do Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de diluição

A diluição de 10^{-3} proporcionou um número satisfatório de colônias na superfície do meio, permitindo a contabilização isolada de cada colônia, ficando assim determinada a concentração de 10^{-3} para a condução dos demais ensaios.

No teste de diluição para a contabilização do número de colônias fúngicas, semelhante ao teste com as bactérias, também foi possível constatar que a diluição 10^{-3} apresentou maior número de colônias, ficando, portanto, a diluição padrão para os demais testes.

Atributos químicos e físicos do solo

Os valores dos atributos químicos e físicos dos solos apresentaram pouca alteração entre os diferentes usos das áreas na profundidade de 0,0 – 0,10 cm (Tabela 1). Os teores de areia, silte e argila foram de 796,8 g kg^{-1} , 28,1 g kg^{-1} e 175,2 g kg^{-1} na área de plantio de forrageiras; 747,8 g kg^{-1} , 37 g kg^{-1} , 125,2 g kg^{-1} na área de milho; e de 775,6 g kg^{-1} , 51 g kg^{-1} , 173,4 g kg^{-1} na área de cerrado nativo, respectivamente.

Os solos apresentaram composições texturais classificadas como franco-arenosa (área 1 e 3) e franco areno argiloso (área 2), conforme triângulo textural para classificação da textura no solo (Lemos e Santos, 1996). Ainda, estão expressos também na Tabela 1 os resultados dos atributos físicos que evidenciaram que a fração de areia predomina nas três áreas, no qual na classificação de textura conforme

EMBRAPA (2018), os solos se enquadram como arenosos.

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos do solo sob a influência de diferentes usos no Complexo de Ciências Agrárias – TO.

¹ Área	Granulometria			Macronutrientes										
	argila	silte	areia	pH	² MO	P Mehlich	K	Al ³⁺	Ca	Mg	H+Al	³ T	⁴ V	⁵ m
	-----g kg ⁻¹ -----			CaCl ₂ ²	g kg ⁻¹	---mg dm ³ ---					cmol _c dm ³ -----			-----%-----
1	175,2	28,1	796,8	4,9	19,5	2,0	50,5	0,1	0,9	0,9	2,4	4,5	44,8	5,7
2	125,2	37,0	747,8	5,1	14,8	26,2	25,2	0,1	1,4	0,9	2,5	4,6	49,2	3,2
3	173,4	51,0	775,6	4,1	16,2	3,6	29,2	0,8	0,2	0,4	4,9	4,6	14,1	56,1

¹ Áreas: 1 = forrageiras (pastagens); 2= milho; 3: mata nativa (cerrado). ² MO: matéria orgânica. ³ T: CTC potencial. ⁴V: saturação por bases. ⁵ m: saturação de alumínio.

Os teores de umidade dos solos analisados, utilizando o cálculo de umidade gravimétrica da EMBRAPA (1997), foram de 2,7%, 4,3% e 4,7% nas áreas de forrageiras, milho e cerrado nativo, respectivamente. Foi possível observar que na área de milho, mesmo sem a presença da cultura, mas por estar com o solo coberto pela palhada, conseguiu-se reter umidade próxima à área de cerrado nativo.

As interpretações com relação aos atributos químicos foram baseadas de acordo com o livro Cerrado: correção do solo e adubação de Sousa e Lobato (2004). As amostras demonstraram que os solos das três áreas apresentam no geral valores de pH em CaCl₂ variando entre 3,98 e 5,22 sendo a menor média encontrada na área de cerrado nativo de 4,15 sendo interpretado como baixo, seguidos pelas áreas de plantio de forrageiras com média de 4,96 considerada como pH adequado e de milho com valor de 5,1 também como adequado.

A saturação de alumínio, foi de 5,68% na área de pastagem; 3,21% na área de milho e 56,1% na área de mata nativa. De acordo com os valores de referência, para área de Cerrado, de Sousa & Lobato (2004), apenas a mata nativa encontra-se com valores altos de saturação de alumínio, sendo as áreas de pastagem e milho estão com níveis baixos.

