



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

BEATRIZ APARECIDA ALVES FERNANDES

**QUALIDADE DO SOLO CULTIVADO COM PALMA FORRAGEIRA E IRRIGADO
COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

Guanambi - BA

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

BEATRIZ APARECIDA ALVES FERNANDES

**QUALIDADE DO SOLO CULTIVADO COM PALMA FORRAGEIRA E IRRIGADO
COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

Guanambi - BA

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IF Baiano,
Campus Guanambi, com dados fornecidos pelo (a) autor (a)

Fernandes, Beatriz Aparecida Alves

Qualidade do solo cultivado com palma forrageira e irrigado com água residuária tratada/ Beatriz Aparecida Alves Fernandes. -- Guanambi, BA, 2023.

58 f.

Orientador: José Alberto Alves de Souza. Coorientadora: Joice Andrade Bonfim.

Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus Guanambi*, 2023.

1. Semiárido. 2. Indicadores biológicos. 3. Reuso.
4. Efluente tratado. I. Souza, José Alberto Alves de. II. Bonfim, Joice Andrade. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO

Curso de Pós-Graduação Stricto sensu

Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido

TERMO DE APROVAÇÃO DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

QUALIDADE DO SOLO CULTIVADO COM PALMA FORRAGEIRA E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

por

Beatriz Aparecida Alves Fernandes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado às 13 horas 30 min. do dia 12 de julho de 2023 como requisito para a conclusão do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – *Campus* Guanambi. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alexsandro dos Santos Brito**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/08/2023 21:49:41.
- **Jose Alberto Alves de Souza**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/08/2023 17:38:32.
- **Jose Assuncao Silveira Junior**, COORDENADOR(A) - FUC1 - GBI-CCTZ, em 25/07/2023 09:56:23.
- **Joice Andrade Bonfim**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/07/2023 15:33:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/07/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifbaiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 462083

Código de Autenticação: 28b753a062



*Meu Senhor e meu Deus,
Toda honra e glória
sejam dadas a Ti!*

*Aos meus pais, Jaime e Vera Lúcia, minha
inesgotável fonte de amor e perseverança,
dedico o meu título.*

*Minha eterna e mais profunda gratidão, com todo o
amor do mundo.*

*Ao meu padrinho, Manoel Maria Filho (in
memoriam), grande defensor da educação
e da Universidade Pública.*

Nós vencemos dindo!

Amarei-te eternamente.

*Ao meu amor e agora também meu
colega de título, Me. Marcos Miranda, a
quem me inspiro e que tornou a minha
jornada muito mais leve.
Minha gratidão! Amo-te!*

Agradeço também aos meus irmãos e cunhados;

Aos meus sobrinhos - esse foi um ano muito especial, pois tive a minha mais linda surpresa, meu sobrinho e afilhado José, que Deus me enviou para me fazer ainda mais feliz. Espero-te com todo o amor do mundo;

A minha sogra, meu sogro, meus cunhados e concunhadas, a família que ganhei de Deus;

A toda a minha família, nas pessoas de Lúcia e João Vitor;

Aos mototaxistas Arleno e Poeira (sr. Hermenegildo);

Aos professores Dr^a. Joice Bonfim e Dr^o. José Alberto, meus orientadores;

Aos professores que fizeram parte da banca examinadora, Dr^o. Júnior Assunção e Dr^o. Alexsandro Brito;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IF Baiano;

Ao Instituto Nacional do Semiárido – INSA, os bolsistas e toda a equipe responsável pelo projeto;

As técnicas do laboratório do IF Baiano;

Aos colegas e amigos do mestrado, que estiveram comigo nessa caminhada;

A Unidade Regional de Caetité- Embasa

Aos meus amigos,

Enfim, agradeço a todos que entenderam quando eu precisei me ausentar e que me apoiaram durante essa jornada. Eu não conseguiria chegar até aqui se eu não pudesse contar com o apoio de vocês, pois conforme os versos de Raul Seixas: “Sonho que se sonha só / É só um sonho que se sonha só / Mas sonho que se sonha junto, é realidade”.

Sumário

RESUMO	14
1. Introdução	16
2. Revisão Bibliográfica	17
2.1 A Palma forrageira	17
2.2 Qualidade do Solo.....	19
2.2.1 Indicadores Biológicos.....	19
2.2.1.1 Respiração Basal do Solo (RBS).....	20
2.2.1.2 Biomassa microbiana do solo (BMS)	20
2.2.1.3 Quociente metabólico (qCO_2)	20
2.2.1.4 Enzimas do solo	21
2.2.1.5 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	21
2.2.2 Indicadores Químicos.....	22
2.2.3 Indicadores físicos	23
2.3 Água Residuária Tratada.....	24
2.4 Irrigação com ART	25
2.5 Efeito da irrigação com ART na qualidade do solo	27
3. Material e Métodos.....	28
3.1 Área de Estudo.....	28
3.2 Análises microbiológicas	33
3.2.1 Respiração Basal do Solo – RBS	33
3.2.2 Carbono da Biomassa microbiana - CBM (Fumigação-extração).....	33
3.2.3 Determinação de fosfatase ácida	34
3.2.4 Micorrizas	34
3.3 Análises químicas	35
3.4 Análises físicas	35
4. Resultados e Discussão	36
4.1 Análises físicas	36
4.2 Análises químicas	36
4.3 Análises microbiológicas	40
5. Conclusão	48
6. Referências Bibliográficas	49

Lista de figuras

Figura 1. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: outubro, novembro e dezembro de 2021.....	29
Figura 2. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2022.....	29
Figura 3. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: janeiro e abril de 2023.....	29
Figura 4. Demonstrativo da distribuição dos blocos na área.....	31
Figura 5. Imagem de satélite com a vista área da área do experimento	32
Figura 6. Área do Estudo.....	32
Figura 7. Respiração basal do solo cultivado com palma forrageira, em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.....	41
Figura 8. CBM (Carbono da biomassa microbiana) do solo cultivado com palma forrageira em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.....	43
Figura 9. Valores de qCO_2 do solo cultivado com palma forrageira em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.....	44
Figura 10. Colonização radicular por FMA de acordo com as espécies de palma estudadas.....	46
Figura 11. Número de esporos de FMA de acordo com as espécies de palma estudadas.....	47

Siglas

ART - Água Residuária Tratada
ANA - Agência Nacional das Águas
Al – Alumínio
B - Boro
BaCl₂ - Cloreto de bário
Ca - Cálcio
C – Carbono
CAM - Metabolismo ácido das crassuláceas
CBM - Carbono da Biomassa Microbiana
CE - Condutividade Elétrica
Cl – Cloro
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO₂ - Gás Carbônico
CTC – Capacidade de troca catiônica
CTA- Capacidade de troca aniônica
Cu - Cobre
Ds - Densidade do solo
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
Fe – Ferro
FMA – Fungos micorrízicos arbusculares
HCl -Ácido clorídrico
H₂SO₄ . Ácido sulfúrico
H₃PO₄ . Ácido fosfórico
H+Al - Acidez potencial
INSA - Instituto Nacional do Semiárido
K – Potássio
K₂SO₄ . Sulfato de potássio
M – Saturação por alumínio
Mg – Magnésio
Mn – Manganês
MO – Matéria Orgânica
Mo - Mobilênio
Na – Sódio
NaOH - Hidróxido de sódio
OD - Oxigênio Dissolvido
P - Fósforo
pH - Potencial hidrogeniônico
P-rem - Fósforo remanescente
PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PST - Porcentagem de sódio trocável
Pt – Porosidade total
qCO₂ . Quociente metabólico
SB – Soma de Base Trocáveis
t – CTC efetiva
T – CTC potencial
UV – *Ultravioleta*
V – Saturação por bases

Zn - Zinco

RESUMO

FERNANDES, B. A. A, M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus* Guanambi, Guanambi, julho de 2023. **Qualidade do solo cultivado com palma forrageira e irrigado com água residuária tratada.** Orientador: Prof. Dr. José Alberto Alves de Souza. Coorientadora: Profa. Dra. Joice Andrade Bonfim

O semiárido é marcado por ter uma demanda hídrica potencial das culturas muito superior à precipitação, o que sujeita todas as plantas a um intenso déficit hídrico. Isso configura um imenso desafio para a produção de forragens para alimentar os rebanhos bovinos, caprinos e ovinos. Sendo assim, o uso de água residuária tratada (ART) é uma opção tecnicamente viável para substituir a água doce, proporcionando, além da economia de água de boa qualidade, o incremento de nutrientes existentes na ART no solo. Porém, o efeito do uso de ART na qualidade do solo ainda é pouco conhecido. Diante do exposto, este trabalho objetivou identificar as possíveis alterações microbiológicas e químicas no solo irrigado com ART e com cultivo de três espécies de Palma Forrageira: *Nopalea cochinillifera* (palma miúda), *Opuntia stricta* (palma orelha de elefante mexicana) e *Opuntia ficus-indica* (palma gigante); consorciadas com quatro espécies de leguminosas: *Canavalia ensiformes* (L.) DC (feijão-de-porco), *Clitoria terneate* L. (cunhã), *Cajanus cajan* (feijão guandu) e *Moringa oleifera* Lam. (Moringa), em delineamento em blocos casualizados, com arranjo fatorial 3x4 (3 cultivares de palma x 4 de leguminosas), com seis repetições, e foi parte de um projeto de pesquisa implementado em uma propriedade localizada em Guanambi, BA, na qual o efluente é proveniente da Estação de Tratamento de Efluente do mesmo município, da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. O manejo de irrigação adotado foi com déficit controlado, aplicando-se apenas 30% da evapotranspiração de referência – ETo e foram avaliadas propriedade física (textura), para caracterização da área; propriedade químicas (MO, P, K, Na, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, P-rem, CE, H+Al, SB, t, T, V, m,) e biológicas (respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, qCO_2 , enzima fosfatase ácida e FMA) para avaliar a qualidade do solo. Durante o período do experimento (2021 até 2023), foi possível observar alterações no pH, MO, K, Na, Mg, Al, Fe, Mn, CE, SB, t e T. Ocorreu um aumento na respiração basal do solo (em 18 meses) e no CBM (em 12 meses), enquanto a fosfatase ácida (18 meses), qCO_2 (12 meses) e FMA (18 meses) não foram alterados pela aplicação da ART. Através do estudo concluiu-se que a utilização de efluente tratado no período estudado favoreceu a microbiologia do solo, mas aumentou as taxas de alguns parâmetros químicos como o Na e Al e diminuiu o pH, por isso, deve haver monitoramento com frequência.

Palavras-chave: semiárido, indicadores biológicos, reúso, efluente tratado.

ABSTRACT

FERNANDES, B. A. A, M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus* Guanambi, Guanambi, 2023, July. **Quality of soil cultivated with cactus pear and irrigated with treated wastewater.** Adviser: DSc José Alberto Alves de Souza. Co-adviser: DSc Joice Andrade Bonfim

Semi-arid region is characterized by having a potential water demand from crops that is much higher than precipitation, which subjects all plants to intense water deficit. This sets up an immense challenge for production of fodder to feed cattle, goats and sheep. Therefore, the use of treated wastewater (ART) is a technically viable option to replace fresh water, providing, in addition to saving good quality water, the increase of nutrients existing in ART in the soil. However, the effect of ART use on soil quality is still little known. Given the above, this study aimed to identify possible microbiological and chemical changes in the soil irrigated with ART and with the cultivation of three species of cactus pear: *Nopalea cochinillifera* (miúda), *Opuntia stricta* (Mexican elephant ear) and *Opuntia ficus-indica* (Giant cactus pear); intercropped with four species of legumes: *Canavalia ensiformes* (L.) DC (jack bean), *Clitoria terneatea* L. (cunhã), *Cajanus cajan* (Guandu bean) and *Moringa oleifera* Lam. (Moringa), in a randomized block design, with a 3x4 factorial arrangement (3 cultivars of cactus pear x 4 of legumes), with six replications, and was part of a research implemented in a property located in Guanambi, BA, in which the effluent comes from the Effluent Treatment Station of the same municipality, from Company Baiana de Águas e Saneamento S.A. The irrigation management adopted was with controlled deficit, applying only 30% of the reference evapotranspiration – ETo and physical properties (texture) were evaluated to characterize the area; chemical (MO, P, K, Na, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, P-rem, EC, H+Al, SB, t, T, V, m) and biological properties (soil basal respiration, microbial biomass carbon, qCO₂, acid phosphatase enzyme and AMF) to assess soil quality. During the experiment period (2021 to 2023), it was possible to observe changes in pH, MO, K, Na, Mg, Al, Fe, Mn, CE, SB, t and T. There was an increase in soil basal respiration (18 months) and in CBM (12 months), while acid phosphatase (18 months), qCO₂ (12 months) and AMF (18 months) were not altered by the application of ART. Through the study it was concluded that the use of treated effluent in the studied period favored the soil microbiology, but increased the rates of some chemical parameters such as Na and Al and decreased the pH, therefore, there must be frequent monitoring.

Keywords: semi-arid, biological indicators, reuse, treated effluent.

1. Introdução

A água é um bem natural indispensável para a existência da vida no planeta. Esse recurso está cada vez mais restrito, tanto em qualidade quanto em quantidade, devido a alguns fatores, como o crescimento populacional, a distribuição pluviométrica irregular e o uso desordenado. Na região nordeste do Brasil há maior restrição ainda, devido às baixas e irregulares precipitações e às elevadas taxas de evapotranspiração ao longo do ano (LIRA et al., 2015). O controle de desperdício de água potável, está entre os maiores problemas que a humanidade enfrenta, e, aliada ao crescimento acentuado das cidades, tornaram-se tema de grande importância para pesquisadores e poder público (ALMEIDA et al., 2019). Ao relacionar os recursos hídricos acessíveis com a distribuição geográfica da população do Brasil, a situação do nordeste e sudeste é considerada grave (CUNHA, 2010).

Na agricultura, a utilização de água residuária tratada (ART) após tratamento adequado, além de combater a poluição, contribui para o desenvolvimento local sustentável, pois propicia aumento da produção agrícola e economia de fertilizantes minerais. Também possibilita economia de água de boa qualidade e evita contaminação dos corpos hídricos, visto que, mesmo após o tratamento, as águas residuais contêm uma carga orgânica e microbiológica que podem ser prejudiciais ao ambiente aquático.

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54, de 28 de novembro de 2005, define que a água de reuso é a água residuária que está dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas propriedades pretendidas e se estabelece como uma prática de racionalização e de conservação dos recursos hídricos. A ART pode ser utilizada para controlar a oferta e a demanda, tendo em vista que a escassez de recursos hídricos vista em regiões do território nacional é devida aos aspectos de quantidade e de qualidade, dentre outros.

Algumas das vantagens do reuso de água na agricultura são: reduções no consumo de água para irrigação; disposição de insumos agrícolas necessários através do uso de MO de águas residuais e redução ou eliminação do risco de eutrofização, pois diminui o descarregamento de águas residuais diretamente nos rios. Essas vantagens se potencializam considerando condições de clima semiárido. Outro benefício é que os nutrientes presentes nessas águas podem melhorar significativamente a fertilidade de solos arenosos, que são comumente encontrados nessas regiões. Além disso, a forte radiação solar sobre o solo reduz a carga de patógenos que pode persistir nas águas residuais depois de passar pelo tratamento (OLIVEIRA et al., 2016).

Os projetos inovadores de reuso de água vêm mostrando que tecnologias podem ser implementadas para tratamento de efluente tratado, inclusive para uso como a água potável e industriais (MELO et al., 2021).

Um sistema solo-planta com manipulação adequada, aquele que considera suas propriedades químicas, físicas e biológicas a fim de promover boa produtividade, pode promover a absorção e retenção dos elementos do efluente, incorporando-os à massa seca, sem acúmulo no solo e contaminação do lençol freático, possibilitando a ciclagem de nutrientes e reduzindo a carência por fertilização (MOTA & SPERLING, 2009). Para avaliar a qualidade biológica do solo, os principais parâmetros aplicados como indicadores são: biomassa microbiana, respiração microbiana, atividade enzimática, quociente metabólico e análise de alguns grupos de microrganismos, como os fungos micorrízicos arbusculares (ARAÚJO et al., 2012; BATISTA et al., 2008), além dos parâmetros químicos e físicos (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

A utilização de ART na agricultura é uma estratégia considerada como ambientalmente favorável e contribui com o aumento da umidade, da taxa de filtragem e da porosidade nos solos, além de proporcionar vários benefícios às culturas, como grama, utilizada para consumo animal, pelas suas características de fertilizantes conferidas pelo teor de macro e micronutriente presentes na ART (FRAGOZO et al., 2020).

Sendo assim, a avaliação dos indicadores da qualidade do solo é uma prática importante para tornar viável a utilização de ART como uma fonte alternativa sustentável para agricultura. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do solo cultivado com palma forrageira e irrigado com ART.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 A Palma forrageira

A palma forrageira pertence à família Cactaceae e é um cacto ramificado e suculento, com porte arbustivo, com cerca de 1,5 e 3 m de altura, ramos clorofilados achatados compridos (30 - 60 cm) e pouco largos (6 - 15 cm), espinhosos ou inermes. Possuem folhas pequenas, decíduas precoces; flores amarelas ou laranja brilhantes, vistosas e os frutos amarelos-avermelhados e suculentos com poucos espinhos (FABRICANTE et al., 2011).

Descoberta no ano de 1932 como uma grande alternativa forrageira. Em 1979-1983, no período de estiagem prolongada no nordeste brasileiro, a palma ganhou destaque no

semiárido e foi a partir daí que se iniciaram estudos voltados para a forrageira (FABRICANTE et al., 2011). Originária do México e de grande valor para a alimentação de rebanhos e humana nas regiões secas do Brasil e do mundo, devido, principalmente, a sua resistência à seca, a rusticidade e alta produtividade (NEVES et al., 2020).

Dentre os diversos fins para os quais é utilizada, a palma também é usada na criação de cochonilha, responsável por produzir o ácido carmínico, utilizado para fabricação do corante, mas se a cultura não for conduzida de forma adequada, esse inseto pode se tornar uma praga. A ocorrência de outros tipos de besouros, gafanhotos, formigas cortadeiras e lagartas são acidentais em palma, sobretudo em plantas jovens, mas não chegam a serem consideradas pragas (SANTOS et al., 2006). A sua resistência à seca está relacionada à sua bioquímica, morfologia e fisiologia: tolerância (diminuição do metabolismo), resistência (a sua condição xerofítica) e escape (maior aproveitamento das chuvas pelo sistema radicular ramificado e superficial) (OLIVEIRA et al., 2011). É uma planta do tipo CAM, onde o CO₂ é inicialmente fixado em ácidos orgânicos de quatro carbonos, à noite. Têm taxas de transpiração ainda menores, devido aos seus estômatos abrirem à noite e fecharem durante o dia, quando a temperatura é mais elevada, o que evita a perda de água. A transpiração é muito menor à noite (TAIZ et al., 2017).

Apesar se ser uma planta resistente à seca, a aplicação complementar de água no cultivo de palma pode resultar, além do aumento da produtividade, antecipação da colheita e possibilidade de plantio em diferentes épocas do ano (ROCHA, 2016). Dessa forma, é recomendada a irrigação para o cultivo da palma na região semiárida, em razão dos índices pluviométricos nem sempre atenderem à demanda da cultura (ARAÚJO et al., 2021). Segundo estudos realizados em inúmeros países, desde que seja adequadamente administrada, a produtividade aumenta substancialmente em sistemas de irrigação com uso de efluentes (SOUZA, 2018).

Em estudo de Azevedo Júnior et al. (2019), foi verificado que a irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado aumentou significativamente a produção de massa verde por hectare de palma forrageira em comparação com o cultivo de sequeiro, onde houve menor produtividade; ainda houve aumento nos teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês e níquel na palma forrageira.

Dos 500 mil hectares estimados de Palma forrageira no Nordeste, a maior parte está concentrada em Pernambuco, Alagoas, Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia. A palma miúda (*N. cochenilífera*) e a gigante (*O. ficus-indica*) são destaques no Brasil (OLIVEIRA et al.,

2011). Segundo Farias et al. (1986), uma prática que contribui para o sucesso da cultura de palma, é a associação dessa espécie forrageira com outras culturas.

A aplicação de resíduos orgânicos, como os efluentes, vêm mostrando resultados positivos em contribuir com as demandas nutricionais da palma. Santos et al. (2021) e Santos et al. (2019), em estudos realizados no interior da Bahia, com palma forrageira irrigada com efluente doméstico, verificaram aumento significativo no teor de K, dentre outros nutrientes como o P, Ca, Mg, B, Mn e Zn, mesmo sendo o K um dos nutrientes mais extraídos pela palma forrageira.

2.2 Qualidade do Solo

A Sociedade Americana de Ciência do Solo define qualidade do solo como o seu potencial de funcionamento, a fim de manter a produtividade vegetal e animal, além de manter e melhorar a qualidade da água, do ar e dar suporte à saúde habitacional e humana, em sistema natural ou manejado (KARLEN et al., 1997).

A avaliação da qualidade do solo pode ser estimada a partir de indicadores e, para isso, devem-se considerar atributos físicos, químicos e biológicos. Alguns fatores como profundidade, clima, inclinação, textura, pedregosidade e mineralogia do solo são relativamente imutáveis. As propriedades efêmeras do solo são o P disponível, K disponível, teor de água, pH, temperatura, níveis de nutrientes e taxas de respiração, que são alteradas facilmente por: irrigação; clima; preparo do solo; calagem; e fertilização. As propriedades intermediárias, que demonstram grande influência do solo para executar suas funções são a agregação, a biomassa microbiana do solo (BMS), a respiração basal, o C ativo, o quociente respiratório e o teor de MO (ISLAM & WEIL, 2000).

2.2.1 Indicadores Biológicos

O estudo da microbiota dos solos e suas relações é de suma importância, devido à grande diversidade nas formas de vida presente e à heterogeneidade. O conhecimento das interações microbianas que regem um ecossistema é bastante promissor para a agricultura e poderá indicar práticas que contribuem para melhorar a qualidade do solo (ANDREOTE & CARDOSO, 2016).

Para que se tenha um sistema de produção de qualidade e ecologicamente sustentável, é necessário propiciar ao solo um ambiente físico-químico adequado, a fim de estimular a

atividade e a diversidade dos microrganismos que nele habitam, quando não, terá como resultado um solo frágil e suscetível aos processos degradativos, às pragas e às doenças (OLIVEIRA et al., 2019). Atributos biológicos, como a respiração basal do solo, biomassa microbiana, quociente metabólico, enzimas, e fungos micorrízicos arbusculares, dentre outros, têm sido usados em diversos estudos para avaliar impactos de diferentes manejos do solo.

2.2.1.1 Respiração Basal do Solo (RBS)

Para se medir a atividade microbiológica, a respiração basal do solo (RBS) é um dos parâmetros mais antigos utilizados. A RBS descreve a oxidação da MO por organismos aeróbicos do solo, os quais utilizam O_2 comoceptor final de elétrons, até CO_2 . Pode ser avaliada tanto pelo consumo de O_2 ou pela produção de CO_2 (MOREIRA et al., 2006). O cálculo de respirometria permite que o carbono degradado no solo seja quantificado e, além disso, analisa se a atividade microbiana está sofrendo algum impacto na decomposição e na mineralização do carbono no solo, pelas condições climáticas, presença de elementos poluentes ou o manejo do solo (SILVEIRA et al., 2007).

2.2.1.2 Biomassa microbiana do solo (BMS)

A análise da BMS também é muito relevante para avaliação da qualidade do solo, devido ao seu envolvimento na dinâmica dos nutrientes, nas alterações orgânicas sintéticas, na estabilização física de agregados e na decomposição (FRANZLUEBBER, 1999). O carbono da biomassa microbiana (CBM) refere-se a uma fração do C “vivo” do solo, proveniente das células microbianas (JENKINSON & LADD, 1981). Por ser dependente de organismos vivos, é facilmente alterável, sendo um sensível indicador de perturbação do solo. A biomassa microbiana é ainda considerada um reservatório de nutrientes no solo, além de atuar nas suas propriedades físicas, como a agregação.

2.2.1.3 Quociente metabólico (qCO_2)

O qCO_2 é obtido a partir da relação $C-CO_2/C-BMS$ (MERCANTE et al., 2008). O qCO_2 demonstra a quantidade de $C-CO_2$ liberada em determinado tempo, por unidade de C microbiano ($\mu g C-CO_2 h^{-1}/\mu g C\text{-biomassa } g^{-1}$ solo seco). Valores mais elevados de qCO_2 apontam maiores perdas de C na forma de CO_2 por C microbiano (BARETTA et al.,

2005). Esse indicador demonstra a capacidade da biomassa microbiana na utilização do carbono disponível para biossíntese (SAVIOZZI et al., 2002).

2.2.1.4 Enzimas do solo

As Enzimas também podem ser vistas como bioindicadores da qualidade do solo. Algumas delas podem ser bioindicadores da atividade microbiana, associada à fertilidade integral dos solos. São catalisadoras, garantem a ciclagem dos nutrientes no solo e colaboram com o seu equilíbrio ecossistêmico. Por isso, são fundamentais para a atividade dos ciclos biogeoquímicos. A arilsulfatase, a β -glicosidase e a fosfatase ácida, por exemplo, estão ligadas aos ciclos do enxofre, do carbono e do fósforo no solo, respectivamente (SILVEIRA et al., 2021).

As enzimas podem estar presentes no solo como enzimas intracelulares, associadas às células microbianas; ou enzimas extracelulares, não associadas. Existem correlações da atividade enzimática com os outros indicadores biológicos do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

As fosfatases estão ligadas ao ciclo do fósforo, onde os microrganismos transformam P orgânico em P inorgânico disponível no solo através da exclusão dessas enzimas (CONTE, 2002). Por ser um indicador relacionado ao funcionamento do solo e capazes de identificar as modificações ocorridas, é utilizada como biodinador da qualidade do solo. El-Husny et al. (2011) constataram eficiência na atividade da fosfatase ácida na identificação de alterações no solo.

2.2.1.5 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Grande parte das plantas estão associadas a fungos de solo, com destaque para os FMA. Estes fungos desenvolvem uma simbiose mutualística com a maioria das plantas cultivadas. Estão em um mesmo ambiente e, tanto a planta como o fungo se beneficiam: a planta fornece energia para o fungo, através dos fotoassimilados e o fungo oferece água e nutrientes para a planta (BERBARA et al., 2006).

Os FMA exercem sua função como um complemento do sistema radicular da planta hospedeira, ampliando a capacidade de absorção de nutrientes como P e outros (BERBARA et al., 2006). A associação da planta com o fungo atua na funcionalidade e na manutenção dos ecossistemas naturais e manejados. Contribui para o desenvolvimento das plantas e para a

estruturação de comunidades vegetais, além de serem importantes, também, na recuperação de solos (BERUDE et al., 2015).

Em plantas de palma, os FMA são conhecidos por beneficiarem o estabelecimento e o crescimento da planta em condições estressantes, podendo auxiliar no estabelecimento de mudas. Antes das mudas de cactos, nas áreas áridas, serem colonizadas por esses fungos, elas podem desenvolver suas raízes muito lentamente (BASHAN et al., 2000). Essas associações, ao mesmo tempo que favorecem o aumento da absorção de nutrientes, promovem proteção contra organismos patogênicos e ainda podem promover resistência da planta hospedeira à salinidade, através de mecanismos como a regulação da fisiologia e o desenvolvimento da planta (LATEF et al., 2016).

Souza (2009) verificou que o sistema de produção de palma apresentou maior colonização com FMA do que com cultivo agrícola tradicional com consórcio de milho + feijão e pastagem (capim buffel).

2.2.2 Indicadores Químicos

São atributos químicos do solo: pH, Carbono Orgânico, CTC, CTA, Óxidos de Ferro e Óxidos de Alumínio, macronutrientes e micronutrientes, que demonstram as necessidades nutricionais das plantas; e os metais pesados, agrotóxicos, que apontam sinais de poluição ou contaminação (GOMES & FILIZOLA, 2006).

O pH do solo corresponde a atividade de H^+ na solução do solo e determina se um solo é ácido, neutro ou básico. Para o cultivo, o solo ótimo deve apresentar pH entre 6,0 a 6,5, mas pode ser estendido para entre 5,5 a 6,8. O pH exerce grande influência sobre a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, a absorção dos nutrientes pela planta (GOMES & FILIZOLA, 2006). O solo levemente ácido (pH de 5,5 a 6,5) é o mais adequado para a obtenção da disponibilidade máxima de nutrientes, pois os metais ferro, manganês, cobre, zinco e alumínio estarão pouco disponíveis quando há elevação do pH, por precipitarem na forma de hidróxidos e carbonatos. Nitrogênio, potássio, cálcio, enxofre, magnésio, molibdênio e o íon cloreto já têm alta disponibilidade quando há elevação do pH (MOTA & SPERLING, 2009).

Os nutrientes disponíveis para as plantas auxiliam no aumento da produtividade, como por exemplo, o P, K, Ca e Mg (GOMES & FILIZOLA, 2006). O fósforo, por exemplo, é um nutriente limitador para a produção das culturas em solos tropicais. Está disponível em solos com pH 6,5. Em solos com pH mais elevado, existe a precipitação com Mg e Ca e, assim, a

sua solubilidade é diminuída. Já em solos ácidos, o fósforo forma precipitados com Fe e Al. Este elemento ainda pode tornar-se indisponível para as plantas, pois pode passar por reações de fixação (adsorção específica) em minerais de argila, como caulinita e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio do solo. O potássio é um íon monovalente, apresenta alta mobilidade no solo e pode perder-se facilmente por lixiviação, mais comum em solos de baixa CTC – Cátions trocáveis - e que receberam grande quantidade de Ca e Mg, que competem com o K pela adsorção ao solo (MOTA & SPERLING, 2009).