A Saturação de bases (%) das áreas foi de 44,77% na área um, 49,25% na área dois, ambas com teores adequados e 14,01% na área três, valor baixo. As áreas de forrageiras e milho, por fazerem parte de áreas experimentais, são corrigidos a acidez com a calagem a cada pré-plantio para melhorar a disponibilidade de nutrientes, onde os valores de pH e V (%) são adequados e saturação por alumínio baixa, em contrapartida, encontra-se teores que

comprovam as características de acidez em solos nativos de cerrado.

Com relação aos teores de matéria orgânica, encontrou-se valores de 19,5 g kg⁻¹ ou 1,95% na área um, 14,85 g kg⁻¹ ou 1,485% na área dois, e na área três foi 16,16 g kg⁻¹ ou 1,616%, portanto, considerando serem solos de textura arenosa, os valores encontrados nas áreas de forrageiras e cerrado nativo foram altos e na área de milho se enquadrou como adequado.

Em relação a CTC a pH 7,0, de solos arenosos, foram encontradas médias de 4,47 cmol_c dm³, 4,88 cmol_c dm³ e 4,59 cmol_c dm³ na área de forrageiras, milho e cerrado nativo, respectivamente, sendo as três, classificadas como adequadas.

O nutriente fósforo foi encontrado com valor alto (26,24 mg dm³) apenas na área de milho e muito baixo nas demais. Potássio, considerando que a CTC a pH 7 foi maior que 4 nos três solos, observou-se que os teores foram médios para as três áreas. Os teores de cálcio das três áreas estão baixos já magnésio estão como adequados, exceto para área de cerrado nativo, com 0,36 cmol_c dm³ enquadrado como baixo (Tabela 1).

Quantificação e caracterização macro morfológica de bactérias e fungos

Os resultados do número total de colônias encontram-se na Figura 2. Para as bactérias observou-se uma variação de 4,83 x 10⁶ a 6,07 x 10⁶ UFC g⁻¹ em solos sob forrageiras, 1,61 x 10⁶ a 3,91 x 10⁶ UFC g⁻¹ em solo sob milho e, em solos de cerrado nativo, 0,034 x 10⁶ a 0,276 x 10⁶ (Figura 2A).

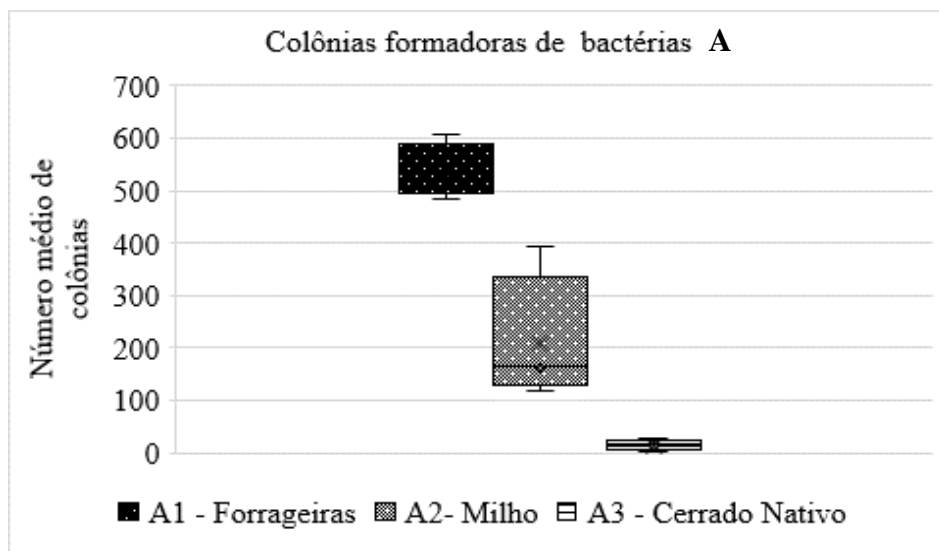
Os resultados obtidos demonstram que há uma variação entre o número de colônias bacterianas encontradas nos diferentes usos do solo, e que

maiores valores foram obtidos em solos sob cultivo agrícola, talvez pelas práticas de manejo e a diversidade de bactérias cultivadas mais fácil em meio sintético.