A CTC trata-se de uma característica físico-química essencial ao manejo adequado da fertilidade do solo, e é o número total de cátions trocáveis que um solo pode reter (refere-se a quantidade carga negativa). Dessa forma, quanto maior for a CTC do solo, será maior o número de cátions que este solo consegue segurar, ou quanto maior for o teor de argila e MO, mais posições para reter cátions (LOPES et al., 2004).

A maioria dos solos brasileiros são considerados solos tropicais, de composição mineralógica simples, compostos basicamente com minerais silicatados 1:1 (caulinita), óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro. Além disso, são intemperizados e profundos, normalmente ácidos, e com pouca MO e nutrientes minerais. Também possuem baixa CTC, comparados aos solos de clima temperado (MOTA & SPERLING, 2009).

2.2.3 Indicadores físicos

As análises físicas são de grande relevância para a avaliação da qualidade do solo e determinação do manejo (SILVA, 2018). A textura é considerada uma propriedade básica do solo que faz referência ao tamanho das partículas e não sofre variação. O solo arenoso é definido como o solo que apresenta partículas minerais mais grosseiras, já o solo argiloso é o solo com maior quantidade de minerais coloidais (ROZADA & SILVA, 2021).

A estrutura do solo, por sua vez, descreve como as partículas são agregadas, ou seja, é a configuração da porosidade do solo. Solos com alta porosidade são solos com uma boa agregação e com uma mais rápida penetração e percolação da água da chuva, e ainda proporciona uma melhor troca dos gases entre a atmosfera e o solo. Assim, a estrutura desempenha uma grande influência na parte biológica do solo. A compactação do solo é o processo de perda da porosidade através de interferências antrópicas, a qual diminui o seu volume e aumenta a sua densidade. A redução da porosidade dificulta a troca de gases e aeração, que podem gerar alguns problemas como a redução da atividade microbiana, refletindo na decomposição da MO e na ciclagem de nutrientes (ROZADA & SILVA, 2021).

A análise granulométrica objetiva obter a proporção existente de areia, argila e silte. A proporção destes componentes influencia, além de outras características, a porosidade, a retenção de água e nutrientes no solo (SILVA, 2018).

2.3 Água Residuária Tratada

A Agenda 21 (1994) recomendou a aplicação de políticas de gestão direcionadas para o uso e reutilização de efluentes, envolvendo proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas, aos países participantes da ECO (HESPANHOL, 2002).

A agricultura, atualmente no mundo, está enfrentando problemas como falta de água para produzir e a necessidade de produzir em maior quantidade, devido ao aumento populacional e é o setor que mais utiliza água no planeta, aproximadamente 70% da água potável. Problemas esses mais evidenciados no semiárido brasileiro, onde há escassez de água, necessitando, assim, de alternativas em curto prazo para suprir as necessidades hídricas das culturas. Uma alternativa é o uso de água residuária na agricultura (SARAIVA & KONIG, 2013; TORRES et al., 2019).

Não somente em regiões que sofrem com escassez de água, mas lugares com recursos hídricos abundantes também sofrem impactos negativos na qualidade de vida e desenvolvimento diante de demandas hídricas elevadas (HESPANHOL, 2002).

Dessa forma, a irrigação que irá sustentar a produção agrícola, principalmente nas regiões mais secas, ao longo de todo o ano, ou fornecendo água para as plantas em épocas de estiagem, resultando na obtenção de melhores índices de produtividade (MARQUES et al., 2022). Nesse contexto, as águas de qualidade inferior, tais como efluentes domésticos, na medida em que for possível, devem ser considerados como fontes alternativas para os usos menos limitados (HESPANHOL, 2002).

Após passar pela etapa do tratamento, a água residuária apresentará remoção dos principais poluentes antes de serem lançadas no corpo receptor. Esse tratamento gera uma nova alteração na característica do líquido (SPERLING, 2005). Mas, mesmo após passar pelo processo de tratamento, o efluente ainda apresenta características que poderão provocar aumento nas concentrações de nitrogênio e fósforo, dentre outros nutrientes, e alteração do pH, podendo comprometer a utilização da água do corpo receptor. As classes de enquadramento dos corpos hídricos são definidas na Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, onde são estabelecidas as condições e padrões de lançamento de efluentes, inteirada e alterada da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio

Ambiente – CONAMA, da classificação dos corpos de água e também estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e outras providências.

Os principais parâmetros químicos, físicos e biológicos avaliados nos efluentes são: OD, Fósforo, Nitrogênio, Cloretos, pH, DBO, DQO, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Alcalinidade, Coliformes Termotolerantes, dentre outros (SPERLING, 2005; SOUSA et al., 2015).

É benéfico que as águas residuais contenham concentrações de MO e o máximo dos nutrientes e micronutrientes contidos no efluente bruto e, por isso, os critérios de tratamento para reuso para fins agrícolas difere dos estabelecidos para o descarregamento de efluentes líquidos nos rios (HESPANHOL, 2002). Os elementos minerais são componentes importantes para o desenvolvimento da planta e encontram-se abrigados no solo, mas principalmente os solos agrícolas brasileiros, que são de pouca fertilidade, e mesmo os solos ricos podem sofrer déficit de nutrientes ocasionado pela exploração agrícola. Nesses casos, é fundamental o manejo adequado na prática da adição de fertilizantes ou adubos (DIAS et al., 2012).

Mas existem riscos eminentes também relacionados a prática do reuso de efluente, devido à possibilidade da existência de patógenos como *Escherichia coli*, *Shigella sp.* dentre outros organismos, que podem ser minimizados ao utilizar o manejo do efluente de forma adequada (SANTOS, 2004).

2.4 Irrigação com ART

Segundo o PROSAB, o uso de efluente para diversos fins tem sido uma prática que vem sendo disseminada em todo o mundo, o que contribui para reduzir os problemas da escassez, má distribuição e má qualidade da água (MOTA & SPERLING, 2009).

Cerca de 50 milhões m³d-1 de água de efluente estavam sendo reutilizados no mundo. Desses, 21 milhões m³d-1 são de esgoto tratado. Entre 43 países, os Estados Unidos foram utilizadores do maior volume. Em Singapura, a água de reuso era mais de 10% da água utilizada; e em Israel, utilizavam 75% dos efluentes, principalmente para agricultura. 50, 29 milhões m³d-1 eram de efluente não tratado, e eram utilizados principalmente para irrigação, na China e no México (NRC, 2012; PEREIRA et al., 2020).

No Brasil, ainda não existe legislação específica e padrões reguladores que garantam a qualidade e a segurança na utilização da água de reuso, o que pode representar riscos à saúde pública no país. Entretanto, em algumas regiões, a água de reuso tem sido utilizada para a

agricultura, de forma não planejada (MOURA et al., 2020). Essa experiência do reúso de água ainda é recente no país, em comparação com outros países, o que torna difícil a formação de padrões, devido a essas diferenças. Dessa forma, é recomendada a criação de um banco de dados nacional, através do qual será possível insituir padrões regionais e, após isso, propor uma regulamentação de âmbito nacional, com estudos de riscos associados aos diferentes reúsos de água e condições específicas das regiões (CORTEZ, 2012).

As Leis e Resoluções pertinentes que existem atualmente no Brasil são do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH): Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso não potável de água; Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010, das diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal (KUBLER et al., 2015). Mas essas resoluções estabelecem diretrizes gerais, que não estabelecem regras referentes aos padrões dos efluentes a serem utilizados em função do uso a ser destinado, dificultando a implementação e disseminação da prática no país (SANTOS et al., 2020).

A Lei 14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico (BRASIL, 2020), enfatiza a necessidade de determinação de normas de referência para o reúso de água pela Agência Nacional de Águas (ANA), e a adoção do reúso como ação de uso racional, dentre outros.

A irrigação com efluente, além da colaboração com água, contribui com o aporte de nutrientes, podendo suplementar com grande parcela, e de forma contínua, a fertilização mineral convencional. Porém, manejar esses nutrientes advindos do efluente é muito importante, pois quantidades excessivas podem ocasionar problemas para as culturas e para o meio ambiente (MOTA & SPERLING, 2009). Na produção, a cultura que é irrigada com efluentes domésticos tratados se destaca quando comparada com culturas que receberam apenas adubação de fundação e de cobertura, por fornecer teores consideráveis de MO, que ajudam na melhoria da qualidade química, física e microbiológica do solo (BATISTA et al., 2017).

São macronutrientes essenciais para a planta os elementos: N, P, K, S, Ca e Mg e os micronutrientes: Cl, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo. A maioria dos solos é carente desses nutrientes, nas quantidades e disponibilidades que necessitam para as culturas. Por isso, há necessidade de fertilização, como forma de suplementação de nutrientes para plantas, que são transportados até as suas raízes e radículas, por difusão e fluxo de massa através da solução de

solo. A utilização de alguns insumos no solo, como o calcário, esterco, lodo de efluentes e efluentes, podem reduzir a incidência de doenças em plantas ou de restringir o desenvolvimento de patógeno. Com esgoto, por exemplo, é possível que, devido à adição de elementos minerais e aumento da atividade microbiana presentes no efluente, possam impedir o desenvolvimento de alguns patógenos, principalmente pela concorrência com outros microrganismos no solo (MOTA & SPERLING, 2009).

2.5 Efeito da irrigação com ART na qualidade do solo

Diversos estudos já constataram a eficácia da prática da utilização de efluente tratado na irrigação, que favoreceu a química do solo, no aporte de nutrientes (LEMOS et al., 2018); física, na densidade e porosidade do solo (CORTEZ et al., 2011); e ainda fornece substratos para a microbiota do solo, considerando que esse resíduo é rico em MO (CONTE et al., 2002; SIMÕES et al., 2013); e um maior ganho de biomassa (TORRES et al., 2019). Esses benefícios já foram observados também em cultura de palma forrageira (LEMOS et al., 2018; AZEVEDO JÚNIOR, 2019).

Entretanto, o uso do ART é uma prática que deve ser cuidadosamente realizada, tendo em vista a possibilidade da presença de organismos patogênicos. Nesse caso, os sistemas de lagoas de estabilização, com lagoas anaeróbias, de maturação e facultativas, são indicados, pois são qualificados para que sejam utilizados os efluentes em projetos de irrigação de culturas, devido serem considerados eficazes na eliminação de organismos patogênicos do efluente e, além disso, não causam grandes remoções de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (MOTA & SPERLING., 2009). Santos (2004) em seu estudo com cultura de café, levando em consideração a análise microbiológica do solo, concluiu que o efluente, produto do tratamento com lagoas de maturação, é viável para esta cultura, sem maiores problemas de contaminação para o solo e o agricultor, desde que seja feita a colheita em, no mínimo, após duas semanas da irrigação. Lima et al., (2005) recomendam que o tratamento de efluente apenas decantado, deve ser evitado na irrigação de hortaliças, que serão consumidas cruas, pois há deficiência na qualidade sanitária e coloca em risco a saúde dos agricultores, bem como manipuladores e consumidores; entretanto, esse tratamento pode ser usado dentro das recomendações da Organização Mundial da Saúde para cultivos industriais e de menor ou nenhuma manipulação. Os autores verificaram que o efluente, produto de tratamento de esgotos domésticos por um sistema de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) em lagoas de polimento e decantação, produziram efluentes com qualidade sanitária adequada

para irrigação da alface.

Ainda é observado que os riscos químicos a partir do uso de efluente estão aliados a sua origem e composição, ao seu tratamento, armazenamento e distribuição e ao tipo de técnica de irrigação e prática agrícola. As condições do clima, do solo e das águas subterrâneas também contribuem significativamente para esses riscos (HELMECKE et al., 2020). Também é recomendada a verificação das taxas dos elementos que serão aplicadas, pois elas podem impactar na contaminação das águas subterrâneas (SANTOS., 2004) ou causar algum dano a cultura por toxicidade, salinizar ou sodificar o solo (SANTOS et al., 2021).

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

Este trabalho visou analisar as possíveis alterações químicas e microbiológicas ocorridas no solo devido à aplicação da ART, sendo parte de um projeto maior: Reuso de águas residuárias no setor agrícola do semiárido brasileiro, implementado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF Baiano, em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido – INSA. O experimento está localizado em uma propriedade localizada no município de Guanambi, BA, de coordenadas geográficas 14° 14' 11.27''S e 42° 47' 46.16'' O, onde se faz o reuso de ART proveniente da Estação de Tratamento de Efluente do mesmo município, da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. A temperatura média é de aproximadamente 25°C e possui precipitação média de 680 mm (SANTOS, 2019). A precipitação ocorrida durante o período da pesquisa, 2021, 2022 e 2023 é apresentada nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

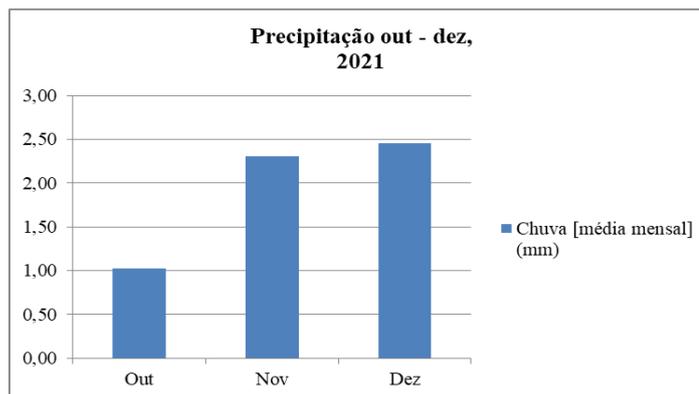


Figura 1. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: outubro, novembro e dezembro de 2021.

Fonte: INMET, 2021.

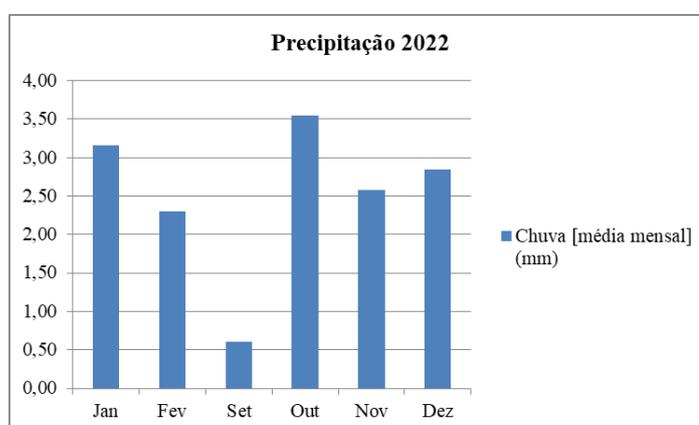


Figura 2. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2022.

Fonte: INMET, 2022.

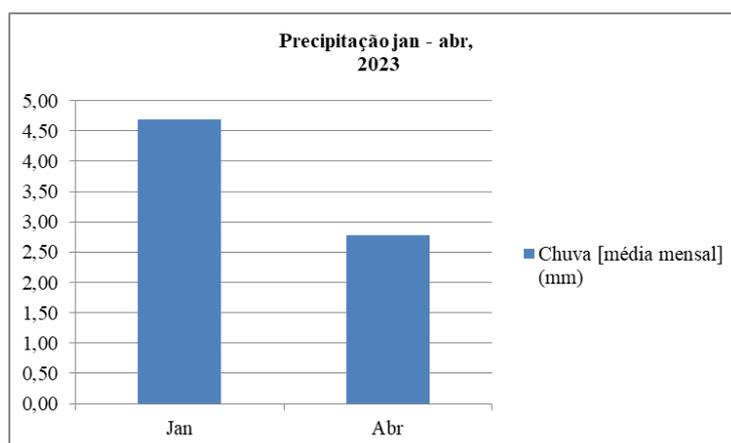


Figura 3. Ocorrência de precipitação no município de Guanambi nos meses: janeiro e abril de 2023.

Fonte: INMET, 2023.

O manejo de irrigação adotado foi com déficit controlado, aplicando-se apenas 30% da evapotranspiração de referência – E_{To} , calculada segundo o método Penman-Monteith

parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998), com dados climáticos obtidos de uma estação automática instalada próxima à área. Foram plantadas três espécies de Palma Forrageira: *Nopalea cochinillifera* (Miúda), *Opuntia stricta* (Orelha de elefante mexicana) e *Opuntia ficus-indica* (Gigante); consorciadas com quatro espécies de leguminosas: *Canavalia ensiformes* (L.) DC (Feijão-de-porco), *Clitoria terneatea* L. (Cunhã), *Cajanus cajan* (Feijão guandu) e *Moringa oleifera* Lam. (Moringa).

O experimento foi implementado no delineamento em blocos casualizados, com arranjo fatorial 3x4, sendo 3 cultivares de palma x 4 leguminosas, com seis repetições.

No início do experimento, foram coletadas dez amostras simples de solo por bloco, na camada de 0-20 cm, formando uma amostra composta por bloco, para análise química e física inicial da área, e essas foram analisadas no laboratório de análises de solo da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em Nova Porteirinha, MG (Quadro 1).

Quadro 1. Atributos químicos do solo antes e após aplicação de ART.

Parâmetros químicos	Área não irrigada	1 mês de aplicação de ART	6 meses de aplicação de ART	12 meses de aplicação de ART
pH	6,0bc	6,10c	5,63ab	5,45a
MO (dag/kg)	1,1c	0,78b	0,26a	0,67b
P (mg/dm ³)	13,0a	6,88a	9,56a	12,06a
K (mg/dm ³)	334c	166,40b	156,11b	107,38a
Na (cmol _c /dm ³)	0,10a	0,22b	0,23bc	0,35c
Ca (cmol _c /dm ³)	1,40b	1,02ab	0,83a	0,93ab
Mg (cmol _c /dm ³)	0,80b	0,44a	0,42a	0,38a
Al (cmol _c /dm ³)	0,00a	0,04ab	0,03ab	0,18b
H+Al (cmol _c /dm ³)	1,30a	1,38a	1,47a	1,26 ^a
B (mg/dm ³)	0,20a	0,10a	2,27a	0,18 ^a
Cu (mg/dm ³)	0,10a	0,10a	0,10a	0,10 ^a
Fe (mg/dm ³)	33,5a	184,68b	181,23b	120,37b
Mn (mg/dm ³)	30,2b	21,02ab	15,55a	13,80a
Zn (mg/dm ³)	1,5a	0,82a	2,02a	0,79a
Prem (Mg/L)	40,2a	39,92a	37,13a	40,69a
CE (dS/m)	0,5a	0,58a	0,61a	1,24b
SB (cmol _c /dm ³)	3,10b	2,10a	1,88a	1,95a
t (cmol _c /dm ³)	3,1b	2,14a	2,06a	2,14a
T (cmol _c /dm ³)	4,4b	3,46ab	3,35a	3,22a

Parâmetros químicos	Área não irrigada	1 mês de aplicação de ART	6 meses de aplicação de ART	12 meses de aplicação de ART
V(%)	70b	59,80ab	55,66a	60,16ab
m(%)	0,00a	2,40a	2,27a	9,38a

MO, matéria orgânica; P, fósforo; K, potássio; Na, sódio. Ca, cálcio. Mg, magnésio; Al, alumínio; H+Al, acidez potencial; SB, soma de bases; t, CTC efetiva; T, CTC a pH 7; V, saturação por bases; m, Saturação por alumínio; B, boro; Cu, cobre; Fe, ferro; Mn, manganês; Zn, zinco; P-rem, Fósforo remanescente; CE, condutividade elétrica. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ao nível de 5 pelo teste t (LSD).

A análise inicial foi feita apenas para os blocos, sendo uma amostra composta de cada bloco, sem diferenciar as parcelas. Além dessas, foi realizada uma coleta fora da área irrigada para caracterização química e comparativa dos solos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área de estudo sem irrigação com ART.

pH	MO dag/kg	P ...mg/dm ³ ...	Kcmolc/dm ³	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
6,00	1,18	13,0	334	0,1	1,4	0,8	0,0	1,3	3,1	3,14	4,4	70,0	0,0
				Bmg/dm ³	Cu	Fe	Mn	Zn	Prem mg/L	CE dS/m			
				0,20	0,10	33,5	30,2	1,5	40,2	0,0			

MO, matéria orgânica; P, fósforo; K, potássio; Na, sódio. Ca, cálcio. Mg, magnésio; Al, alumínio; H+Al, acidez potencial; SB, Soma de bases; t, CTC efetiva; T, CTC a pH 7; V, saturação por bases; m, Saturação por alumínio; P-rem, Fósforo remanescente; CE, condutividade elétrica.

Dag/kg= %; mg/dm³ = ppm; cmolc/dm³ = meq/100 cm³

As coletas, para análise química e microbiológica, foram realizadas nos 06 blocos, de acordo com a Figura 4, distribuídos na área, conforme vista área da área do experimento (Figura 5).

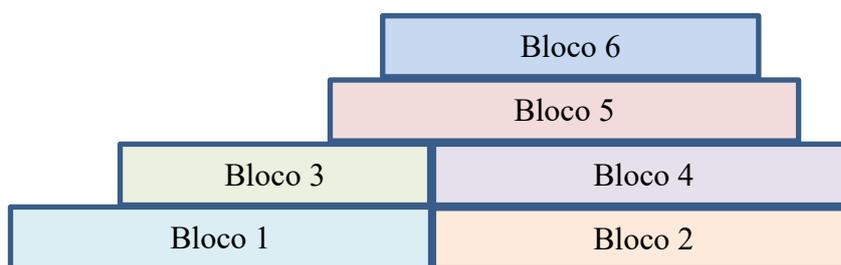


Figura 4. Demonstrativo da distribuição dos blocos na área.

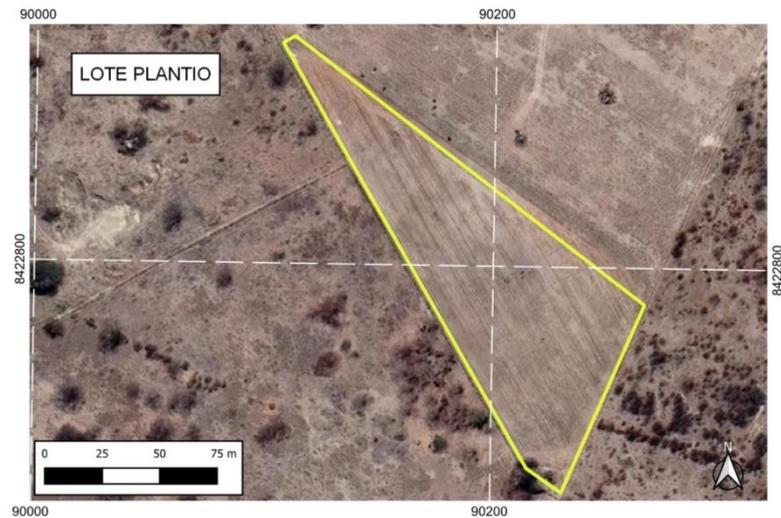


Figura 5. Imagem de satélite com a vista área da área do experimento
Fonte: Google Earth (2020). **Elaboração:** PEDREIRA (2022)

Na Figura 6 é apresentada uma foto da área experimental.



Figura 6. Área do Estudo.
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

A primeira coleta após o início da irrigação com ART, para análise microbiológica do solo, foi realizada em outubro de 2021. O solo havia sido irrigado com ART nos últimos 30 dias consecutivos anteriores à coleta. A segunda coleta foi realizada no mês de abril de 2022, de onde foram extraídas 18 amostras por variedade de palma, em 6 repetições (6x3), na camada de 0-20 cm. A terceira coleta ocorreu no mês de outubro de 2022, após 12 de meses de irrigação e a última coleta ocorreu em abril de 2023, após 18 meses de irrigação.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, através do teste de médias entre os tratamentos e entre as épocas de coleta, com a aplicação do teste de t (LDS) 5%, através do

programa Sisvar, versão 5.8 (FERREIRA, 2014). No final do estudo foi realizada análise de regressão para os dados e ajustou-se um modelo linear para a respiração basal, CBM e $q\text{CO}_2$.

3.2 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no laboratório de solos do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Guanambi*.

3.2.1 Respiração Basal do Solo – RBS

Adicionou-se 20 mL de NaOH 0,5N em frascos de incubação e os mesmos foram deixados incubados em 100 gramas de solo, com 70% da capacidade de campo, por sete dias, a 28 °C. Após os sete dias, os frascos foram abertos e imediatamente antes da titulação, adicionou-se 1 mL da solução BaCl₂ 50% e duas gotas do indicador fenolftaleína aos béqueres com NaOH. Para titular, foi utilizado o HCl 0,5 N até desaparecimento da cor rósea e anotado o volume do HCl gasto na titulação (ALEF, 1995).

3.2.2 Carbono da Biomassa microbiana - CBM (Fumigação-extração)

Para realizar o procedimento, utilizou-se 10 g de solo seco colocado em dessecador forrado com papel de filtro umedecido com água, com 25 mL de clorofórmio livre de etanol no centro do dessecador. Foi feito vácuo e fumigou-se no escuro por 24 h. Após esse período, evacuou-se o vapor do clorofórmio, fazendo vácuo e entrada de ar seis vezes. Transferiu-se o solo para os frascos de extração e adicionou-se 40 mL de solução extratora (sulfato de potássio 0,5M). Foi agitado por 30 minutos (200 rpm), decantado e filtrado o sobrenadante em papel de filtro (faixa branca). O extrato foi armazenado em geladeira. Também foi feito o mesmo procedimento de extração com o solo não fumigado (VANACE et al., 1987 adaptada).

Para determinação das amostras não fumigadas e fumigadas, em 8 mL do extrato, adicionou-se 2 mL de dicromato de potássio 66,7mM e 15 mL da mistura ácido sulfúrico/fosfórico. Efetuou-se digestão em bloco digestor, por 30 minutos, a 100 °C. Após esfriar, o conteúdo foi transferido para erlenmeyer de 125 mL e o tubo lavado com água até o volume de 50 mL; foram adicionadas sete gotas do indicador ferroína e titulou-se com sulfato ferroso amoniacal padronizado. Para o branco, utilizou-se K₂SO₄ + dicromato + mistura de ácidos (H₂SO₄ + H₃PO₄) (VANACE et al., 1987).

O cálculo do $q\text{CO}_2$, que corresponde a taxa de liberação de C-CO₂ por unidade de C na

biomassa microbiana, foi feito a partir da razão da atividade respiratória e do CBM (SILVA et al., 2007).

3.2.3 Determinação de fosfatase ácida

A determinação de fosfatase ácida abrange a medição do p-nitrofenol, liberado quando as amostras dos solos são incubadas por uma hora a 37 °C, com soluções tamponadas com substratos p-nitrofenol sulfado, e p-nitrofenol fosfato. O p-nitrofenol liberado pela reação com a enzima é extraído do solo por filtragem, após a adição de soluções de cloreto de cálcio e hidróxido de sódio. A determinação é feita através da leitura da cor amarela da solução de p-nitrofenol por espectrometria UV-visível. As atividades das enzimas são expressas pela quantidade de p-nitrofenol liberado em uma hora por massa de solo (g) (SILVEIRA et al., 2021).

Dessa forma, para a realização do procedimento de determinação da enzima fosfatase foi necessário pesar 1 g de solo, ao qual adicionou-se 0,2 mL de tolueno, 4 mL de MUB II pH 6,5 e 1 mL de solução de p-NPP; agitou-se por 5 s (vórtex) e incubou-se por 1 h, a 37 °C; em seguida adicionou-se 1 mL de CaCl_2 0,5 mol L⁻¹ e 4 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Agitou-se por 5 s (vórtex). Foram adicionados os reagentes e agitou-se a mistura. Após isso, filtrou-se a suspensão do solo em papel filtro faixa azul. Foi feita a leitura a 410 nm. A atividade da fosfatase ácida é expressa em µg de p-nitrofenol por grama de solo por hora. Para o cálculo, utilizou-se a curva de calibração, produzida diariamente para cada batelada de amostras analisadas, e os fatores de diluição embutidos no procedimento. Após isso, adicionou-se os volumes das soluções de cloreto de cálcio e hidróxido de sódio, em seguida o p-NPP. Foi agitada e filtrada a suspensão imediatamente (SILVEIRA et al., 2021 adaptado de ALEF & NANNIPIERE, 1995; EIVAZI & TABATABAI, 1977).

3.2.4 Micorrizas

- Colonização radicular por FMA

Para análise de colonização radicular por FMA, foram selecionadas as raízes mais finas das amostras (dos 6 blocos e 3 repetições) que foram coletadas na área com auxílio de um trado, juntamente com o solo, e após a separação das raízes, foi feita a extração e a contagem.

Para avaliação da colonização radicular por FMA foi utilizado o método de Phillips &

Hayman (1970), que consiste na separação das raízes terciárias, adição de KOH 10% e, após uma noite no reagente, são aquecidas em banho-maria por 50 minutos, a 90 °C. Depois do resfriamento das raízes, foi necessário adicionar peróxido de hidrogênio 10% em raízes mais escuras, junto com o KOH e mexeu-se até clarear a coloração, sendo lavadas em seguida. Cobriu-se as raízes com corante tinta de caneta e banho-maria por 1 min, a 90 °C, em seguida retirou-se do corante e conservou-se em solução com ácido láctico + glicerina + água (1:1:1). A análise da colonização das raízes de palma foi realizada através do microscópio, pelo método de análise de segmentos (PRATES JUNIOR et al., 2021).