Curtis et al. (2002) desenvolveram um estimador de diversidade de procariotos em amostras ambientais com base na curva de distribuição de abundância de espécies nas comunidades e estimaram que a diversidade de bactérias no solo seria de 6.400-38.000 espécies por grama de solo. Assim, a maior parte da comunidade de procariotos do solo é composta de organismos que não podem ser cultivados, ou são de difícil cultivo nos meios de cultura tradicionalmente utilizados. Estima-se que somente 0,1–0,5 % dos procariotos do solo podem ser cultivados utilizando-se os meios tradicionais, dificultando a estimativa de sua diversidade (Torsvik et al., 2002).

Com relação ao número total de colônias de fungos, observou-se uma variação de $0,8 \times 10^4$ a $14,4 \times 10^4$ UFC g^{-1} em solos sob forrageiras, 1×10^4 a $2,4 \times 10^4$ UFC g^{-1} em solo sob milho e, em solos de cerrado nativo de $2,2 \times 10^4$ a $15,2 \times 10^4$ UFC g^{-1} (Figura 2B).

As maiores médias de número de colônias fúngicas observadas em áreas de cerrado nativo pode ser devido as condições ambientais que são mais favoráveis a ocorrência deste microrganismo. Em geral, os fungos crescem melhor em ambientes com umidade elevada, temperatura amena, presença de matéria orgânica, diversidade de substrato (Ceretta e Aita, 2008), entre outros fatores, corroborando com o elevado número de colônias fúngicas observadas em áreas de cerrado nativo.



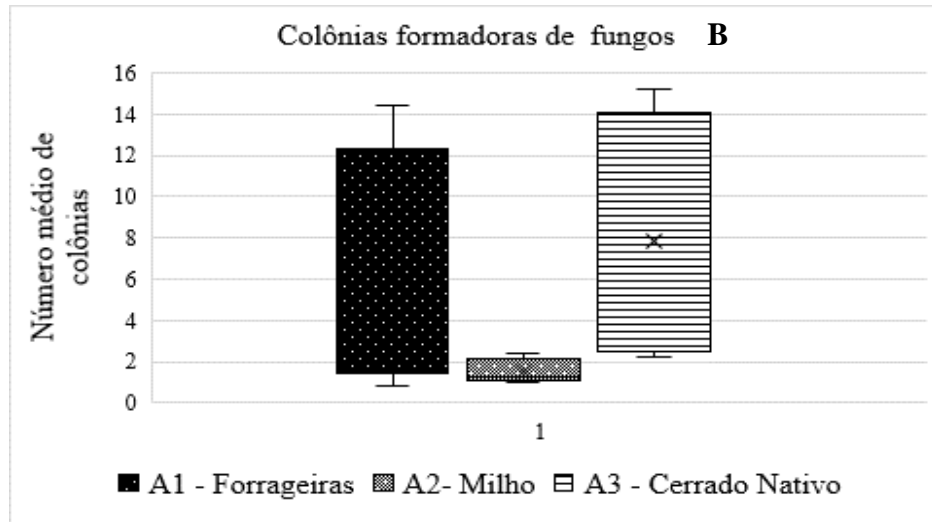


Figura 2. Número médio de unidades formadoras de colônias de bactérias (A) e fungos (B), nas amostras de solo da camada superficial (0-10 cm) das diferentes áreas.

A Tabela 2 apresenta coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre os atributos físicos, químicos e biológicos avaliados nos diferentes usos do solo, sendo destacadas em negritos as que apresentaram correlação positiva.

A correlação entre o total de colônias de fungos e a matéria orgânica (MO) foi positiva na Área 1, plantio de forrageiras, apresentando o valor do coeficiente de correlação igual 0,85. Ou seja, pode ser que o teor de matéria orgânica na área de plantio de forrageiras esteja influenciando o maior número de unidades formadoras de colônias fúngicas. Da mesma forma, o pH, V%, CTC e os teores de Fósforo e Potássio (Tabela 2).