- Extração dos esporos de FMA

Para análise dos esporos foi utilizado o solo coletado de fora da área de irrigação com ART e solos, com 18 e 12 meses de irrigação, das variáveis de palma estudadas.

Para avaliação do número de esporos, foram realizadas extrações das amostras por peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963) e centrifugação em solução de sacarose 70% (JENKINS, 1964 adaptado). Após filtração, os esporos foram transferidos da água para uma placa, onde foi realizada a contagem com o auxílio da lupa.

3.3 Análises químicas

As amostras de solo coletadas foram enviadas ao laboratório especializado da EPAMIG, para as análises químicas: pH em água; matéria orgânica (MO) feita com solução à base de dicromato de sódio e ácido sulfúrico e determinada por colorimetria; Fósforo (P), Potássio (k), Sódio (Na), Ferro (Fe), Manganês (Mg), Zinco (Zn) e Cobre (Cu) por extrator Mehlich-1; Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) por extrator KCl 1 mol/L; Acidez potencial (H+Al) por pH SMP; Boro (B) por extrator: CaCl₂; e Fósforo remanescente por Solução equilíbrio de P. Também foram feitas análises de condutividade elétrica (CE) pelo método da pasta saturada e posterior leitura em condutivímetro digital.

3.4 Análises físicas

Foi determinada a proporção de areia, silte e argila, pelo método do decímetro; densidade do solo e porosidade total (EMBRAPA, 1997; TEIXEIRA et al., 2017). Para a análise de macroporosidade e microporosidade, as amostras indeformadas foram saturadas em

bandeja com água por 12 h, pesadas para determinação da porosidade total e posteriormente drenadas às tensões de 3, 6 e 10 Kpa, em mesa de tensão adaptada e papel mata-borrão, até atingirem peso constante (CAMARGO et al., 2009). Em seguida, as amostras foram secas em estufa à temperatura de 105 °C, por 48 h, para a determinação da microporosidade do solo. O volume de microporos é equivalente ao volume de água retido no solo na tensão 3, 6 e 10 Kpa. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre porosidade total e microporosidade.

4. Resultados e Discussão

4.1 Análises físicas

O solo estudado apresentou 750 g Kg⁻¹ de areia, 125 g Kg⁻¹ de silte e 120 g Kg⁻¹ de argila, podendo ser classificado como textura areia-franca. Os solos de textura franco-arenosa possuem (500 a 700 g kg⁻¹ de areia e < 200 g kg⁻¹ de argila) e areia-franca (700 a 850 g kg⁻¹ de areia) (DONAGEMMA et al., 2016; HUANG & HARTEMINK, 2020). Devido ao maior tamanho das partículas, possui mais alta permeabilidade à água e ao ar no solo, entretanto, possui baixa capacidade de retenção de água, pois as partículas são consideradas não coesivas (MARCOLIN & KLEIN, 2011).

Para Zhao et al. (2009), após um longo tempo de aplicação, o resíduo orgânico pode melhorar essa estrutura do solo, aumentando a quantidade de poros e diminuindo a densidade do solo (CORTEZ et al., 2011). Sampaio et al. (2012) verificaram em estudos de um solo (Neossolo Quartzarênico) degradado, que após seis meses de aplicação de lodo de esgoto, as porosidades do solo foram aumentadas e, após 12 meses da aplicação, constatou aumento na microporosidade. Ainda verificou-se a formação de agregados até 12 meses após a aplicação. Para o autor, o lodo de esgoto, por ser de composição orgânica, também promove melhoria no estado de agregação das partículas do solo. Segundo Souza et al. (2010), o alto teor de matéria orgânica presente nas águas residuárias também pode diminuir a densidade do solo e as altas concentrações de sólidos suspensos podem diminuir a sua permeabilidade, alterar a retenção de água, diminuir a quantidade de macroporos e aumentar a microporosidade, influenciando a condutividade hidráulica do solo saturado (SOUZA et al., 2010; AGNE & KLEIN, 2014).

4.2 Análises químicas

De acordo com os resultados das análises químicas (Tabela 1), a disponibilidade dos

nutrientes, conforme classificação de Ribeiro et al. (1999), foi considerada muito baixa para Mg, Al, Cu. Baixa para P (correlacionado com o Prem) e B, no solo não irrigado com ART. O teor médio de MO também foi considerado baixo. As disponibilidades de Ca e Zn foram classificadas como médias. Já K apresentou classificação muito boa e o índice de Fe foi considerado bom. O valor de Mn foi considerado alto. O valor médio de pH foi considerado como de acidez média. Valores similares foram encontrados por Santos et al. (2019), em solo arenoso do sudoeste baiano. A CE foi classificada como normal, de acordo com classificação de Richards (1970), citado por Prezotti & Guarçoni M. (2013) e PST igual a 2,27, estando na faixa normal quanto à salinidade e sodicidade.

Os valores de CTC, SB, t, T foram considerados médios; V% apresentou boa classificação e H+Al foi considerado baixo, enquanto o valor de m foi considerado muito baixo (RIBEIRO et al., 1999). Solos arenosos apresentam CTC muito baixa e dependem do teor de MO (SOUSA; LOBATO, 2004). Dos atributos químicos analisados, os parâmetros que apresentaram diferença significativa entre as épocas de avaliação foram pH, MO, K, Na, Mg, Al, SB, t, T, Fe, Mn e CE.

Houve diminuição do K no solo, comparando-se com as características iniciais, o que pode estar associado à absorção desse nutriente pela planta. Situação similar também foi verificada por Pletsch (2012). Já Santos et al., (2021) obtiveram aumento significativo do K, com a aplicação da ART, e os autores enfatizam que este é um dos nutrientes mais extraídos pela palma forrageira.

Além do aumento do Na, também foi verificado o aumento de CE no solo, com o aumento do tempo de aplicação de ART. Resultado semelhante também foi verificado por Bonini et al. (2014), que após aplicação do efluente, constataram que o teor de Na passou de 6,0 para 40,0 (ppm) e a CE passou de 0,05 para 0,56 (dS m⁻¹). O que fortalece a ideia de que a utilização de ART na irrigação deve ser feita com cautela e monitoramento adequado, uma vez que pode promover aumento da Na e da CE. Entretanto, até o período avaliado, os teores são considerados normais, dentro dos critérios e limites para a classificação de solos, quanto à salinidade e sodicidade, pela análise da PST, da CE e do pH (RICHARDS, 1970 *apud* PREZOTTI & GUARÇONI M, 2013).

Aumento no teor de Na, após irrigação com efluente, foi constatado por Pinto Júnior (2018), que verificou, após 2 meses de irrigação, aumento no teor de Na, cujo teor passou de 0,209 para 0,548 (cmol_c dm⁻³). Já Santos (2004) verificou um aumento de 0,02 a 0,31 (cmol_c dm⁻³) de Na após irrigação com efluente e o valor de CE passou de 240,7, no solo testemunha,

para até 1151,3 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) após a irrigação. Enquanto Varallo et al. (2010), constataram um aumento de CE de 0,10 até 0,14 (dS m^{-1}), após aplicação ART e a concentração de Na passou de 4 mg L^{-1} (com aplicação de água destilada) para 15 mg L^{-1} , após a aplicação de ART.

Existe a possibilidade do aparecimento de problemas de salinidade nas áreas irrigadas com efluentes, devido à elevada quantidade de sais na água residuária para irrigação. Para Medeiros et al. (2005), podem ser adotadas algumas práticas especiais de manejo que poderão evitar problemas de toxicidade e ajudar na lixiviação desse sódio para abaixo da zona radicular, como a não irrigação com ART em períodos chuvosos e aplicação de lâminas de água superficial em determinados períodos. Entretanto, até o período avaliado, os teores são considerados normais dentro dos critérios e limites para a classificação de solos quanto à salinidade e sodicidade, pela análise do PST (<15), CE (<4) e pH (4 a 8,5) (RICHARDS, 1970 *apud* PREZZOTI & GUARÇONI M, 2013).

Em experimento feito por Castro et al. (2016), foi observado que o uso de efluente para a irrigação do feijão-Caupi BRS Novaera serviu como aporte nutricional. Mas os autores também chamam a atenção para o uso em longo prazo, devido ao risco de sodização, pois o estudo também apresentou valores crescentes de sódio. Santos et al. (2021) também alertam para este elemento. Em estudo com irrigação com ART em cultura de Palma forrageira, o autor menciona que é um dos elementos que devem ser mais monitorados com o tempo, pois pode interferir nas qualidades químicas e físicas do solo, como dispersão de argilas e salinidade e ou sodicidade do solo.

É importante enfatizar também que em análise realizada do efluente, segundo U.S. Salinity Laboratory Staff, o mesmo apresentou baixo risco de salinização (EPAMIG, 2021).

Com relação aos atributos MO, Mg, B, Mn, SB, t e T, foi constatada uma diminuição nos teores, com o aumento do tempo de aplicação do ART. Bezerra et al. (2019) também verificaram que a aplicação de água residuária da mandioca no cultivo de capim-marandu promoveu a diminuição dos teores de Mg trocáveis, além de reduzir o teor de MO do solo. Já o Fe aumentou, o que pode ter relação com a diminuição do pH (PREZOTTI & GUARÇONI M., 2013). O teor de Mn diminuiu, apesar de ser mais comum haver aumento com a diminuição do pH do solo (CAMARGO, 2006), conforme encontrado por Lourenço et al. (1999) com a aplicação do lodo de esgoto. Em estudos com milho e cevada, foi observado que os elementos Fe, Mn, Zn, Cu, foram absorvidos e os teores destes aumentaram quando teve a maior a concentração destes íons na água residuária. As concentrações dos microelementos estudados estão dentro do que é permitido, sem alcançar nível de toxicidade que causam contaminação

no solo (ALAWSY et al., 2018).

O decréscimo na MO com o aumento do tempo de aplicação de ART foi também verificado por Nascimento & Fideles Filho (2015) e Erthal et al. (2010), em tratamentos com água residuária. Para Duarte et al. (2008), que também verificaram situação similar em seu estudo, a diminuição no percentual de MO pode estar associada a rápida mineralização pelos microrganismos, o que leva a diminuição dos teores de matéria orgânica dos solos. Duarte et al. (2008) também afirmaram que a água residuária influenciou na rápida mineralização da MO em seu estudo com cultura de pimentão. E, apesar do uso contínuo de ART poder aumentar a MO do solo, para XU et al. (2010), esse acréscimo de MO pode ser constatado somente após muitos anos de aplicação.

Ainda que seja esperada a elevação da CTC do solo através do incremento de MO no solo, foi verificada redução da SB, calculada em função das bases trocáveis K, Ca e Mg; e diminuição de t e T, nesse estudo. O que é corroborado por Pletsch (2012), o qual observou diminuição da SB em tratamentos de solo irrigado com água e efluente; e diferentemente do que foi encontrado por Lucena et al. (2006), em solo irrigado com efluente tratado, cujos tratamentos promoveram o aumento dos teores de alguns cátions trocáveis e a diminuição de H + Al, o que refletiu no aumento da SB, da CTC e de V%. Conforme Prezotti & Guarçoni M. (2013), os solos arenosos apresentam baixa CTC, como é o caso do solo estudado, e ainda que se faça pequena adição de bases, estas podem se perder por lixiviação.

Foi encontrado menor valor de pH após doze meses de aplicação de ART. Apesar de muitos autores verificarem o aumento do pH com adição de resíduos orgânicos. Resultado similar também foi encontrado por Nascimento & Fideles Filho (2015). Segundo Yan et al. (1996) *apud* Yada (2014), a diminuição do pH pode estar relacionada com a nitrificação, onde o amônio é oxidado a nitrito e nitrato, e ocorre a produção de dois íons H⁺ e a queda do pH. Segundo Bouwer (2000), a diminuição do pH em solos que receberam águas residuárias também pode estar relacionada com a degradação dos resíduos biodegradáveis, que leva à produção de CO₂ e ácidos orgânicos. Santos et al., (2021) constataram o aumento do pH e redução da H+Al, e mencionaram que a aplicação de água residuária pode auxiliar na diminuição da acidez do solo, através do aporte de cátions, principalmente potássio, cálcio e magnésio. Porém, os autores concluíram que, mesmo com a irrigação com ART e água da chuva, não foi possível verificar aumento na produtividade da palma forrageira gigante, mas em algum tempo, com a extração contínua de nutrientes do solo pela palma, o aporte proporcionado pela água residuária será crucial para o aumento da produtividade.

A diminuição do pH pode ter ocasionado aumento do teor de Al. Com a mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e a liberação de nitrato e hidrogênio, diminui-se o pH e, em consequência disso, o hidrogênio (H^+) atua sobre os minerais liberando íons alumínio (Al^{3+}) (BOHNEN, 1995). Apesar de ter aumentado, com 12 meses de irrigação com ART, o valor de Al encontrado é considerado baixo (PREZOTTI & GUARÇONI M, 2013). Aumento no teor de Al também foi encontrado por Santos (2004), em seu estudo com cultura de capim-tifton 85, irrigada com efluente tratado, em camada 40-100 cm.

Para que ocorram mudanças significativas nas características químicas do solo, são necessários períodos maiores de irrigação, pois a dinâmica dos nutrientes na ART em associação com o solo ocorre lentamente (KOURAA et al., 2002; CONDÉ et al., 2012). E, além disso, o aumento ou diminuição de nutrientes está relacionado com a concentração destes nutrientes no efluente que é aplicado, absorvido pelas plantas e com a lixiviação no perfil do solo (RODRIGUES, et al., 2009). Após um tratamento terciário, composto de ultrafiltração e de desinfecção UV, realizado no Sul da Itália, com culturas de tomates e brócolis, durante 1,5 ano, LIBUTTI (2018) constatou que os efluentes agroindustriais têm potencial para fins de irrigação. Nesse experimento, obteve-se uma economia de cerca de $10.000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de água para irrigação em uma sucessão de culturas de tomate e brócolis, diminuindo assim o estresse hídrico das culturas. Segundo o autor, cerca de $6.000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de água subterrânea por ano poderiam ser economizados com esta prática. Um fator importante verificado foi que, ao utilizar o método de irrigação por gotejamento e reduzir o contato direto da água com a planta, controlou-se a possível contaminação dos produtos. Além de reduzir contaminação dos produtos, a irrigação por gotejamento é recomendada para controlar a quantidade do efluente a ser oferecida, isso impede processos de percolação e escoamento de águas superficiais (LIBUTTI, 2018).

4.3 Análises microbiológicas

Em relação aos parâmetros microbiológicos, dentre os períodos avaliados, foi possível verificar o aumento da atividade microbiana do solo através da respiração do solo, até 18 meses; e aumento da CBM, até 12 meses (Tabela 2).

Tabela 2. Análises microbiológicas antes e após um, seis, doze e dezoito meses de irrigação com ART.

Variáveis	Amostra fora da área irrigada com ART	1 mês de aplicação de ART	6 meses de aplicação de ART	12 meses de aplicação de ART	18 meses de aplicação de ART
C-CO ₂ (µg CO ₂ /100g solo)	1,10a	2,09 ^a	7,96b	7,82b	10,65b
CBM (µg C g solo ⁻¹)	98,28a	214,61ab	248,89b	286,94b	-
qCO ₂ (µg C-CO ₂ /µg CBM h ⁻¹)	0,011a	0,012 ^a	0,033a	0,035a	-
Fosfatase ácida (µg g ⁻¹ h ⁻¹)	67,458a	-	-	-	121,982a

Médias seguidas por letras iguais na linha, não diferem significativamente pelo test t (LDS) 5%. Os dados de C-CO₂ CBM e qCO₂ foram transformados por Raiz quadrada - SQRT (Y) (SISVAR).

A aplicação de fontes de carbono no solo possibilita um aumento da população microbiana, devido à disponibilidade de substrato a ser decomposto, tendo em vista que a maior parte dos microrganismos do solo é heterotrófica (SIMÕES et al., 2013).

Segundo Boeira et al. (2009), a taxa de respiração depende da disponibilidade de C para a biomassa. Dessa forma, a taxa respiratória alta sugere grande atividade microbiana e decomposição rápida da MO no solo. A respiração basal do solo foi afetada pelo teor de matéria orgânica adicionada ao solo. Foi feita a análise de regressão para os dados, e foi verificado um comportamento linear com o aumento da respiração basal à medida que se aumentou o tempo de aplicação de ART (Figura 7). Tal fato pode ajudar a explicar a diminuição do teor de MO observado no experimento.

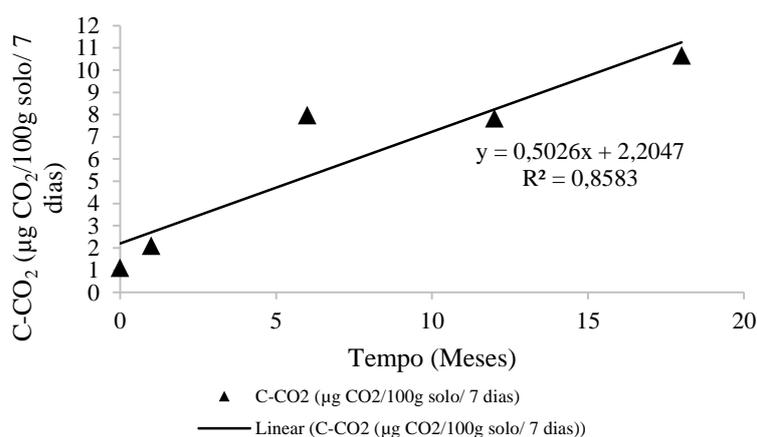


Figura 7. Respiração basal do solo cultivado com palma forrageira, em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.

Simões et al. (2013), em seu estudo no semiárido, também verificaram aumento da respiração microbiana do solo através da aplicação de concentrações crescentes de ART, que

passou de 0,2 para 3,8 (mg de C-CO₂ 100g⁻¹ solo). Macedo et al. (2022), em seu estudo no semiárido, com o cultivo de palma forrageira em diferentes doses de matéria orgânica, verificaram que o aumento de uma unidade no teor de matéria orgânica (t ha⁻¹) resulta em um aumento de 0,0602 mg 100 cm⁻² na respiração basal, e que houve um aumento de 6,6 para 9,0 (mg C-CO₂ 100 cm⁻³). Vieira et al. (2011) também observaram aumento na atividade microbiana através da liberação de CO₂ com adição de doses de lodo de esgoto, que passou de, aproximadamente, 39 mg de C-CO₂ 100 g⁻¹ para 55 mg de C-CO₂ 100 g⁻¹, com aplicação de 18 g kg⁻¹ do efluente. Esse aumento da atividade microbiana pode estar relacionado com a disponibilidade de substrato a ser decomposto com o incremento da ART.

Silva (2007) também verificou alta atividade microbiana após 10 meses de aplicação de esgoto doméstico tratado por wetlands, que passou de 6,03 a 15,06 (mg C- CO₂ Kg⁻¹ de solo dia⁻¹) e observou que, dobrando a taxa de aplicação de esgoto, de 4 cm d⁻¹ para 8 cm d⁻¹, a atividade microbiana aumentou em cerca de 85%. Araújo et al. (2006), através da adição de doses de lodo compostado, verificaram aumento de 0,37 para 0,57 (mg C- CO₂ Kg⁻¹ de solo dia⁻¹) após 60 dias de irrigação. O que diferiu do estudo de Paula et al. (2009), que não observaram alteração significativa na respiração basal do solo ao longo dos 18 meses de experimento, em áreas irrigadas com ART. Oliveira et al. (2019), em seu estudo com água residuária de laticínios, no estado de Minas Gerais, também não verificaram aumento da taxa de respiração basal do solo, mas atribuíram o fato ao acréscimo de precipitações ao final do experimento e à aplicação excessiva de sais no solo, advindos da água residual de laticínios com CE igual a 3,2 dS m⁻¹ e solo que registrou teor de Na igual a 24 dag Kg⁻¹.

Em estudo realizado por Lopes et al. (2012), em solo de semiárido, os autores verificaram que o solo de mata natural da Caatinga apresentou carbono microbiano mais elevado, atingindo aproximadamente 190 mg Kg⁻¹, em camada de 0-10 cm de profundidade e 155 mg Kg⁻¹, aproximadamente, em 10-20 cm, em Cambissolo háplico eutrófico cultivado com melão, durante três, cinco e dez anos. Os autores atribuíram isso ao aporte contínuo e diversificado de MO incorporada ao solo da caatinga, principalmente, via deposição pelas plantas.

Conforme pode ser verificado na análise de regressão na Figura 8, houve aumento do Carbono da Biomassa microbiana do solo nesse estudo, comparado com o solo não irrigado, o que corrobora com o estudo de Vieira et al. (2011), que também verificaram a elevação no teor de CBM a partir do incremento de doses de lodo, que passou de 139 para aproximadamente 180 (mg kg⁻¹). Por outro lado, a irrigação com águas residuais possibilitou o aumento do

CBM em mais tempo de experimento, por cerca de 90 anos, no estudo realizado por Ramirez-Fuentes et al. (2002).

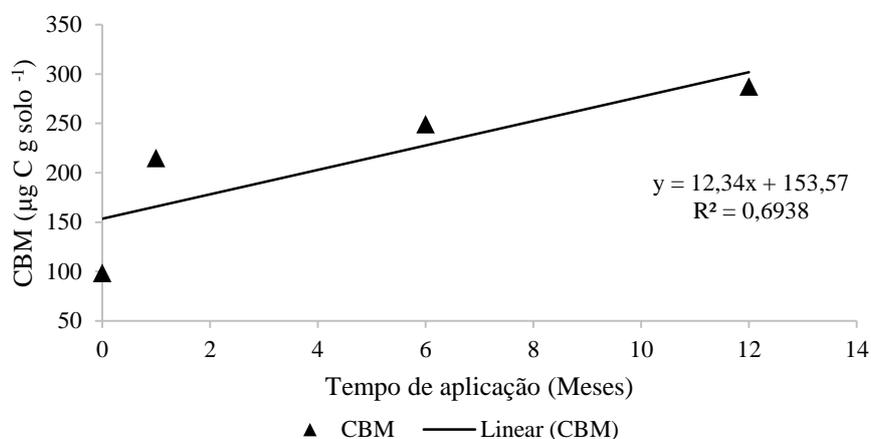


Figura 8. CBM (Carbono da biomassa microbiana) do solo cultivado com palma forrageira em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.

Segundo Gama-Rodrigues et al. (2005), a biomassa microbiana responde em menor tempo às práticas ocorridas no sistema que resultam na variação no teor de MO no solo, devido à mesma estar diretamente relacionada aos teores de MO e à fertilidade do solo. Goulart (2017) também relatou efeito significativo sobre o teor de C da biomassa microbiana na camada superficial do solo com 12 meses de aplicação, onde alcançou-se teor de C igual a 376,53 mg Kg⁻¹ com aplicação de 39,14 Mg ha⁻¹ de fertilizante orgânico. O aumento da entrada de resíduos carbonados no solo fornece substrato para os microrganismos, estimula o aumento da CBM e sua atividade respiratória, resultando em aumento do teor de MO, em situações em que a biossíntese celular é maior do que a taxa de oxidação do C orgânico (BALOTA, et al., 2004; LAMBAIS & CARMO, 2008). Pfenning et al. (1992) *apud* Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), em estudo com solos muito argilosos da Amazônia, constataram valores de CBM 76% mais elevados do que em solos menos argilosos. Balota et al., (2004) constataram, em um sistema de plantio direto, aumento de 83% de biomassa microbiana comparado com sistema de preparo convencional, fato atribuído ao efeito da serrapilheira presente em solos tropicais, que diminui a temperatura, aumenta o teor de água, a agregação e o teor de C do solo.

Para o indicador qCO_2 , observou-se um menor índice qCO_2 e que não houve aumento desse atributo com o aumento do tempo de aplicação de ART (Figura 9). O maior qCO_2 apontaria que maior C foi perdido como CO_2 por respiração e uma quantidade menor

de C foi agregada aos tecidos microbianos. Por outro lado, a diminuição do qCO_2 indicaria que houve eficiência da biomassa microbiana em aproveitar o C disponível, incorporando aos tecidos microbianos.

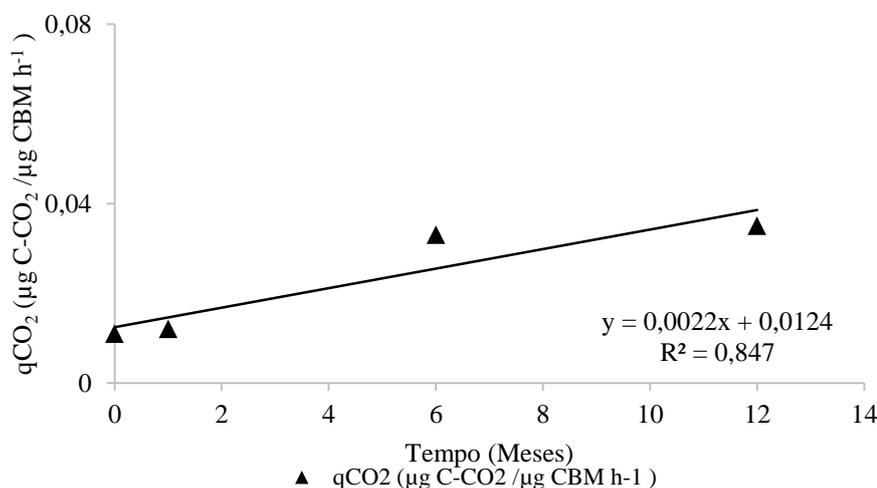


Figura 9. Valores de qCO_2 do solo cultivado com palma forrageira em diferentes períodos (meses) de aplicação de ART.

Notaro (2012) encontrou, em estudo com palma gigante no semiárido, $18,40 \mu g$ de $C-CO_2 / \mu g$ de $CBM d^{-1}$. Vieira et al., (2011) verificaram a diminuição de qCO_2 com aplicação de até 4 doses de lodo de esgoto. O qCO_2 passou de 2,33 na testemunha para $2,09 \times 10^{-3}$ com a quarta aplicação de lodo de esgoto, que foi igual a $12,93 g Kg^{-1}$. Nogueira et al. (2005) não verificaram alteração significativa de qCO_2 em seu estudo, em um solo irrigado com esgoto tratado em período de chuva, mas o índice variou, 2 semanas após o manejo, de 2,0 a 4,5 ($mg C-CO_2 \times g^{-1} C_{mic} h^{-1}$) aproximadamente. Os autores chamam a atenção para o fato das avaliações serem realizadas no período de chuva, o que pode ter contribuído para aumento das condições anaeróbias e lixiviação dos nutrientes, que levou a uma diminuição da atividade metabólica e impediu uma ativação efetiva do metabolismo microbiano. Conseqüentemente, houve falta de assimilação de carbono lábil do solo. As coletas deste estudo também foram realizadas em períodos chuvosos, conforme pode ser observado nas Figura 1, 2 e 3.

Para a variável fosfatase ácida, foram encontrados teores iguais a $67,458 \mu g g^{-1} h^{-1}$ em solo não irrigado, e $121,982 \mu g g^{-1} h^{-1}$ após 18 meses de irrigação. Notaro (2012), em estudo de com diversas culturas no semiárido, encontrou, com a palma gigante, teor de $0,193 mg p$ -nitrofenol g^{-1} de solo h^{-1} , valor acima do que foi encontrado no presente estudo. Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, solo sem aplicação de ART e solo após

18 meses de aplicação de ART, pelo test t (LDS) a 5% de significância, apesar de haver um aumento numérico (Tabela 2). Souza et al. (2009), ao avaliarem a atividade enzimática em um solo do cerrado com aplicação de lodo de esgoto, não encontraram diferenças significativas na atividade da enzima fosfatase ácida do solo e os autores associaram o fato à baixa quantidade do resíduo aplicado (até 6 Mg ha⁻¹). Goulart (2017) também não verificou alteração significativa da atividade da fosfatase ácida a partir da aplicação de diferentes doses de resíduo orgânico na camada superficial do solo. Os teores encontrados variaram de 122 a 137,26 µg de p-nitrofenol g⁻¹ de solo hora⁻¹.

Gatiboni et. al. (2008) concluiu em seu estudo que a atividade da fosfatase ácida aumentou quando houve a diminuição de fósforo disponível no solo, e é quando também a quantidade de fósforo armazenada na biomassa microbiana do solo diminui. Conte et al. (2002) explicam que a maior incorporação de fósforo na biomassa microbiana está ligada à combinação da adição mais recente de fertilizante fosfatado, o que nesse caso pode estar relacionada com a aplicação de ART, com o período de grande disponibilidade de carbono.

Dessa forma, é necessário um maior tempo de aplicação para se verificar possíveis alterações. Silva (2017) verificou, em 2 anos de estudo, influência da atividade fosfatase ácida em função da sazonalidade, e pelos sistemas de uso de solo, no período chuvoso, variações de 1,3 a 7,7 (na camada 0-5 cm), de 2,0 a 3,8 (na camada 5-10 cm) e de 1,5 a 4,8 µg PNP g⁻¹ h⁻¹ (na camada 10-20 cm), com os maiores teores constatados em área da caatinga. Souza et al. (2009) verificaram que a atividade da enzima fosfatase foi maior quando houve aplicação de lodo de esgoto, comparando com adição de fertilização mineral. O autor explica que isso se deve, possivelmente, à presença de P orgânico no lodo de esgoto.