Foi possível observar que na área de forrageiras, a matéria orgânica teve correlação positiva forte (teor aumenta na presença de outro) com pH, V%, CTC, fósforo e potássio, além dessa área apresentar um elevado número de UFC de colônias fúngicas. Este resultado sugere que há um incremento tanto de diversidade fúngica quanto de atributos químicos, nas características deste solo.

Já a correlação entre o número de colônias bacterianas e a umidade do solo foi positiva ($r = 0,76$), assim como o teor de argila ($r = 0,22$), matéria orgânica ($r = 0,21$) e saturação por alumínio ($r = 0,51$) na Área 1. Sendo observado somente correlação positiva forte apenas entre o número médio de colônias bacterianas e umidade, e moderada com a saturação por alumínio (m%).

Na área 2, plantio de milho, observou-se a correlação positiva em diferentes variáveis, tanto

correlação com o número de unidades formadoras de colônias fúngicas quanto bacterianas (Tabela 2). A correlação entre fungos e bactérias foi positiva, sendo considerada um valor de correlação forte ($r = 0,99$). O número de colônias bacterianas e fúngicas correlacionou-se positivamente com a matéria orgânica ($r = 0,49$; $0,59$), CTC do solo ($r = 0,94$; $0,93$), umidade ($r = 0,75$; $0,8$), teores de fósforo ($r = 0,57$; $0,5$) e potássio ($r = 0,38$; $0,49$), assim como com o teor de argila ($r = 0,46$; $0,81$). Isso pode ser explicado, em grande parte, por estes atributos do solo desempenharem papéis interligados no suporte às populações dos microrganismos. A matéria orgânica, por exemplo, é uma importante fonte de nutriente para estes microrganismos (Andrade, 2020), já a umidade é essencial para a atividade metabólica dos microrganismos (Souza et al., 2013). Com relação à CTC, ela está relacionada capacidade do solo de reter nutrientes, sendo solos com alta CTC geralmente têm uma capacidade maior de reter nutrientes essenciais (Tiecher, 2016), beneficiando o crescimento das bactérias e fungos que dependem desses nutrientes.

Na área 3, cerrado nativo, observou-se correlação positiva entre o número de colônias de bactérias e os teores de argila e areia, $r = 0,73$ e $0,47$, respectivamente, e correlação negativa. Ou seja, o aumento de uma das variáveis diminuiu a presença da outra, com os teores de pH e V%, podendo estar relacionado ao fato de que algumas bactérias podem crescer menos em ambientes mais ácidos (Nogueira e Silva Filho, 2015). A correlação entre o total de

colônias de fungos e a matéria orgânica foi positiva ($r = 0,93$), assim como com o teor de fósforo ($r = 0,78$) e areia ($r = 0,45$).

Foi possível observar, com estes resultados, que a presença de bactérias nas amostras de solo coletadas em área de plantio de forrageiras e em área de milho foram superiores (Figura 2A). Já para a presença de fungos, constatou-se que as áreas de plantio de forrageiras e cerrado nativo apresentaram as maiores médias (Figura 2B). O elevado número de microorganismos em áreas cultivadas, como o encontrado neste estudo, pode ser em decorrente da presença de plantas e conseqüentemente da liberação de exsudatos radiculares, que favorecem as populações destes microrganismos. Cassetari et al., (2016) explicam que a rizosfera é a fração do solo que sofre influência da liberação de exsudatos de raiz,

onde as bactérias presentes no solo e que têm a capacidade de responder a estes exsudatos, aumentam suas respectivas populações e passam a interagir de maneira mais intensa com a espécie vegetal em desenvolvimento.

Um fato a se observar, é a área de cerrado nativo, por ser um bioma que naturalmente são de solos mais ácidos, e saturação de alumínio alta (assim como foi encontrado na análise de solo) e como não há interferência humana para correções, os nutrientes apesar de terem contribuição natural contínua, apresentou-se valores inferiores as áreas 1 e 2 onde há interferência (Figura 2A). Dessa forma, a utilização principalmente econômica desta área deve ser sistematizada de acordo com cultura ou atividade desejada seguindo princípios e medidas conservacionistas.

Tabela 2. Correlação de Pearson (r) entre as diferentes variáveis dos atributos físicos, químicos e biológicos das amostras de solos sob diferentes usos.

Área 1	Bactéria	Fungos	MO	pH	V%	m%	CTC	Umidade	P	K	Argila	Areia
Bactéria	1	0,168	0,21	-0,358	-	0,519	-0,098	0,76	-0,287	0,053	0,225	-0,794
Fungos		1	0,857	0,617	0,693	-	0,917	-0,13	0,882	0,955	-0,274	0,381
MO			1	0,819	0,742	-	0,924	-0,366	0,807	0,671	0,253	0,111
Ph				1	0,952	-	0,878	-0,831	0,852	0,467	0,282	0,45
V%					1	-	0,907	-0,806	0,943	0,627	-0,018	0,688
M%						1	-0,862	0,874	-0,886	-0,507	-0,114	-0,626
CTC							1	-0,51	0,971	0,821	-0,043	0,481
Umidade								1	-0,566	-0,056	-0,286	-0,563
P									1	0,848	-0,219	0,674
K										1	-0,545	0,544
Argila											1	-0,628
Área 2	Bactéria	Fungos	MO	pH	V%	M%	CTC	Umidade	P	K	Argila	Areia
Bactéria	1	0,992	0,497	0,002	-	0,091	0,942	0,756	0,579	0,385	0,468	-0,566
Fungos		1	0,595	-0,119	-	0,211	0,936	0,801	0,508	0,494	0,818	-0,638
MO			1	-0,844	-	0,895	0,399	0,603	-0,026	0,971	0,788	-0,639
Ph				1	0,889	-	0,006	-0,386	0,516	-0,921	-0,905	0,767
V%					1	-	-0,333	-0,719	0,588	-0,904	-0,999	0,972
M%						1	0,066	0,431	-0,431	0,953	0,902	-0,956
CTC							1	0,887	0,336	0,359	0,301	-0,401
Umidade								1	0,093	0,651	0,694	-0,778
P									1	-0,254	-0,595	0,652
K										1	0,91	-0,793
Argila											1	-0,964
Área 3	Bactéria	Fungos	MO	pH	V%	M%	CTC	Umidade	P	K	Argila	Areia
Bactéria	1	-0,642	-	-0,208	-	0,193	-0,133	0,378	-0,105	-0,258	0,730	0,477
Fungos		1	0,931	0,186	0,095	-	0,343	-0,894	0,789	-0,546	-0,27	0,454

Continuação da tabela 2. Correlação de Pearson (r) entre as diferentes variáveis dos atributos físicos, químicos e biológicos das amostras de solos sob diferentes usos.

Área 3	Bactéria	Fungos	MO	pH	V%	M%	CTC	Umidade	P	K	Argila	Areia
MO			1	0,527	0,452	-	0,635	-0,935	0,792	-0,366	-0,326	-0,895
Ph				1	0,98	-	0,96	-0,495	0,396	0,243	-0,092	-0,67
V%					1	-0,96	0,866	-0,36	0,224	0,427	0,106	-0,538
M%						1	-0,98	0,558	-0,471	-0,159	0,173	0,726
CTC							1	-0,679	0,627	-0,037	-0,359	-0,829
Umidade								1	-0,956	0,5969	0,638	0,972
P									1	-0,767	-0,834	-0,934
K										1	0,909	0,489
Argila											1	0,627