Não houve diferença significativa entre os resultados da porcentagem de colonização de raízes para o período de análise. Observa-se que, em pouco tempo deste estudo, não foi observado nenhum impacto na colonização por FMA (Tabela 3). A colonização por FMA dos pontos amostrados foi de, aproximadamente, 34% em 12 meses de irrigação com ART e 36% após 18 meses da aplicação e uma maior média para a palma miúda.

Tabela 3. Análise de colonização e esporulação de FMA de acordo a quantidade de tempo de irrigação com ART.

Tempo de aplicação de ART	0 meses	12 meses	18 meses
Colonização (%)	-	33.72a	35.61a
Esporulação	995a	1038a	1022a

Médias seguidas por letras iguais na linha, não diferem significativamente pelo test t (LDS) 5%.

Macedo et al. (2022), em estudo no semiárido com colonização micorrízica em raízes

de palma forrageira fertilizada com diferentes doses de matéria orgânica, verificaram a maior média, igual a 26,7%, de colonização micorrízica total. Já Araújo (2012) verificou o maior índice, igual a 66,0%, de colonização micorrízica em cultura de sisal no semiárido.

Bashan et al. (2000) mencionam que plântulas de cactos desenvolvem as suas raízes muito devagar, até que consigam ser colonizadas por esses fungos. Em estudo de Souza et al. (2003), realizado em uma área de Caatinga, com a cactácea *Opuntia inamoena* K. Schum, foi encontrado 20% de colonização radicular por FMA.

Foi observada diferença significativa de colonização por FMA entre as espécies de palma estudadas (Figura 10), o que pode estar relacionado com fatores que interferem na infectividade dos FMA. Moreira e Siqueira (2002) explicam que variações sazonais de temperatura e umidade afetam os microrganismos do solo e a sua atividade.

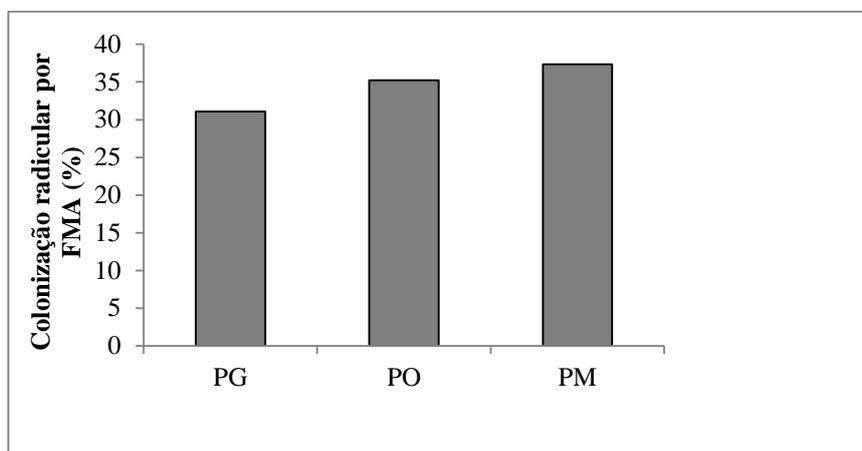


Figura 10. Colonização radicular por FMA de acordo com as espécies de palma estudadas.

PG, palma gigante; PO, palma orelha de elefante; PM, palma miúda.

Era esperado encontrar diferenças de colonização radicular entre as variedades de palma, uma vez que a intensidade de colonização muda de acordo com a espécie hospedeira. Cordeiro et al. (2005) constataram diferença em colonização de FMA em espécies vegetais de braquiária/milho, soja/milho+braquiária, braquiária/soja, onde as áreas de cultivo do milho, braquiária e o sorgo apresentaram colonização maior que as de soja. Azevedo et al. (2014), avaliando densidade de esporos entre os genótipos de amendoim forrageiro, constataram que o número de esporos variou significativamente, indicando existir variabilidade genética para promoção da esporulação dos FMA.

Dentre os fatores do solo, o que mais exerce influência na ocorrência dos FMA, é a disponibilidade de P (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Nesse estudo, como também não foi

observada diferença significativa da disponibilidade de P no solo, de acordo com as épocas avaliadas (Quadro 1), também não houve alteração na ocorrência dos FMA. Silva et al. (2018) verificaram, em seu experimento com agrossistemas de meloeiro no semiárido, que o grau de colonização dos FMA foi linear e proporcional ao declínio de P do solo, ou seja, houve diminuição de colonização dos FMA quando houve aumento do teor de P do solo. Os autores explicam que essa correlação negativa se dá devido aos FMA serem capazes de aumentar a absorção de P pelas plantas hospedeiras em solos do semiárido nordestino, que possuem pouca disponibilidade de P (WANG & LAMBERS, 2020). Entretanto, no estudo de Araújo (2012), a área estudada que apresentou o maior nível de P (314 mg dm^{-3}) apresentou as maiores taxas de colonização por FMA, em média de 64% no período seco e 47% em chuvoso.

Na análise do número de esporos de FMA, não foram encontradas diferenças significativas em relação ao tempo de aplicação (Tabela 3) nem entre as variedades de palma estudadas (Figura 11).

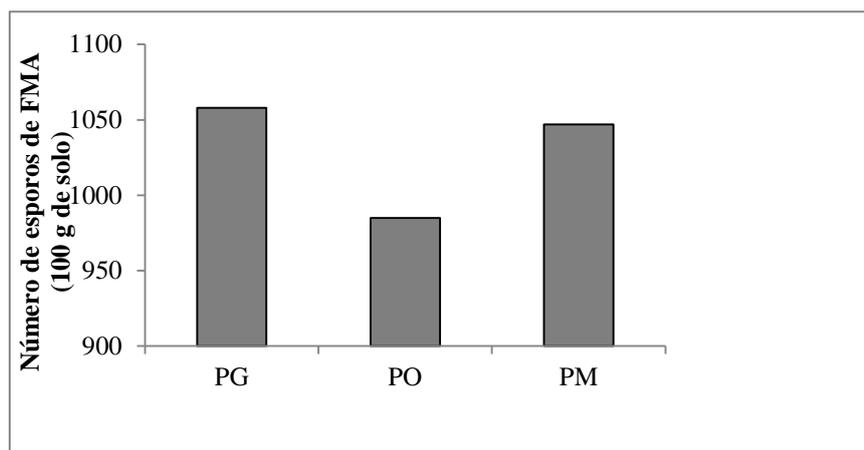


Figura 11. Número de esporos de FMA de acordo com as espécies de palma estudadas.

PG, palma gigante; PO, palma orelha de elefante; PM, palma miúda.

Tavares (2007) também não verificou diferença de intensidade dos FMA com a adubação orgânica. Em estudo de Araújo (2012), com amostras de solo do semiárido, a densidade de esporos variou de 269,3 a 720,0 esporos em 50 g de solo, no período seco, e de 197,3 a 672,0 esporos em 50 g de solo no período chuvoso. Segundo o autor, considerando que os fungos tendem a esporular em condições de estresse, nesse caso, devido a deficiência hídrica, seria mais provável encontrar densidades maiores de esporos no período seco.

A não alteração de alguns atributos biológicos também pode indicar que esse efluente pode ser aplicado no solo, pois não irá comprometer a sua qualidade biológica, o que reforça

os estudos de o uso da ART pode ser uma alternativa promissora para a qualidade e fertilidade do solo.

5. Conclusão

A utilização de efluente tratado em dezoito meses e um ano favoreceu os microrganismos do solo, quando houve aumento da respiração basal e carbono da biomassa microbiana do solo e não houve diminuição da enzima fosfatase ácida e fungos micorrizos arbusculares. Entretanto, aumentou as taxas de alguns parâmetros químicos como o Na e Al e diminuiu o pH , por isso, devem ser monitorados com frequência.

6. Referências Bibliográficas

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.720–726, 2014.

ALAWSY, W. S. A.; ALABADI, L. A. S.; KHAEIM, H. M. Effect of sewage water irrigation on growth performance, biomass and nutrient accumulation in maize and barley. **International Journal of Agricultural and Statistical**, v. 14, n. 2, p. 519-524, 2018.

ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (1995). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, p.214-219.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, S. M. G. de.; SOUZA, O. B. S.; MEDEIROS, L. C. de.; SANTOS, J. S. dos. Produtividade de mamona irrigada com água de reuso e adubação orgânica sob condições semiáridas. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 2019. **Anais...**, 2019.

ALVES, A. A.; REIS, E. M.; DA SILVA NETO, M. F.. **Forrageiras indicadas para a alimentação animal no Semiárido brasileiro**. Embrapa Semiárido, 2015. 62 p.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, 2000.

ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Introdução à Biologia do Solo. In: CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ANDREOTE, Fernando Dini. **MICROBIOLOGIA DO SOLO**. ESALQ, 2016. cap. 1, p. 9-22.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v. 64, p. 1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66–75, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C., NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p.187-206, 2012.

ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, T. G. F.; CAMPOS, F. S. (2021). Agricultura bioassalada e uso de águas salobras na produção de forragem. In: Cerqueira P. R. S.; Lacerda, C. F.; Araújo, G. G. L.; Gheyi, H. J. & Simões. W. L. **Agricultura irrigada em ambientes salinos**. CODEVASF.

ARAÚJO, A. F. **Fungos micorrízicos arbusculares na cultura do sisal (*Agave sisalana*): ocorrência e diversidade na região semiárida da Bahia**. 2012. 66 f. Dissertação (Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2012.

AZEVEDO JÚNIOR, M. S de; NETO, M. F; DE MEDEIROS, J. F; DA SILVA SÁ, F. V; DE LIMA, Y. B; DE LEMOS, M. Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico. **Irriga, Botucatu**, v. 24, ed. 4, p. 830-842, 2019.

AZEVEDO, J. M. A. de; ASSIS, G. M. L. de; SAGGIN JUNIOR, O. J.; AZEVEDO, H. S. F. da S. Riqueza e frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em genótipos de amendoim forrageiro no Acre, Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, p. 157 - 168, 2014.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Longterm tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.77, p.137-145, 2004.

BASHAN, Y.; DAVIS, E. A.; CARRILLO-GARCIA, A.; LIDERMAN, R. G. Assessment of mycorrhizal

inoculum potencial in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. **Applied Soil Ecology**, v. 14, n. 2, p. 165-175, 2000.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5. p. 715-724, 2005.

BATISTA, A. A.; DUTRA, I.; DO CARMO, F. F.; IZIDIO, N. S. de C.; BATISTA, R. O. Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 70-80, 2017.

BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. F. da. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com Eucalyptus spp. e sabiá. **Revista Caatinga**. v. 21, n.1, p.169-178, 2008.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares, muito além da nutrição. In: FENANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S. de.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. do. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132-146, 2015.

BEZERRA, M.G.S.; SILVA, G.G.C.; DIFANTE, G.S.; EMERENCIANO NETO, J.V.; OLIVEIRA, E.M.M.; MORAIS, E.G. Chemical attributes of soil under cassava wastewater application in Marandugrass cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n.8, p.579-585, 2019.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; MAXIMILIANO, V. C. B. **Emissão de C-CO2 em solo tropical suplementado com lodo de esgoto**. In: Embrapa Meio Ambiente – Artigo em Anais de Congresso. In: Congresso brasileiro de agronomia, 26., 2009, Gramado. Agricultura forte: alimento, energia e meio ambiente. CONFAEAB: SARGS, 2009.

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Bookman, 2013. 790 p.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011. Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água. e altera e complementa a Resolução CONAMA nº 357. **Diário Oficial da União**, 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. **Diário Oficial da União**, 2020.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2006.

BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. (eds.) **Princípios de fertilidade de solo**. Departamento de Solos da UFRGS, 1995. p.51-76.

BOUWER, H. Groundwater problems caused by irrigation with sewage effluent. **Journal of Environmental Health**, v. 63, p.17-20, 2000.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Instituto Agronômico de Campinas (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). 2009. 77p.

CAMARGO, O. A. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm>. Acesso em: 13/6/2023.

CASTRO, A. A. S.; DAMÁSIO, A. O. C.; MENEZES, F. S. de; SOUZA, J. A.; SANTANA, F. S.; MENDONÇA, D.; FACCIOLI, G. G. Análise do impacto do uso de efluentes nas características do solo da cultura do feijão-caupi brs novaera (*vigna unguiculata l.walp.*). **Agroforestalis News**, v. 1, n. 1, p. 41-47, set. 2016.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CONDÉ, M.S.; HOMEM, B.G.C.; ALMEIDA NETO, O.B.; SANTIAGO, A.M.F. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p.99-106, 2012.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 147-153, 2005.

CORTEZ, T. B.; SILVA, S. M. C. S.; CUNHA, A. H. N. (2012). Aspectos regulatórios para reúso de água no Brasil. *In*: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2012, **Anais... IBEAS**, 2012, p. 1-10.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGHAMA, H. J. Atributos físicos do ARGISSOLO AMARELO do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

CUNHA, A. H. N. **Reuso de água no Brasil**, 2010. Monografia (Pós graduação), Saneamento Ambiental, Universidade Gama Filho, 46p.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

DIAS, J. S.; NEVES, I.; SILVEIRA, V. H. da. Nutrientes Do que as plantas precisam?. **Unifertil: Periodicidade Trimestral**, 10 p, 2012.

DICK, W. A.; TABATABAI, M.A. Bioremediation of contaminated soils. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, **Soil Science Society of America**, 1999, p. 315-338. (Agronomy monograph, 37).

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G. (org). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa Solos, 2011. 225 p.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, ed. 3, p. 302-310, 2008.

FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, D. C.dos.; FERNANDES, A. P.M.; FRANÇA, M. P. **O consórcio de Sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill)**. Cadernos Ômega. Série Agronomia, n. 2, p. 131-145, 1986.

FRANZLUEBBERS, A, J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biol Biochem**. n. 31, p. 395-405, 1999.

FABRICANTE, J. R.; FEITOSA, S. S. **Palma Forrageira**. Artigo Técnico. Grupo Cultivar de Publicações Ltda. 2011.

EL-HUSNY, J. C.; CARVALHO, C. J. R. de.; CARVALHO, E. J. M.; OLIVEIRA JUNIOR, M. M. de.; VASCONCELOS, S. S.; VIÉGAS, I. de J. M. Atividade da fosfatase ácida como indicadora da qualidade do solo sob sistema integrado de lavoura-pecuária em Paragominas-Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: **Anais.. SBCS: UFU, ICIAG**, 2011. p. 1-4.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. 1997. 212p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p.467-477, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FRAGOZO, H. E. G., SOLANO, C. Z.; GONZÁLES, J. D.; SALINAS, Y. M.; RICO, O. A. Efecto del riego con agua residual tratada sobre la calidad microbiológica del suelo y pasto King Grass. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica**, v. 23, n.2, p. 1–10, 2020.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMARODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. *In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O, (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed., Metrópole, 2008. p. 159-170.