A presença de material vegetal vivo e em decomposição, pode ter influenciado no aumento da quantidade de microrganismos, nas diferentes áreas. Isso explica, devido a ocorrência de “hot spots”, que são zonas que possuem uma elevada atividade biológica devido à presença de fontes nutricionais biodisponíveis, diante ao acúmulo de matéria orgânica e as frações do solo mais próximas à raiz das plantas, conhecidas como rizosfera (região do solo que sofre intensa influência da exsudação radicular de compostos orgânicos variados, como por exemplo, carboidratos, ácidos orgânicos e aminoácidos) (Moreira e Siqueira, 2009; Cardoso e Andreote, 2016). Há presença de formas de vida em toda extensão do solo, porém é nessas áreas que os seres vivos se tornam mais abundantes e ativos (Philippot et al., 2013). As áreas de forrageiras deste estudo, estão sendo utilizadas por anos consecutivos para estudos do efeito da adubação no potencial destas forrageiras. Isso pode explicar a qualidade tanto química quanto microbiológica bem acima das demais áreas.

Segundo Batista (2022), a rizosfera refere-se a região ocupada pelo solo rizosférico, ou seja, o solo adjacente às raízes da planta, no qual está próximo às raízes das plantas que possuem influência nos ciclos biogeoquímicos, nas transformações da matéria orgânica e crescimento microbiano. O crescimento de microrganismos nessa área é devido a liberação de exsudatos das raízes que funciona como substrato e fonte de alimento, em uma forma mais assimilável quando comparados aos restos culturais, o que favorece o satisfatório crescimento dos microrganismos (Moreira e Siqueira, 2006; Lynch, 1984). Moreira & Siqueira, (2006) citam que, o solo não rizosférico é deficiente em nutrientes e substratos orgânicos onde grande parte dos microrganismos estarão em formas não ativas devido o ambiente não favorecer o crescimento dos mesmos. Pereira et al., (1996) quantificando as populações de determinados microrganismos em solos, verificaram que, de maneira geral, no solo rizosférico a comunidade bacteriana em UFC g⁻¹ de solo seco é superior ao solo não rizosférico, sobressaindo sob influência de diferentes estímulos distribuídos aos dois ambientes.

Na caracterização dos fungos, foi possível identificar nas amostras da Área 1 (forrageiras), fungos dos gêneros *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Fusarium*, que são fungos comumente encontrados em solos tropicais. Foi

possível também constatar a presença de Actinobactérias que morfologicamente se assemelham a fungos (Shouche e Bhati, 2019) e fisiologicamente se assemelham a bactérias (Sultan et al., 2002). O crescimento dos actinobactérias é semelhante aos fungos, pois são formadas hifas, mas a composição da parede celular é próxima à das bactérias Gram-positivas (Shouche & Bhati, 2019). Um fator importante comum encontrado nesse grupo é a variabilidade de características genéticas, tais como, formação de micélio aéreo, pigmentação, esporulação, resistência a antibióticos e produção de antibióticos.

Na Área 2 (milho), foram identificados os gêneros fúngicos *Pestalotia*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Peniconia*, *Cladosporium* e *Trichoderma*. E na Área 3 (cerrado nativo), *Cladosporium*, *Fusarium* e *Aspergillus*.

Com relação as características macromorfológicas das bactérias, observou-se elevada variação quanto à forma, elevação, tipo de borda e superfície. As formas mais encontradas foram circular, irregular e filamentosas; quanto a elevação, observou-se lenticular, plana, convexa, pulvinada, umbilicada e umbonada; e com relação à borda, encontraram-se borda inteira, ondulada, lobada e filamentosas; já a superfície, encontraram-se lisa, rugosa, papilada. As diferentes características macromorfológicas das bactérias encontradas neste estudo demonstram a diversidade de bactérias encontradas nas amostras de solo, evidenciando que há uma diversidade de gêneros bacterianos nos ambientes testados.

Na caracterização macromorfológica dos fungos, observou-se colônias de cores branca, azul metálico, rosa a vermelho, laranja claro, acinzentadas, variando de mais claras a mais escuras, assim como com os tons de verde, amarelo e marrom. Com relação à textura, foram observados micélio com textura algodonosa, aveludada, granular, glabrosa. As bordas das colônias foram caracterizadas como inteiras, irregulares e radiadas. A superfície dos micélios, plana, apiculada e rugosa sendo também as vezes radiais partindo do centro.

De forma geral, quando relacionamos os atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos observamos que há uma variação entre estas relações, principalmente quando se trata de atributos microbiológicos. A microbiota do solo é variável conforme o sistema de cultivo adotado, e reflete as

interações entre as práticas agrícolas, as plantas cultivadas e as condições ambientais. Essas variações na microbiota do solo têm um impacto significativo na saúde do solo, na fertilidade e na produtividade das culturas, de forma que o estudo dos atributos microbiológicos é um indicador da qualidade dos solos e útil quando busca-se entender se as práticas de cultivo adotadas estão beneficiando o solo.

CONCLUSÃO

A maior média de UFC de bactérias foi observada na área de forrageira ($6,07 \times 10^6$) e de fungos foi na área de cerrado nativo ($15,2 \times 10^4$). Foi possível identificar os fungos dos gêneros *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Pestalotia*. Apresentou-se correlação positiva em geral entre o número de UFC de fungos e bactérias com os atributos químicos e físicos avaliados. A metodologia utilizada foi eficaz para a contagem de microrganismos nas áreas testadas, sendo possível observar que solos em áreas de forrageiras e cerrado nativo a quantidade de microrganismos é superior. Portanto, a quantificação de fungos e bactérias totais pode ser útil como bioindicador da qualidade destes solos, conjuntamente com a quantificação de outros atributos do solo físicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, F.M.C. (2020). **Caderno Dos Microrganismos Eficientes (E.M.): Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 3a ed. Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Fitotecnia. 31 p.
- Araújo, E.A. (2008). **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, Brasil, p 253.
- Batista, A. M. (2022). **Movimento de água e solutos na rizosfera**. (Tese de Doutorado). USP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP, Brasil, p. 98.
- Bertini, S.C.B. (2010) **Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em florestas de araucária no estado de São Paulo**. (Tese de Doutorado em Microbiologia Agrícola). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, p. 109.
- Cardoso, E.J.B.N. & Andreote, F.D. (2016). **Microbiologia do solo**. 2a ed. Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, Brasil, p. 225. DOI: 10.11606/9788586481567. Disponível em: www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/109. Acesso em 5 Out. 2023.
- Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. (2009). Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 33(1):147-157.
- Cassetari, A.S.; Gomez, S.P.M.; Silva, M.C.P. (2016). Fixação Biológica De Nitrogênio Associativa e de Vida Livre. In: Cardoso, E. J.B.N.; Andreote, F.D. **Microbiologia do solo**. 2a ed. Piracicaba, SP: ESALQ. p. 113-133. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/portais-de-pesquisa/livros-abertos-da-esalq>. Acesso em outubro de 2023.
- Ceretta, C.A.; Aita, C. (2008). **Agricultura Familiar e Sustentabilidade Biologia do Solo** (livro didático). Santa Maria: UFSM, 180p.
- Costa, E.A.; Goedert, W.J.; Souza, D.M.G. de. (2006). Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(7):1185-1191.
- Curtis, T.P.; Sloan, W.T. & Scannel, J.W. (2002) Estimating prokaryotic diversity and its limits. **Proc. Nat. Acad. Sci. USA**, 99:10494-10499. doi: 10.1073/pnas.142680199.
- Dancey, C. & Reidy, J. (2006). **Estatística sem matemática: para psicologia usando SPSS para windows**. 3a ed. Porto Alegre - RS: Artmed. 608p.
- Doran, J. W.& Parkin, T. B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison: **Soil**