Gatiboni, L. C.; Kaminski, J.; Rheinheimer, D. dos S.; Brunetto, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, n. 8, p.1085-1091, 2008.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *In: Transactions of the British Mycological Society*. v. 46, p.235-244, 1963.

GOULART, L. M. L. **Carbono orgânico em neossolo quartzarênico recuperado com lodo de esgoto sob espécies nativas da Mata Atlântica**. 2017. 97 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, 2017.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. 1.ed. Embrapa Meio Ambiente. 2006. 8p.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, p. 367-385, 1994.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HELMECKE, M.; FRIES, E.; SCHULTE, C. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. **Environmental Sciences Europe**, v. 32, n. 4, p. 1–10, 2020.

HUANG, J.; HARTEMINK, A.E. Soil and environmental issues in sandy soils. **EarthScience Reviews**, v. 208, n. 1, p. 1-22, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Dados meteorológicos. Disponível em <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 31/05/2023.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, p.69-78, 2000.

JESUS, F. L. F. de.; SANTOS, O. N. A.; TALAMINI JUNIOR, M. V.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; ROMÁN, R. M. S. **ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM QUÍMICA, FÍSICA E MICROBIOLÓGICA.** *Irriga*, v. 25, n. 3, p. 562-589, 2020.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. *In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). Soil biochemistry.* Dekker, 1981. v.5. Marcel Decker, 1981. p.415-471.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, n. 1, p.4-10, 1997.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUAZZANII N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). **Urban Water**, v. 4, n. 4, p.373-378, 2002.

KUBLER; H; FORTIN, A; MOLLETA, L. **Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil.** ABES, 2015, cap. 2, p. 11-15. 43p.

LAMBAIS, M.R.; CARMO, J.B. Impacto da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.1129-1138, 2008.

LATEF, A. A. H. A.; HASHEM, A.; RASOOL, S.; ABD_ ALLAH, E. F.; ALQARAWI, A. A.; EGAMBERDIEVA, D.; AHMAD, P. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plants: a review. **Journal of Plant Biology**, v. 59, n. 5, p. 407-426, 2016.

LEMOS, M; FERREIRA NETO, M.; MEDEIROS, J. F; DIAS, N. S; SILVA, E. F. F. E; LIRA, R. B. Nutritional evaluation of forage cactus fertigated with domestic sewage effluent. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 476-486, 2018.

LIBUTTI, A.; GATTAA, G.; GAGLIARDI, A.; Vergine, P.; PollicE, A.; Beneducea, L.; Disciglioa, G.; Tarantinoa, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 196, p. 1-14, 2018.

LIMA, S. M. S.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O. de.; SOUSA, J. T.de.; ARAÚJO, H. W. C. de. Qualidade sanitária e produção Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 21-25, 2005.

LIRA, R. M. de; SANTOS, A. N. dos; SILVA, J. S. da; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; RAMALHO E SOARES, H. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista GEAMA**, v.1, n.3, 2015.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação da análise do solo: conceitos e aplicações.** ANDA. Comitê de Pesquisa Técnico, 2004. 50 p.

LOPES, H. S. S.; MEDEIROS, M. G. de; SILVA, J. R.; MEDEIROS JÚNIOR, F. A.; SANTOS, M. N. dos; BATISTA, R. O. Biomassa microbiana e matéria orgânica em solo de Caatinga, cultivado com melão na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 565-570, 2012.

LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R. dos; LIBARDI, P.L. **Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teores solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de Bracatinga (mimosa scabrella benth.).** Boletim de Pesquisa Florestal, n. 38, p. 39-65, 1999.

LUCENA, A. M. A de.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 409-414, 2006.

MACEDO, A.; ARAUJO, G. G. L. de.; DEON, D. S.; LIMA, R. L. F. de A. Agricultura bioassalada, micorrizas arbusculares e carbono do solo no semiárido: 1. cultivo de palma forrageira adubada com esterco caprino. **Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARQUES, M. da S.; SILVA, A. A. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C. Análise bibliométrica sobre o uso de água residuária na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

MELO, M. C. de.; FONSECA, M. da.; CASTRO, L. A. RIBEIRO, R. B.; MACHADO, F. L. V. Avaliação quantitativa do potencial de reúso estado de minas gerais. **Revista GESTA**, v. 9, n. 2, p. 141–157, 2021.

MELZ, E. M.; TIAGO, P. V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 829-834, 2009.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A. DO; LIMA, J. A. G.; MEDEIROS, A. D. L. Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 791-796, 2010.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p.603-612, 2005.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F. Da.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Sciagrón**, v. 30, n. 4, p. 479-485, 2008.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. UFLA, 2006. 729 p.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (coord) et al. **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. PROSAB 5. ABES, 2009.

NASCIMENTO, J. dos S. FIDELES FILHO, J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 36 - 45, 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (NRC). **Water Reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater**. Washington D.C: The National Academy Press, 2012.

NEVES, F. A.; SPÍNOLA, A. M.; CHAGAS, M. C. M. das.; NEVES, J. D. de C.; KÜSTER, I. S.; FIGUEIREDO, M. R. P. de.; OLIVEIRA, F. S. de.; OLIVEIRA, E. F. de.; PEREIRA, S. L. **Palma-forrageira: opção e potencialidades para alimentação animal e humana em propriedades rurais do Estado do Espírito Santo**. Incaper, 2020. 52 p. (Incaper. Documentos, 276).

NOGUEIRA, S. F., CARMO, J. B., MONTES, C. R., VICTORIA, R. L., RAVAGNANI, E. C. & BARUFADI, R. O. Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9 (suplemento), 138-142, 2005.

NOTARO , K. de A. Atividade enzimática de solos sob diferentes sistemas de cultivo no semiárido de Pernambuco – Brasil. In: NOTARO , K. de A. **Prospecção de fitopatógenos e caracterização de solos arenosos envolvidos na supressividade ou condutividade da podridão radicular da mandioca, causada por *Scybalidium lignicola***. 2012. 111f. Dissertação (Curso de Mestrado Produção Agrícola) – Unidade Acadêmica de Garanhuns, 2012.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. **Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus indica* L. Mill) cultivada no sertão do sub-médio São Francisco**. *Holos*, v. 27, n. 3, p.113-119, 2011.

OLIVEIRA, P. A. de; GIORDANI, I.; BARETT, C. R. D. M. **BENEFÍCIOS DA MICROBIOTA DO SOLO NA AGRICULTURA**. *SB Rural*, ano 11, n. 227, 2019. caderno, p. 1.

OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; RODRIGUES, F. N.; OLIVEIRA, L. F. C.; FILHO, L. C. A. L. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*). *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 155-165, 2019.

OLIVEIRA, P. C. P. de.; GLOAGUEN, T. V.; GONÇALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L.; COUTO, C. F. Soil Chemistry after Irrigation with Treated Wastewater in Semiarid Climate. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, p. 1-13, 2016.

PAULA, A. M. de. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. 2008. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, 2008.

PAULA, A. M. de.; NOGUEIRA, S. F.; FONSECA, A. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; MELFI, A. J. Aporte de carbono e nitrogênio e atividade microbiana de solo sob pastagem irrigada com esgoto tratado. *Revista DAE*, n. 180, p. 10-16, 2009.

PEREIRA, V.R.; RODRIGUEZ, D.A.; COUTINHO, S.M.V.; SANTOS, D.V.; MARENGO, J.A. Adaptation opportunities for water security in Brazil. *Sustainability in Debate*, v. 11, n. 3, p. 91-121, 2020.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. de P.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 31-37, 1992.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. (1970) Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 55, p. 158-161.

PINTO JÚNIOR, E. dos S. **Análise dos parâmetros de solo cultivado com maxixe (*Cucumis anguria*) irrigado com água residuária doméstica**. 2018. 65 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, 2018.

PLETSCH, T. A. **A irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 2012. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, 2012.

PRATES JÚNIOR, P.; VELOSO, T. G. R.; MOREIRA, B. C.; KASUYA, M. C. M. **Micorrizas Arbusculares: conceitos, metodologias e aplicações**. 1. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2021. 122p.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Incaper, 2013. 104 p.

QUADROS, M. S.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 17, n. 1, p. 85-93, 2011.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, Essex, v. 85, n. 2, p.179-187, 2002.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RIBEIRO, M. C.; SOARES, M. M. S. R. **Microbiologia prática: roteiro e manual de bactérias e fungos**. Atheneu, 2002. 112p.

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitación de Suelos salinos y sodicos**. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, Manual de Agricultura. n. 60, 1974. 172 p.

ROCHA, R. S. **Caracterização estrutural e produtividade de genótipos da palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte**. 2016. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2016.

RODRIGUES, L.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Beltrão Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, p. 55-67, 2009.

ROZADA, C.; SILVA, J. P. G. Física do solo e atividade microbiana: relações e impactos no manejo do solo. Grupo de Extensão em Microbiologia do Solo – GMICS, 2021.

SANTOS, S. S. dos. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo**. 2004. Tese (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SANTOS, A. P. R. dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim –difton 85**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.

SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **HOLOS**, v. 1, 2013, p. 28-46.

SAMPAIO, T.F.; GUERRINI, I.A.; BACKES, C.; HELIODORO, J.C.A.; RONCHI, H.S.; TANGANELLI, K.M.; CARVALHO, N.C.de.; OLIVEIRA, F.C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, 2012.

SANTOS, K. D; HENRIQUE, I. N; DE SOUSA, J. T; LEITE, V. D. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, ed. 1, p. 1-7, 2006.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. IPA, 2006. 48 p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, A.S.P.; GONÇALVES, R.F.; MELO, M.C.; LIMA, M.A.M.; ARAUJO, B.M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 437- 462, 2020.

SANTOS, C. A. F.; ARAUJO, F. P. de; MENEZES, E. A. Guandu. In: KIILL, L. H. P.; MENEZES, E. A. (Ed.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

SANTOS, D. B. DOS.; AZEVEDO, D. DE. O.; SOUZA, J. A. A. DE.; SIMÕES, W. L.; RODRIGUES, C. S.; ARAÚJO, R. O. F.; SOUZA, M. C.; Carvalho, C. M. de.; SANTOS, L. V. C. Uso de esgoto doméstico na produção da palma forrageira. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.9, p. 88639-88650 sep. 2021.

SANTOS, F. C. dos; VIANA, J. H. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I. E.; FRANCELINO, M. R.; THOMAZINI, A.; RIBEIRO, V. P.; FERREIRA, F. N.; SOUZA, F. F. de; DONAGEMMA, G. K.; MELO, I. G.; BRANDÃO, A. L. **Caracterização química, física e microbiológica de solo arenoso no sudoeste baiano**. Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 40 p.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; MAGALHAES, D. B.; COTRIM, M. P. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths, in semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. e53036, 2019.

- SANTOS, J. A. SANTOS, V. B.; ARAUJO, A. S. F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, p. 17 – 23, 2009.
- SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, v. 35, p. 96-101, 2002.
- SILVA, E. E. da.; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).
- SILVA, S. B. **Análise de Solo para Ciências Agrárias**. 2. ed. - Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.
- SILVA, E. E. da.; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.
- SILVA, S. C. da. **"Wetlands construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 231 f. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade de Brasília, 2007.
- SILVA, P. B. da.; GIONGO, V.; LIMA JUNIOR, C., LIMA, R. L. F. A. Micorrizas arbusculares e teor de fósforo no solo em agroecossistemas de meloeiro no Semiárido. *In*: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 3., 2018, **Anais...** Embrapa Semiárido, 2018. p. 79-84.
- SILVA, E. de O. **Dinâmica do carbono e atividades enzimáticas em solo do trópico semi-árido sob diferentes usos**. 2017. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.
- SILVEIRA, A. P.D.; CIPRIANO, M. A. P.; DE ABREU, M. F.; CANTARELLA, H.; ZAMBROSI, F. C. B. **Determinação da atividade de enzimas em solos**. SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO INSTITUTO AGRONÔMICO: Centro de Solos e Recursos Ambientais, p. 3-13, maio 2021.
- SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.
- SIMÕES, K. DA. S.; PEIXOTO, M. DE F. DA S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. da. S.; PEIXOTO, C. P.; PEREIRA, F. A. de. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.518–523, 2013.
- SOUSA, M. U.; LIMA, L. M. R. Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto da UEPB com proposta de tratamento para fins de reuso. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 54-60, 2015.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, L. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- SOUSA, C. da S. Relações entre uso da terra, diversidade e atividade de fungos micorrízicos arbusculares na região semiárida do nordeste brasileiro. *In*: SOUSA, C. da S. **Diversidade e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas do semi-árido paraibano**. 2009. Tese (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal de Pernambuco, 2009. f. 136.
- SOUZA, R. G.; MAIA, L. C.; SALES, M. F.; TRUFEM, S. F. B. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasil**. v. 26. n.1. p. 49-60, 2003.
- SOUZA, M. C. de. **Avaliação da prática do reuso com esgoto tratado em lagoas de estabilização no semiárido do Rio Grande do Norte**. 2018. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade

Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

SOUZA, J. A. A.; SANTOS, D.B.; CAMELO, T. C.; REIS, G. A.; COTRIM, C. E. Productivity and Nutrient Supply in Gigante Cactus Pear with Regulated Deficit Irrigation Using Wastewater. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.34, p. 1-12, 2019.

SOUZA, C. A. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; MENDES, I. De. C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J. da. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1319-1327, 2009.

SPERLING, M. V. **Princípios do Tratamento Biológico de Água Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. UFMG, 2005.

TABATABAI, M. A., BREMNER, J. M. (1970). Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34, p. 225-229.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Artmed, 2017.

TAVARES, R. C. **Efeito da inoculação com fungo micorrízico arbuscular e da adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de.; PIRES, L. de O. B. P. SAIS SOLÚVEIS. In TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Embrapa, 2017.

TORRES, D. M.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, J. F.; FREIRE, J. O. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. **Holos**, v. 8, p. 1 – 15, 2019.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VARALLO, A. C. T. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, p. 372-377, 2010.

VIEIRA, G. D.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 543-550, 2011.

WANG, Y.; LAMBERS, H. Root-released organic anions in response to low phosphorus availability: recent progress, challenges and future perspectives. **Plant Soil**, v. 447, p. 135 – 156, 2020.

XU, J.; WU, L.; CHANG, C. A.; ZHANG, Y. Impact of long - term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 183, n. 13, p. 780-786, 2010.

YADA, M. **Metais pesados, atributos químicos e bioquímicos em latossolos e plantas de milho após aplicação de lodo de esgoto por dezesseis anos consecutivos**. 2014. 88 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2014.

ZHAO, Y.; WANG P.; LI, J.; CHENE, Y.; YINGF, X.; LIU, S. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.31, p.36-42, 2009.