- Scien. Soc. Ameri.**, Special Publication Number 35. p.1-20. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B. (1996). Quantitative indications of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J. W.; Jones, A. J. eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison: **SSSA Special Publication Number 49**. p. 25-37. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c2>.
- EMBRAPA. (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. 2a ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro: rev. atual. 212p. (EMBRAPA-CNPB. Documentos; 1).
- FEPE, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia. (2019). **Atlas de micologia Médica Veterinária**. 94 ed. Fundação FEP MVZ Editora: Belo Horizonte. p 109.
- Hungria, M. & Silva, K. (2011). **Manual de curadores de germoplasma – Microorganismos: rizóbios e bactérias promotoras do crescimento vegetal**. Brasília: Embrapa Soja e Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 20p. Documentos 332 e 333.
- Lemos, R.C. & Santos, R.D. (1996). **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 83.
- Lynch, J.M. (1984). Interactions between biological process, cultivation and soil structure. **Plant and Soil**. 76:307-318. <https://doi.org/10.1007/BF02205589>.
- Mendes, I.C.; Souza, L. V.; Resck, D.V.S.; Gomes, A. C. (2003). Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 27:435-443.
- Mendes I.C.; Junior, F.B.R. (2012). Uso de parâmetros microbiológicos como Indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. **Embrapa Cerrados**, Planaltina – DF, 34p. Documentos 112.
- Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. (2006) **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. UFLA, Lavras:controllab. 729p.
- Nogueira, A.V., Silva Filho, G.N. (2015) **Microbiologia**. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2015. 211 p.
- Oliveira, J.C. (20114) **Tópicos em Micologia Médica**. 4. ed. Rio de Janeiro: 2014. 230 p.
- Pereira, J.C.; Neves, M.C.P.; Drozdowicz, A. (1996). **Quantificações das populações de bactérias em geral, de bactérias resistentes a antibióticos e de actinomicetos em solos**. 1 ed. EMBRAPA – CNPAB, Seropédica – RJ. 21 p.
- Philippot, L.; Raaijmakers, J.; Lemanceau, P.; van der Putten, Wim H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nat Rev Microbiol**. 11:789–799. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>
- Santos, H. G; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.Á.De.; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.De.; Filho, J.C. De A.; Oliveira, J.B. De; Cunha, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, Brasília, DF, 5ed, 2018.
- Sidrim, J.J.C.; Brilhante, R.S.N.; Rocha, M.F.G. (2004) Aspectos Gerais de fungos filamentosos e dimórficos na apresentação filamentosa. In: Sidrim, J.J.C, Rocha, M.F.G. **Micologia Médica** ‘a luz de autores contemporâneos. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2004, cap 8, p. 83-86.
- Silveira, R.B.; Melloni, R.;Pereira, E. G. (2004). Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, no sul de Minas Gerais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, 2(2):21- 29.
- Shouche, S. & Bhati, P. (2019). Potencial of actinomycetes as bioremediating and biocontrolling agents. **Paripex - Indian Journal of Research**, 8:36-40.
- Sousa, D.M.G. de; Lobato, E. (2004) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF. 416p.
- Sousa, R. R; Leão, E. U; Veloso, R. A; Giongo, M.; Santos, G. R. dos. (2019). Impacto da queima de vegetação do Cerrado sobre fungos habitantes do

solo. **Ciência Florestal**, 29(2):965–74. <https://doi.org/10.5902/1980509822614>

Souza, M.C.; Teixeira, L.J.W.; Rocha, C.T.; Ferreira, G.A.M. (2013). Emprego Do Frio Na Conservação De Alimentos. **Enciclopédia Biosfera**, 9(16):p. 1027.

Sultan, M.Z., Khatune, N.A., Sathi, Z.S., Bhuiyan, S.A.M.D., Sadik, G.M. et. al. (2002). In vitro antibacterial activity of an active metabolite isolated from *Streptomyces* species. **Biotechnology**, 1:100-106. DOI:10.3923/BIOTECH.2002.100.106.

Tiecher, T. (2016). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul**

do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. 1ed. Porto Alegre: UFRGS, 1: 53-54.

Torsvik, V.; Øvreås, L. & Thingstad, T.F. (2002) Prokaryotic diversity - magnitude, dynamics, and controlling factors. **Science**, 296:1064-1066. DOI:10.1126/science.1071698

Zermeño, J.M.L. (2014). **Manual de prácticas de micología**. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: IESCH, 57p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/EricySelene/practica-de-micologia>>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.